

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Teknillinen tiedekunta
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Kati Koponen

**EUROOPAN UNIONIN KESTÄVYYSKRITEERIEN
SOVELTUVUUS LIIKENTEEN BIOPOLTTOAINEIDEN
KASVIHUONEKAASUVAIKUTUSTEN ARVIOINTIIN**

Tarkastajat: Professori, TkT Risto Soukka
Erikoistutkija, DI Sampo Soimakallio

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Kati Koponen

Euroopan unionin kestävyyskriteerien soveltuvuus liikenteen biopolttoaineiden kasviuonekaasuvaikutusten arviointiin

Diplomityö

2009

85 sivua, 17 kuvaa, 7 taulukkoa ja 1 liite

Tarkastajat: Professori, TkT Risto Soukka
Erikoistutkija, DI Sampo Soimakallio

Hakusanat: RES-direktiivi, Biopolttoaineet, jäte-etanoli, LCA
Keywords: RES-directive, Biofuels, waste derived ethanol, LCA

Euroopan unioni on niin sanotussa RES-direktiivissä asettanut tavoitteet uusiutuvan energian käytön lisäämiseksi 10 %:iin liikenteen energian kulutuksesta kaikissa jäsenmaissa vuoteen 2020 mennessä. Eräs näistä uusiutuvan energian muodoista on biopolttoaineet. Tässä työssä testataan RES-direktiivissä esitettyä laskentamenetelmää biopolttoaineiden tuotannon ja käytön kasviuonekaasupäästöjen arviointiin. Esimerkki-tapauksena on yhdyskuntien ja teollisuuden jättemateriaalia raaka-aineena käyttävän jäte-etanoliprosessin ja siihen yhdistetyn sähköä ja lämpöä tuottavan CHP-laitoksen päästölaskenta. Laskennan yhteydessä käy ilmi RES-direktiivin laskentamenetelmän tulkinnanvaraisuus. Laskentamenetelmän perusteella järjestelmärajaa voidaan asettaa usealla eri tavalla, jolloin saadut päästövähennystulokset vaihtelevat huomattavasti eri tulkintavaihtoehtojen välillä. Jäte-etanolin tapauksessa tulokset ovat myös hyvin riippuvaisia jättemateriaalille määritellystä päästökertoimesta. Laskennan perusteella voidaankin sanoa, että RES-direktiivin laskentamenetelmällä saadut päästövähennystulokset biopolttoaineille ovat hyvin epävarmoja ja riippuvat sekä laskennan lähtöoletuksista että direktiivin tulkintatavasta.

RES-direktiivin laskentamenetelmää voidaan myös pitää hyvin suppeana lähestymistapana biopolttoaineiden kasviuonekaasuvaikutusten arviointiin. Tarkastelua tehdään suppealla järjestelmärajalla ja esimerkiksi biopolttoaineketjujen aiheuttamat epäsuorat ilmastovaikutukset jäävät huomioimatta. RES-direktiivin laskentamenetelmä perustuu perinteiseen staattiseen linkaariarviointiin eli syytarkasteluun eikä sovellu arvioimaan muutosta. Ilmastomuutoksen hillinnän haastavuuden ja kiireellisyyden vuoksi biopolttoaineiden ilmastovaikutuksia tulisi kuitenkin arvioida myös laajemmin muutostarkasteluna, ja verrata biopolttoaineiden avulla saatuja päästövähennyksiä muilla keinoilla saavutettuihin päästövähennyksiin. Näin voitaisiin paremmin arvioida sitä, mitkä keinot soveltuvat parhaiten nopeiden päästövähennysten saavuttamiseen.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology
Environmental Technology

Kati Koponen

Suitability of the European Union sustainability criteria for greenhouse gas impact assessment of transport biofuels

Master's Thesis

2009

85 pages, 17 figures, 7 tables and 1 appendix

Examiners: Professor, D. (Tech.) Risto Soukka
Senior research scientist, M.Sc. (Tech.) Sampo Soimakallio

Keywords: RES-directive, Biofuels, waste derived ethanol, LCA

In so called RES-directive the European Union has established 10 % target for energy from renewable sources in transport to be achieved in each Member State by 2020. One source of renewable energy in transport is biofuels. A methodology for assessing the greenhouse gas impact of biofuels is presented in the RES-directive, and is tested in this Master's Thesis. As an example the calculation of greenhouse gas emissions is tested for bioethanol concept based on waste-derived bioethanol production integrated with CHP plant producing heat and electricity. During this calculation it becomes evident that the methodology of the RES-directive is open to various interpretations. The system boundary of calculation can be set in several ways and the results of calculation vary remarkably depending on the interpretation of the methodology. The emission saving results of waste-ethanol are also very dependent on the emission factor given for the waste material used in the process. Based on this calculation it can be concluded that the emission saving results given by the calculation methodology of the RES-directive are very uncertain and depend on the assumptions made for calculation as well as on the interpretation of the directive.

The calculation methodology of the RES-directive can also be considered as very narrow approach for assessing the greenhouse gas impacts of biofuels. The calculation is carried out with a narrow system boundary and some effects, like indirect emissions caused by biofuel chains, are excluded. The calculation methodology of the RES-directive is based on traditional static life cycle assessment called attributional life cycle assessment and is not suitable for assessing the change. As the targets and the schedule of the climate change mitigation are very challenging, the climate effects of biofuels should also be assessed more comprehensively by using consequential life cycle assessment. It would be important to compare the emission reductions gained by the biofuels with the emission reductions gained by other means, so that the most efficient means for rapid emission reductions could be supported to be introduced.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on laadittu kevään 2009 aikana VTT:n Ilmastonmuutos-tiimissä. Työ toteutettiin osana Euroopan unionin rahoittamaa hanketta ”EU Bioenergy Network of Excellence”. Projektiryhmässä toimivat VTT:sta Sampo Soimakallio, Tuula Mäkinen ja Kai Sipilä sekä Pöyry Forest Industry Consulting Oy:stä Esa Sipilä, joilta saamistani kommentteista haluan tässä kiittää.

Erityisesti haluan kiittää työn ohjaajaa Sampo Soimakalliota erinomaisesta ohjauksesta ja asiantuntevista kommentteista työn aikana. Lisäksi kiitokset kuuluvat kaikille VTT:n Ilmastonmuutos-tiimissä työskenteleville mielenkiintoisista keskusteluista sekä innostavasta työilmapiiristä. Haluan kiittää myös työn tarkastajaa Risto Soukkaa Lappeenrannan teknillisestä yliopistosta.

Suuret kiitokset myös kaikille niille ihmisille, joiden ansiosta opiskeluaikani on ollut yhtä ikimuistoista ja antoisaa. Opiskeluvuosiini mahtui paljon uusia haasteita ja elämyksiä, jotka sain kokea monien mahtavien ystävien kanssa niin Suomessa kuin ulkomaillakin. Kaiken aikaa taustalla oli turvanani perhe ja läheiset, joiden tuen ja rakkauden ansiosta tämä kaikki on ollut mahdollista. Kiitokset teille kaikille!

Espoossa 18.5.2009

Kati Koponen

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO	3
1 JOHDANTO	5
1.1 Ilmastomuutoksen hillinnän tavoite	5
1.2 Liikenteen biopolttoaineet ilmastomuutoksen hillinnän keinona.....	6
2 EU:N KESTÄVYYSKRITEERISTÖ LIIKENTEEN BIOPOLTTOAINEIDEN ILMASTOVAIKUTUSTEN ARVIOINNISSA.....	10
2.1 Ilmastovaikutusten dynamiikka	10
2.2 Yleistä liikenteen biopolttoaineista	12
2.2.1 Liikenteen biopolttoaineiden elinkaaren aikaiset ilmastovaikutukset	13
2.2.2 Suorat ja epäsuorat kasvihuonekaasut	15
2.3 Elinkaariarviointi työvälineenä	16
2.3.1 Elinkaariarvioinnin periaatteet	16
2.3.2 Elinkaariarvioinnin filosofiat	19
2.3.3 Elinkaariarvioinnin käyttökohteet	21
2.4 RES-direktiivin laskentamenetelmä liikenteen biopolttoaineiden kasvihuonekaasutaseille	22
3 JÄTE-ETANOLIN KASVIHUONEKAASUTASEEN ARVIOINTI EU:N KESTÄVYYSKRITEERISTÖN MUKAISESTI.....	26
3.1 Jäte-etanoliprosessin kuvaus	26
3.2 Jäte-etanoliprosessin järjestelmärajan määrittely.....	27
3.2.1 Jäte-etanoliprosessi ja CHP-laitos yhdessä	28
3.2.2 Jäte-etanoliprosessi ja CHP-laitos erillään.....	29
3.3 Laskennan oletukset	31
3.3.1 Huomioitavat parametrit	31
3.3.2 Allokointi	32
3.3.3 Sähkön ja lämmön tuotannon päästöt	32
3.3.4 Parametrien lähtöoletukset	33
4 LASKENNAN TULOKSET	36
4.1 Tekijöiden vaikutus tuloksiin.....	36
4.2 Herkkyystarkastelu	38
5 EU:N KESTÄVYYSKRITEERISTÖN SOVELTUVUUDEN ARVIOINTI.....	41
5.1 Tulkinnanvaraisuus.....	41
5.2 Lähestymistavan rajallisuus	42
5.2.1 Jäte-etanoliketjun laajempi tarkastelu.....	43
5.2.2 Järjestelmärajan määrittely.....	46
5.2.3 Allokointimenettely	50
5.2.4 Korvaushyötyjen arviointi.....	53
5.2.5 Vertailutilanteen ja -tavan valinta.....	59

5.3	LCA:n käyttö poliittisen ohjauksen yhteydessä.....	64
5.4	Vastuun jakautuminen ilmastovaikutusten hallinnassa	66
6	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	71
	LÄHDELUETTELO.....	77

LIITTEET

Liite 1. Jäte-etanoliprosessin eri tulkintavaihtoehtojen tasekuvat

SYMBOLILUETTELO

Lyhenteet:

CHP	Combined Heat and Power, Yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto
EC	Commission of the European Communities, Euroopan komissio
EU	Euroopan unioni
EU25	Euroopan unionin kokoonpano vuonna 2004
GWP	Global Warming Potential
IEA	International Energy Agency
IPCC	International Panel of Climate Change
JRC	Joint Research Centre
ISO	International Organization for Standardization
LCA	Life Cycle Assessment, Elinkaariarviointi
LCI	Life Cycle Inventory, Inventaarioanalyysi
LCIA	Life Cycle Impact Assessment, Vaikutusarviointi
MTT	Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus
NExBTL	Next Generation Biomass to Liquid
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
RES	RES-direktiivi, Direktiivi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä
RSPO	Roundtable on Sustainable Palm Oil
RTRS	Roundtable of Responsible Soy
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VTT	Valtion teknillinen tutkimuskeskus
YK	Yhdistyneet kansakunnat

Symbolit:

a	vuosi
°C	Celsius-aste
€	euro
<i>E</i>	polttoaineen käytöstä aiheutuvat kokonaispäästöt

EF	jättemateriaalin päästökerroin
e_{ccr}	hiilidioksidin talteenotosta ja korvaamisesta aiheutuvat päästövähennykset
e_{ccs}	hiilidioksidin talteenotosta ja geologisesta varastoinnista aiheutuvat päästövähennykset
e_{ee}	yhteistuotannosta saatavasta ylijäämästä saatavat päästövähennykset
e_{ec}	raaka-aineiden hankinnasta tai viljelystä aiheutuvat päästöt
e_l	maankäytön muutoksista johtuvista hiilivarantojen muutoksista aiheutuvat annualisoidut päästöt
e_p	jalostuksesta aiheutuvat päästöt
e_{sca}	paremmista maatalouskäytännöistä johtuen maaperän hiilikertymästä saatavat päästövähennykset
e_{td}	kuljetuksesta ja jakelusta aiheutuvat päästöt
e_u	käytössä olevasta polttoaineesta aiheutuvat päästöt
g	gramma
kg	kilogramma
km	kilometri
MJ	megajoule
$Mtoe$	mega tonnes of oil equivalents, miljoonaa öljytonnia vastaavaa energiamäärä
MWh	megawattitunti
ppm	parts per million, miljoonasosa
Q	lämpöarvo
t	tonni
x	massaosuus
$\%$	prosentti

Alaindeksit:

ekv	ekvivalentti
foss	fossiilinen
kok	kokonais

1 JOHDANTO

1.1 Ilmastonmuutoksen hillinnän tavoite

Ilmastonmuutos on noussut aikamme puhutuimmaksi ympäristöhaasteeksi. Sen vaikutusten pelätään olevan ratkaisevia koko maapallon tulevaisuuden kannalta. Vuonna 2007 julkaistuissa hallitustenvälisen ilmastopaneelin (IPCC) tutkimusraporteissa todetaan, että ilmaston lämpeneminen on kiistatonta ja että ilmastonmuutos on kiihtynyt ihmisen toiminnan vaikutuksesta. Ilmaston lämpeneminen johtuu suurelta osin kasvihuonekaasujen lisääntymisestä ilmakehässä. Vuosien 1970–2004 välillä ihmisen toiminnasta johtuvat maailmanlaajuiset kasvihuonekaasupäästöt ovat kasvaneet 70 % (IPCC 2007a). Maailmalla on havahduttu toimiin ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi, mutta toimia tarvitaan myös muutokseen sopeutumiseksi, sillä ilmaston lämpenemisen pysäyttäminen on jo liian myöhäistä. Lämpenemistä voidaan kuitenkin rajoittaa kasvihuonekaasupäästöjä vähentävillä toimenpiteillä.

YK:n ilmastopimus (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) solmittiin vuonna 1992 Rio de Janeirossa, ja sen tavoitteena on ilmakehän kasvihuonepitoisuuksien rajoittaminen tasolle, jolla ihmisen toiminta ei vaikuta haitallisesti ilmastojärjestelmään. Sopimuksen on ratifioinut 192 osapuolta (UNFCCC 2008). Vuonna 1997 laadittiin ilmastopimuksen alainen Kioton pöytäkirja (Kioto protocol), jossa määritellään kehittyneille maille sitovat kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoitteet jaksolle 2008–2012. Yhteensä 182 maata on ratifioinut Kioton pöytäkirjan, mutta joukosta puuttuu suurin kasvihuonekaasupäästöjen tuottaja Yhdysvallat (UNFCCC 2008). Vuonna 2007 Balilla pidetyssä ilmastokokouksessa sovittiin, että neuvotteluissa pyritään uuteen päästöjenrajoituspöytäkirjaan vuoden 2009 loppuun mennessä (The Bali Roadmap 2007). Kööpenhaminan ilmastokokous joulukuussa 2009 on seuraava merkittävä etappi uuden päästöjenrajoitussopimuksen syntymisessä.

Euroopan unioni (EU) on ottanut aktiivisen kannan kasvihuonekaasupäästöjen vähennyspyrkimyksissä. EU:n tavoitteena on rajoittaa lämpötilan nousu 2 Celsius-

asteeseen esiteolliseen aikaan verrattuna, jolloin saatetaan vielä välttyä ilmastonmuutoksen vakavimmilta vaikutuksilta. EU on ilmoittanut vähentävänsä päästöjä 30 %:lla vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä, mikäli muut kehittyneet maat sitoutuvat vastaaviin päästövähennyksiin ja taloudellisesti edistyneemmät kehitysmaat osallistuvat vähennystalkoisiin riittäväillä toimilla. Yksipuolisestikin EU on valmis vähentämään päästöjään 20 %:lla vuoteen 2020 mennessä vuoden 1990 tasosta. EU:n pidemmän aikavälin tavoitteena on saavuttaa 60–80 %:n päästövähennykset vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 tasosta. (EC 2008a)

Yhtenä tärkeänä keinona kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi EU edistää uusiutuvien energiamuotojen käyttöönottoa unionin alueella. Vuonna 2007 Eurooppa-neuvosto vahvisti yhteisön sitoutumisen uusiutuvan energian kehittämiseksi ja hyväksyi pakolliseksi tavoitteeksi uusiutuvien energiamuotojen osuuden nostamisen 20 %:iin energian kokonaiskulutuksesta EU:n alueella. EU:n komissio julkisti 23.1.2008 energia- ja ilmastopakettin, jossa annettiin direktiiviehdotus uusiutuvien energialähteiden käytön edistämiseksi (niin sanottu RES-direktiivi) ja vahvistettiin nämä tavoitteet (EC 2008b). Tämä paketti hyväksyttiin Euroopan Unionin parlamentissa 17. joulukuuta 2008 (EC 2008c). RES-direktiivi esittelee EU:n ja sen jäsenmaiden sitovat tavoitteet uusiutuvan energian käytön lisäämiseksi energian tuotannossa sekä liikennepolttoaineena. Tavoite on jaettu jäsenmaille niiden energiantuotannon nykytilan ja uusiutuvien energialähteiden potentiaalın mukaan. Suomen velvoitteena on lisätä uusiutuvien energiamuotojen käyttöä 38 %:iin vuoteen 2020 mennessä, kun vuonna 2005 vastaava osuus oli 28 % (EC 2008b). Direktiivin virallinen versio (EU 2009) julkaistaan mitä todennäköisimmin EU:n virallisessa lehdessä kevään tai kesän 2009 aikana.

1.2 Liikenteen biopolttoaineet ilmastonmuutoksen hillinnän keinona

Euroopan unioni on ajanut uusiutuvien liikennepolttoaineiden käytön edistämistä vuodesta 2000 lähtien, jolloin se julkaisi Vihreässä kirjassa tavoitteensa kasvattaa vaihtoehtoisten polttoaineiden osuutta 20 %:iin liikenteessä käytetyistä polttoaineista vuoteen 2020 mennessä (EC 2000). Aivan näin suuriin tavoitteisiin ei lopulta päädytty, sillä joulukuussa 2008 hyväksytyssä RES-direktiivissä vahvistettiin tavoitteeksi nostaa

uusiutuvan energian osuus 10 %:iin energian kokonaiskulutuksesta liikenteessä kaikissa jäsenmaissa vuoteen 2020 mennessä. RES-direktiivin mukaisesti uusiutuvat energialähteet liikenteessä ovat esimerkiksi fossiilisia polttoaineita korvaavat nestemäiset tai kaasumaiset biopolttoaineet sekä sähköautoissa käytettävä uusiutuvista energialähteistä tuotettu sähkö.

Biopolttoaineiden käytön edistämistä perustellaan useilla näkökohdilla, joista ensimmäisenä mainitaan usein juuri liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen. Biopolttoaineiden avulla halutaan myös lisätä Euroopan energiaomavaraisuutta sekä vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä liikenteessä (EU 2009). Biopolttoaineiden tuotanto on hajautettua eikä se ole riippuvaista perinteisten fossiilisten energiamuotojen saatavuudesta, jolloin energiantuotannon epävarmuuden uskotaan vähenevän. Biopolttoaineiden tuotannon ajatellaan myös luovan lisää työpaikkoja erityisesti maaseudulle. Suomessa eduskunta on jo hyväksynyt lain biopolttoaineiden käytön edistämisestä (2007/446), jossa määritellään biopolttoaineen käytön tavoitteet vuodesta 2008 alkaen. Biopolttoaineen osuus käytetystä polttoaineesta tulisi olla 2 % vuonna 2008, 4 % vuonna 2009 sekä 5,75 % vuonna 2010.

Biopolttoaineiden käytön edistämisen perusteluja on kuitenkin myös kyseenalaistettu (esim. JRC 2008). Biopolttoaineiden tuotantoon ja käyttöön voidaan yhdistää useita ongelmia ja biopolttoaineita on kritisoitu esimerkiksi siitä, että niiden valmistaminen vie maa-alaa ruuaksi tai rehuksi kelpaavien tuotteiden viljelyltä ja aiheuttaa ruuan hinnan nousua (Mitchell 2007, IEA 2008 s.174). Myöskään liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen biopolttoaineiden avulla ei ole yksiselitteistä, sillä eräiden tutkimusten mukaan biopolttoaineet voivat elinkaarensa aikana aiheuttaa jopa suuremmat kasvihuonekaasupäästöt kuin perinteiset fossiiliset polttoaineet (JRC 2008, s.12, Mäkinen et al. 2006, s.106). Näin tapahtuu erityisesti ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden (ks. luku 2.2) kohdalla. Myös omavaraisuustavoitteen täyttyminen sekä työpaikkojen lisääntyminen biopolttoaineiden valmistuksen myötä on kyseenalaistettu (JRC 2008).

Biopolttoaineisiin liittyen on tehty useita laajoja kansainvälisiä selvityksiä, joissa on pohdittu eri teknologioiden soveltamista, raaka-aineiden tuotantoa, ympäristö-

vaikutuksia ja muita biopolttoaineisiin liittyviä näkökohtia. Tällaisia selvityksiä ovat laatineet esimerkiksi kansainvälinen energiajärjestö IEA (IEA 2004) sekä OECD ja Round Table of Sustainable Development yhdessä (OECD 2007). Myös biopolttoaineiden ilmastovaikutusten arviointia on tehty monissa laajoissa tutkimuksissa, kuten esimerkiksi EURCAR:n, CONCAWE:n ja JRC/IES:n yhteistyönä laatimassa biopolttoaineiden well-to-wheels selvityksessä (Edwards et al. 2007). Suomen tasolla kattavin biopolttoaineiden ilmastovaikutusselvitys on tehty VTT:n ja MTT:n yhteistyönä (Mäkinen et al. 2006). Lisäksi keväällä 2009 julkaistu BIOVAIKU -hankkeen loppuraportti kuvaa laajasti biopolttoaineiden kestävyteen liittyviä näkökohtia (Soimakallio et al. 2009a). Myös maailmalla on tehty lukuisia yksittäisiä biopolttoaineiden ilmastovaikutusarvioiteja sekä laadittu yhteenvedoja näistä selvityksistä (esim. Larson 2006, Blottnitz & Curran 2007 jne.).

Biopolttoaineiden ilmasto- ja muita ympäristövaikutuksia koskevat selvitykset perustuvat usein elinkaariarviointiin, jota sovelletaan kulloinkin mahdollisuuksien mukaisella tavalla. Selvitysten tuloksissa on havaittavissa paljon eroavaisuuksia, mikä johtuu erilaisista laskentatavoista, lähtöoletuksista ja ketjukohtaisista eroavaisuuksista. Biopolttoaineiden ilmastovaikutuksiin liittyy suuria epävarmuuksia, sillä monet päästöihin vaikuttavat parametrit ovat huonosti tunnettuja ja hyvin epävarmoja (Soimakallio et al. 2009a&b).

Ilmastovaikutusarviointien avuksi ja biopolttoaineiden kestävyden takaamiseksi on useissa maissa kehitetty kestävyyskriteeristöjä biopolttoaineille tai niiden raaka-aineille. Esimerkiksi Hollanti ja Britannia ovat laatineet omat kriteeristönsä, joissa otetaan kantaa biopolttoaineiden kestävyteen ja niiden aiheuttamien ilmastovaikutusten arviointiin (Cramer et al. 2006 ja 2007, E4tech 2007). Samoin erilaiset järjestöt, kuten Roundtable on Sustainable Palm Oil ja Roundtable of Responsible Soy ovat kehittäneet omia vastaavia kriteeristöjään koskien tiettyjen biopolttoaineiden raaka-aineiden kuten soijan tai palmuöljyn tuotantoa (RSPO 2007, RTRS 2007). Biopolttoaineille on mahdollista saada myös Joutsenmerkki (Nordic Ecolabelling 2008).

Myös Euroopan unioni on kehittänyt oman kriteeristönsä biopolttoaineiden kestävyden ja erityisesti niiden ilmastovaikutusten arviointiin. Tämä kriteeristö esitellään RES-

direktiivissä yhdessä biopolttoaineiden käytön edistämistavoitteiden kanssa. Kriteeristöissä esitetään sanallisia vaatimuksia ja suosituksia biopolttoaineiden ekologiselle ja sosiaaliselle kestävyydelle. Ekologisen kestävyuden kriteerit liittyvät esimerkiksi kestäväan maankäyttöön kun taas sosiaalisen kestävyuden kriteerit määrittelevät esimerkiksi työntekijöiden asemaa biopolttoaineiden raaka-aineita tuottavissa maissa. RES-direktiivin liitteessä esitellään lisäksi laskentamenetelmä, jota tulee soveltaa biopolttoaineiden kasvihuonekaasuvaikutusten arviointiin EU:ssa. Jotta tuotettavat biopolttoaineet luettaisiin mukaan EU:n uusiutuvan energian tavoitteisiin, tulee niiden täyttää RES-direktiivin asettamat vaatimukset biopolttoaineiden kasvihuonekaasuvaikutuksille tämän laskentamenetelmän mukaan arvioituna. Eräille biopolttoaineille on myös valmiiksi annettu oletusarvoja niiden kasvihuonekaasuvaikutuksista. (EU 2009¹)

Tässä työssä tarkastellaan RES-direktiivissä esitetyn laskentamenetelmän soveltuvuutta biopolttoaineiden ilmastovaikutusten arviointiin. Esimerkkitapauksena laskentamenetelmää sovelletaan yhdyskuntien ja teollisuuden bioperäisestä jätteestä valmistettavan etanolin tapauksessa. Koska jätteestä valmistetulle etanolille ei ole RES-direktiivissä annettu valmista oletusarvoa, vastaa tässä työssä suoritettava laskenta sitä tarkastelua, joka jäte-etanolin tuottajan tulisi tehdä tuotteelleen, jotta se voitaisiin hyväksyä RES-direktiivin mukaiseksi uusiutuvaksi energialähteeksi. Aihepiiriin johdatetaan esittelemällä yleisemmin biopolttoaineiden ilmastovaikutuksia sekä elinkariarvioinnin periaatteita, jonka jälkeen esitellään elinkariarvioinnin periaatteisiin pohjautuva RES-direktiivin laskentamenetelmä biopolttoaineiden kasvihuonekaasuvaikutusten arviointiin. Samoin esitellään menetelmän mukainen laskenta sekä menetelmän mahdollistamat eri tulkintavaihtoehdot jäte-etanolin tapauksessa. Tulosten arvioinnin yhteydessä pohditaan niitä kysymyksiä, joita nousee esiin RES-direktiivin mukaisessa ilmastovaikutusten arvioinnissa biopolttoainejärjestelmien moniulotteisuuden sekä laskentamenetelmän rajoitteiden takia.

¹ Kun tässä työssä myöhemmin viitataan RES-direktiivin, viitataan tähän viimeisimpään viralliseen versioon.

2 EU:N KESTÄVYYSKRITEERISTÖ LIIKENTEEN BIOPOLTTOAINEIDEN ILMASTOVAIKUTUSTEN ARVIOINNISSA

2.1 Ilmastovaikutusten dynamiikka

EU:n tavoitteena on rajoittaa ilmaston lämpeneminen kahteen Celsius-asteeseen esiteolliseen aikaan verrattuna. Jotta kahden asteen tavoite voitaisiin saavuttaa vähintään 50 %:n todennäköisyydellä, pitäisi ilmakehän hiilidioksidiekvivalenttipitoisuus (CO₂-ekv.) vakauttaa IPCC:n ennusteiden mukaisesti noin 450 ppmCO₂-ekvivalenttipitoisuustasolle tai jopa tätä alemmaksi. Nykyiset ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuudet ja kasvihuonekaasupäästöjen lisääntyminen antavat kuitenkin viitteitä siitä, että tämä pitoisuustavoite saatetaan ylittää. Kahden asteen tavoitteen saavuttamiseksi tulisi kasvihuonekaasupäästöjen saavuttaa huippunsa vuonna 2015–2020 ja tämän jälkeen kääntyä laskuun (EU 2008). IPCC:n arvioiden mukaan 450 ppmCO₂-ekvivalentin tavoitetason saavuttamiseksi kasvihuonekaasupäästöjä tulisi vähentää teollisuusmaissa arviolta yhteensä 80–90 % vuoteen 2050 mennessä, verrattuna vuoden 1990 tasoon (IPCC 2007a). Tavoitteen haastavuuden ja aikataulun kiireellisyyden myötä ilmastovaikutusten hillintään tulisi valita ne keinot, jotka parhaiten edistävät tavoitteen saavuttamista nopealla aikataululla.

Ilmastonmuutoksen hillinnän keinoja vertailtaessa tulee kiinnittää huomiota useisiin seikkoihin. Biopolttoaineiden kohdalla tärkeä vaikutus on esimerkiksi prosessiin valituilla raaka-aineilla, joita ovat erilaiset viljelykasvit, metsäbiomassat sekä bioperäiset jättemateriaalit. Biomassoja voidaan käyttää ilmastonmuutoksen hillinnässä eri tavoin: korvaamaan fossiilisia polttoaineita tai muita raaka-aineita tuotantoprosesseissa, pitämään yllä hiilivarastoa (esim. soiden suojele) tai kasvattamaan hiilivarastoa (esim. metsitykset, pitkäkestoiset puutuotteet) (Soimakallio et al. 2009a, s.49). Myös jättemateriaaleja voidaan käyttää korvaamaan fossiilisia polttoaineita tai ne voivat toimia hiilivarastona kaatopaikoilla (IPCC 2000, Barlaz M. 1998). Näiden hillintäkeinojen tehokkuus riippuu tarkastellusta aikajänteestä ja ilmastotavoitteiden aikatauluista. Esimerkiksi lyhytkiertoiset peltobiomassat tai nopeasti hajoavat jätejakeet eivät varastoi hiiltä pitkiä aikoja, joten niiden hyödyntämisessä esimerkiksi energiana ei

menetetä hiilen varastovaikutuksia. Sen sijaan pitkäkiertoiset metsät, turve ja hitaasti hajoavat jätejakeet (esim. muovi ja ligniini) voivat toimia pitkäaikaisina hiilivarastoina ja niiden varastovaikutusta voidaan hyödyntää ilmastonmuutoksen hillinnässä, jollei niiden sisältämää hiiltä vapauteta ilmakehään esimerkiksi polton yhteydessä.

Uusimpien tutkimusten mukaan ilmaston lämpenemisellä voi kuitenkin olla merkittäviä vaikutuksia metsiin (Seppälä et al. 2009, s.10). Lämpenemisen seurauksena kasvukauden pituus voi alueesta riippuen pidentyä tai lyhentyä ja metsien puulajeissa voi tapahtua muutoksia. Jos ilmasto lämpenee yli 2,5°C esiteolliseen aikaan verrattuna, saattaa metsien hiilenvarastointikyky pienentyä tai jopa kadota. Tällöin riskinä on, että metsät muuttuvat hiilinielujen sijaan hiilen lähteiksi. Tämä näkökohta lisää epävarmuutta suunniteltaessa metsien käyttöä ilmastomuutoksen hillinnän välineenä. Puumateriaali voi toimia hiilivarastona myös hyötykäytössä, esimerkiksi rakentamisen raaka-aineena, jolloin se voidaan käyttöään päättyessä hyödyntää vielä energian tuotannossa (Soimakallio et al. 2009a, s.49). Tällöin puumateriaali toimii ensin hiilivarastona ja sen jälkeen vielä korvaa fossiilisia polttoaineita energiana. Puu voidaan hyödyntää myös suoraan tai jalostettuna korvaamaan fossiilisia polttoaineita, esimerkiksi sähkön ja lämmön tuotannossa tai biopolttoaineiden tuotannossa.

Näitä biomassan eri käyttökohteita vertailtaessa on tärkeää ottaa huomioon aikajänne, jolla ilmastonmuutosta pyritään hillitsemään. Kiireellisten ilmastotavoitteiden kannalta yhtenä vaihtoehtoina on käyttää biomassaa tai hitaasti hajoavaa jätettä ensisijaisesti hiilivarastona, ja saada näin lisää aikaa vähähiilisempien energiantuotanto- ja liikenneteknologioiden kehittämiseen. Tähän toimintatapaan liittyy kuitenkin epävarmuus hiilivarastojen pysyvyydestä muun muassa ilmaston lämpenemisen aiheuttamien muutosten takia. Toisaalta biomassalla voidaan nopeasti korvata fossiilisia polttoaineita jo nykyisillä tekniikoilla. EU:n määrittelemillä biopolttoaineiden käytön edistämistavoitteilla halutaan biomassaa käyttää juuri fossiilisten polttoaineiden korvaamiseen, esimerkiksi biopolttoaineiden muodossa.

2.2 Yleistä liikenteen biopolttoaineista

Biopolttoaineilla tarkoitetaan nestemäisiä tai kaasumaisia liikenteessä käytettäviä polttoaineita, jotka tuotetaan biomassasta (RES-direktiivin määrittely²). Biopolttoaineet jaotellaan yleisesti ensimmäisen ja toisen sukupolven biopolttoaineisiin. Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineet, kuten bioetanoli ja biodiesel, valmistetaan usein ravinnoksi kelpaavista raaka-aineista. EU:ssa bioetanolin yleisimmät raaka-aineet ovat sokerijuurikas, rehuvehnä, ohra ja maissi, Brasiliassa etanoli valmistetaan sokeriruo'osta ja Yhdysvalloissa raaka-aineena käytetään maissia. Biodieselin valmistuksessa EU:ssa käytetään joko rapsia tai muualta tuotuja kasviöljyjä kuten palmuöljyä. Yhteistä näille raaka-aineille on, että ne ovat ruuaksi tai rehuksi kelpaavia, ja siten niiden käyttö biopolttoaineiden valmistukseen aiheuttaa kilpailua ravinnoksi tuotettavien raaka-aineiden kanssa. Toisen sukupolven biopolttoaineet taas voidaan valmistaa lähes mistä tahansa biomassasta, kuten hakkuutähteistä tai sadonkorjuun jätteistä, joten ne eivät kilpaile ravinnoksi sopivien raaka-aineiden kanssa. Lisäksi biopolttoaineeksi soveltuu biokaasu. (JRC 2008, s.6–7)

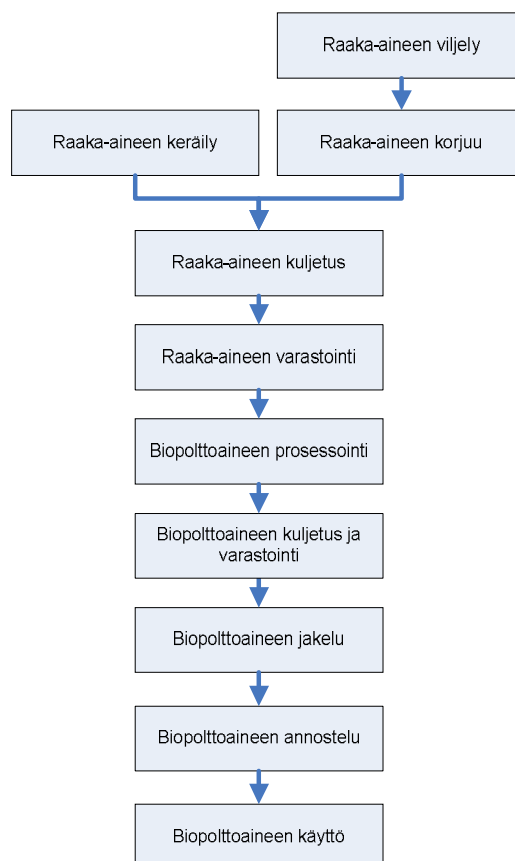
Biopolttoaineiden käyttö maailmassa nousi 24,4 Mtoe:iin vuonna 2006, kun se vuonna 2000 oli vasta 10,3 Mtoe:a. Silti biopolttoaineet vastasivat vain 1,5 % tieliikenteen kokonaiskulutuksesta vuonna 2006, jolloin biopolttoaineiden kulutus oli suurinta Pohjois-Amerikassa, Latalalaisen-Amerikan ja EU:n ollessa seuraavaksi suurimpia kuluttajia. Eniten kulutus kasvoi Yhdysvalloissa, nousten 23 % vuodessa, välillä 2000–2006. Tällä hetkellä saatavilla olevista biopolttoaineista bioetanolilla on suurin markkinaosuus Yhdysvaltojen ja Brasilian ollessa sen suurimpi kuluttajia. Bioetanolin suurin viejämaa on Brasilia ja suurin tuonti kohdistuu Yhdysvaltoihin. Bioetanolia tuodaan myös Alankomaihin, Saksaan ja Iso-Britanniaan. Biodieselin kulutus taas kasvaa eniten EU:ssa ja Aasiassa. Biodieselin kaupassa suurin osuus on palmuöljystä valmistetulla biodieselillä, jota tuodaan Euroopan unioniin Indonesiasta ja Malesiasta. Euroopan unioniin tuodaan myös Yhdysvalloissa ja Brasiliassa soijapavuista valmistettua biodieseliä. (IEA 2008, s.171–175)

² Kun tässä työssä puhutaan biopolttoaineista, tarkoitetaan RES-direktiivin määritelmän mukaisia liikenteen biopolttoaineita.

Suomessa biopolttoaineiden käyttö vastaa tällä hetkellä vain noin 2–3 % liikenteen polttoaineiden kokonaiskulutuksesta (Soimakallio et al. 2009a, s.62). Kotimaiseen biopolttoainetuotantoon sopivia tuotteita ovat pelto- tai biomassapohjaiset polttoaineet, kuten ohraetanoli, rypsipohjainen biodiesel ja biomassapohjainen Fischer-Tropsch-diesel (F-T-diesel), jota voidaan valmistaa ruokohelvestä tai hakkuutähteistä. Myös jätteiden sisältämästä lignoselluloosasta sekä turpeesta voidaan valmistaa biopolttoainetta (Mäkinen et al. 2006, s.19). Lisäksi Neste Oil on kehittänyt oman NExBTL-dieselin, joka valmistetaan tällä hetkellä palmuöljystä, mutta raaka-aineeksi soveltuvat myös muut kasvi- tai eläinperäiset rasvat. Myös energiayhtiö St1 on kehittänyt oman biopolttoainekonseptinsa, jossa elintarviketeollisuuden jätteestä tuotetaan etanolia (Soimakallio et al. 2009a, s.62, 113).

2.2.1 Liikenteen biopolttoaineiden elinkaaren aikaiset ilmastovaikutukset

Biopolttoaineen tuotanto alkaa raaka-aineen viljelystä (viljeltävät raaka-aineet) tai raaka-aineen korjuusta ja keräilystä (metsä- tai viljelytähde ja jäte). Raaka-aine kuljetetaan biojalostamoon, jossa biopolttoainetta tuotetaan erilaisten valmistusprosessien avulla. Biopolttoaineen sivutuotteena syntyy myös usein käyttökelpoisia tuotteita. Prosessoinnin jälkeen valmis biopolttoaine menee jakeluun ja se voidaan sekoittaa fossiilisen polttoaineen kanssa käytettäväksi ajoneuvoissa. Kuvassa 1 esitetään esimerkki yksinkertaistetusta biopolttoaineen tuotantoketjusta.



Kuva 1. Yksinkertaistettu periaatepiirros biopolttoaineen tuotantoketjusta alkaen keräilystä tai viljelystä. Todellisessa biopolttoaineketjussa tuotantovaiheet ja niiden järjestys voivat vaihdella.

Biopolttoaineiden ilmastovaikutukset aiheutuvat edellä kuvatus tuotantoketjun eri vaiheissa syntyvistä kasvihuonekaasupäästöistä sekä mahdollisista raaka-ainetuotannon aiheuttamista muutoksista maankäytössä. Biopolttoaineiden elinkaaren aikana syntyvät kasvihuonekaasupäästöt riippuvat biopolttoaineesta, sen tuotantoon käytetystä raaka-aineesta, raaka-aineen tuotantomenetelmästä ja polttoaineen jalostusprosessista. Jos biopolttoaine valmistetaan viljeltävistä biomassoista, syntyy kasvihuonekaasupäästöjä viljelyssä käytettävien lannoitteiden ja torjunta-aineiden valmistuksesta ja käytöstä sekä työkoneiden käytöstä. Päästöjä vapautuu myös viljelymaasta. Jos taas biopolttoaine valmistetaan jätteestä tai metsätähteestä, voidaan päästöjen ajatella syntyvän vasta keräilystä alkaen. Biopolttoaineen prosessoinnin päästöistä suuri osa syntyy ulkopuolisen energian käytöstä biopolttoaineen valmistuksessa, mutta päästöjä syntyy myös prosessissa tarvittavien kemikaalien ja muiden lisäaineiden valmistuksesta ja käytöstä. Lisäksi päästöjä syntyy raaka-aineiden ja välituotteiden kuljetuksista ja varastoinnista sekä valmiiden tuotteiden jakelusta ja käytöstä. (Mäkinen et al. 2007)

Biopolttoaineiden ilmastovaikutukset jaotellaan yleensä kahteen ryhmään, suoriin ja epäsuoriin ilmastovaikutuksiin, joiden raja on kuitenkin hyvin häilyvä. Jako voidaan suorittaa esimerkiksi niin, että ”kiinteästi biopolttoaineketjuun liittyvät” vaikutukset ajatellaan suoriksi ilmastovaikutuksiksi. Näitä ovat esimerkiksi ne ilmastovaikutukset, jotka syntyvät biopolttoaineprosessissa tarvittavan energian ja aputuotteiden tuotannosta ja käytöstä, infrastruktuurin rakentamisesta, raaka-aineiden viljelystä, korjuusta tai keräilystä, kuljetuksista sekä biopolttoaineen prosessoinnista ja käytöstä. Muut biopolttoaineketjun toteuttamisen vaikutukset taas voidaan ajatella epäsuoriksi, ja niihin vaikuttavat usein erilaiset markkinamekanismit (Soimakallio et al. 2009a, s. 38). Biopolttoaineiden ilmastovaikutusarvioinneissa on keskitytty lähinnä suorien ilmastovaikutusten tutkimiseen, sillä epäsuorat vaikutukset ovat usein määrällisesti huonosti tunnettuja ja niiden epävarmuus voi olla suuri (esim. Edwards et al. 2007). Biopolttoaineiden käytölle asetetut tavoitteet voivat kuitenkin johtaa suurtuotantoon, jolloin epäsuorien ilmastovaikutusten merkitys voi olla kokonaisilmastovaikutusten kannalta ratkaiseva (JRC 2008, s.8).

2.2.2 Suorat ja epäsuorat kasvihuonekaasut

Suorien ja epäsuorien ilmastovaikutusten lisäksi voidaan puhua myös suorista ja epäsuorista kasvihuonekaasuista (Larson 2006, Soimakallio et al. 2009a, s.28). Yleisemmin biopolttoaineiden elinkaariarvioinneissa huomioitavia kasvihuonekaasupäästöjä ovat hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4) ja typpioksiduuli (N_2O), jotka myös mielletään vaikutuksiltaan merkittävimmiksi. Näitä kasvihuonekaasuja voidaan pitää ”suorina kasvihuonekaasuina”, sillä niillä on kyky absorboida maanpinnan lähettämää lämpösäteilyä ja lämmittää sitä kautta ilmakehää. Biopolttoaineiden valmistuksesta vapautuu kuitenkin myös muita päästöjä, kuten typpioksideja (NO_x), häkää (CO) ja muita orgaanisia komponentteja kuin metaania (NMVOC), jotka vaikuttavat kemiallisten reaktioiden kautta alailmakehän otsonin (O_3) muodostumiseen, joka taas vaikuttaa suoraan ilmastoon. Nämä päästöt ovat siis vaikutuksiltaan ”epäsuoria kasvihuonekaasuja”, ja niiden huomioiminen biopolttoaineiden ilmastovaikutusarvioinneissa on harvinaista. Joissain tapauksissa saattaa kuitenkin olla järkevää huomioida myös joitakin epäsuoria kasvihuonekaasuja, jos niiden vaikutusten voidaan olettaa olevan merkittäviä. Myös poltossa vapautuvilla pienhiukkaspäästöillä voi olla

sekä ilmastoa lämmittäviä että viilentäviä vaikutuksia. Pienhiukkasten aiheuttamien vaikutusten arviointi on kuitenkin hyvin epävarmaa (IPCC 2007b, s.6).

2.3 Elinkaariarviointi työvälteenä

Edellä kuvattuja biopolttoaineiden kasvihuonekaasupäästöjä arvioidaan usein elinkaariarvioinnin avulla. Elinkaariarvioinnilla (LCA, life cycle assessment) tarkoitetaan minkä tahansa tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten arviointia. Elinkaariarviointia voidaan käyttää apuna esimerkiksi tunnistettaessa tuotteiden tai palveluiden ympäristösuorituskyvyn parantamismahdollisuuksia, tarjottaessa tietoa tuottajille, päättäjille tai kuluttajille sekä valittaessa olennaisia ympäristösuorituskyvyn mittareita (ISO 14044, s.8). Elinkaariarvioita on käytetty apuna useissa biopolttoaineiden ilmasto- ja muita ympäristövaikutuksia arvioineissa selvityksissä. Myös RES-direktiivissä esitettävä laskentamenetelmä biopolttoaineiden kasvihuonekaasupäästöjen arviointiin perustuu elinkaariarviointiin. Biopolttoaineiden elinkaarta arvioitaessa voidaan biopolttoaineen elinkaari jakaa eri vaiheisiin, kuten well-to-tank -arviointi (raaka-aineen tuotannosta käyttökohteeseen toimitettuun valmiiseen biopolttoainetuotteeseen ulottuva arviointi) tai tank-to-wheel -arviointi (valmiin biopolttoainetuotteen käytön arviointi). Koko elinkaari arvioidaan well-to-wheel -arvioinnissa (raaka-aineen tuotannosta biopolttoaineen käyttöön ulottuva arviointi) (Edwards et al. 2007). Elinkaariarvioinnin yhteydessä käytetään usein myös ilmaisua kehdestä hautaan arviointi (cradle to grave) (Rebitzer et al. 2004, s.703).

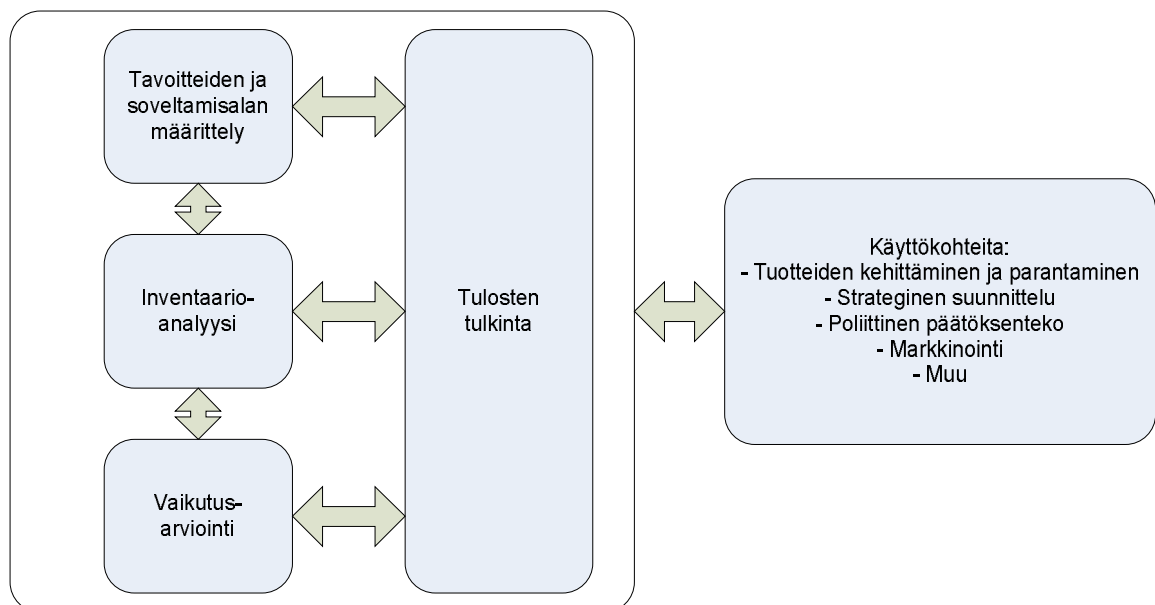
2.3.1 Elinkaariarvioinnin periaatteet

Elinkaariarvioinnin (LCA) periaatteet on standardoitu ja julkaistu kahtena eri kansainvälisenä ISO-standardina: ISO 14040 ja ISO 14044 (2006). Elinkaariarviointi on iteratiivinen prosessi, joka ottaa huomioon tuotteen tai palvelun koko elinkaaren raaka-aineiden hankinnasta energian ja materiaalin tuotannon ja valmistuksen kautta käyttöön, käytöstä poistoon ja jätteiden loppusijoitukseen.

Elinkaariarvioinnissa on neljä vaihetta:

1. tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely
2. inventaarioanalyysi (LCI)
3. vaikutusarviointi (LCIA)
4. tulosten tulkinta.

Jos vaikutusarviointivaihe jätetään pois, kutsutaan selvitystä yleensä elinkaari-inventaarioselvitykseksi (ISO 14040, s.8). Eri vaiheiden väliset suhteet ja elinkaariarvioinnin iteratiivinen luonne on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Elinkaariarvioinnin vaiheet ja käyttökohteet (ISO 14040, s.24).

Elinkaariarvioinnin tavoitteita määriteltäessä tulee kuvata selvityksen aiottu käyttötarkoitus, selvityksen tekemisen syyt sekä aiottu kohdeyleisö. Soveltamisalaa määriteltäessä sovitaan esimerkiksi tutkittava tuotejärjestelmä, toiminnallinen yksikkö, tarkasteltava järjestelmäraja, tarvittavat allokointimenettelyt, olettamukset sekä lähtötietojen laatuvaatimukset. Toiminnallisella yksiköllä tarkoitetaan tuotantojärjestelmän määrällistä suorituskykyä, jota käytetään referenssiyksikkönä esimerkiksi vertailtaessa tulosta toisen tuotantojärjestelmän kanssa (ISO 14040, s.16). Biopoltoaineiden tapauksessa toiminnallinen yksikkö on usein esimerkiksi tuotetulla biopoltoaineella valitussa kulkuneuvossa kuljettu matka, jolloin esimerkiksi

tuotejärjestelmän aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt voidaan kuvata yksikössä g CO₂-ekv./km.

Järjestelmän rajojen määrittelyllä rajataan ne yksikköprosessit, jotka otetaan mukaan elinkaariarviointiin. Järjestelmäraja tulee asettaa yhdenmukaisesti selvityksen tavoitteiden kanssa (ISO 14044, s.24). Allokointimenettelyllä taas tarkoitetaan sitä menetelmää, jolla prosessin syöte- ja tuotosvirrat jaetaan tutkittavan tuotejärjestelmän ja yhden tai useamman muun tuotejärjestelmän välillä, eli esimerkiksi miten prosessissa syntyneet päästöt ja ympäristövaikutukset kohdennetaan tarkastelun kohteena olevalle tuotteelle (päätuote) sekä sen ohessa mahdollisesti syntyville muille tuotteille (sivutuotteet) (ISO 14040, s.36). Allokointi tehdään usein tavalla, joka heijastaa syötteiden ja tuotosten välisiä fysikaalisia suhteita, kuten esimerkiksi massan tai energiasisällön avulla allokointi. Jos tällainen jako ei jostain syystä ole mahdollista, on allokointi tehtävä jonkin muun kuin fysikaalisen suhteen avulla, esimerkiksi taloudellisen arvon perusteella. Allokointia tulee kuitenkin välttää mikäli mahdollista laajentamalla tarkastelun järjestelmärajaa (ISO 14044 s.38). Tällöin huomioon otetaan esimerkiksi tuotejärjestelmässä syntyneistä sivutuotteista saadut korvaushyödyt, jolloin puhutaan korvausmenetelmästä (myös substituutiomenetelmä).

Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyä seuraa inventaarioanalyysi eli elinkaariarvioinnin vaihe, jossa kerätään tiedot järjestelmän rajojen sisään kuuluvista yksikköprosesseista. Näiden tietojen avulla lasketaan inventaarioanalyysin tulokset. Prosessin edetessä tavoitteita, soveltamisalaa ja tuloksia varmistetaan ja tarkennetaan jatkuvasti. Inventaarioanalyysin tuloksia voidaan lisäksi tarkastella mahdollisessa vaikutusarvioinnissa. Vaikutusarviointi on suhteellinen lähestymistapa, jossa inventaarioanalyysin tulokset sijoitetaan vaikutusluokkiin ja niille määritellään vaikutusluokkaindikaattorit, jolloin voidaan vertailla esimerkiksi eri ympäristövaikutuksia toisiinsa. Tuloksia tarkasteltaessa pyritään määrittämään merkittävät tekijät ja arvioidaan tulosten täydellisyyttä, herkkyyttä ja johdonmukaisuutta. Näiden arvioiden perusteella voidaan muodostaa johtopäätöksiä ja suosituksia. (ISO 14044, s.22–54)

2.3.2 Elinkaariarvioinnin filosofiat

Elinkaarimalli laaditaan kuvaamaan yhtä tai useampaa tuotejärjestelmää. Tyypillisesti malli on staattinen simulaatiomalli, jossa kuvataan tuotejärjestelmän eri yksikköprosessien väliset, järjestelmään tulevat ja siitä lähtevät virrat. Yksikköprosessien ajatellaan liittyvän toisiinsa välituotevirtojen kautta ja ympäristön kanssa vuorovaikutuksessa olevien virtojen liittyvän tiettyihin yksikköprosesseihin, jolloin syntyy lineaarinen malli. Elinkaarimallia rakennettaessa tehdyt oletukset, rajaukset ja tavoitteenmäärittelyt vaikuttavat siihen, millaisiin lopputuloksiin mallin avulla päästään. Tavoitteen määrittely voidaan tehdä kahden eri lähestymistavan kautta; joko syytarkasteluna (attributional LCA tai retrospektiivinen LCA) tai muutoslähtöisenä tarkasteluna (consequential LCA tai prospektiivinen LCA). (G. Rebitzer et al. 2004, s.705)

Syytarkastelulla tarkoitetaan perinteistä elinkaariarviota, jossa kuvataan tuotejärjestelmä sekä sen virrat ja ympäristövaikutukset. Tarkastelu on staattinen ja ympäristövaikutukset voidaan kohdentaa eri yksikköprosesseille (G. Rebitzer et al. 2004, s.705). Syytarkastelun tavoitteena on kuvata tietyn tuotantojärjestelmän aiheuttama ympäristökuorma pysyvässä tilanteessa. Tällöin syöte- ja tuotevirrat sekä päästöjen muodostuminen kuvataan tiettyä valmistettua toiminnallista yksikköä kohden (Thomassen et al. 2008, s.339). Perinteisesti biopolttoaineiden ilmastovaikutuksia on arvioitu soveltamalla syytarkasteluun perustuvaa elinkaariarviota, jossa kartoitetaan valmistuksen eri vaiheiden aiheuttamat päästöt sekä lopputuotteelle kohdennettavat kokonaispäästöt. Vertailua on suoritettu esimerkiksi fossiilisiin polttoaineisiin (esim. Mäkinen et al. 2006). Syytarkastelun avulla ei kuitenkaan voida arvioida toimintaympäristön muutosten seurauksia.

Muutoslähtöisellä tarkastelulla tarkoitetaan elinkaariarviota, jossa kartoitetaan niitä vaikutuksia tuotantojärjestelmän ympäristövaikutuksiin ja resurssitarpeeseen, joita aiheutuu muutoksesta tuotettavan toiminnallisen yksikön tasolla (G. Rebitzer et al. 2004, s.705). Muutoslähtöisessä tarkastelussa pyritään siis arvioimaan niitä seurauksia, joita aiheutuu silloin, kun esimerkiksi tuotettavan lopputuotteen määrä muuttuu. Tällöin elinkaariarviosta tulee dynaaminen, ja tavoitteena on pystyä arvioimaan niitä muutoksia

päästö- ja resurssivirroissa, joita muutos toiminnallisen yksikön tasolla aiheuttaa (Thomassen et al. 2008, s.340). Muutostarkastelun voidaan ajatella toimivan paremmin järjestelmätasolla, eli kun pyritään ymmärtämään niitä vaikutuksia, joita tiettyjen prosessien soveltamisella tai soveltamatta jättämisellä on laajempaan toimintaympäristöön. Tämä lähtökohta vastaa syytarkastelua paremmin todellista, jatkuvasti muuttuvaa tilannetta. Toisaalta muutoslähtöinen tarkastelu sisältää paljon epävarmuuksia ja oletusten tekoa, johtuen laajemmasta järjestelmärajasta (Heijungs & Guinée. 2007). Samalla ajaututaan pohtimaan hyvin monimutkaisia seurausketjuja, joita käsitellään myöhemmin tässä työssä.

Elinkaariarvioinnin tavoitetta määriteltäessä on mietittävä huolella, millainen lähestymistapa juuri kyseisessä tapauksessa olisi paras luotettavien tulosten saamiseksi. Molempia lähestymistapoja voidaan käyttää sekä historian että tulevan arviointiin. Syytarkastelun avulla voidaan esimerkiksi arvioida menneisyyteen, nykyhetkeen tai tulevaan sijoittuvan tuotantoketjun vaikutuksia. Muutostarkastelua taas voidaan käyttää tulevaisuuden arvioinnin lisäksi myös menneisyydessä tehtyjen päätösten seurausten arviointiin. (Ekvall et al. 2005) Taulukossa 1 on jäsenneily syytarkastelun ja muutostarkastelun eroavaisuuksia.

Taulukko 1. Attributional LCA:n eli syytarkastelun ja Consequential LCA:n eli muutostarkastelun eroavaisuuksia (mukaiillen Thomassen et al. 2008).

	Attributional LCA eli syytarkastelu	Consequential LCA eli muutostarkastelu
Synonyymi:	Staattinen	Muutossuuntautunut
Vastaa kysymykseen:	Taselaskelma	Muutoksen vaikutusten arviointi
Data:	Keskimääräinen, historiallinen	Marginaalinen, tulevaisuutta ennustava
Tarvittava tieto:	Fysikaaliset mekanismit	Fysikaaliset ja markkinamekanismit
Toiminnallinen yksikkö:	Edustaa staattista tilannetta	Edustaa muutosta tuotantovolyyymissa
Järjestelmäraja:	Staattinen prosessi	Muuttuva prosessi
Järjestelmän laajennus:	Vapaaehtoinen	Pakollinen
Allokaatio sivutuotteille:	Käytetään usein	Ei käytetä
Haasteet:	Allokaation toteuttaminen	Muutoksen arviointi
Epävarmuus:	Herkkä epävarmuuksille	Hyvin herkkä epävarmuuksille

2.3.3 Elinkaariarvioinnin käyttökohteet

Kuvassa 2 on esitetty esimerkkejä elinkaariarvioinnin käyttökohteista. Elinkaariarvioinnin avulla voidaan tuotantoprosesseista löytää tekijöitä, joita kehittämällä pyritään pääsemään pienempiin ympäristövaikutuksiin ja kustannuksiin tai halutaan muuten optimoida tuotantoketjua. Elinkaariarvioilla voidaan myös viestiä kuluttajille tuotteen ympäristövaikutuksista ja arvioita voidaan käyttää poliittisessa ohjauksessa (ISO 14040, s.24). Esimerkiksi RES-direktiivissä sovelletaan elinkaariarviota biopolttoaineiden kasvihuonekaasupäästöjen laskemiseen. Tässä yhteydessä RES-direktiivin menetelmä ohjaa sekä poliittisesti että toimijan (biopolttoaineen valmistajan) kannalta, asettaen tuotteille (biopolttoaineille) tietyt vaatimukset, jotka niiden tulee täyttää.

Kun elinkaariarviointia käytetään poliittiseen ohjaukseen, haasteena on elinkaariarvioinnin monimutkaisuus, sillä asioiden yksinkertaistamiseksi on aina tehtävä paljon oletuksia ja rajauksia (G. Rebitzer et al. 2004, s.717). Poliittisen ohjauksen tulisi myös huomioida kaikki kolme kestävän kehityksen ulottuvuutta, mikä on haastavaa. Esimerkiksi RES-direktiivissä poliittista ohjausta biopolttoaineiden suhteen hoidetaan elinkaariarviointiin perustuvalla laskentamenetelmällä, joka ottaa huomioon ainoastaan kasvihuonekaasupäästöt. Muille ympäristövaikutuksille ei suoriteta laskennallista elinkaariarviointia. Sen sijaan esimerkiksi maankäyttöä rajoitetaan laadullisesti ja sosiaalisista kestävyiden kriteereistä annetaan suosituksia (RES artikla 17). On kuitenkin yhtä tärkeää huolehtia muiden kuin laskennallisten ehtojen täyttymisestä, jotta voitaisiin päästä kohti todellisesti kestäviä ratkaisuja.

Toimijan ohjaus voi myös perustua elinkaariarviointiin, kuten RES-direktiivin tapauksessa kasvihuonekaasujen laskentamenetelmän osalta tapahtuu (RES liite V C-osa). Toimijoiden ohjeistuksen tulisi olla selkeää ja ymmärrettävää, eikä siinä saisi esiintyä tulkinnanvaraisia tai epäselviä kohtia. Tämä on kuitenkin käytännössä hyvin haastavaa elinkaariarvioinnin moniulotteisuuden ja laskentaan liittyvien oletusten, rajausten ja tulosten epävarmuuden takia.

Jos elinkaariarviointia sovelletaan kuluttajien ohjaukseen, on viestin oltava selkeä, luotettava ja vertailukelpoinen ja tiedon tulee olla helposti saatavilla. Usein kuluttajia ohjataan erilaisilla ympäristömerkeillä tai esimerkiksi tuotteiden ilmastovaikutuksista kertovilla merkeillä. Kuluttajat ovat myös kiinnostuneita näistä asioista ja halukkuutta tuotteiden ominaisuuksien vertailuun löytyy (Nissinen & Seppälä 2008). Kuluttajien ohjauksessa haastavaa on yksinkertaistaa monimutkaiset asiat niin, ettei lopullinen viesti johda väärin valintoihin. Voidaankin pohtia onko tarkoituksenmukaista ohjata viestinnällä ihmisiä tekemään valinta, joka ei enää olisikaan ympäristöllisesti yhtä kestävä, jos sen tekisi suuri määrä ihmisiä yhtäaikaisesti. Myös tuotteen saama ”vihreä status” voi parantaa mielikuvaa tuotteesta, jolloin kulutuksen vähentämistä ei enää nähdä niin tärkeänä tavoitteena. Jos kuluttajille esimerkiksi viestitään biopolttoaineista aiheutuvien ilmastohaittojen olevan pienempiä kuin fossiilisten polttoaineiden haitat, voivat he tämän jälkeen kokea autoilun ympäristöystävällisemmäksi. Tämä taas saattaisi lisätä autoilua ja polttoaineiden kulutusta, mikä on vastoin alkuperäistä tavoitetta, jossa fossiilisia polttoaineita ajatellaan korvattavan biopolttoaineilla yhden suhteessa yhteen.

2.4 RES-direktiivin laskentamenetelmä liikenteen biopolttoaineiden kasvihuonekaasutaseille

RES-direktiivissä määritellään kriteerejä biopolttoaineiden tuotannon kestävyuden ja ilmastovaikutusten arviointiin (Artiklat 17–19). Biopolttoaineiden ilmastovaikutuksia arvioidaan RES-direktiivin liitteessä V esitetyn laskentamenetelmän mukaisesti. Jotta biopolttoaine voidaan laskea mukaan RES-direktiivin määrittelemiін tavoitteisiin uusiutuvan energian käytöstä liikenteessä, on biopolttoaineen tuotannolla ja käytöllä saavutettava vähintään 35 %:n vähennys kasvihuonekaasupäästöissä verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin. Vuodesta 2017 alkaen on kasvihuonekaasupäästövähennyksen oltava 50 % ja vuonna 2017 tai sen jälkeen käyttöönotetuissa laitoksissa vähennyksen on oltava 60 % vuodesta 2018 eteenpäin (Artikla 17(2)). Kasvihuonekaasupäästöjen vähennykset voidaan määrittää kolmella artiklassa 19(1) määritetyllä tavalla:

- a) Jos kyseessä on biopolttoaine, jolle on RES-direktiivin liitteen V C-osassa määritelty oletusarvo, voidaan tätä oletusarvoa käyttää, jos maankäytön muutoksista aiheutuva päästö on nolla tai pienempi.
- b) Käytetään todellista arvoa, joka on laskettu liitteen V C-osassa määritellyn laskentamenetelmän mukaisesti.
- c) Käytetään soveltuvilta osin biopolttoaineprosessin eri vaiheille annettuja valmiita oletusarvoja sekä lisäksi laskettuja arvoja.

Biopolttoaineiden ja muiden bionesteiden tuotannon ja käytön avulla saavutettava kasvihuonekaasujen suhteellinen päästövähennys arvioidaan vertaamalla biopolttoaineista aiheutuvia kokonaispäästöjä fossiilisten polttoaineiden kokonaispäästöihin. RES-direktiivin liitteen V C-osassa määritellään suhteellisen päästövähennyksen laskentatavaksi

$$PÄÄSTÖVÄHENNYS = (E_F - E_B)/E_F, \quad (1)$$

missä

E_B = biopolttoaineesta tai muusta bionesteestä aiheutuvat kokonaispäästöt

E_F = fossiilisesta vertailukohdasta aiheutuvat kokonaispäästöt.

Samassa liitteessä annetaan myös laskentamenetelmä biopolttoaineiden ja muiden bionesteiden tuotannosta ja käytöstä aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen arvioimiseksi. Biopolttoaineen kokonaispäästö E ilmoitetaan grammoina hiilidioksidiekvivalenttia per MJ polttoainetta (g CO₂-ekv./MJ). Tulokset voidaan myös esittää kilometreinä megajoulea kohden (km/MJ), jos otetaan huomioon polttoaineiden erot hyötykäytössä. Kokonaispäästö E lasketaan seuraavasti:

$$E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr} - e_{ee}, \quad (2)$$

missä

E = polttoaineen käytöstä aiheutuvat kokonaispäästöt

e_{ec} = raaka-aineiden hankinnasta tai viljelystä aiheutuvat päästöt

e_l	= maankäytön muutoksista johtuvista hiilivarantojen muutoksista aiheutuvat annualisoidut päästöt
e_p	= jalostuksesta aiheutuvat päästöt
e_{td}	= kuljetuksesta ja jakelusta aiheutuvat päästöt
e_u	= käytössä olevasta polttoaineesta aiheutuvat päästöt
e_{sca}	= paremmista maatalouskäytännöistä johtuen maaperän hiilikertymästä saatava päästövähennys
e_{ccs}	=hiilidioksidin talteenotosta ja geologisesta varastoinnista aiheutuvat päästövähennykset
e_{ccr}	=hiilidioksidin talteenotosta ja korvaamisesta aiheutuvat päästövähennykset
e_{ee}	= yhteistuotannosta saatavasta ylijäämästä saatavat päästövähennykset.

Koneiden ja laitteiden valmistuksesta aiheutuvia päästöjä ei oteta laskennassa huomioon.

Laskennassa huomioitavat kasvihuonekaasupäästöt ovat CO₂, N₂O ja CH₄. Hiilidioksidiekvivalentin laskemista varten ne painotetaan IPCC:n vuonna 2001 julkaisemien GWP₁₀₀-kertoimien (Global Warming Potential) mukaisesti, jotka kuvaavat kasvihuonekaasujen lämmittävää vaikutusta 100 vuoden ajalla suhteutettuna hiilidioksidiin. Nämä kertoimet näkyvät taulukossa 2, jossa on vertailun vuoksi esitetty myös IPCC:n vuonna 1996 julkaisemat kertoimet, joita käytetään YK:n ilmastopöytäkirjan mukaisissa vuosittaisissa kansallisissa kasvihuonekaasuinventaareissa sekä YK:n ilmastopöytäkirjan alaisen Kioton pöytäkirjan seurannassa.

Taulukko 2. Kertoimet hiilidioksidiekvivalenttien laskemiseksi (RES-direktiivi, IPCC 1996).

	IPCC 2001 RES-direktiivi	IPCC 1996 UNFCCC, Kioto
CO ₂	1	1
N ₂ O	296	310
CH ₄	23	21

Kun biopolttoaineita verrataan fossiiliseen vertailukohtaan (E_F) yhtälön 1 mukaisesti, käytetään bensiinin ja dieselpolttoaineen fossiilisesta osasta peräisin olevien päästöjen viimeisimpiä käytettävissä olevia keskiarvoja niiden tietojen perusteella, jotka on toimitettu direktiivin 98/70/EY mukaisesti (direktiivi bensiinin ja dieselpolttoaineiden laadusta). Jos näitä tietoja ei ole saatavilla, käytetään arvoa 83,8 g CO₂-ekv./MJ. (RES liite V C-osa, kohta 19)

Kun biopolttoaineprosessissa syntyy biopolttoaineen lisäksi muita väli- ja sivutuotteita, jaetaan kasvihuonekaasupäästöt näiden tuotteiden välillä suhteessa niiden energiasisältöön. Energiasisältö määritellään alemman lämpöarvon perusteella, kun kyseessä ovat muut sivutuotteet kuin sähkö. Jos sivutuotteella on negatiivinen energiasisältö, sen energiasisältö katsotaan laskentaa varten nollassi (RES liite V C-osa, kohdat 17 ja 18). RES-direktiivin laskentamenetelmä perustuu siis entalpiaperusteiseen energia-allokointiin. Poikkeuksena tästä on kuitenkin tilanne, jossa biopolttoaineprosessin sivutuotteena syntyy sähköä, joka on tuotettu viljelykasvien ylijäämillä. Tällöin tuotettu ylijäämänsähkö lasketaan korvaushyödyksi, ja se voidaan laskea päästövähennyksenä biopolttoaineen kasvihuonekaasutaseeseen, eli käyttää korvausmenetelmää. (RES liite V C-osa, kohta 16)

3 JÄTE-ETANOLIN KASVIHUONEKAASUTASEEN ARVIOINTI EU:N KESTÄVYYSKRITEERISTÖN MUKAISESTI

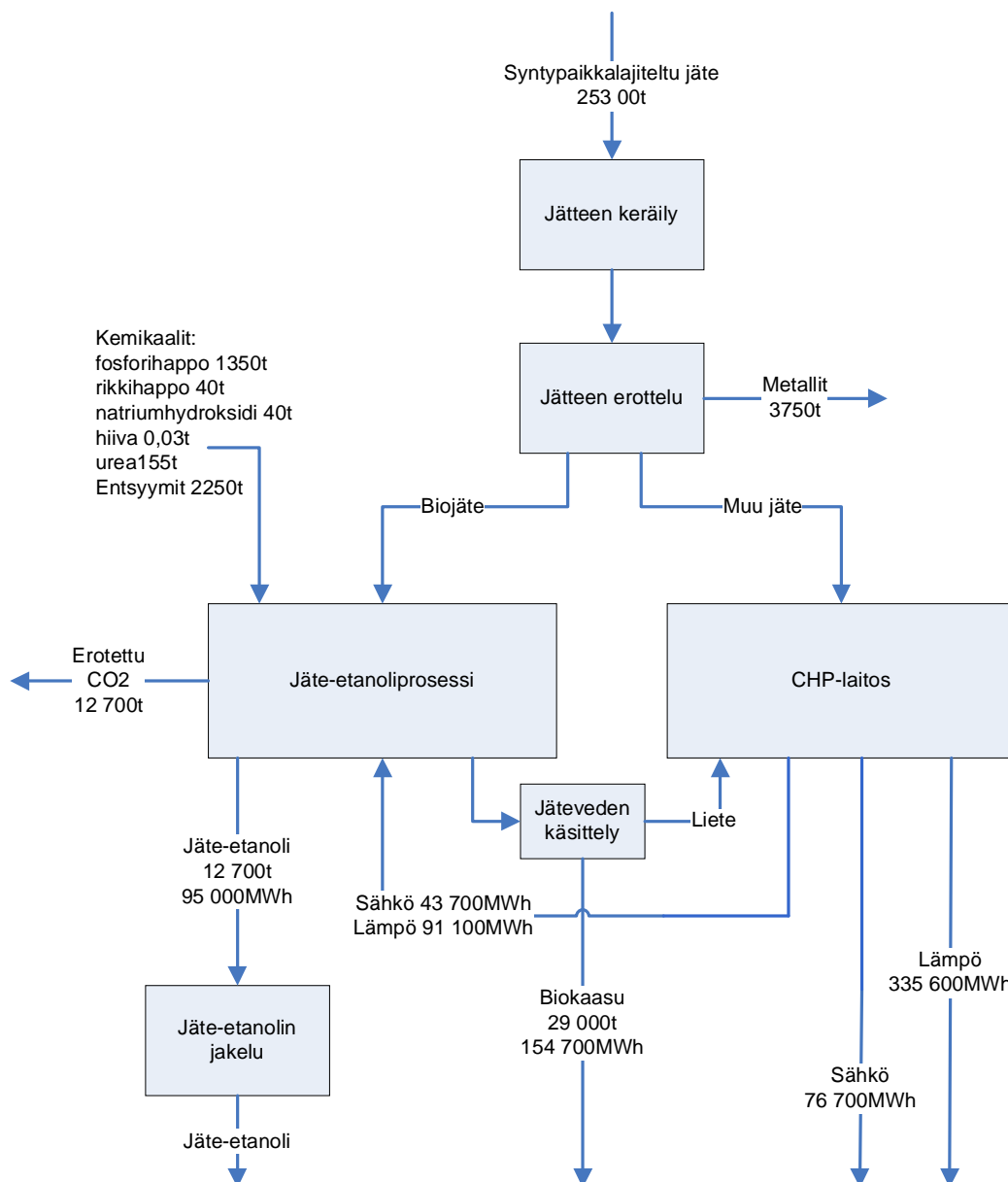
EU:n RES-direktiivissä annettu laskentamenetelmä ohjaa siis biopolttoaineiden tuottajien toimintaa määrittäen ohjeen kasvihuonekaasutaseen laskemiseksi biopolttoaineille, jotta ne voidaan hyväksyä RES-direktiivin mukaisiksi uusiutuviksi energialähteiksi. Tässä luvussa RES-direktiivin laskentamenetelmää tarkastellaan yhdyskuntien ja teollisuuden bioperäisestä jättemateriaalista valmistetun etanolin kasvihuonekaasutaseen laskennan yhteydessä. Tarkastelua varten esitellään RES-direktiivin laskentamenetelmän kannalta oleellisilta osin jäte-etanolin valmistusprosessi, jonka jälkeen laskentamenetelmää sovelletaan direktiivin ohjeistuksen mukaisesti ja kuvataan laskentaa varten tehdyt oletukset. Tavoitteena on kuvata niitä tulkintamahdollisuuksia, joita toimijalle jää direktiivin laskentamenetelmää sovellettaessa.

3.1 Jäte-etanoliprosessin kuvaus

Eräs mahdollisuus valmistaa biopolttoainetta on hyödyntää bioperäistä jättemateriaalia prosessin raaka-aineena. Tarkastellaan tässä tapausta, jossa etanolin valmistusprosessi on yhdistettynä sähköä ja lämpöä tuottavaan CHP-laitokseen (Combined Heat and Power). Etanolia valmistetaan jättemateriaalin sisältämästä lignoselluloosasta. CHP-laitoksella tuotetaan etanolin valmistusprosessissa tarvittava lämpö ja sähkö, ja lisäksi osa sähköstä ja lämmöstä myydään laitoksen ulkopuolelle. Prosessissa käytettävä sähkö voidaan myös ostaa kansallisesta sähköverkosta.

Jäte-etanoliprosessin syötteenä on materiaali, joka koostuu pääosin teollisuuden ja kaupan sekä rakennusteollisuuden jätteestä. Laitokselle tulevat jätteet lajitellaan mekaanisesti niin, että lignoselluloosaa sisältävä jäte menee etanoliprosessiin ja muu jäte polttoon CHP-laitokselle. Jättemateriaalista erotellaan myös kierrätykseen kelpaavat tuotteet kuten metallit. Etanolin valmistusprosessiin tarvitaan lisäksi joitakin kemikaaleja ja entsyymejä. Prosessin tuotoksina syntyy etanolia, biokaasua, lämpöä ja sähköä. Lisäksi etanolin prosessoinnin yhteydessä syntyy hiilidioksidia, joka erotetaan omaksi virrakseen. Prosessin sisäisenä virtana on etanoliprosessista CHP-laitokselle

johdettu liete. Etanoliprosessin syötteet ja tuotokset on kuvattu pääpiirteittäin kuvan 3 prosessikaaviossa.



Kuva 3. Jäte-etanoliprosessin tasekuva (Koponen et al. 2009).

3.2 Jäte-etanoliprosessin järjestelmärajan määrittely

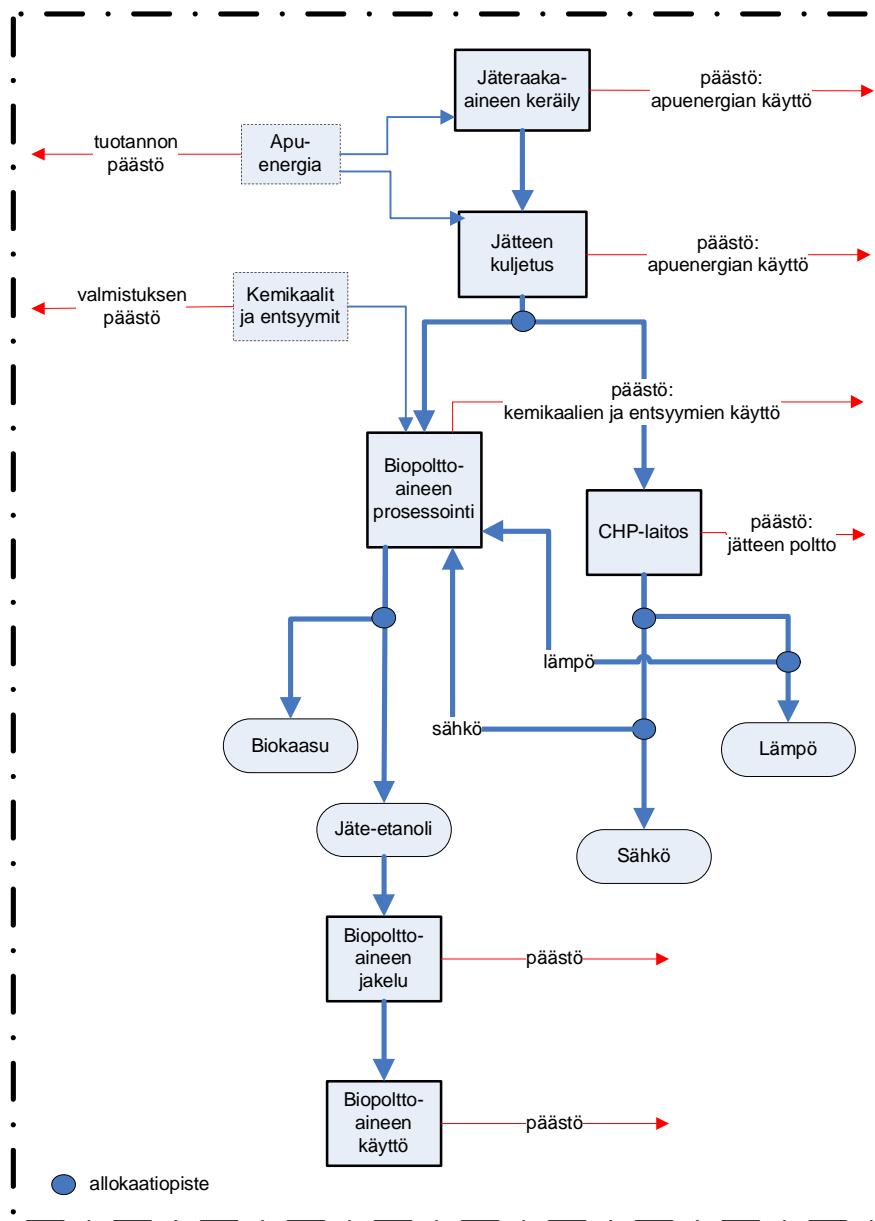
RES-direktiivin laskentamenetelmän perusteella ei voida yksiselitteisesti tulkita, tuleeko biopolttoaineen valmistusprosessia ja CHP-laitosta käsitellä yhtenä prosessina vai kahtena erillisenä prosessina. Tämä antaa mahdollisuuden tarkastella biopolttoaineen tuotannon ja CHP-laitoksen yhdistelmää erilaisilla järjestelmärajoilla. Jäte-etanolin

tapausta tarkasteltaessa on RES-direktiivin laskentamenetelmän pohjalta päädytty neljään erilaiseen tulkintavaihtoehtoon. Nämä eri tulkinnat ja niiden järjestelmärajat on kuvattu seuraavassa, ja niiden tasekuvat on esitetty liitteessä 1. Tulkinnan muuttuessa myös sivutuotteiden määrittely muuttuu järjestelmän rajojen muutoksen mukaisesti.

3.2.1 Jäte-etanoliprosessi ja CHP-laitos yhdessä

Vaihtoehdossa 1 oletetaan, että järjestelmärajan sisään kuuluvat sekä bioetanolin tuotantoprosessi että CHP-laitos. Koko etanoliprosessi ja CHP-laitos oletetaan yhtenäiseksi kokonaisuudeksi, jossa syötteenä on jättemateriaali ja tuotoksina etanoli, biokaasu, sähkö ja lämpö. Syntyneet päästöt allokoidaan kaikille tuotoksille niiden energiasisällön perusteella. Koko syötteenä oleva jätevirta, paitsi siitä erotetut kierrätysmetallit, oletetaan poltettavan prosessissa.

Vaihtoehdossa 2 järjestelmäraja asetetaan samoin kuin vaihtoehdossa 1, mutta etanoliprosessi ja CHP-laitos oletetaan olevan yhtenäisen järjestelmän kaksi erillistä osaa. Etanoliprosessissa tarvittava sähkö ja lämpö tuotetaan omalla CHP-laitoksella. Syötteen ja tuotokset ovat samoja kuin vaihtoehdossa 1, mutta jätevirta oletetaan eroteltavan etanolin tuotantoon sekä CHP-laitokselle, ja ainoastaan CHP-laitokselle menevä jäte poltetaan. Vaihtoehtoihin 1 ja 2 liittyvä RES-direktiivin mukainen järjestelmäraja on esitetty kuvassa 4.



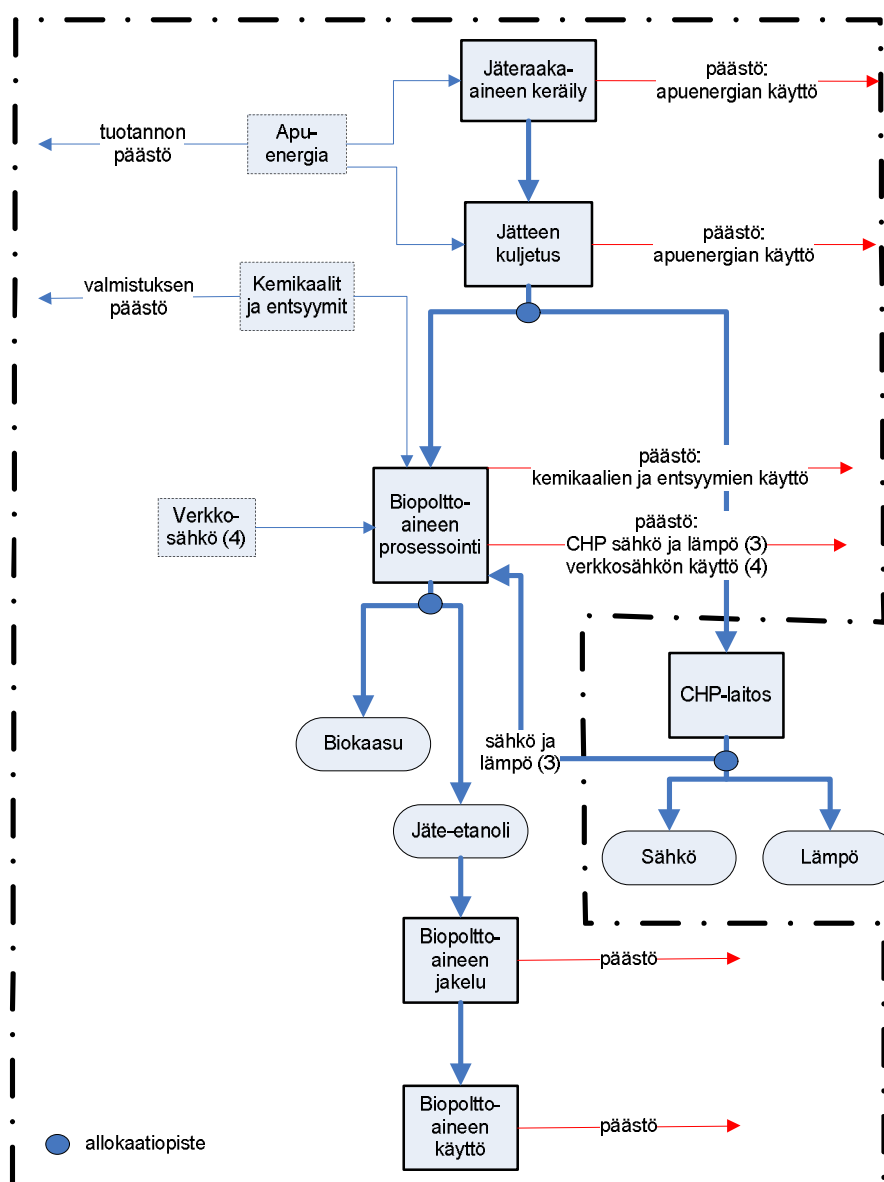
Kuva 4. RES-direktiivin laskentamenetelmän mukainen järjestelmäraja tulkintavaihtoehdoille 1 ja 2.

3.2.2 Jäte-etanoliprosessi ja CHP-laitos erillään

Vaihtoehdossa 3 järjestelmäraja asetetaan toisin kuin kahdessa ensimmäisessä vaihtoehdossa. Nyt etanoliprosessin ja CHP-laitoksen oletetaan olevan kaksi erillistä prosessia, ja päästöt lasketaan vain etanoliprosessin osalta. Syötteenä etanoliprosessiin ovat jäte, sähkö sekä lämpö ja tuotoksina etanoli ja biokaasu. Etanoliprosessissa syntyneet päästöt allokoidaan ainoastaan etanolille ja biokaasulle niiden energiasisällön suhteessa. Etanoliprosessissa tarvittava sähkö ja lämpö saadaan omalta CHP-laitokselta,

joka käyttää polttoaineena jätettä. Polton päästöt huomioidaan siis ainoastaan etanoliprosessissa tarvittavan sähkön ja lämmön osalta.

Vaihtoehto 4 vastaa muilta osin vaihtoehtoa 3, mutta nyt etanoliprosessissa tarvittava sähkö ostetaan kansallisesta sähköverkosta. Tällöin sähkölle käytetään alueen sähkön tuotannon keskimääräistä päästötasoa. Kuvassa 5. esitetään tulkintatapojen 3 ja 4 mukainen järjestelmärajaus.



Kuva 5. RES-direktiivin laskentamenetelmän mukainen järjestelmäraja tulkintavaihtoehdoille 3 ja 4.

3.3 Laskennan oletukset

3.3.1 Huomioitavat parametrit

Yhtälössä 2 esitetään RES-direktiivin menetelmä biopolttoaineiden kasvihuonekaasutaseiden laskemiseen. RES-direktiivin liitteen V C-osassa on selitetty kaikki yhtälössä esitetyt muuttujat ja määritetty järjestelmärajat, joiden sisällä näitä muuttujia tarkastellaan. Näiden määritelmien mukaisesti vain osa muuttujista tulee ottaa huomioon tässä tarkastellun jäte-etanolin kasvihuonekaasutaseen laskennassa.

Raaka-aineiden hankinnasta aiheutuvia päästöjä (e_{ec}) ei jäte-etanolin tapauksessa tarvitse huomioida, sillä RES-direktiivin liitteen V C-osan kohdan 18 mukaisesti päästöt huomioidaan vasta keräyksestä lähtien, kun biopolttoaineprosessin raaka-aineena on jäte. Jättemateriaalin synnyn ja muun aikaisemman elinkaaren päästöjä ei siis tarvitse huomioida. Koska raaka-aineen tuotantoon ei tässä tapauksessa liity viljelyä, ei myöskään maankäytön muutoksista aiheutuvia päästöjä (e_l) tarvitse huomioida. Vastaavasti ei myöskään voida saavuttaa paremmista maatalouskäytännöistä johtuvaa maaperän hiilikertymästä saatavaa päästövähennystä (e_{sca}).

Jalostuksesta aiheutuvat päästöt (e_p) sisältävät jalostuksen itsensä aiheuttamat sekä jalostuksessa käytettyjen kemikaalien ja muiden tuotteiden valmistuksen aiheuttamat päästöt (RES liite V C-osa, kohta 11). Myös prosessissa aiheutuvien jätteiden ja vuotojen aiheuttamat päästöt tulee huomioida, mutta niitä ei tässä tapauksessa esiinny. Jäte-etanolin valmistukseen käytetään kemikaaleja kuten fosforihappoa, rikkihappoa, natriumhydroksidia, hiivaa ja ureaa sekä entsyymejä, joiden valmistuksen päästöt arvioidaan. Lisäksi jäte-etanolin valmistuksessa käytetyt sähkö ja lämpö käsitellään etanoliprosessiin tarvittavina tuotteina, joten niiden päästöt sisällytetään jalostuksesta aiheutuviin päästöihin.

Kuljetuksesta ja jakelusta aiheutuvat päästöt (e_{td}) sisältävät raaka-aineiden kuljetusten ja varastoinnin sekä valmiin tuotteen jakelun ja varastoinnin päästöt (RES liite V C-osa, kohta 12). Sen sijaan käytössä olevasta polttoaineesta aiheutuvia päästöjä (e_u) ei huomioida biopolttoaineiden osalta (RES liite V C-osa, kohta 13). Hiilidioksidin

talteenottoa ja varastointia tai korvaamista ei sovelleta jäte-etanolin tapauksessa, joten myöskään niistä mahdollisesti saatavia päästövähennyksiä (e_{ccs}) ja (e_{ccr}) ei tässä huomioida.

Vaikka jäte-etanoliprosessissa tuotetaan ylimäärin sähköä, ei yhteistuotannosta syntyvästä ylijäämästä saatavia päästövähennyksiä (e_{ce}) voida tässä tapauksessa huomioida. Näin menetellään, koska RES-direktiivin liitteen V C-osan kohdassa 16 todetaan, että kun ylijäämästä tuotetaan muulla polttoaineella kuin viljelykasvien tähteillä, ei päästövähennystä huomioida.

3.3.2 Allokointi

Tässä tarkasteltavassa jäte-etanoliprosessissa syntyy etanolin lisäksi myös muita tuotteita, joten prosessissa syntyvät kasvihuonekaasupäästöt tulee allokoida tuotteiden välillä. Koska jäte-etanolin valmistuksen yhteydessä syntyvää ylijäämästä sähköä ei tuoteta viljelykasvien tähteillä, sovelletaan energia-alkokointia ilman poikkeuksia. Kaikki päästöt jotka syntyvät sen prosessivaiheen loppuun mennessä, jossa sivutuote tuotetaan, allokoidaan. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikki muut, paitsi valmiin etanolin jakelusta aiheutuvat päästöt, allokoidaan etanolin ja sen sivutuotteiden kesken niiden energiasisällön perusteella. Laskennassa oletetaan, että kaikki prosessissa syntyvät tuotteet hyödynnetään energiana.

3.3.3 Sähkön ja lämmön tuotannon päästöt

Jos biopolttoaineen valmistusprosessissa käytettävää sähköä ei valmisteta polttoaineen tuotantolaitoksella, oletetaan kasvihuonekaasupäästötason olevan yhtä suuri kuin sähkön tuotannosta ja siirrosta aiheutuva keskimääräinen päästötaso tietyllä alueella. Jos käytettävä sähkö taas tulee yksittäiseltä sähkön tuotantolaitokselta, jota ei ole kytketty verkkoon, muodostuu kasvihuonekaasupäästötaso kyseiselle laitokselle määritellyn keskimääräisen päästötason mukaisesti (RES liite V C-osa, kohta 11). Jäte-etanolin tapauksessa sähkö tulee lähtökohtaisesti omalta CHP-laitokselta, joka on kytketty sähköverkkoon. Määritellään tässä sähkön (ja lämmön) tuotannon

kasvihuonekaasupäästöt CHP-laitoksella käytettävälle polttoaineelle, eli jätteelle, arvioidun päästökertoimen perusteella. Sähkön voidaan myös olettaa olevan verkkosähköä, jolloin käytetään sähkön tuotannon keskimääräistä päästötasoa alueella (tulkintavaihtoehto 4). RES-direktiivissä ei suoraan oteta kantaa siihen, kuinka CHP-laitoksen tapauksessa tulee menetellä päästöjen allokoinnissa laitoksella tuotetun sähkön ja lämmön välillä, kun sähkö tuotetaan muuten kuin viljelykasvien tähteillä. Tulkittavissa on kuitenkin, että jäte-etanolin tapauksessa myös päästöjen allokointi CHP-laitoksella tuotetun sähkön ja lämmön välillä tehdään energiaperusteisesti.

3.3.4 Parametrien lähtöoletukset

Jäte-etanolin kasvihuonekaasutaseen laskemiseksi joudutaan lähtötietojen (tasekuva 3) lisäksi tekemään oletuksia eri päästökertoimista. Tällaisia ovat esimerkiksi prosessissa käytettävän jätepolttoaineen päästökerroin, samoin kuin kansallisesta sähköverkosta ostetun sähkön päästökerroin (tulkintavaihtoehto 4). Myös prosessissa käytettävien kemikaalien ja entsyymien valmistuksen ja käytön päästöt tulee arvioida. Lisäksi tarvitaan tietoa jätteen kuljetusten sekä valmiin etanolin jakelun aiheuttamista päästöistä. Tässä työssä näitä päästökertoimia arvioidaan kirjallisuuden ja tietokantojen avulla.

Etanolin raaka-aineena sekä sähkön ja lämmön tuotannon polttoaineena käytettävän jättemateriaalin päästökerroin riippuu jätteen koostumuksesta eli siitä, mikä osuus jättemateriaalista on fossiilista ja mikä bioperäiseksi luokiteltavaa. Päästökertoimeen vaikuttaa myös jätteen lämpöarvo, johon taas vaikuttaa muun muassa jätteen kosteus. Suomen kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa jättemateriaalille, kuten kierrätyspolttoaineelle (REF) tai kotitalousjätteelle (MSW), käytettävä päästökerroin on 31,8 g CO₂/MJ (Tilastokeskus 2008). Tämä oletusarvo on määritelty olettaen, että jättemateriaalista 76 massaprosenttia olisi bioperäistä ja loput fossiilista jätettä. Päästökerroin voidaan määrittää seuraavalla yhtälöllä (Jokinen 2004):

$$EF = \frac{x_{\text{foss}} \times Q_{\text{foss}} \times EF_{\text{foss}}}{Q_{\text{kok}}}, \quad (3)$$

missä

EF = jättemateriaalin päästökerroin,

Q = lämpöarvo ja

x = massaosuus.

Koska jäte-etanolin tapauksessa jättemateriaalin koostumusta ei tiedetä tarkasti, käytetään päästökertoimen oletusarvona Tilastokeskuksen jätteelle käyttämää päästökerrointa 31,8 g CO₂/MJ. Jätteen bioperäisen materiaalin osuus saattaa kuitenkin olla huomattavasti pienempi kuin 75 %, joten oletuspäästökerroin voi olla liian alhainen. Päästökertoimen vaikutusta tuloksiin tarkastellaan myöhemmin herkkyystarkastelussa. CHP-laitoksella poltettavan jättemateriaalin lämpöarvoksi arvioidaan 2,4 MWh/t (Sipilä 2008).

Tulkintavaihtoehdossa 4 tarvitaan arvio sähkön tuotannon keskimääräisestä päästöstä alueella. Käytetään tässä tapauksessa Suomen sähkön tuotannon keskimääräistä päästöä, joka lasketaan Tilastokeskuksen tietojen mukaisesti vuosien 2000–2006 keskiarvona. Tällöin verkkosähkön päästökertoimeksi saadaan 65,6 g CO₂/MJ (Tilastokeskus 2007).

Jättemateriaalin kuljetusten päästöjä arvioidaan VTT:n ylläpitämän LIPASTO-tietokannan avulla. Yhdensuuntaiseksi kuljetusmatkaksi arvioidaan 30 km. Tietokannassa on esitetty päästötiedot jätteenkuljetusautoille, joiden kuljetuskapasiteetiksi arvioidaan 14 tonnia jätettä ja jätteenkuljetuksen päästökseksi 5 kg CO₂/tkm (LIPASTO 2006). Kuljetuksen päästöt arvioidaan myös valmiin jäte-etanolin jakelua koskien. Jäte-etanolin jakelun päästöiksi arvioidaan EURCAR:n, CONCAWE:n ja JRC/IES:n tekemän biopolttoaineiden elinkaariarvioinnin mukaisesti 1,74 g CO₂-ekv./MJ (Edwards et al. 2007).

Jäte-etanolin valmistusprosessissa käytetään kemikaaleina fosforihappoa, rikkihappoa, natriumhydroksidia, ureaa ja hiivaa. Näiden kemikaalien valmistuksen päästöt arvioidaan EcoInvent 2.0. tietokannan avulla. Arviot eri kemikaalien tarpeesta

prosessissa ja kemikaalien valmistuksen päästökertoimet on esitetty taulukossa 3. Kemikaalien käytöstä aiheutuvat päästöt oletetaan tässä merkityksettömiksi.

Taulukko 3. Jäte-etanoliprosessissa tarvittavat kemikaalit ja niiden valmistuksen päästöt (Ecoinvent 2.0).

Kemikaali	Tarve t/a	Päästökerroin t CO ₂ -ekv./t _{kemikaalia}
Fosforihappo	1354	0,98
Urea	155	3,35
Rikkihappo	38	0,26
Natriumhydroksidi	38	0,50
Hiiva	0,03	0,49

Jäte-etanoliprosessissa tarvitaan myös entsyymejä. Entsyymien päästöt arvioidaan Tanskassa tehdyn entsyymien valmistuksen elinkaariarvioinnin mukaisesti, jonka perusteella entsyymien tuotannon päästökertoimeksi valitaan 1 t CO₂-ekv./t_{entsyymiä} (Nielsen 2007).

Laskentaa varten tehdään myös oletus, ettei jäte-etanolin valmistusprosessissa synny merkittäviä varastoinnin päästöjä varastointiaikojen oletetun lyhyiden vuoksi. RES-direktiivin mukaisesti myöskään infrastruktuurin rakentamiseen liittyviä päästöjä ei huomioida.

4 LASKENNAN TULOKSET

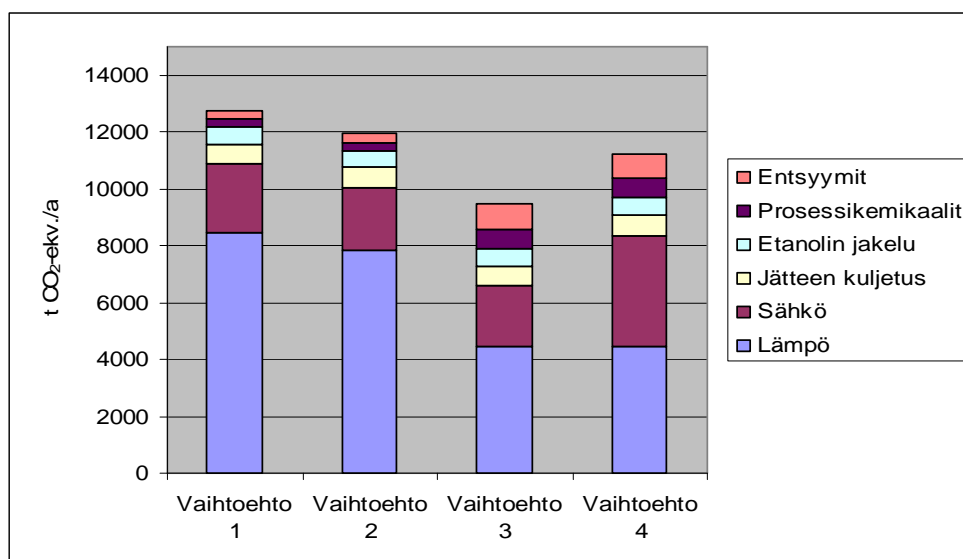
Jäte-etanoliprosessille EU:n RES-direktiivin laskentamenetelmän mukaisesti lasketut päästövähennystulokset vaihtelevat huomattavasti riippuen siitä, kuinka laskentamenetelmää tulkitaan ja miten tarkastelun rajat asetetaan. RES-direktiivin laskentamenetelmän mahdollistamilla järjestelmärajauksilla (vaihtoehdot 1–4) ja käyttämällä mittarina suhteellista päästövähennystä (yhtälö 1) saadaan jäte-etanolitapaukselle laskettua kasvihuonekaasupäästövähennykset, jotka on esitetty taulukossa 4. Päästövähennys eri tulkintatavoilla laskettuna on keskimäärin noin 60 %. Tulkintavaihtoehto 3, jossa jäte-etanolin valmistusprosessi sekä CHP-laitos käsitellään erillisinä prosesseina, antaa suurimman päästövähennystuloksen. Myös vaihtoehdon 4 toiseksi suurin päästövähennystulos saadaan samalla järjestelmärajauksella, jossa erona on ainoastaan verkkosähkön käyttö CHP-laitokselta otetun sähkön sijaan.

Taulukko 4. RES-direktiivin laskentamenetelmällä saadut päästövähennykset jäte-etanolin tapauksessa neljällä eri järjestelmärajauksella laskettuna.

Tulkintavaihtoehto	Päästövähennys [%]
Vaihtoehto 1	55
Vaihtoehto 2	58
Vaihtoehto 3	67
Vaihtoehto 4	61

4.1 Tekijöiden vaikutus tuloksiin

Jäte-etanolin tuotantoprosessin eri tekijöiden vaikutus kasvihuonekaasupäästöjen muodostumiseen on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Jäte-etanoliprosessissa muodostuvien kasvihuonekaasupäästöjen jakautuminen eri tekijöille.

Tulkintavaihtoehtoissa 1 ja 2 tarkastelun raja on asetettu niin, että jäte-etanoliprosessi ja CHP-laitos käsitellään yhtenäisenä järjestelmänä. Näistä vaihtoehdon 2 päästövähennystulos on suurempi, sillä vaihtoehdossa 1 koko jätemassan oletetaan palavan prosessissa, jolloin polton päästöt ovat suuremmat. Tulkintatapaa 1 voidaan kuitenkin pitää perusteltuna, sillä siinä jättemateriaalille määritellyn päästökertoimen, 31,8 g CO₂/MJ, käyttöä voidaan pitää oikeutetumpana kuin muissa tulkintavaihtoehtoissa. Tämä johtuu siitä, että vaihtoehdossa 1 myös etanolin valmistukseen käytettävän biojätteen ajatellaan palavan prosessissa, jolloin palavan jätteen bio-osuus on suurempi ja jätteen koostumuksen voidaan olettaa olevan lähempänä Tilastokeskuksen määrittämän päästökertoimen mukaista jätettä. Kaikissa muissa vaihtoehtoissa poltettavan jättemateriaalin bio-osuus on pienempi ja näin jätteelle määritelty päästökertoimen oletusarvo on todennäköisesti liian alhainen.

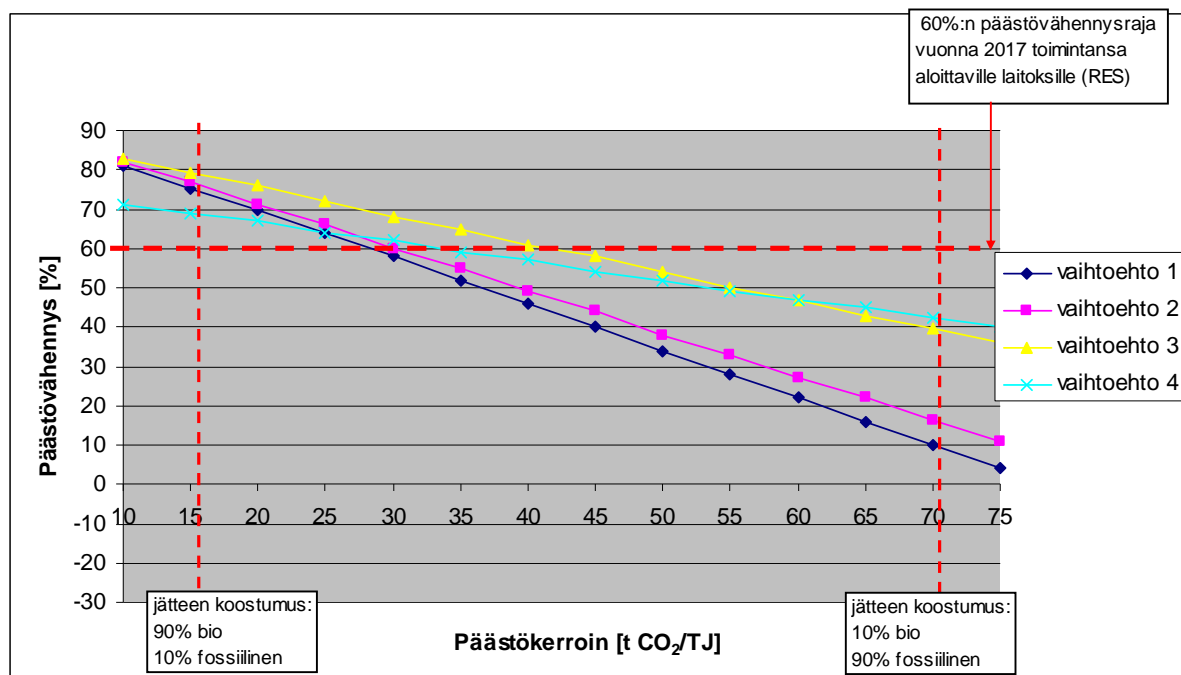
Tarkastelun rajan asetus vaikuttaa laskentaan mukaan otettaviin päästöihin mutta myös sivutuotteiden määrään ja tätä kautta päästöjen allokointiin eri tuotteille. Tarkasteltavista tulkintavaihtoehtoista tällä on merkitystä erityisesti vaihtoehtojen 3 ja 4 kohdalla. Vaihtoehtoissa 1 ja 2 päästöt allokoitetaan neljälle tuotteelle eli etanolille, biokaasulle, lämmölle ja sähkölle, kun taas vaihtoehtoissa 3 ja 4 päästöt allokoitetaan vain etanolin ja biokaasun välillä. Tämä nähdään kuvassa 6 prosessikemikaaleista ja entsyymeistä aiheutuvien päästöjen osalta. Kemikaalien ja entsyymien aiheuttamat

päästöt ovat suuremmat vaihtoehdoissa 3 ja 4 kuin vaihtoehdoissa 1 ja 2 juuri allokoinnin muuttumisen takia.

Kuten kuvasta 6 nähdään, aiheutuvat merkittävimmät päästöt jäte-etanoliprosessissa käytettävän energian tuotannosta muiden päästöjen ollessa merkitykseltään huomattavasti vähäisempiä. Tässä tehdyillä oletuksilla laskettuna energian tuotannon päästöt muodostavat tulkintavaihtoehdosta riippuen 70–85 % prosessin kokonaispäästöistä. Tämä tarkoittaa sitä, että tulosten muodostumisessa merkittävin rooli on jättemateriaalille määritellyllä päästökertoimella.

4.2 Herkkyystarkastelu

EU:n RES-direktiivin laskentamenetelmään ei suoranaisesti sisälly vaatimusta herkkyystarkastelusta, mutta suoritetaan se tässä laskennan tulosten keskeisten epävarmuuksien hahmottamiseksi. Laskettaessa jäte-etanolin päästövähennystä RES-direktiivin menetelmän mukaisesti, on merkittävin tuloksiin vaikuttava tekijä jättemateriaalin poltosta syntyvät päästöt. Tästä syystä herkkyystarkastelun kohteeksi valitaan jätepolttoaineen päästökerroin (oletusarvo 31,8 g CO₂/MJ) ja tarkastelu suoritetaan muuttamalla päästökerrointa välillä 10–75 g CO₂/MJ, mikä vastaa jätteen bio-osuuden muuttumista noin 95 %:sta nolnaan prosenttiin. Tarkastelun avulla nähdään kuinka herkkiä päästövähennystulokset ovat päästökertoimen muutokselle. Kuvassa 7 esitetään eri tulkintavaihtoehdoilla saatujen tulosten käyttäytyminen päästökertoimen muuttuessa. Poikkiviivalla kuvataan EU:n RES-direktiivissä mainittua 60 %:n päästövähennyksen rajaa, joka on voimassa vuoden 2017 jälkeen toimintansa aloittaville biopolttoaineiden valmistusprosesseille vuodesta 2018 alkaen. Pystyviivoilla taas kuvataan jättemateriaalin koostumuksen vaihtelua ja hahmotellaan sitä, kuinka paljon biomateriaalia tulisi olla poltettavan jätteen joukossa, jotta päästäisiin esimerkiksi juuri 60 %:n päästövähennystulokseen.



Kuva 7. Jättemateriaalin päästökertoimen muutoksen vaikutus RES-direktiivin laskentamenetelmän mukaisten päästövähennyslaskelmien tuloksiin jäte-etanolin tapauksessa.

Kuten kuvasta 7 nähdään, on päästökertoimen vaikutus päästövähennystuloksiin hyvin merkittävä. Kun jätteen päästökerroin kasvaa, pienenee saavutettu päästövähennys nopeasti. Tulkintavaihtoehtojen 1 ja 2 kohdalla päästövähennys pienenee nopeimmin, sillä myös CHP-laitoksen päästöt huomioidaan, toisin kuin vaihtoehtoissa 3 ja 4. Kuvasta nähdään myös, että tulkintavaihtoehtojen 3 ja 4 väliset tulokset riippuvat täysin jätepolttoaineelle määritellystä päästökertoimesta. Jos fossiilisen materiaalin osuus jätepolttoaineessa nousee suureksi, nousee jätteellä tuotetun sähkön päästökerroin korkeammaksi kuin verkkosähkön päästökerroin, jolloin päädytään päinvastaiseen tulokseen vaihtoehtojen 3 ja 4 välillä. Jos halutaan saavuttaa yli 60 %:n päästövähennystuloksia, on jätepolttoaineen bio-osuuden oltava merkittävä eli noin 65–80 %, tulkintavaihtoehdosta riippuen.

Koska jätepolttoaineen päästökertoimen merkitys tulosten kannalta on ratkaiseva ja jätepolttoaineen koostumus epäselvä, aiheutuu siitä suurin tuloksiin vaikuttava epävarmuustekijä. Muiden tekijöiden kuin prosessissa käytettävän energian osuus jätte-etanolin tuotannon päästöistä on vain noin 15–30 %, joten niiden epävarmuus tuskin muodostuu kovin merkittäväksi kokonaisvaikutusten kannalta. Tarkasteltava jätte-etanoliprosessi on kuitenkin kehitysvaiheessa, joten esimerkiksi käytettävien

kemikaalien ja entsyymien määrästä ei ole vielä varmuutta. Tässä tehdyillä oletuksilla laskettuna kemikaalien ja entsyymien päästöt ovat pieniä, joten niillä ei ole tulosten kannalta suurta merkitystä (kuva 6). Jos kemikaalien ja entsyymien käyttö ja vastaavasti päästöt kuitenkin kasvavat, myös päästöjen allokoinnin merkitys kasvaa ja sivutuotteiden määrän vaikutus tulosten kannalta voi olla merkittävämpi. Kemikaalien ja entsyymien käytön kasvaessa niiden päästöjen merkitsevyys kasvaisi siis erityisesti tulkintavaihtoehtojen 3 ja 4 tapauksessa, jossa päästöt allokoidaan vain jäte-etanolille ja biokaasulle, kun vaihtoehdoissa 1 ja 2 päästöt allokoidaan jäte-etanolin, biokaasun, sähkön ja lämmön kesken. Tällöin eri tulkintavaihtoehtojen avulla lasketut päästövähenystulokset saattaisivat muuttaa paremmuusjärjestystään.

5 EU:N KESTÄVYYSKRITEERISTÖN SOVELTUVUUDEN ARVIOINTI

Euroopan unionin RES-direktiivissä esittämää laskentamenetelmää biopolttoaineiden kasvihuonekaasuvaikutusten arviointiin ei voida pitää ongelmattomana, sillä se sisältää kohtia, joita on mahdollista tulkita usealla eri tavalla. Menetelmä myös jättää avoimia kysymyksiä eikä kerro kuinka laskenta tulisi suorittaa tietyissä tilanteissa. RES-direktiivissä esitetty laskentamenetelmä pohjautuu syytarkasteluna toteutettuun elinkaariarviointiin ja sitä voidaan pitää suppeana lähestymistapana biopolttoaineiden kasvihuonekaasuvaikutusten arviointiin. Tässä luvussa pohditaan sekä menetelmän tulkinnanvaraisuuden aiheuttamia ongelmia että sen suppeuden aiheuttamia riskejä kasvihuonekaasuvaikutusten arvioinnissa.

5.1 Tulkinnanvaraisuus

Useiden kehitteillä olevien biopolttoainekonseptien toteutus voisi olla ajankohtaista 2010-luvun loppupuolella. Tällöin niiden tulisi RES-direktiivin laskentamenetelmän mukaisesti saavuttaa 60 %:n päästövähennys korvattaessa fossiilista polttoainetta, jotta ne täyttäisivät biopolttoaineille RES-direktiivissä määritellyn kestävyyskriteerin (60 %:n tavoite vuonna 2017 tai sen jälkeen toimintansa aloittaville laitoksille vuoden 2018 alusta lähtien). Tämä raja on siis biopolttoaineen tuottajalle se kynnys, joka tuotteen tulisi saavuttaa, jotta se voitaisiin laskea mukaan RES-direktiivin määrittämiin uusiutuvan energian käyttötavoitteisiin. Kuten luvusta 3 käy ilmi, RES-direktiivin laskentamenetelmä jättää kuitenkin mahdollisuuden asettaa järjestelmäraja usealla eri tavalla laskettaessa kasvihuonekaasupäästövähennystä jäte-etanolin tapauksessa. Taulukossa 4 esitettävät päästövähennystulokset vaihtelevat huomattavasti eri tulkintatapojen välillä. Osa tuloksista saavuttaa 60 %:n tavoitteen kun taas osa tuloksista jää tämän tavoitteen alle.

Biopolttoainesektorin toimijalle RES-direktiivin laskentamenetelmän tulkinnanvaraisuus aiheuttaa ongelmia laskennassa ja epävarmuutta oman tuotteen hyväksyttävyyden suhteen. Kun laskentatapa ei ole kaikilta osin selvästi määritelty, on mahdollista, että toimija voi tulkita ohjetta niin kuin parhaaksi näkee oman tuotteensa

kannalta. Esimerkiksi jäte-etanolin tapauksessa, tässä käytetyillä oletusarvoilla laskettuna, toimijan kannattaa tulkita jäte-etanolin tuotantoprosessi ja CHP-laitos erillisiksi järjestelmiksi ja asettaa järjestelmäraja tämän mukaisesti (edellä kuvatut vaihtoehdot 3 ja 4). RES-direktiivin laskentamenetelmän tulkinnanvaraisuus aiheuttaa riskin siitä, että biopolttoaineiden päästövähennyslaskennat tehdään juuri niillä tulkintatavoilla ja rajauksilla, joilla tulos on suotuisin kyseiselle biopolttoaineelle. Toimijan kannalta suotuisimman tarkastelun mukainen laskenta ei kuitenkaan välttämättä kerro koko totuutta tuotteen ilmastovaikutuksista.

Voidaan myös pohtia sitä, miten RES-direktiivin laskentamenetelmän käyttöä voidaan käytännössä valvoa ja kuka päättää, mikä tulkintatapa on oikea kullekin biopolttoainetapaukselle. Epäselvää on, onko esimerkiksi jäte-etanolin tapauksessa tuotettu biopolttoaine EU:n kestävyyskriteerien mukaisesti hyväksyttävä vai ei kun osa kasvihuonekaasulaskennan tuloksista täyttää 60 %:n päästövähennystavoitteen ja osa ei tässä käytetyillä oletusarvoilla laskettuna. Toisaalta myös laskentaoletusten epävarmuus voi jo itsessään aiheuttaa tulosten vaihtelua useallakin prosenttiyksiköllä, kuten jäte-etanolin tapauksessa jättemateriaalin päästökertoimen herkkyytarkastelu osoittaa. Näin ollen biopolttoaineen tuottajan voi olla vaikea arvioida, täytyvätkö RES-direktiivin asettamat vaatimukset oman tuotteen kohdalla vai eivät.

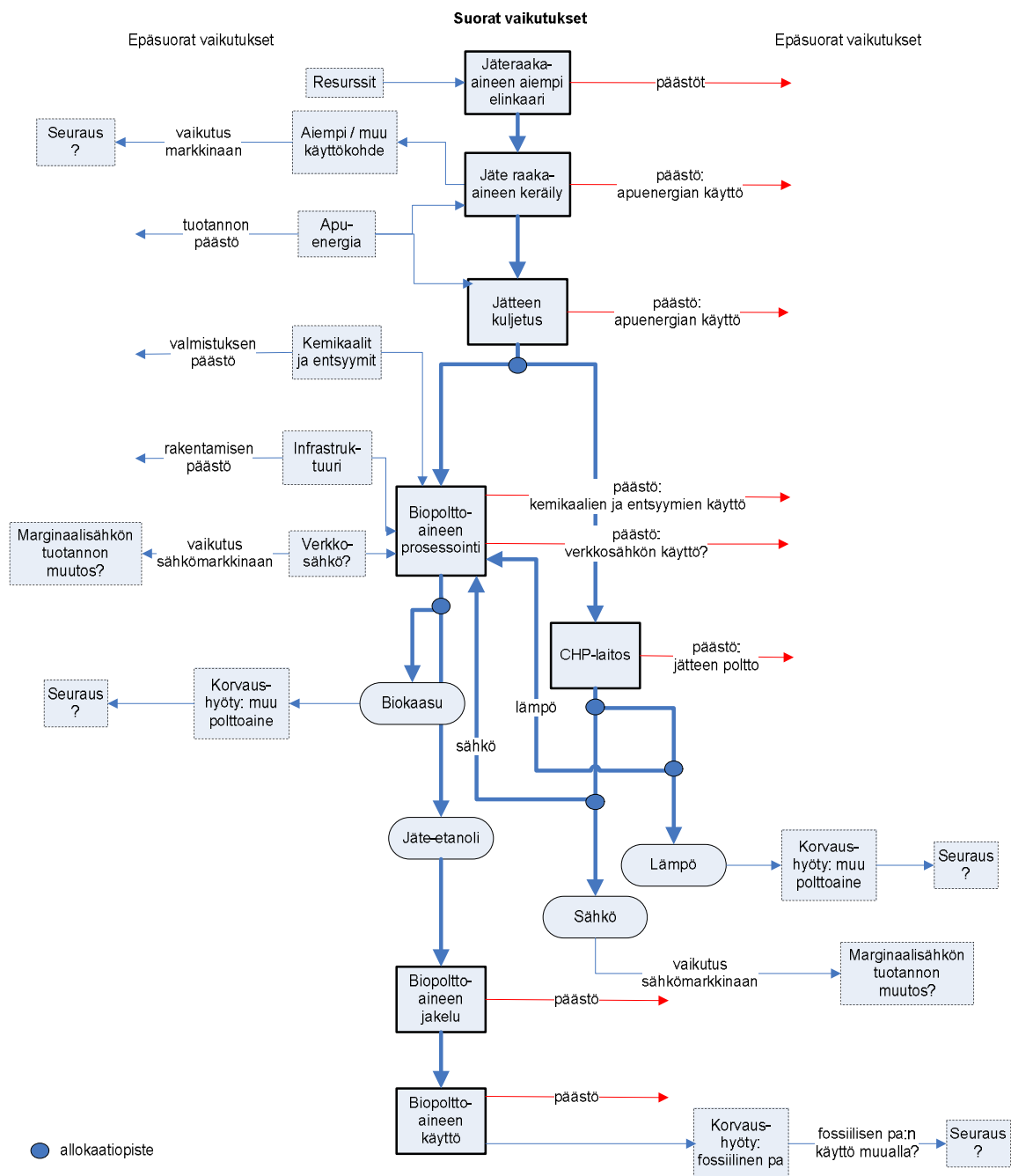
5.2 Lähestymistavan rajallisuus

Toinen RES-direktiivin laskentamenetelmän ongelmakohta on sen rajallisuus ja suppea näkökulma biopolttoaineiden ilmastovaikutusten arviointiin. Biopolttoaineketjut ovat monimutkaisia ja moniulotteisia valmistusketjuja, joiden vaikutukset voivat ulottua hyvin laajalle. Vaikka näiden vaikutusten arviointi on haastavaa ja joitakin vaikutuksia voi olla vaikea ennakoida, olisi ilmastovaikutusten arvioinnissa tärkeää yrittää ymmärtää kaikkia näitä vaikutuksia ja pyrkiä arvioimaan niitä parhaalla mahdollisella tavalla. Tämä on erityisen tärkeää kiireellisten päästövähennystavoitteiden näkökulmasta, jottei puutteellisten ja mahdollisesti virheellisten arvioiden takia ajauduta kehitysurille, jotka ennestään hankaloittavat päästövähennystavoitteiden saavuttamista. RES-direktiivin laskentamenetelmän ongelmia ovat esimerkiksi järjestelmärajan

asettaminen biopolttoaineiden tuotantoketjuille, päästöjen allokointi tuotteille, referenssijärjestelmän määrittely sekä epävarmuusarvioinnin puute. Seuraavassa käsitellään biopolttoaineketjujen monimutkaisuutta ja kasvihuonekaasutaselaskennan hankaluutta tarkastellun jäte-etanolitapauksen avulla.

5.2.1 Jäte-etanoliketjun laajempi tarkastelu

Kuvissa 4 ja 5 on esitetty RES-direktiivin laskentamenetelmän mukainen järjestelmärajan asetus jäte-etanoliprosessille eri tulkintavaihtoehtojen mukaisesti. Kun tarkastellaan laajemmin jäte-etanoliketjun ympäristöönsä aiheuttamia vaikutuksia, tulee tarkasteluun mukaan paljon uusia tekijöitä ja vaikutusmekanismeja. Tätä järjestelmän laajennusta on hahmoteltu kuvassa 8, jossa nähdään jäte-etanoliketjun aiheuttamia suoria ja epäsuoria ilmastovaikutuksia.



Kuva 8. Jäte-etanoliketjun ilmastovaikutusten laajempi tarkastelu, suorat ja epäsuorat vaikutukset.

Jätteraaka-aineeksi päätyvien tuotteiden valmistukseen käytetään raaka-aineita ja energiaa ja niiden käyttöaikana voi kulu energiaa ennen kuin niistä lopulta tulee jätettä ja tässä tapauksessa etanoliprosessin raaka-ainetta. Tälle jättemateriaalille saattaisi kuitenkin olla monia eri käyttökohteita, eikä etanolin valmistus ole ainoa jätteen hyödyntämistapa. Jäte voitaisiin mahdollisesti kierrättää uudelleen käytettäväksi

korvaamaan neitseellistä raaka-ainetta (tosin jäte-etanolin tapauksessa etanolin raaka-aineena olevaa kuitua ei voida enää hyötykäyttää). Jätteestä voitaisiin myös tuottaa sähköä ja lämpöä ilman, että samalla tuotettaisiin etanolia. Toisaalta jäte voitaisiin myös sijoittaa kaatopaikalle lain sallimissa puitteissa. Jäte-etanolijärjestelmää tarkasteltaessa olisikin tärkeää tietää, mihin jättemateriaalia käytettäisiin, jos jäte-etanoliketjua ei toteutettaisi. Näin voitaisiin paremmin arvioida kaikkia niitä vaikutuksia, joita jäte-etanoliketjun toteuttaminen aiheuttaa.

Jättemateriaalin käyttöä ohjataan jätepolitiikalla³, jonka yleisiksi tavoitteiksi on määritetty jätteiden synnyn ehkäisy, uudelleenkäytön ja materiaalikierrätyksen edistäminen, kierrätykseen soveltumattoman jätteen energiahyödyntäminen sekä haitattoman käsittelyn ja loppusijoituksen turvaaminen. Tavoitteena on, että vuonna 2016 yhdyskuntajätteistä kierrätetään materiaalina 50 % ja hyödynnetään energiana 30 %, jolloin kaatopaikoille loppusijoitettavaksi päätyisi ainoastaan 20 % yhdyskuntajätteistä (VALTSU 2008). Tällä hetkellä tavoitteita ollaan toteuttamassa ainakin energiana hyödyntämisen suhteen, kun Suomeen on suunnitteilla jopa 15 uutta jätteenpolttolaitosta (JLY 2009). Tulevaisuudessa jättemateriaalista saattaakin syntyä kilpailua eri käyttökohteiden välillä. Tätä havainnollistaa jäte-etanolin tapauksessa kuvan 8 ylin nuoli vasemmalle, jossa jäte-etanoliketjun epäsuorana vaikutuksena voidaan olettaa syntyvän muutoksia raaka-ainemarkkinaan, esimerkiksi juuri kilpailua jättemateriaalin käytöstä.

Jos edellä kuvatun kilpailun seurauksena jättemateriaalin käyttö etanolin tuotannossa sähkön ja lämmön tuotannon sijaan aiheuttaisi polttoainepulaa sähkön ja lämmön tuotannossa, jouduttaisiin jättepolttoaine korvaamaan jollakin muulla polttoaineella. Tästä saattaisi seurata monia epäsuoria vaikutuksia, jotka voisivat olla hyvinkin arvaamattomia. Jos korvaava polttoaine olisi esimerkiksi turvetta, aiheutuisi jäte-etanoliketjusta epäsuoria päästövaikutuksia turvemaan käyttöönoton ja muokkauksen sekä erityisesti turpeen polton seurauksena (Kirkinen et al. 2007). Nämä epäsuorat

³ Jätteen hyötykäyttöä ja käsittelyä ohjaa jätelainsäädäntö, joka on tiukentunut 1993 voimaan tulleeseen jätelain (JL 1072/1993) sekä EY:n kaatopaikkadirektiivin (1999/31/EY) myötä. Direktiivin mukaan biohajoavan yhdyskuntajätteen sijoittamista tulee vähentää asteittain, ja vuonna 2016 kaatopaikoille saa sijoittaa enintään 35 % vuonna 1994 syntyneestä yhdyskuntajätteen määrästä. Huhtikuussa 2008 Valtioneuvosto hyväksyi Suomen jätehuoltosuunnitelman vuoteen 2016 asti, jossa pyritään vastaamaan näihin tiukentuneisiin tavoitteisiin (VALTSU 2008).

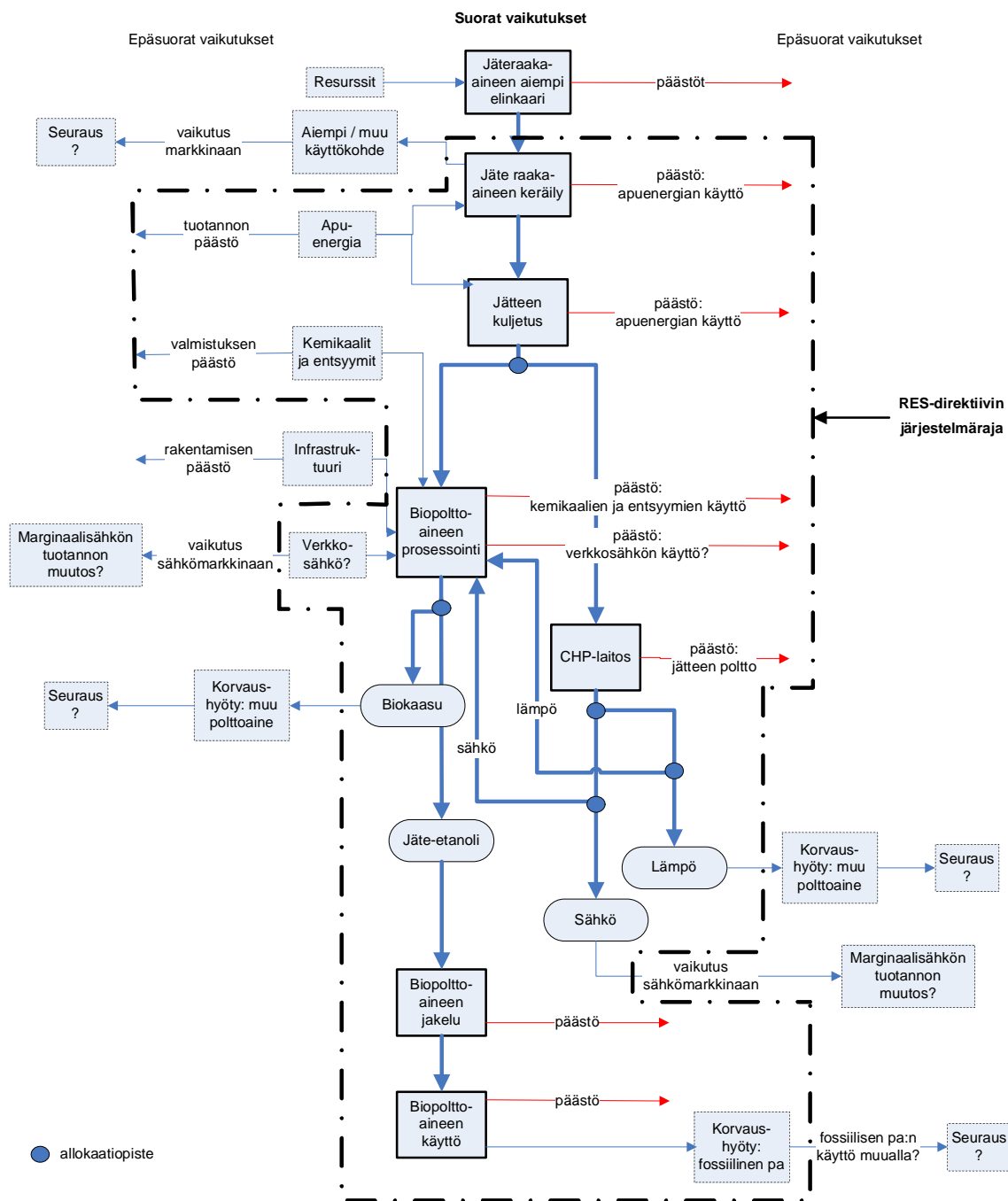
päästövaikutukset saattaisivat olla hyvin merkitseviä biopolttoaineketjun kokonaiskasvihuonekaasutaseen kannalta.

Vaikutuksia vallitsevaan raaka-aine- tai hyödykemarkkinaan voi jäte-etanolin tapauksessa olla myös sivutuotteena syntyvällä biokaasulla, jolla voidaan korvata muita polttoaineita, tai ylimäärälämmöllä, jolla voidaan korvata muilla polttoaineilla tuotettua lämpöä. Samoin jos jäte-etanoliprosessi ostaa sähköä verkosta (tulkintavaihtoehto 4) tai prosessissa syntyvää sähköä myydään verkkoon (vaihtoehdot 1 ja 2), vaikutus kohdistuu suoraan sähkömarkkinaan, eli Suomen tapauksessa lähinnä pohjoismaiseen sähköpörssiin. Tällöin päästövaikutusten arviointi on hyvin haastavaa markkinamekanismien monimutkaisuuden sekä useiden erilaisten markkinoilla olevien tuotantomuotojen vuoksi.

Jäte-etanoliketjun, kuten minkä tahansa uuden tuotantoketjun, toteuttaminen aiheuttaa myös paljon ympäristö- ja ilmastovaikutuksia alueellisesti. Päästövaikutuksia syntyy uuden infrastruktuurin rakentamisesta ja mahdollisista uusista liikennejärjestelyistä ja työvoiman uudenaikaisesta liikkumisesta. Jäte-etanolin tapauksessa näitä vaikutuksia saattaisi syntyä esimerkiksi muuttuvista jätteen kuljetuksista. Tällaiset vaikutukset eivät aina ole ennalta arvioitavissa ja ne saatetaan huomata vasta jälkepäin, kun biopolttoaineketju on jo toteutettu.

5.2.2 Järjestelmärajan määrittely

Järjestelmän rajalla määritellään, mitkä yksikköprosessit, syötteet ja tuotokset otetaan huomioon elinkaariarvioinnissa (ISO 14044 s.24). Järjestelmärajan asettaminen on kuitenkin hyvin vaativa prosessi, sillä periaatteellisella tasolla kaikki prosessiin vaikuttavat tekijät ja prosessin käyttöönoton seuraukset tulisi ottaa arvioinnissa huomioon. Kuitenkin tiedon saatavuus, luotettavuus ja epävarmuus tekevät järjestelmärajan laajentamisen haastavaksi. Tätä voidaan havainnollistaa esimerkiksi vertaamalla RES-direktiivin laskentamenetelmän asettamaa järjestelmärajaa edellä esitettyyn jäte-etanoliketjuun ja sen laajalle ulottuviin vaikutuksiin (kuva 9).



Kuva 9. Jäte-etanoliketjun ilmastovaikutusten laajempi tarkastelu ja RES-direktiivin laskentamenetelmän mukainen järjestelmäraja. Osa vaikutuksista jää tarkastelun ulkopuolelle.

Kuvasta 9 nähdään, kuinka suuri osa jäte-etanoliketjun aiheuttamista epäsuorista ilmastovaikutuksista jää RES-direktiivin laskentamenetelmän mukaisessa arvioinnissa tarkastelun ulkopuolelle. Mukaan luetaan vain suoraan prosessista aiheutuvat päästöt ja prosessissa käytettävien hyödykkeiden tuotannon päästöt. RES-direktiivi rajaa

tarkastelun ulkopuolelle myös etanoliprosessia varten tarvittavan infrastruktuurin ja rakennusten valmistuksen päästöt, mikä on yleistä elinkaariarvioinnissa. Myös jäteraaka-aineen aiempi elinkaari rajataan pois tarkastelusta.

Jos järjestelmäraja asetetaan hyvin laajaksi, vaatii elinkaariarvioinnin tekeminen paljon resursseja, ja tulosten päivittäminen lähtötietojen muuttuessa on haastavaa. Laaja järjestelmäraja merkitsee myös hyvin epävarmojen vaikutusten, kuten sivutuotevirtojen markkinamekanismien myötä aiheuttamien päästövaikutusten, arviointia. Näiden vaikutusten hahmottaminen on hyvin haastavaa ja voi johtaa epävarmojen lopputulosten esittämiseen. Suppeamman järjestelmärajan myötä tarkastelu on helpommin toteutettavissa, paremmin hallinnassa ja epävarmojen oletusten määrä voi olla pienempi. Toisaalta jos järjestelmäraja määritellään liian kapeaksi, saattaa tarkastelun ulkopuolelle jäädä merkittäviä vaikutuksia ja arvioinnin tulokset voivat johtaa väärin johtopäätöksiin.

Viimeaikoina on usein nostettu esiin huoli biopolttoaineiden tuotannon aiheuttamista epäsuorista vaikutuksista, kuten epäsuorista maankäytön päästöistä (esim. Gallagher 2008, JRC 2008). Esimerkiksi peltobiomassapohjaisten biopolttoaineiden kohdalla epäsuorien maankäytön muutosten vaikutukset voivat olla merkittäviä, jos biopolttoaineille asetetut poliittiset tavoitteet johtavat niiden suurtuotantoon (JRC 2008). Tällöin koko muun biopolttoaineketjun mahdollisesti positiiviset ilmastovaikutukset saattavat kumoutua jonkin epäsuoran ja merkittäviä päästöjä aiheuttavan mekanismin takia. Tästä pahimpana esimerkkinä ovat palmuöljystä valmistettavat biopolttoaineet, joiden valmistuksen epäsuorina vaikutuksina saatetaan kuivata suuria alueita trooppista suota tai hävittää suuria alueita sademetsää uusien plantaasien tieltä (Soimakallio et al. 2009a, s.92). Tällöin suppean järjestelmärajan asettaminen voi jättää tarkastelun ulkopuolelle merkittävimmän ilmastovaikutuksen eli palmuöljyn tapauksessa suopohjan ja sademetsien tuhoutumisen. Vastaavantyyppinen epäsuora vaikutus jäte-etanolin tapauksessa voi olla edellä kuvattu korvaavan raaka-aineen käyttöönotto muissa tuotantoprosesseissa jättemateriaalista käytävän kilpailun seurauksena.

Järjestelmäraja asetettaessa tulisi huomioida myös dynamiikka päästöjen ja ilmastovaikutusten ajallisen esiintymisen suhteen. Perinteisesti elinkaaritarkastelun lähtökohdaksi on ollut, että tarkasteltava ketju toteutuu tietyssä ajankohdassa (syytarkastelu, attributional LCA). Tämä ei kuitenkaan vastaa todellisuutta, sillä biopolttoaineketjun toteuttamisen vaikutukset eivät näy ainoastaan yhtenä ajankohdaksi, vaan jakautuvat useiden vuosien ajalle. Ainoastaan osa päästövaikutuksista ilmenee heti biopolttoainetta valmistettaessa tai käytettäessä, kun taas jotkin vaikutukset ilmenevät vasta pidemmän ajan kuluessa. Esimerkiksi raaka-aineena käytetyn biomassan poltossa vapautuvan hiilidioksidin varastoituminen takaisin ilmakehästä voi viedä kymmeniä tai jopa satoja vuosia raaka-aineesta riippuen. Myös joidenkin vapautuvien kasvihuonekaasujen elinikä on pitkä. Tämä vuoksi biopolttoaineiden ilmastovaikutusarvioinneissa asetetun järjestelmärajan tulisi olla dynaaminen ja ottaa huomioon biopolttoaineketjun seurauksena ilmenevien vaikutusten kesto ja ilmenemisaika. Biomassan uusiutumisaikojen huomioiminen olisi tärkeää, sillä jos uusiutumisaika ylittää ilmastomuutoksen hillinnän tavoiteajan, ei raaka-ainetta saisi pitää hiilineutraalina. (Soimakallio et al. 2009a, s. 34, 49)

Vaikka järjestelmärajan asettaminen onkin haastavaa, on se kuitenkin aina pakollista, jotta elinkaari- tai ilmastovaikutusarvio voidaan ylipäänsä toteuttaa. Tarkastelun ulkopuolelle jää aina joitakin vaikutuksia, eikä täydellisen elinkaari- tai ilmastovaikutusarvioinnin tekeminen ole mahdollista. RES-direktiivin tapauksessa järjestelmäraja on pyritty asettamaan niin, että biopolttoaineiden ilmastovaikutusten arviointi olisi mahdollista biopolttoainesektorin toimijoille, eikä aiheuttaisi liian laajoja ja hankalia selvityksiä. Jonkun täytyy myös pystyä kontrolloimaan RES-direktiivin laskentamenetelmän avulla tehtyjen selvitysten tuloksia ja niissä käytettyjä lähtötietoja ja oletuksia. Toisaalta voidaan pohtia sitä, toimiiko RES-direktiivin kaltainen suppea arviointi siinä tarkoituksessa mihin se on luotu, eli biopolttoaineiden ilmastovaikutusten arvioijana. Epäselväksi jää, voidaanko RES-direktiivin menetelmän mukaisella suppealla tarkastelulla arvioida biopolttoaineketjujen ilmastovaikutuksia riittävän luotettavasti, kun tarkastelun ulkopuolelle jää monia tekijöitä.

5.2.3 Allokointimenettely

Kuten kuvasta 9 nähdään, RES-direktiivin laskentamenetelmä rajaa jäte-etanoliprosessin sivutuotteiden myöhemmät käyttövaiheet pois tarkastelusta. Tällöin siis RES-direktiivin mukainen tarkastelu ei ota kantaa siihen, mitä korvaushyötyjä prosessissa syntyvien sivutuotteiden avulla voitaisiin saavuttaa, ja prosessipäästöjen jakamisessa syntyvien tuotteiden kesken päädytään allokaatiomenettelyyn. Allokointi voidaan tehdä fysikaalisten suhteiden, kuten esimerkiksi massan tai energiasisällön avulla. Jos tällainen jako ei jostain syystä ole mahdollista, tehdään allokointi jonkin muun kuin fysikaalisen suhteen avulla, esimerkiksi taloudellisen arvon perusteella (ISO 14044 s.38). RES-direktiivin laskentamenetelmässä allokaatiomenetelmänä käytetään energia-allokaatiota. Useissa tutkimuksissa on kuitenkin osoitettu, että allokaatiomenetelmän valinnalla on suorat vaikutukset elinkaariarvioinnin tuloksiin (esim. Soimakallio et al. 2009a, Wang 2005).

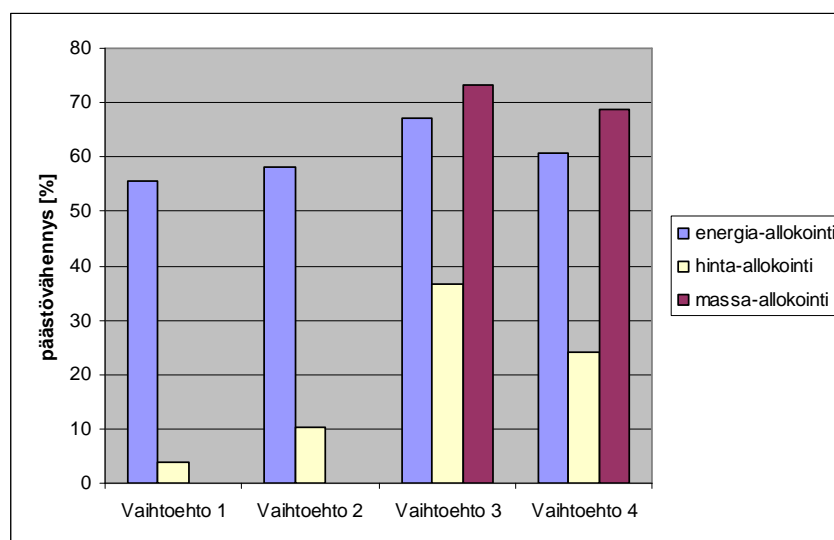
Arvioidaan eri allokointimenetelmien vaikutusta päästövähennystuloksiin tässä tarkastellun jäte-etanolin tapauksessa. Verrataan RES-direktiivin määräämällä energia-allokaatiolla saatuja päästövähennystuloksia muilla allokaatiomenetelmillä saatuihin tuloksiin. Valitaan tässä toteutettaviksi variaatioiksi hinta-allokaatio sekä massa-allokaatio, joista hinta-allokaatiota voidaan soveltaa kaikille tulkintavaihtoehdoille, sillä kaikille jäte-etanoliprosessin tuotteille voidaan määritellä hinta-arvio. Käytetään hintojen arviointiin tilastokeskuksen tilastoimia tuotteiden kuluttajahintoja vuodelta 2008. Oletetaan, että jäte-etanolin hinta vastaisi moottoribensiinin hintaa ja biokaasun hinta maakaasun hintaa. Lämmön hinta taas vastaisi kaukolämmön kuluttajahintaa ja sähkön hinta keskimääräistä sähkön kuluttajahintaa. Oletusarvot hinnoille on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Oletusarvot jäte-etanoliprosessin tuotteiden hinnoille (Tilastokeskus 2009).

Tuote	Hinta [€/MWh]
Biokaasu	31
Jäte-etanoli	157
Lämpö	51
Sähkö	131

Massa-allokaatio on mahdollista laatia jäte-etanolitapauksen tulkintavaihtoehdoille 3 ja 4, sillä niissä syntyvät jäte-etanoli ja sivutuote biokaasu voidaan määrittää myös massana (jäte-etanolia 12 670t ja biokaasua 29 000t). Muille tulkintavaihtoehdoille tämä allokointi ei sovellu, sillä niissä sivutuotteina syntyy myös sähköä ja lämpöä.

Kuvasta 10 nähdään, että jäte-etanolin päästövähennystulokset muuttuvat huomattavasti allokointimenetelmän muuttuessa. Erityisesti hinta-allokaatio pienentää päästövähennystuloksia merkittävästi. Tämä johtuu siitä, että jäte-etanoli on tuotteena arvokkaampi kuin sähkö, lämpö tai biokaasu, jolloin sille allokoidaan merkittävin osuus päästöistä. Hinta-alkoinnin tulokset ovat kuitenkin täysin riippuvaisia tuotteiden hinnan kehityksestä.



Kuva 10. Energia-, hinta- ja massa-alkoinnin soveltaminen jäte-etanolitapauksen eri tulkintavaihtoehdoille. Massa-alkointi voidaan toteuttaa vain vaihtoehdoille 3 ja 4.

Kuten edellä voidaan havaita, allokointimenetelmän valintaa vaikeuttaa se, että kaikkia sivutuotteita voi olla vaikea mitata samoin mittarein. Jäte-etanolin tapauksessa allokaatio on mahdollista tehdä energiaperusteisesti RES-direktiivin laskentamenetelmän mukaisesti, sillä kaikki tuotteet ovat käytettävissä energiana. Energia-alkoinnin suhteen ongelmia aiheutuisi tapauksessa, jossa jokin sivutuotteista käytettäisiin muuna kuin energiana, kuten esimerkiksi peltobiomassoista valmistettujen biopolttoaineiden kohdalla usein tapahtuu. Kun biopolttoaineprosessin sivutuotteena syntyy esimerkiksi rehua korvaavaa rankkia, nousee tämä ongelma esiin. Tällöin RES-direktiivin laskentamenetelmän mukaisesti päästöt joudutaan allokimaan sivutuotteelle

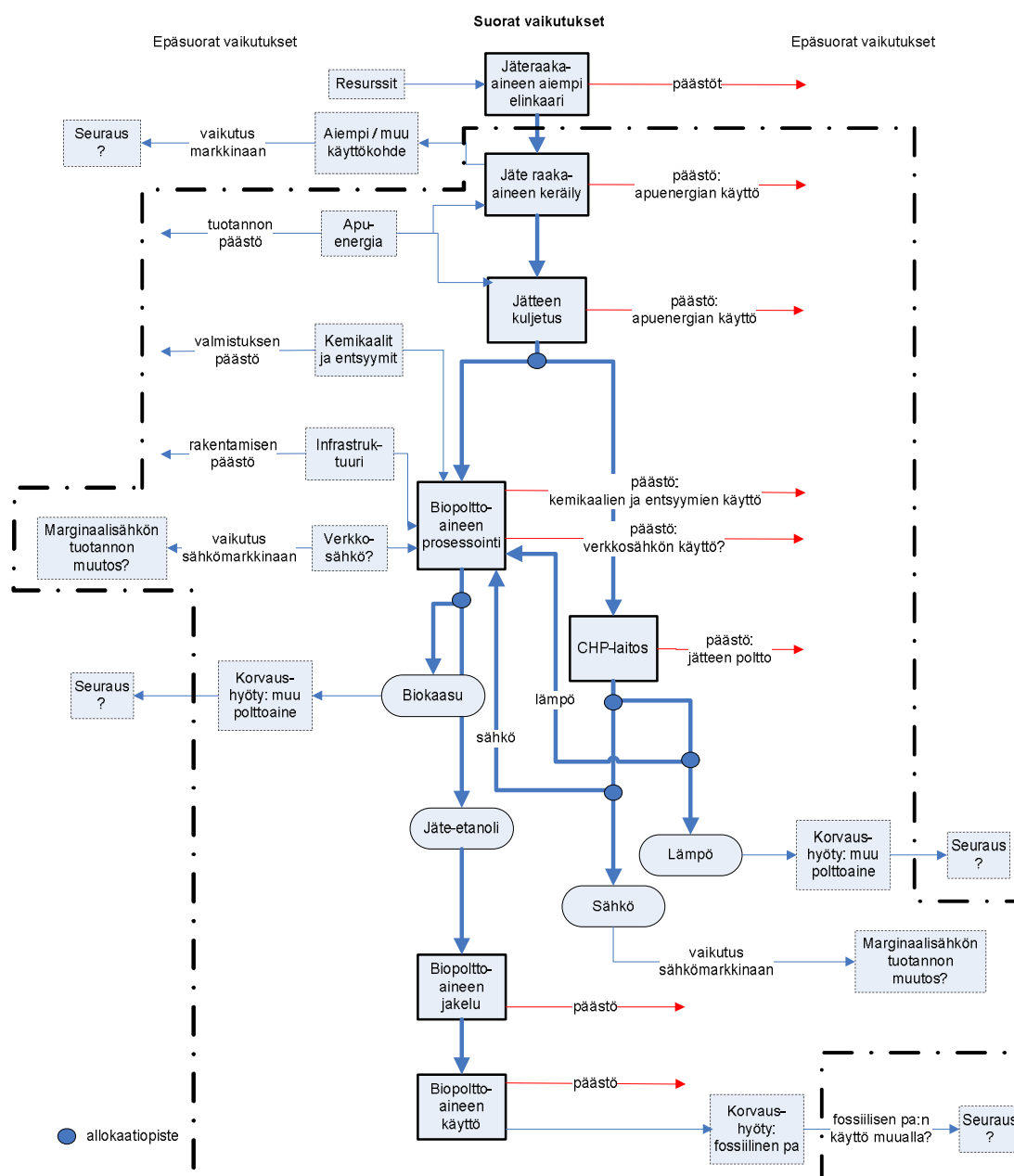
sen energiasisällön mukaan, vaikka tosiasiasa rankki kulutettaisiin eläinten ravintona. Toisaalta esimerkiksi massaperusteinen allokointi ei olisi mahdollista, sillä usein sivutuotteena syntyy myös lämpöä tai sähköä (kuten jäte-etanolin tapauksessa), joille massa-allokaatio ei luonnollisesti sovellu. Jos taas päädytään allokoimaan taloudellisen arvon perusteella, riippuvat tulokset tuotteiden hinnan muutoksista. Näiden ongelmien vuoksi allokaatiomenettelyn suurimpana ongelmana voidaankin pitää allokointitekijöiden määrittelyä (Heijungs & Guinée. 2007, s.1002).

Allokoinnin yleisten ongelmien lisäksi RES-direktiivin laskentamenetelmä sisältää laskentaohjeita, jotka ovat ristiriidassa elinkaariarvioinnin standardoitujen periaatteiden kanssa. RES-direktiivi kehottaa allokoimaan tuotantoprosessin päästöt päätuotteen ja kaikkien sivutuotteiden kesken niiden energiasisällön perusteella riippumatta siitä, mitä sivutuotteille tapahtuu, eli käytetäänkö ne hyödyksi vai ei. Jos sivutuotteille ei todellisuudessa ole hyötykäyttöä, ne tulisi luokitella jätevirroiksi eikä niille saisi allokoida prosessiketjussa syntyneitä päästöjä (ISO 14044 s.38). Jätevirralle allokointia voi jäte-etanolin tapauksessa esiintyä esimerkiksi silloin, kun sivutuotteena syntyvälle lämmölle ei jossain tilanteessa löydykään käyttökohdetta. Jos lämpö käytetään normaalisti kaukolämpönä, voi lämmön tarve esimerkiksi kesäisin olla alhaisempi, jolloin lämpö joudutaan lauhduttamaan ilman hyötykäyttöä. Tällöin päästöjä allokoidaisiin siis jätevirralle, jolloin varsinainen tuote hyötyy ansiottomasti. Allokoinnin vaikeuden takia ja todenmukaisemman tarkastelun saavuttamiseksi ISO 14044- standardi kehottaakin välttämään allokointia ja laajentamaan järjestelmärajaa aina kun se on mahdollista.

RES-direktiivin laskentamenetelmän kohdalla allokointimenettelyä voidaan kuitenkin pitää yksinkertaisempaan toimintatapana kuin biopolttoaineketjujen tarkastelua laajennetulla järjestelmärajalla. Järjestelmärajan laajentaminen poistaa allokoinnin ongelman, mutta samalla oletusten määrä ja epävarmuus kasvaa. Kuten edellä nähtiin, liittyy allokaatiomenettelyynkin kuitenkin paljon ongelmia ja epävarmuuksia, joten RES-direktiivin laskentamenetelmällä saatuja tuloksia tulisi tarkastella kriittisesti.

5.2.4 Korvaushyötyjen arviointi

Jos jäte-etanoliprosessin tarkastelun järjestelmäraja laajennetaan, tulee mukaan tarkasteluun myös sivutuotteiden hyödyntämismahdollisuuksien arviointi. Kuvassa 11 on jäte-etanoliprosessin järjestelmäraja asetettu niin, että myös sivutuotteiden korvaushyödyt huomioidaan. Silti hankalimmin arvioitavat epäsuorat vaikutukset jäävät tarkastelun ulkopuolelle.



Kuva 11. Jäte-etanolintapauksen tarkastelu laajennetulla järjestelmärajalalla, jolloin korvaushyödyt otetaan mukaan arviointiin.

Jäte-etanolin tapauksessa korvaushyötyjä voitaisiin siis saada sivutuotteena syntyvien lämmön ja sähkön korvauksessa muita energiantuotantomuotoja, sekä biokaasun korvauksessa muuta polttoainetta. Kuten aiemmin on käynyt ilmi, RES-direktiivin laskentamenetelmä ei kuitenkaan salli näiden korvaushyötyjen huomioimista. Voidaan kuitenkin hahmotella sitä, millaisia korvaushyötyjä jäte-etanolin sivutuotteilla voitaisiin saavuttaa ja minkälaiseksi kasvihuonekaasutase muodostuisi, jos nämä korvaushyödyt otettaisiin huomioon laskennassa. Arvioinnin suorittamiseksi tehdään joukko oletuksia siitä, mitä jäte-etanoliprosessin sivutuotteet voisivat korvata ja millaiset maksimi- ja minimihyödyt näillä korvauksilla saavutettaisiin. Nämä oletukset on esitetty taulukossa 6.

Jäte-etanolin sivutuotteena syntyvän lämmön voidaan olettaa korvaavan minimitalouksessa biomassalla kuten puulla tuotettua lämpöä ja maksimitalouksessa turpeella tuotettua lämpöä. Sivutuotesähköllä taas voidaan ajatella korvattavan marginaalisähköä, jonka päästöille arvioidaan ala- ja yläraja (Soimakallio et al. 2009b). Biokaasulla korvattaisiin todennäköisesti maakaasua. Korvattava energiamäärä on siis se energiamäärä, joka sivutuotetta syntyy jäte-etanoliprosessissa. Lisäksi voitaisiin vielä korvata neitseellistä metallia jäte-etanoliprosessin alussa erotettavalla kierrätysmetallilla.

Taulukko 6. Korvausmenetelmän soveltaminen jäte-etanolin tapauksessa. Korvaavat ja korvattavat tuotteet ja saatavat korvaushyödyt. (päästökertoimet: Tilastokeskus 2008, Soimakallio et al. 2009, Tuhkanen et al.).

Jäte-etanolin sivutuote	Korvattava tuote		Korvattavan tuotteen päästökerroin		Korvattava energiamäärä	Saatu korvaushyöty	
	Minimipäästö	Maksimipäästö	min t CO ₂ /TJ	max t CO ₂ /TJ	TJ	min t CO ₂	max t CO ₂
Lämpö	Puu*	Turpe**	0,0	132,4	1 208	0	159 910
Sähkö	Marginaalisähkö min	Marginaalisähkö max	83,3	250	276	23 010	69 058
Biokaasu	Maakaasu	Maakaasu	55,04	55,04	557	30 646	30 646
Kierrätysmetalli	Neitseellinen metalli	Neitseellinen metalli	2t CO ₂ /t _{metalli}	2t CO ₂ /t _{metalli}	3750t	7 500	7 500

* Päästöjä ei huomioida, sillä hiilen oletetaan sitoutuvan biomassaan kuten esim. EU:n päästökäytössä

** 80% hyötysuhde

Taulukossa 7. on esitetty se päästömäärä, joka jäte-etanoliprosessissa syntyy ilman korvaushyötyjen huomioimista sekä se päästömäärä, joka jää jäljelle jos korvaushyödyt huomioidaan. Jäljelle jäävän päästömäärän avulla voidaan laskea ne päästökertoimet, jotka jäte-etanolille saadaan, kun sen sivutuotteiden aiheuttamat korvaushyödyt

huomioidaan. Lisäksi voidaan laskea suhteellinen päästövähennys, kuten aiemmin tehtiin RES-direktiivin mukaisessa laskennassa.

Taulukko 7. Jäte-etanolille lasketut päästökertoimet ja suhteelliset päästövähennykset korvausmenetelmää soveltaen.

Tulkinta- vaihtoehdot	Päästöt ilman korvaushyötyjä	Päästöt korvaushyötyjen jälkeen		Jäte-etanolin päästökerroin korvausmenetelmän avulla		Suhteellinen päästövähennys korvausmenetelmän avulla	
	t CO ₂	min t CO ₂	max t CO ₂	min t CO ₂ /TJ _{etanolii}	max t CO ₂ /TJ _{etanolii}	min %	max %
Vaihtoehto 1	85 416	24 260	-181 698	71	-531	15	734
Vaihtoehto 2	79 720	18 564	-187 394	54	-548	35	754
Vaihtoehto 3	23 876	-14 270	-14 270	-42	-42	150	150
Vaihtoehto 4	28 588	-9 558	-9 558	-28	-28	133	133

Kuten taulukosta 7 nähdään, vähentää korvaushyötyjen huomioiminen hyvin merkittävästi jäte-etanoliprosessin päästöjä useimmilla tässä käytetyillä oletuksilla laskettuna. Jäte-etanolin päästökertoimista tulee negatiivisia, mikä tarkoittaa sitä, että jäte-etanoliketjun toteuttaminen vähentää suhteellisia kasvihuonekaasupäästöjä huomattavasti. Tämä johtuu siitä, että jäte-etanoliprosessissa syntyvän jäte-etanolin määrä on varsin vähäinen verrattuna syntyvien sivutuotteiden määrään, jolloin sivutuotteilla saatujen korvaushyötyjen merkitys on tulosten kannalta ratkaiseva. Tuloksista nähdään myös, että RES-direktiivin laskentamenetelmän mukainen suhteellinen päästövähennys ei toimi mittarina päästövähennystä laskettaessa, kun korvaushyödyt huomioidaan. Suhteellisen päästövähennyksen mittarilla tarkasteltuna päästövähennys nousee sitä suuremmaksi, mitä enemmän korvaushyötyjä jäte-etanoliprosessin sivutuotteista saadaan. Tällöin ei saada todellista tietoa etanoliprosessin tehokkuudesta. Suhteellisen päästövähennyksen mittari kannustaa siis tuottamaan mahdollisimman vähän etanolia ja mahdollisimman paljon sivutuotteita, jos sivutuotteista saatavat korvaushyödyt ylittävät etanolista saatavan päästövähennyksen, kuten tässä käytetyillä oletusarvoilla tapahtuu.

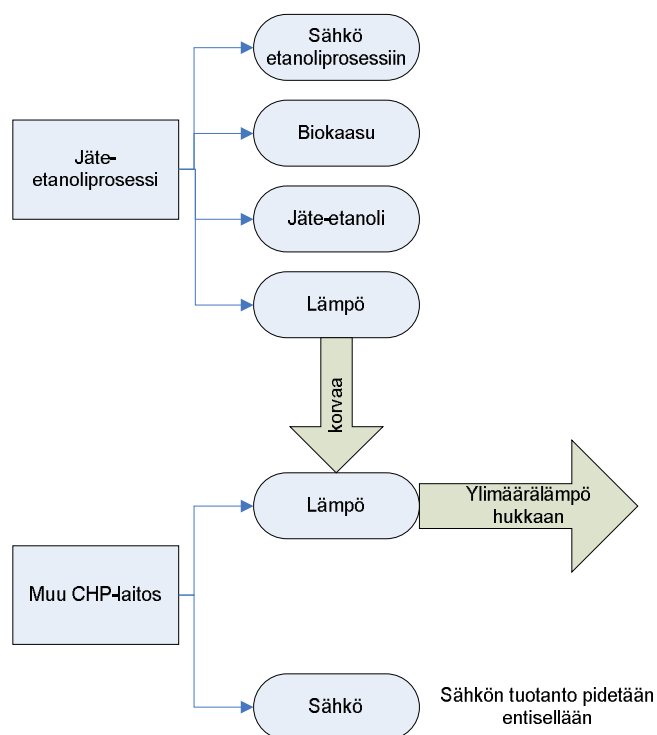
Biopoltoaineprosessin järjestelmärajan laajentaminen ja sivutuotteista saatavia korvaushyötyjen arvioiminen ei kuitenkaan ole ongelmatonta. Ongelmia tuottaa esimerkiksi sen määrittely, mitkä sivutuotteista todella korvaavat jotakin muuta tuotetta ja mikä tämä korvattava tuote on. Tähän määrittelyyn liittyy suuri epävarmuus, ja laskentaa joudutaan tekemään oletusarvoilla, kuten edellä nähtiin. Usein markkinoilla on saatavilla useita samantapaisia tuotteita, jolloin voi olla vaikea määrittää mitä niistä

korvataan ja ottaa juuri oikeat korvauksen päästövaikutukset huomioon elinkaariarvioinnissa (Soimakallio et al. 2009a, s.37). Korvaavan ja korvattavan tuotteen välillä voi olla myös laadullisia eroja, jolloin korvaus ei välttämättä tapahdu yhden suhteessa yhteen (Heijungs & Guinée. 2007, s.1003). Esimerkiksi RES-direktiivin laskentamenetelmä olettaa, että biopolttoaineet korvaavat fossiilista polttoainetta yhden suhteessa yhteen, mikä ei välttämättä pidä paikkaansa. Laadullisten erojen lisäksi pitäisi vielä pystyä varmistamaan, että korvaus todella tapahtuu. Biopolttoaineiden tapauksessa voidaan pohtia sitä, korvaavatko biopolttoaineet todella fossiilisia polttoaineita, vai päätyvätkö fossiiliset polttoaineet vain muuhun kuin liikennekäyttöön tai tehostomampaan käyttöön liikenteessä. Jos esimerkiksi biopolttoaineiden markkinoille tulon myötä fossiilisten polttoaineiden hinnat laskevat, voi vaarana olla niiden entistä suurempi kulutus.

Korvaushyötyjä arvioitaessa joudutaan myös ottamaan kantaa siihen, miten jokin tuote tulevaisuudessa tuotettaisiin. Tulevaisuuden näkymät riippuvat monista seikoista, kuten teknologian kehityksestä ja markkinoista. Markkinoita ohjaavien voimien vaikutusta voi olla vaikea arvioida, sillä vaikutusketjut ovat usein monimutkaisia ja oletusten epävarmuus on suuri (Heijungs & Guinée. 2007, s.997). Tulevaisuudessa saatavia korvaushyötyjä määrittäessä joudutaan arvioimaan esimerkiksi sitä, miten sähkön tuotannon rakenne muuttuu ja millaista sähköä tulevaisuudessa korvataan.

Korvaushyötyjen arvioinnissa tulisi myös miettiä sitä, korvataanko jokin tuote varmasti kaikissa tilanteissa. Esimerkiksi jäte-etanolin tapauksessa biopolttoaineeprosessin yhteydessä syntyy lämpöä, jonka arvioidaan korvaavan jollakin muulla polttoaineella tuotettua lämpöä. Oletetaan, että tietyllä alueella voitaisiin suhteellisen varmasti määrittää, että sivutuotelämmöllä korvattaisiin esimerkiksi turpeella tuotettavaa lämpöä. Tällöin korvaushyödyiksi siis laskettaisiin ne päästöt, jotka vältetään kun turvetta ei enää tarvitse polttaa. Joissakin olosuhteissa voisi kuitenkin syntyä tilanteita, joissa tehty oletus ei pitäisi paikkaansa. Jos esimerkiksi kesäaikaan lämmön tarve vähenisi, olisi turvelämmön tuotantoa voitu vähentää. Biopolttoaineeprosessista syntyy kuitenkin edelleen lämpöä, jolle ei enää olisikaan käyttökohdetta, vaan se jouduttaisiin lauhduttamaan hukkalämpönä. Tällöin korvaushyödyn laskeminen biopolttoaineelle ei olisi enää perusteltua tai se pitäisi laskea pienemmän lämmöntarpeen mukaisesti.

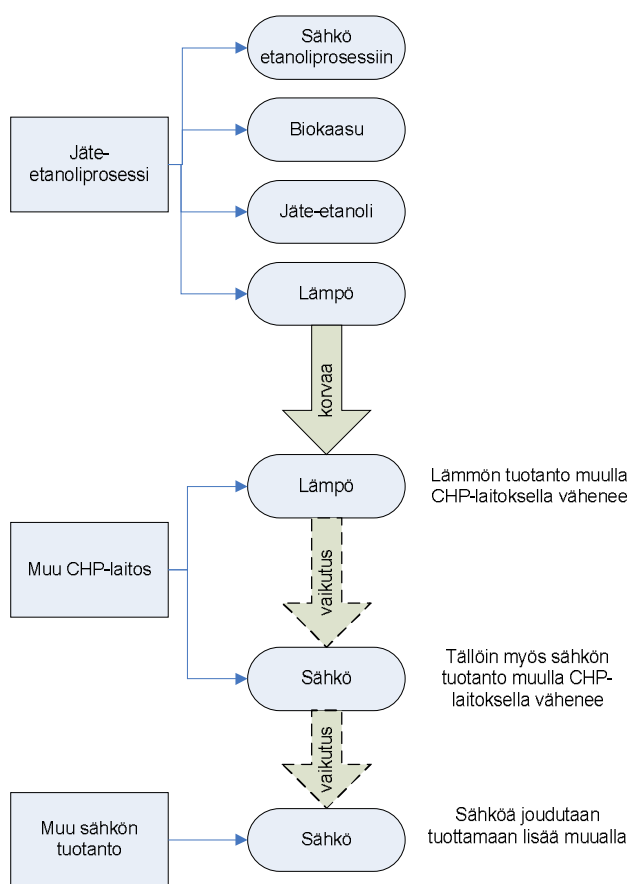
Vastaavasti voidaan pohtia tilannetta, jossa jäte-etanolin tuotannossa syntyvällä lämmöllä ajatellaan korvattavan muussa CHP-laitoksessa tuotettua lämpöä, ja korvaushyödyt lasketaan tämän mukaisesti. Jos muun CHP-laitoksen sähkön tuotanto halutaan kuitenkin pitää entisellään, ei lämmön tuotanto todellisuudessa vähene jäte-etanoliprosessin ansiosta, jolloin liika lämpö menee hukkaan. Tällöin korvaushyötyjen laskeminen täysimääräisenä johtaa niiden yliarviointiin muun CHP-laitoksen polttoaineen käytön pysyessä entisellään (kuva 12). Nämä esimerkit osoittavat korvaushyötyjen määrittelyn epävarmuuden niin tehtävien oletusten kuin todellisuudessa vallitsevien tilanteiden suhteen.



Kuva 12. Korvaushyötyjen arvioinnin vaikeus, perusteettomien korvaushyötyjen laskeminen.

Korvaushyötyjä määriteltäessä esiintyy vielä muitakin periaatteellisia ongelmia. On mahdollista, että korvattavan tuotteen valmistusketjussa voi siinäkin syntyä sivutuotteita, joilla olisi vastaavasti korvattu joitakin muita tuotteita ja niin edelleen (Heijungs & Guinée. 2007, s.999). Tällaisten vaikutusketjujen hahmottaminen on hyvin vaikeaa, ellei mahdotonta, ja niistä koituvat seuraukset voivat olla laajalle ulottuvia. Esimerkiksi jäte-etanolin tapauksessa tällainen tilanne voisi toteutua silloin, kun sivutuotteena syntyvällä lämmöllä korvataan muussa CHP-laitoksessa syntyvää lämpöä.

Jos ajatellaan muun CHP-laitoksen lämmön tuotannon tämän korvauksen seurauksena vähenevän, vähenee myös tämän CHP-laitoksen sähkön tuotanto. Oletetaan myös, että jäte-etanoliprosessissa syntyvä sähkö käytettäisiin kokonaan jäte-etanolin valmistukseen. Tällöin lämmön korvauksen seurauksena vähentynyt sähkön tuotanto aiheuttaisi vajetta alueen sähkön tuotannossa, ja sähköä jouduttaisiin tuottamaan lisää muilla keinoin. Sivutuotelämmön korvaushyötyjen laskeminen jäte-etanolin hyväksi ei siis taaskaan vastaisi todellista tilannetta (kuva 13).



Kuva 13. Korvaushyötyjen arvioinnin vaikeus, monimutkaiset vaikutusketjut.

RES-direktiivin laskentamenetelmän kannalta on toisaalta ymmärrettävää, ettei korvaushyötyjä huomioida niiden määrittelyn ongelmien ja epävarmuuden takia. Jos toimijat saisivat itse määrittellä biopolttoaineprosessinsa tuottamat korvaushyödyt, voisivat oletukset olla liian positiivisia ja tulosten valvominen hyvin hankalaa. Todellisuudessa korvaushyötyjä kuitenkin esiintyy, joten niiden huomioimatta jättämisestä voidaan pitää ongelmallisena. Epäselvää on myös, onko allokonti-

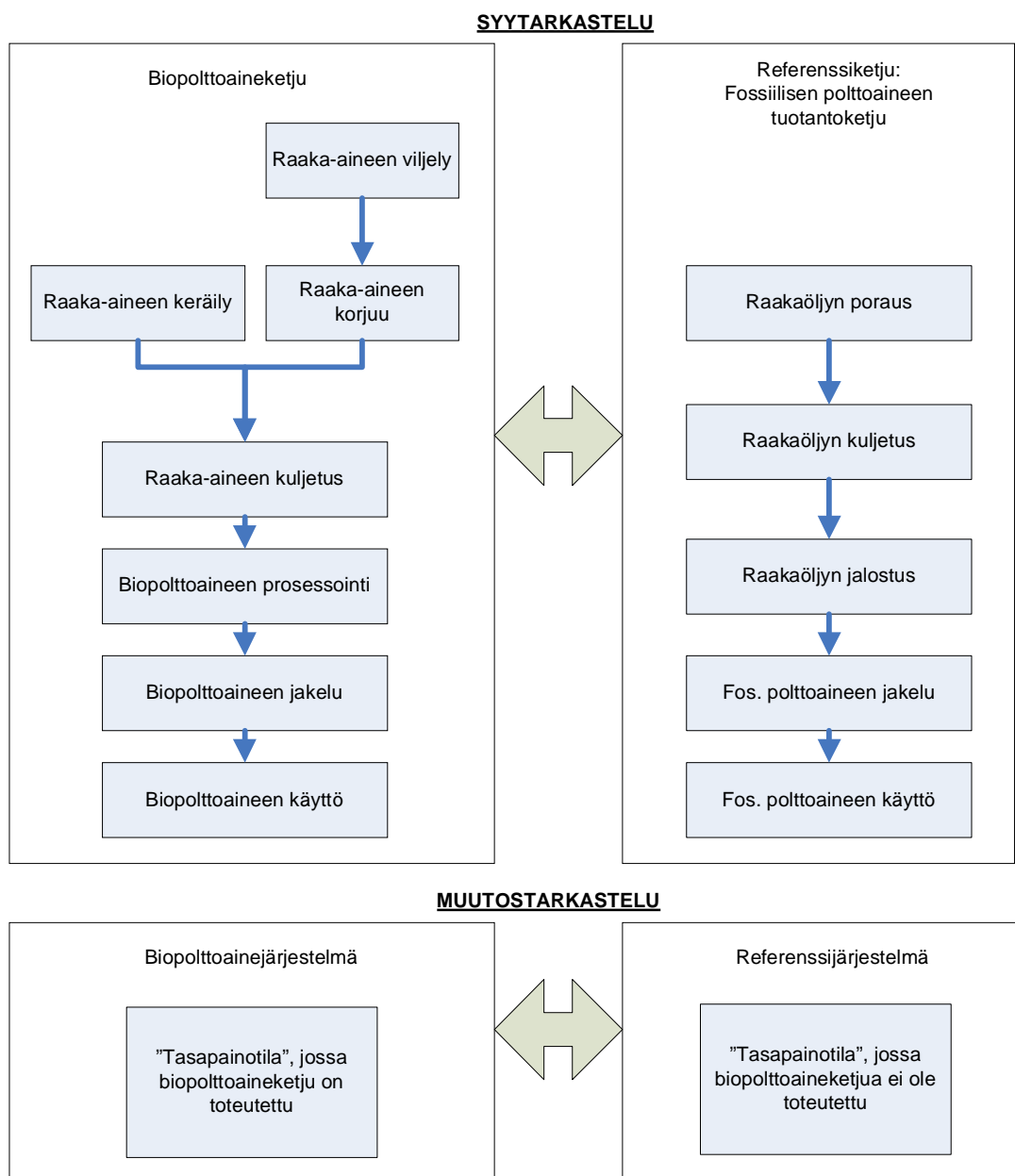
menettelyllä saatu tulos sen todenmukaisempi menetelmän valintaan liittyvien ongelmien takia. Periaatteessa RES-direktiivissä voisikin olla mahdollista esittää valmiit arviot erilaisista korvaushyödyistä, jolloin toimijan mahdollisuus liian positiivisten arvioiden tekemiseen pieneneisi.

5.2.5 Vertailutilanteen ja -tavan valinta

Kun määritellään elinkaariarvioinnin toiminnallista yksikköä, on samalla mietittävä sitä, miten arvioinnin tulokset esitetään ja mihin niitä verrataan eli määriteltävä referenssijärjestelmä eli vertailuvirta (ISO 14044, s.24). Biopolttoaineiden tapauksessa referenssijärjestelmänä on tyypillisesti fossiilinen polttoaine, jonka käyttöä tuotettavalla biopolttoaineella ajatellaan korvattavan. Tämä tarkoittaa sitä, että kun laskennan tuloksena saadaan biopolttoaineen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt esimerkiksi yksikössä g CO₂-ekv./km tai g CO₂-ekv./MJ, niitä verrataan samassa yksikössä oleviin fossiilisten polttoaineiden päästöihin. Kun tulokset esitetään verrattuna referenssiyksikköön, on helpompi ymmärtää kuinka paljon päästöt vähenevät tai lisääntyvät biopolttoaineketjun toteutumisen myötä eli mitä elinkaariarvioinnin tulokset tarkoittavat käytännössä. Referenssijärjestelmän määrittely ei kuitenkaan ole yksinkertaista, sillä siihen liittyy useita ongelmia. Elinkaariarvioinnin tavoitteita asetettaessa on mietittävä mitä verrataan ja mihin, ja millä mittareilla tämä vertailu tapahtuu.

Kysymys siitä mitä verrataan ja mihin, liittyy elinkaariarvioinnin filosofian valintaan. Jos arviointia tehdään perinteisesti syytarkasteluna, on vertailtavana valmistettu tuote, ja vertailun kohteena usein toinen samantapainen tuote tai samaan käyttötarkoitukseen valmistettu tuote. Biopolttoaineiden kohdalla kyseessä on siis usein fossiilinen polttoaine tai muu biopolttoaine. Jos taas arvioinnin lähtökohtana on toinen elinkaarimallinnuksen filosofia eli muutostarkastelu, ei referenssijärjestelmän määrittelyssä tyydytä vain vertaamaan kahta tuotetta keskenään. Koska biopolttoaineketjun toteutumisen vaikutukset eivät ole niin yksiselitteisiä, että ainoan vaikutuksen voitaisiin ajatella olevan fossiilisen polttoaineen korvaaminen, tarkastellaan vaikutuksia laajemmasta näkökulmasta. Tällöin vertailtavana on tilanne, jossa biopolttoaineketju on toteutettu, ja vertailua tehdään tilanteeseen, jossa

biopolttoaineketjua ei ole toteutettu ja biopolttoaineen valmistukseen käytettyä raaka-ainetta voidaan hyödyntää muilla tavoin, kuten lämmön ja sähkön tuotannossa tai materiaalihyötykäytössä. Kuvassa 14 tarkastellaan syytarkastelun ja muutostarkastelun referenssijärjestelmien erilaisuutta.



Kuva 14. Referenssijärjestelmän määrittely syytarkastelun ja muutostarkastelun tapauksessa.

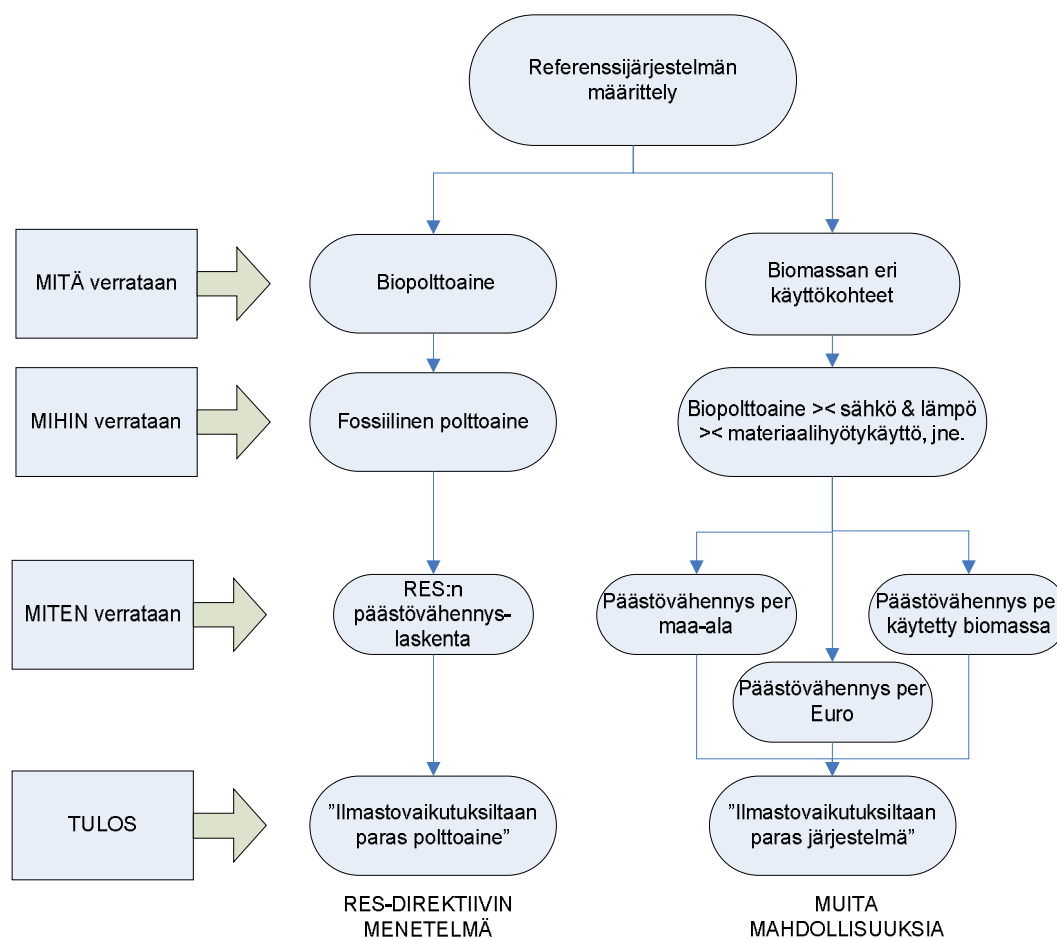
Referenssijärjestelmän määrittelyn jälkeen on valittava ne mittarit, joilla vertailua kahden tuotteen tai järjestelmän välillä tehdään. Ilmastovaikutuksia arvioitaessa vertailua tehdään sen suhteen, mikä tuote tai järjestelmä aiheuttaa pienimmät kasvihuonekaasuvaikutukset. Usein mittarina käytetään suhteellista päästövähennystä, kuten RES-direktiivin laskentamenetelmässä (yhtälö 1), ja tuloksena halutaan saada arvio ilmastovaikutuksiltaan parhaasta polttoaineesta. RES-direktiivin menetelmän mukainen suhteellinen päästövähennys on mittarina kuitenkin ongelmallinen, sillä se ei huomioi biopolttoaine prosessien tehokkuutta kuten sitä, kuinka paljon biomassaa käytetään biopolttoaineen valmistukseen. Tämä voi johtaa tehottomiin biopolttoaine prosesseihin, joissa suuresta määrästä biomassaa ja suurella ulkoisen energian käytöllä saadaan vain pieni määrä biopolttoainetta. Kuitenkaan biomassan kulutus tällaisiin tarkoituksiin ei ole yleisten ilmastotavoitteiden tai ilmastomuutoksen hillinnän kannalta välttämättä suotuisaa biomassavarojen rajallisuuden vuoksi.

Se, mitä mittaria vertailussa tulisi käyttää, riippuu kulloinkin rajoittavana olevasta tekijästä. Vaihtoehtoisiksi mittareiksi on ehdotettu esimerkiksi päästövähennystä per hehtaari, joka ottaa huomioon biopolttoaineiden raaka-ainetuotantoon tarvittavan maan alan. Toinen vaihtoehtoinen mittari on päästövähennys per biopolttoaineen tuotantoon käytetty biomassaa tai vielä tarkemmin biomassan sisältämä biohiili. Tällöin voidaan suoraan arvioida päästövähennystä suhteessa biopolttoaineen tuotannon vaatimiin biomassaresursseihin ja saadaan samalla tietoa biopolttoaine prosessien tehokkuudesta. (esim. Schlamadinger et al. 2005, JRC 2008, Soimakallio et al. 2009b)

Jos biopolttoaineiden raaka-aineena ovat esimerkiksi peltopohjaiset biomassat, voi rajoittavana tekijänä olla kilpailu maa-alasta, jolloin mittariksi soveltuu esimerkiksi saavutettu päästövähennys per hehtaari (g CO₂-ekv./ha). Tällöin nähdään kuinka tehokkaasti maankäyttö biopolttoaineiden raaka-ainetuotantoon edistää ilmastomuutoksen hillintää. Mittarin avulla voidaan vertailla eri biopolttoaineita keskenään ja löytää maankäytön ja ilmastovaikutusten hillinnän kannalta paras tuotantovaihtoehto. Peltopohjaisista biomassoista tuotettujen biopolttoaineiden kohdalla tulisi ottaa huomioon myös ne mahdolliset haitat, joita raaka-ainetuotannon maankäytöstä aiheutuu, kuten kilpailu ruuan tuotannon kanssa.

Usein biomassan käytölle löytyy muitakin vaihtoehtoja kuin biopolttoaineiden tuotanto, jolloin rajoittavaksi tekijäksi voi nousta biomassan määrä. Tällöin mittariksi soveltuu päästövähennys per kulutettu biomassa (g CO₂-ekv./t). Kyseessä voi esimerkiksi olla tilanne, jossa biomassa voitaisiin biopolttoaine prosessin sijaan käyttää sähkön ja lämmön tuotantoon. Vertaamalla eri käyttövaihtoehtojalla saavutettua päästövähennystä per biomassan kulutus selviää, saavutetaanko biomassan käytöstä ilmastolta suurempi hyöty tuottamalla biopolttoainetta vai tuottamalla uusiutuvaa sähköä ja lämpöä. Samaa mittaria voidaan hyödyntää myös tilanteissa, joissa vertaillaan erilaisia biopolttoaineketjuja ja niiden tehokkuutta, sillä ilmastomuutoksen hillinnän kannalta ei välttämättä ole järkevää toteuttaa biopolttoaineiden valmistusprosesseja, joissa käytetään suuri määrä biomassaa suhteellisen pienen päästövähennyksen saavuttamiseksi.

Ilmastomuutoksen hillinnän keinoja vertailtaessa myös raha on usein rajoittava tekijä. Kun vertaillaan eri keinojen kustannustehokkuutta, voi mittarina olla päästövähennys per kulutettu euromäärä (g CO₂-ekv./€). Tällöin voidaan arvioida sitä, mikä päästövähennyskeinoista tulee taloudellisesti tehokkaimmaksi. Kaikki nämä edellä esitetyt mittarit auttavat optimoimaan sitä, millä keinoin päädyttäisiin ilmastovaikutuksiltaan parhaaseen järjestelmään erilaisia rajoittavia tekijöitä huomioiden. Tätä on hahmoteltu kuvassa 15, jossa esitetään referenssijärjestelmän määrittelyn ja tulosten vertailemisen eri mahdollisuuksia.



Kuva 15. Referenssijärjestelmän määrittely ja vertailussa käytettävät mittarit RES-direktiivin menetelmällä sekä eräillä muilla mahdollisilla tavoilla.

Kuten jo aiemmin todettiin, jätteestä valmistettavien biopolttoaineiden tapauksessa jätemateriaalilla voisi biopolttoaineeksi prosessoinnin lisäksi olla monia eri hyödyntämismahdollisuuksia, kuten lämmön ja sähkön tuotanto tai materiaalihyötykäyttö. Voidaan myös ajatella, että kaatopaikalle sijoitettu fossiilinen jäte toimisi hiilivarastona, eli jätteeseen sitoutunut fossiilinen hiili vapautuisi hitaammin ilmakehään kuin esimerkiksi polttamalla jäte (IPCC 2000). Biopolttoaineen raaka-aineena tai energian tuotannossa jätteellä voitaisiin korvata fossiilisia polttoaineita. Toisaalta tällöin jätettä ei saataisi hyötykäyttöön materiaalina, vaan jouduttaisiin etsimään ja hyödyntämään yhä enemmän uusiutumattomia luonnonvaroja. Nämä kaikki jätteen käyttökohteet ”kilpailevat” jätemateriaalista markkinoilla, joihin vaikuttavat kysynnän, tarjonnan, hinnan ja käytön suhde (Mattila et al. 2008, s.24). Olisi tärkeää huomioida kaikki eri käyttömahdollisuudet ja suorittaa niiden välillä vertailua siitä, miten jätemateriaali kannattaisi hyödyntää, jotta ilmastovaikutukset kokonaisuudessaan olisivat

mahdollisimman vähäiset. Tässä vertailussa tulisi käyttää erilaisia referenssitapauksia sekä erilaisia mittareita, jotta biomassan eri hyödyntämisvaihtoehtojen vaikutukset selviäisivät mahdollisimman monipuolisesti. RES-direktiivin laskentamenetelmä ei kuitenkaan huomioi näitä näkökulmia. Tällaisen vertailun tekeminen onkin hyvin haastavaa, mutta myös hyvin tärkeää, sillä ilmastonmuutoksen hillinnän tavoitteet ovat haastavia ja vaadittavien päästövähennysten aikataulu tiukka.

5.3 LCA:n käyttö poliittisen ohjauksen yhteydessä

Kuten tässä työssä käy ilmi, liittyy elinkaariarvion tekemiseen monenlaisia haasteita ja monimutkaisuutta. Kun elinkaariarviota halutaan käyttää poliittisen ohjauksen välineenä, kuten RES-direktiivin tapauksessa, tulisi näihin haasteisiin, kuten järjestelmärajan asettamiseen, allokointi- tai korvausmenettelyn valintaan ja referenssijärjestelmän määrittämiseen kiinnittää paljon huomiota. Koska kaikkien näiden tekijöiden huomioiminen on vaikeaa, voi houkutuksena olla yksinkertaistetun laskentamenettelyn kehittäminen, kuten on käynyt RES-direktiivin laskentamenetelmän kohdalla. Tällöin vaarana on kuitenkin se, että suppean tarkastelun avulla tehdyt johtopäätökset johtavat epäsuotuisiin ratkaisuihin esimerkiksi juuri ilmastonmuutoksen hillinnän kannalta.

Elinkaariarviointi aiheuttaa paljon työtä ja tulosten tarkastaminen on haastavaa. Siksi yksinkertaistettujen menetelmien lisäksi houkutuksena on ottaa käyttöön oletusarvoja, joita toimijat voivat suoraan käyttää omille tuotteilleen. Tällöin vältetään suurelta työmäärältä sekä lisääntyvältä byrokratialta. Myös RES-direktiivin tapauksessa on toimittu näin, ja sen liitteestä V on esitetty oletusarvoja tuotannon eri vaiheiden kasvihuonekaasupäästöistä sekä kokonaispäästöistä useille eri biopolttoaineille. Tavoitteena on määrittää oletusarvot myös uusimmille biopolttoainesovelluksille (EU 2009 s. 38).

Oletusarvojen käyttöön liittyy kuitenkin riski tarkoituksenvastaisesta käytöstä, varsinkin kun esimerkiksi RES-direktiivin tapauksessa oletusarvojen laskentatapaa tai laskentaa varten tehtyjä oletuksia ei ole esitetty. Myöskään oletusarvoihin liittyvistä epävarmuuksista ei ole tietoa. Näiden oletusarvojen todenmukaisuudesta voidaan olla

epävarmoja, sillä esimerkiksi maankäytön päästöt eripuolilla Eurooppaa vaihtelevat merkittävästi (JRC 2008, s. 12), mutta RES-direktiivin oletusarvot ovat samat alueesta riippumatta. Lähtökohtaisesti oletusarvojen pitäisi olla aluekohtaisia eri alueilla tuotetuille raaka-aineille, jolloin yhden oletusarvon käyttö koko Euroopan alueella voi olla kyseenalaista. Tätä pyritään RES-direktiivissä valvomaan siten, että jäsenmaat ilmoittavat Euroopan komissiolle ne alueet, joilla viljelyn päästöt ovat pienemmät tai yhtä suuret kuin direktiivissä määritellyt oletusarvot (RES Artikla 19).

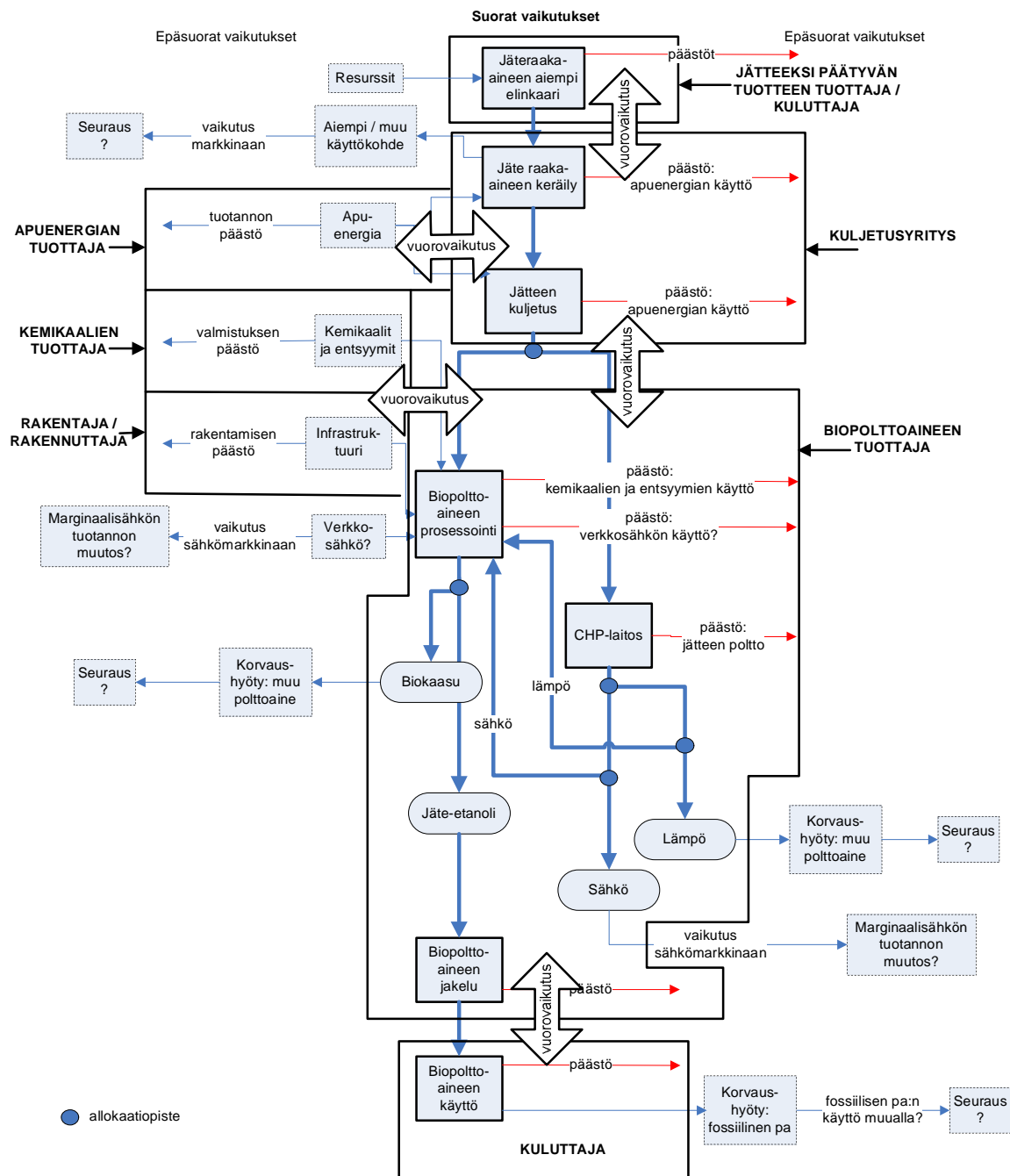
RES-direktiivin oletusarvot eivät myöskään huomioi biopolttoaineiden tuotantoon liittyviä epäsuoria päästöjä kuten esimerkiksi epäsuorien maankäytön muutosten seurauksena syntyviä päästöjä. Nämä päästöt voivat kuitenkin olla hyvin merkittäviä biopolttoaineketjujen kokonaisvaikutusten kannalta, joten on olemassa riski siitä, että RES-direktiivin oletusarvot ovat liian positiivisia arvioita biopolttoaineiden aiheuttamista kasvihuonekaasuvähennyksistä. On myös epäselvää, miten oletusarvojen käyttöä valvotaan, jotta valittu oletusarvo vastaisi mahdollisimman hyvin todellisuutta. Oletusarvojen käyttö on myös lähtökohtaisesti vastoin elinkaariarvioinnin periaatteita, sillä elinkaariarvioinnin tulisi aina olla tapauskohtaista. Eri teknologioille ja eri raaka-ainevaihtoehdoille ei välttämättä sovi samat arviointimenetelmät.

Poliittisen ohjauksen yhteydessä käytettynä elinkaariarvioita joudutaan siis usein yksinkertaistamaan. Tarkastelut tehdään usein perinteisellä elinkaariarvioinnin lähestymistavalla, eli syytarkasteluna, joka on helpommin hallittavissa ja valvottavissa kuin järjestelmärajan laajennuksen vaativa muutostarkastelu. Syytarkastelu arvioi kuitenkin staattista, muuttumatonta tilannetta, eikä sovellu muutoksen arviointiin. Voidaankin siis kysyä, mikä on poliittisen ohjauksen todellinen tarkoitus, jos se tyytyy arvioimaan yksinkertaistettuja ja todellista tilannetta vastaamattomia järjestelmiä. Ilmastovaikutusten hillinnän suhteen poliittisen ohjauksen tulisi pyrkiä löytämään parhaita keinoja ilmastonmuutoksen vaikutusten nopeaan hillintään ja tehokkaimpia keinoja päästöjen vähentämiseksi. Siksi elinkaariarviointia olisi tehtävä perinteisen arvioinnin rinnalla myös järjestelmätasolla muutostarkasteluna, ja etsittävä esimerkiksi parhaita tapoja käyttää biomassaa tai jättemateriaalia ilmastonmuutoksen hillinnässä.

Toisaalta on ymmärrettävää, ettei RES-direktiivin tapauksessa kasvihuonekaasuvaikutusten arviointiin käytettävä laskentamenetelmä voi olla liian monimutkainen, jotta biopolttoainesektorin toimijat pystyisivät sitä soveltamaan. Muutostarkasteluna tehdyn elinkaariarvioinnin toteuttaminen vaatii paljon oletuksia, mikä lisää epävarmuutta saatujen tulosten oikeellisuudesta. Koska yksinkertaistetulla laskentamenetelmällä saadut tulokset eivät kuitenkaan välttämättä vastaa todellisuutta, voidaan kysyä, onko elinkaariarvioinnin soveltaminen tässä muodossa oikea tapa hoitaa biopolttoaineiden kasvihuonekaasuvaikutusten arviointia ja sitä kautta biopolttoaineiden käytön edistämisen ohjausta. Ainakin arvioinnin suppeuden aiheuttamat riskit tulisi tiedostaa valvottaessa biopolttoaineiden tuotantoa koko Euroopan tasolla.

5.4 Vastuun jakautuminen ilmastovaikutusten hallinnassa

Biopolttoaineketjujen vaikutukset ulottuvat siis laajalle ja ovat usein vaikeita hahmottaa ja arvioida. Siksi on luonnollista, että tuotantoketjun eri osapuolien voi olla hankala määrittää vastuun jakautumista eri tuotantovaiheiden ympäristö- ja ilmastovaikutuksista. Joissakin tilanteissa onkin epäselvää, miten vastuu eri osapuolten, kuten raaka-aineen ja biopolttoaineen tuottajan, kuluttajan ja päättäjien kesken tulisi jakaa oikeudenmukaisesti. Kuvassa 16. on esitetty esimerkkiahmotelma eri toimijoiden vastuualueiden jakautumisesta biopolttoaineen valmistusketjun aikana jäte-etanolin tapauksessa.



Kuva 16. Esimerkki vastuun jakautumisesta eri toimijoiden välillä jäte-etanolin tuotantoketjussa.

Jäte-etanolin tapauksessa raaka-aineen tuotantoa ei voida välttämättä yksiselitteisesti kohdistaa minkään toimijan vastuulle, vaan siihen vaikuttavat kaikki ne osapuolet, jotka vaikuttavat jättemateriaalin syntyyn ja sen aiempaan elinkaareen. Jätteen keräilystä vastaa todennäköisesti joko kuljetusyhtiö tai suoraan jäte-etanolin tuottaja. Jäte-etanolin tuottaja vastaa myös varsinaisen tuotannon vaikutuksista, kun taas prosessissa käytettävien aputuotteiden ja energian tuottajat ovat vastuussa tuotteidensa valmistuksen vaikutuksista. Vastuu jäte-etanolin kulutuksesta ja käytön vaikutuksista on

tuotetta ostavalla kuluttajalla, mutta myös päättäjillä, jotka ovat asettaneet tietyt tavoitteet biopolttoaineiden käytölle. Kuvasta 16 nähdään myös, että osa biopolttoaineketjun vaikutuksista, kuten markkinamekanismien ohjaamat epäsuorat vaikutukset, ei tällä ajattelutavalla sisälly yhteenkään vastuualueeseen. Voidaankin ajatella, että nämä biopolttoaineketjun toteutumisen epäsuorat vaikutukset jäävät niiden poliittisten päättäjien vastuulle, jotka päättävät esimerkiksi biopolttoaineiden käytön lisäämistavoitteista.

Yleisesti ajatellaan, että biopolttoaineen valmistaja on vastuussa tuotteen laadusta ja sen ympäristövaikutuksista. Jos biopolttoaineen tuottaja haluaa laajentaa vastuutaan tuotantoketjussa, hän voi esimerkiksi pyrkiä käyttämään sertifioituja alihankkijoita, joiden tarjoamat tuotteet tai palvelut on tuotettu sovitut ympäristönäkökohdat huomioiden. Sertifioitujen tuotteiden käyttökään ei kuitenkaan aina ole tae kestävästä tuotannosta, sillä sertifioidun tuotteen käyttö biopolttoaineprosessissa saattaa aiheuttaa kilpailua sertifioidusta tuotteesta ja näin johtaa sertifioimattomien tuotteiden käytön lisääntymiseen muissa tuotantoprosesseissa. Tällöin biopolttoaineketjun toteutuminen voi aiheuttaa epäsuoria vaikutuksia. Tästä esimerkkinä voidaan pitää sertifioidun palmuöljyn käyttöä biopolttoaineiden raaka-aineena, mikä kuitenkin voi lisätä sertifioimattoman palmuöljyn tuotantoa, kun palmuöljystä tulee pulaa esimerkiksi elintarviketeollisuudessa (Soimakallio et al. 2009a, s.92).

Tuottajan vastuuta ei pidä unohtaa myöskään jäteraaka-aineen kohdalla. Vaikka jäteraaka-ainetta pidetään usein päästöneutraalina, ei tämä oletus kuitenkaan aina pidä paikkaansa. Jos jätteen raaka-ainekäyttö lisääntyy, voi jättemateriaalista syntyä kilpailua eri käyttökohteiden välillä ja jätteen arvo nousta. Tällöin on vaarana, että jätteiden synnyn vähentämisen tavoitteet unohdetaan. Jos jätteiden tuotanto kasvaa jäteraaka-aineen lisääntyneen käytön seurauksena, ei enää ole oikeutettua ajatella jäteraaka-ainetta päästöneutraaliksi.

Jos biopolttoainetta markkinoidaan ympäristöystävällisenä tuotteena, saattaa moni kuluttaja ajatella toimivansa ympäristön kannalta vastuullisesti käyttämällä biopolttoaineita. Kuluttaja on todennäköisesti hyvin riippuvainen tiedoista, joita tuottaja antaa tuotteestaan, eikä kuluttaja voi itse arvioida biopolttoaineen kulutuksen aiheuttamia

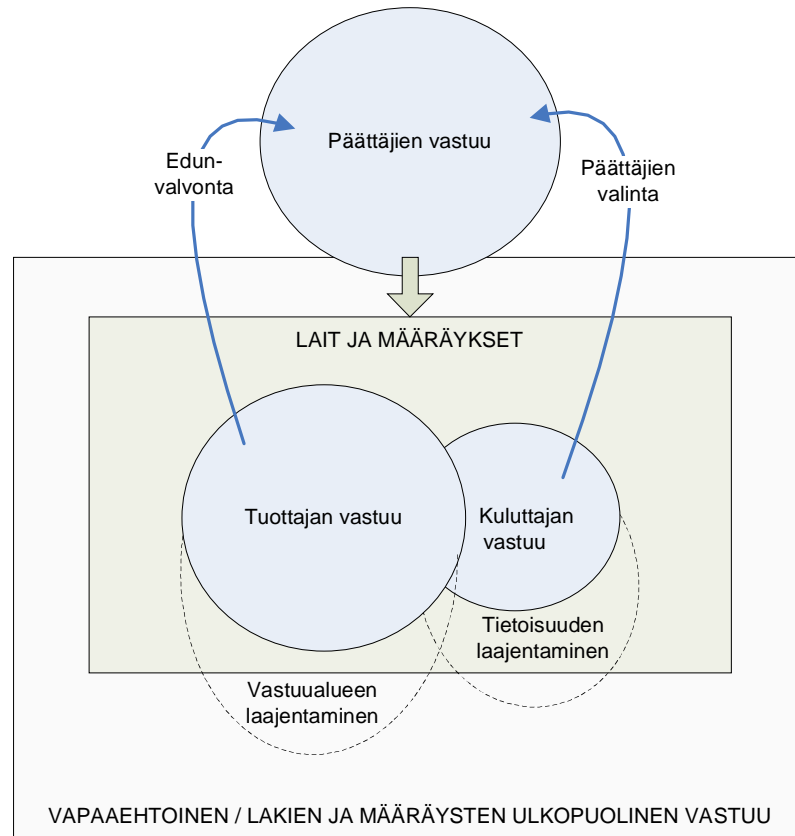
päästöjä kovinkaan helposti. Tällöin siis tuottajan vastuu näiden tietojen tuottajana ja esille tuojana korostuu.

Tuottajan vastuu ulottuu siis hyvin laajalle koko biopolttoaineen tuotantoketjussa. Toisaalta tuottajan mahdollisuudet valvoa alihankkijoita, ohjeistaa kuluttajia tai selvittää tuotantoketjunsä aiheuttamia epäsuoria vaikutuksia ovat rajalliset. Tuottajan toimintaa säädellään myös usein ylemmältä taholta tulevilla määräyksillä, kuten EU:n RES-direktiivi tekee biopolttoaineiden kohdalla. Jos tuottaja siis noudattaa direktiivin määrittelemiä kriteereitä ja hänen tuotteensa hyväksytään kriteerin mukaan kestäväksi biopolttoaineeksi, voidaan kysyä, kuuluuko tuottajan vastuulle vielä tämänkin jälkeen pohtia myös niitä vaikutuksia, joita direktiivin määräykset eivät huomioi.

Suuri vastuu kuuluukin tässä tapauksessa niille päättäjille, jotka määrittelevät kriteerit biopolttoaineiden ilmastovaikutusten arvioinnille. He ohjaavat myös sitä, mihin rajallisia raaka-aineresursseja käytetään esimerkiksi asettamalla tavoitetason biopolttoaineiden käytölle. Toisaalta näidenkin päättäjien mielipiteisiin vaikutetaan monelta taholta, sillä eri intressiryhmät viestivät päättäjille omia tavoitteitaan ja omia arvioitaan esimerkiksi juuri biopolttoaineiden ilmastovaikutuksista. Koska biopolttoaineiden ilmastovaikutusten arviointi on hyvin haastavaa, on ymmärrettävää, jos asian hahmottaminen päättäjienkin näkökulmasta on vaikeaa. Päätöksiin vaikuttavat aina myös muut näkökohdat, kuten biopolttoaineiden kohdalla esimerkiksi työpaikkojen lisäämistä ja energiaomavaraisuuden takaamista koskevat tavoitteet.

Kuvassa 17 on hahmoteltu vastuun eri ulottuvuuksia päättäjien, tuottajan ja kuluttajan välillä. Tuottaja toimii päättäjien asettamien lakien ja määräysten alaisena. Ympäristötietoinen tuottaja sen sijaan ulottaa vastuunsa jopa lakien ja määräysten ulkopuolelle ja vaatii esimerkiksi sertifikaattia käyttämälleen raaka-aineelle tai soveltaa hyviä ympäristökäytäntöjä maassa, jossa niitä ei vielä lainsäädännön tasolla vaadita. Kuluttaja taas toimii tuottajalta saadun tiedon sekä tuottajaan että itseensä kohdistuvien lakien ja määräysten alaisena. Ympäristötietoinen kuluttaja ottaa lisäksi asioista laajemmalti selvää ja pyrkii hahmottamaan asioiden todellista tilaa. Päättäjät sen sijaan määrittävät ne lait ja määräykset, jotka vaikuttavat tuottajiin ja kuluttajiin, joten päättäjille kuuluu suuri vastuu. Siksi päätösten tukena pitäisi olla mahdollisimman

objektiivista tietoa eri ratkaisujen vaikutuksista esimerkiksi juuri biopolttoaineiden ilmastovaikutuksia koskien.



Kuva 17. Vastuiden ulottuvuudet eri toimijoiden välillä.

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Euroopan unioni asetti vuonna 2008 hyväksytyssä RES-direktiivissä tavoitteeksi lisätä uusiutuvan energian käyttöä 10 %:iin liikenteen energian kulutuksesta kaikissa jäsenmaissa vuoteen 2020 mennessä. Osa tästä liikenteen uusiutuvan energian tavoitteesta tullaan täyttämään biopolttoaineilla, joiden tuotantoa koskien RES-direktiivissä määritellään myös kestävyyskriteerejä. Tämän diplomityön tavoitteena oli arvioida näitä EU:n kestävyyskriteereitä biopolttoaineiden ilmastovaikutusten arvioinnin kannalta. Tarkasteltavana oli erityisesti RES-direktiivissä esitetty laskentamenetelmä biopolttoaineiden tuotannon ja käytön kasvihuonekaasuvaikutusten arviointiin.

Tässä työssä RES-direktiivin laskentamenetelmää testattiin yhdyskuntien ja teollisuuden jätteestä valmistettavan bioetanolin esimerkkitapauksen avulla. Jäte-etanolin tapaus tarjosi mielenkiintoisen tarkastelukohteen, sillä RES-direktiivin laskentamenetelmän soveltaminen jäte-etanoliprosessin kasvihuonekaasuvaikutusten arviointiin ei ollut yksiselitteistä. Jäte-etanoliprosessissa yhdistyivät biopolttoaineen tuotanto sekä sähkön ja lämmön yhteistuotanto (CHP), mikä mahdollisti tarkastelun järjestelmärajan asetuksen usealla eri tavalla RES-direktiivin laskentamenetelmän tulkintatavasta riippuen. Laskentaa varten voitiin tehdä neljä erilaista järjestelmärajausta riippuen siitä, oletettiin etanoliprosessin ja CHP-laitoksen olevan yhtenäinen prosessi vai kaksi erillistä prosessia.

Tarkastelluilla neljällä eri järjestelmärajauskella ja RES-direktiivin laskentamenetelmää noudattaen laskettiin jäte-etanolille päästövähennystulokset, jotka vaihtelivat oletusarvoja käyttäen välillä 55–67 % tulkintavaihtoehdosta riippuen. Päästövähennys laskettiin suhteellisena päästövähennyksenä vertaamalla biopolttoaineen valmistuksen ja käytön päästöjä fossiilisen polttoaineen päästöihin. Suurin tuloksiin vaikuttava tekijä oli prosessissa käytetyn energian tuotannon aiheuttamat päästöt, joten tulokset riippuivat merkittävästi prosessissa poltto- ja raaka-aineena käytetylle jättemateriaalille määrittelystä päästökertoimesta.

Koska jätemateriaalin koostumuksesta (fossiilisen ja bioperäisen materiaalin osuuksista) ei ollut tarkkaa tietoa, jouduttiin päästökertoimelle käyttämään oletusarvoa. Päästökerrointa kuitenkin muutettiin herkkyystarkastelussa, jossa nähtiin jäte-etanolin päästövähennystulosten pienentyvän merkittävästi, kun jätemateriaalin päästökerroin kasvoi (eli jätemateriaalin bio-osuus pieneni). Yli 60 %:n päästövähennystulosten saavuttamiseksi tuli jätteen bio-osuuden olla 65–80 %. Päästökertoimen epävarmuus ja järjestelmärajan asetuksen erilaiset tulkintamahdollisuudet osoittivat, että RES-direktiivin laskentamenetelmän avulla saadut päästövähennystulokset olivat hyvin epävarmoja. Tarkastelu osoitti myös RES-direktiivin laskentamenetelmän tulkinnanvaraisuuden ja suppean lähestymistavan biopolttoaineiden kasvihuonekaasuvaikutusten arvioinnissa.

Biopolttoaineiden valmistajan kannalta RES-direktiivin laskentamenetelmän jättämä tulkinnanvaraisuus on ongelmallinen, sillä valmistajan voi olla hankala määrittää oman tuotensa hyväksyttävyyttä EU:n kestävyyskriteerien näkökulmasta. Vuoden 2017 jälkeen toimintansa aloittavilta biopolttoaineprosesseilta vaaditaan yli 60 %:n päästövähennys vuodesta 2018 alkaen, jotta ne voidaan laskea mukaan EU:n liikennesektorille asettamiin uusiutuvan energian tavoitteisiin. Jäte-etanolin tapauksessa osa päästövähennystuloksista ylitti ja osa alitti 60 %:n tavoitteen, jolloin oli vaikea päätellä, olisiko tuote EU:n kriteerien mukaisesti kestävä vai ei. RES-direktiivin laskentamenetelmän tulkinnanvaraisuus saattaa jättää valmistajalle myös mahdollisuuden tehdä laskentaa varten juuri ne tulkinnat, joilla päästövähennystulokset omalle tuotteelle ovat suotuisimmat. Tällöin ei välttämättä saada todenmukaisinta tietoa kyseisen biopolttoaineen ilmastovaikutuksista.

Koska kasvihuonekaasuvaikutusten arviointi on aina haastava ja työläs tehtävä ja saatujen tulosten valvonta voi olla hankalaa, on houkutusena ottaa käyttöön valmiiksi laskettuja oletusarvoja. RES-direktiivissä on esitetty oletusarvoja biopolttoaineiden kasvihuonekaasuvaikutuksista, joita voidaan tietyin ehdoin käyttää määritellyille biopolttoaineille. Oletusarvojen käyttö on kuitenkin vastoin elinkaariarvioinnin periaatteita, sillä elinkaariarvioinnin tulisi aina olla tapauskohtaista. RES-direktiivistä ei myöskään selviä, millä perustein oletusarvot on laskettu tai millaisia epävarmuuksia

niihin liittyy, jolloin niiden käyttö voi johtaa virhearvioihin biopolttoaineketjujen kasvihuonekaasuvaikutuksista.

Tulkinnanvaraisuuden lisäksi RES-direktiivin laskentamenetelmää voidaan pitää lähtökohdaltaan suppeana työkaluna biopolttoaineiden kasvihuonekaasupäästöjen arviointiin. Biopolttoaineiden valmistusprosessit ovat usein moniulotteisia ja vaikutuksiltaan laajalle ulottuvia tuotantoketjuja, mutta RES-direktiivin laskentamenetelmän asettama järjestelmäraja kasvihuonekaasupäästöjen tarkasteluun jättää monet päästövaikutuksista huomioimatta. Erityisesti biopolttoaineketjujen epäsuorat ilmastovaikutukset jäävät toistaiseksi laskennan ulkopuolelle, vaikka ne voivat olla hyvin merkittäviä biopolttoaineketjujen kokonaisvaikutusten kannalta. Epäsuorien vaikutusten arviointi on kuitenkin hyvin haastavaa, sillä usein niitä ohjaavat erilaiset markkinamekanismit kuten kilpailu raaka-aineista. Jäte-etanolin kohdalla epäsuoria vaikutuksia voi syntyä esimerkiksi jäteraaka-aineen käytöstä juuri jäte-etanolin valmistukseen, vaikka jätteelle voisi löytyä muitakin käyttökohteita, kuten sähkön ja lämmön tuotanto.

Koska RES-direktiivin laskentamenetelmä rajaa biopolttoaineketjujen tarkastelun suppean järjestelmärajan sisään, joudutaan päästöt allukoimaan biopolttoaineprosesseissa syntyvien tuotteiden välillä. RES-direktiivin laskentamenetelmän mukaisesti päästöt allokoidaan energiaperusteisesti riippumatta siitä, miten tuote käytetään tai käytetäänkö sitä lainkaan. Tällöin allokointia voi tapahtua myös hyödyntämättä jääville jätevirroille, mikä on elinkaariarvioinnin periaatteiden vastaista. Laskentamenetelmä neuvoo käyttämään energia-allokointia kaikissa muissa tapauksissa, paitsi viljelytuotteiden ylijäämillä tuotetun sähkön tapauksessa, jossa korvaushyötyjen huomioiminen on mahdollista. Epäselväksi kuitenkin jää, miksei ylijäämästä saa korvaushyötyä, jos se on tuotettu muulla kuin viljelytähteillä kuten esimerkiksi jätteellä tai hakkuutähteillä.

Jotta biopolttoaineiden ilmastovaikutusten arviointi huomioisi paremmin myös valmistusketjujen aiheuttamat laajalle ulottuvat vaikutukset, tulisi tarkastelun järjestelmärajaa laajentaa siitä, mihin se RES-direktiivin laskentamenetelmän mukaisesti asetetaan. Tällöin tarkasteluun tulisi ottaa mukaan esimerkiksi

biopolttoaineprosesseissa syntyvien sivutuotteiden avulla saavutettavat korvaushyödyt. Tämä taas lisäisi tarkastelua varten tarvittavien oletusten määrää, ja näin tulosten epävarmuus voisi kasvaa entisestään. Toisaalta korvaushyötyjen huomioimatta jättämisestä voidaan pitää ongelmallisena, sillä niillä voi olla kasvihuonekaasutaseen kannalta suuri merkitys tapauksissa, joissa biopolttoaineen tuotannon ohella syntyy esimerkiksi suuria määriä sähköä, lämpöä ja mahdollisesti myös muita tuotteita. Jottei korvaushyötyjä kuitenkaan yliarvioitaisi eikä biopolttoaineiden ilmastovaikutusarviointien valvonta kävisi mahdottomaksi, olisi RES-direktiivissä periaatteessa mahdollista esittää oletusarvoja erilaisista korvaushyödyistä.

Biopolttoaineiden avulla saavutettujen päästövähennysten arviointiin käytetään RES-direktiivissä suhteellisen päästövähennyksen mittaria, jolla biopolttoaineiden tuotannon ja käytön päästöt verrataan fossiilisten polttoaineiden päästöihin. Tämä mittari on kuitenkin ongelmallinen, sillä se ei huomioi biomassan hyödyntämisen tehokkuutta ilmastonmuutoksen hillinnässä. Biopolttoaineiden päästövaikutuksia arvioitaessa tulisi kiinnittää huomiota siihen, mikä on tehokkain tapa vähentää ilmastovaikutuksia kulloinkin vallitsevat rajoittavat tekijät huomioon ottaen. Näitä rajoittavia tekijöitä voivat olla esimerkiksi kilpailu raaka-ainetuotannon maa-alasta, kilpailu biomassasta raaka-aineena tai kustannuskysymykset. Tällöin päästöjen arviointiin sopisivat paremmin mittarit, joissa saavutettua päästövähennystä suhteutettaisiin käytettyyn maa-alaan tai biomassaan. Päästövähennysten kustannustehokkuutta taas voitaisiin mitata vertaamalla saatua päästövähennystä käytettyyn tai käytettävissä olevaan rahamäärään. Erilaisia mittareita käyttämällä saataisiin monipuolisempi kuva biopolttoaineiden tehokkuudesta ilmastonmuutoksen hillinnässä.

Koska esimerkiksi tässä työssä tarkastellun jäte-etanolin tapauksessa raaka-aineena käytettävää jätemateriaalia voitaisiin hyödyntää myös muilla tavoin, tulisi ilmastovaikutusten arviointi laajentaa käsittämään niitä vaikutuksia, joita syntyy mahdollisesta kilpailusta raaka-ainemarkkinoilla. Tällöin elinkaariarvioinnin lähtökohdana tulisi olla muutostarkastelu (consequential LCA), jonka avulla voitaisiin tarkastella niitä vaikutuksia, joita syntyy jäte-etanoliketjun toteuttamisen tai toteuttamatta jättämisen seurauksena. Jäte-etanoliketjun toteutuessa päästövähennyksiä voitaisiin saada fossiilisten polttoaineiden korvaamisesta liikenteessä sekä sivutuotteena

syntyvien sähkön, lämmön ja biokaasun korvata muilla polttoaineilla tuotettua energiaa. Jos taas jäte-etanoliketjua ei toteutettaisi, voitaisiin jäteraaka-ainetta käyttää esimerkiksi sähkön ja lämmön tuotannossa, jolloin saavutettaisiin myös päästövähennyksiä. Näitä vaihtoehtoja vertaamalla voitaisiin arvioida sitä, missä käyttökohteessa jäteraaka-aineesta saataisiin suurin hyöty ilmaston kannalta.

Kun jättemateriaalia käytetään raaka-aineena, olisi tärkeää kiinnittää huomiota myös siihen, ettei jätteen synnyn ehkäisyn tavoitetta unohdeta. Ilmastonmuutoksen hillinnän kannalta jätteen synnyn ehkäisy on todennäköisesti kaikkein tehokkain keino päästöjen vähentämiseksi. RES-direktiivin mukaisesti jätettä raaka-aineena käyttäville biopolttoaineprosesseille päästöt lasketaan vasta jätteen keräilystä alkaen. Tämä oletus ei kuitenkaan pidä paikkaansa tilanteessa, jossa jätteen hyöty- ja energiakäytön lisääntyessä jättemateriaalista käydään kilpailua esimerkiksi biopolttoaineiden tuotannon ja sähkön ja lämmön tuotannon välillä. Jos jättemateriaalin tuotanto kasvaa tai jätteen vähentämisen tavoitteesta luovutaan tämän raaka-ainekilpailun seurauksena, ei jäteraaka-aineen pitäminen päästöneutraalina ole enää perusteltua.

Koska ilmastonmuutoksen hillinnän tavoitteet ovat hyvin haastavia ja niiden aikataulu tiukka, tulisi poliittisen ohjauksen lähtökohtana olla perinteisen elinkaariarvioinnin rinnalla muutostarkasteluna toteutettava elinkaariarviointi. Tällöin olisi mahdollista vertailla laajemmin eri toimintavaihtoehtoja sekä niiden ilmastovaikutuksia, ja valita tehokkaimmat keinot nopeiden päästövähennysten saavuttamiseksi. Myös mahdollisuus käyttää biomassaa hiilivarastona tulisi ottaa huomioon. RES-direktiivissä biopolttoaineiden ilmastovaikutusten laskenta perustuu kuitenkin perinteiseen syytarkasteluna toteutettavaan elinkaariarviointiin, jolloin monia näkökohtia jää tarkastelun ulkopuolelle. RES-direktiivin tapauksessa suppean elinkaariarvioinnin sekä oletusarvojen käyttöä voidaan perustella käytännön syillä, kuten sillä, ettei päästövähennyslaskelmien laatiminen olisi liian työlästä tai ettei byrokratian määrä kasvaisi valtavaksi. Voidaan kuitenkin kyseenalaistaa se, onko tällainen toimintatapa järkevä päästövähennystuloksiin liittyvien epävarmuuksien takia.

Kuten tässä työssä käy ilmi RES-direktiivin laskentamenetelmän avulla tehdyt kasvihuonekaasutaselaskelmat ovat riippuvaisia menetelmän tulkintatavasta sekä

lähtöoletusten epävarmuudesta. Laskentamenetelmä on myös lähestymistavaltaan suppea, eikä toistaiseksi huomioi esimerkiksi biopolttoaineketjujen epäsuoria vaikutuksia. Voidaan siis kysyä, onko todellisuudessa perusteltua sanoa, että RES-direktiivin laskentamenetelmän mukaisesti kestäväksi luokiteltava biopolttoaine olisi todellisilta ilmastovaikutuksiltaan kestävä. RES-direktiivin laskentamenetelmän avulla tehtävät päätelmät saattavat olla harhaanjohtavia jo pelkästään tulosten epävarmuuden takia ja voivat johtaa biopolttoaineiden tuotantoa ja biomassan käyttöä ilmaston kannalta epäsuotuisille kehitysurille. Ilmastonmuutoksen hillinnän kiireellisyyden vuoksi ilmastovaikutusten arviointia tulisi tehdä mahdollisimman huolellisesti ja laaja-alaisesti, jotta hillintätoimenpiteiksi voitaisiin valita tehokkaimmat strategiat ja keinot. Myös RES-direktiivin laskentamenetelmä kaipaa kehitystä, jotta se tukisi ilmasto- ja ympäristövaikutuksiltaan optimaalisimpien biopolttoaineiden kehitystä ja käyttöönottoa.

LÄHDELUETTELO

Barlaz M. 1998. Carbon storage during biodegradation of municipal solid waste components in laboratory-scale landfills. *Global biogeochemical cycles* no. 12. June 1998. sivut: 373-380.

Blottnitz H. & Curran M. 2007. A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective. *Journal of cleaner production* 15 (2007). sivut: 607-619.

Cramer et al. 2007. Testing framework for sustainable biomass – Final report from the project group “Sustainable production of biomass”. Creative Energy- Energy transition. March 2007

Cramer et al. 2006. Criteria for sustainable biomass production – Final report from the project group “Sustainable production of biomass”. Energy Transition Task Force.14.7.2006.

Dalgaard R, Schmidt J, Halberg N, Christensen P, Thrane M, Pengue WA.2008. LCA of soybean meal. *International Journal of LCA* 13(3):240–254. 2008. sivut: 240-254.

EC 2008a. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – 20 20 by 2020 Europe’s climate change opportunity. Commission of the European Communities. COM(2008) 30 final, Brussels 23.1.2008.

EC 2008b. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources. Commission of the European Communities. COM(2008)19 final. 2008/0016(COD). Brussels 23.1.2008

EC 2008c. Climate-energy legislative package: proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources = Result of final trilogue: consolidated text. Council of the European Union. 2008/0016 (COD). Brussels 11.12.2008.

EC 2000. Green Book - Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply. COM(2000) 769 final. Brussels 29.11.2000.

Ecoinvent Data 2.0. 2007. Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

Edwards R., Larivé J., Mahieu V., Rouveïrolles P. Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. CONCAWE – EUCAR – JRC -report. Version 2c, March 2007. saatavissa:
http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/WTW_Report_010307.pdf

Ekvall T., Tillman A.M., Molander S. 2005. Normative ethics and methodology for life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production* 13 (2005). sivut: 1225-1234.

EU 2009. Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. 2008/0016 (COD). Brussels 26.3.2009. [viitattu 6.5.2009] saatavissa:

<http://register.consilium.europa.eu/pdf/en/08/st03/st03736.en08.pdf>

EU 2008. The 2°C target – Information Reference Document. July 2006. EU Climate Change Expert Group ‘EG Science’.

E4tech 2007. Bauen A., Watson P., Howes J. Carbon Reporting within the Renewable Transport Fuel Obligation – Methodology. 27.4.2007.

G. Rebitzer, Ekvall T., Frischknecht R., Hunkler D., Norris G., Rydberg T., Schmidt W., Suh S., Weidema B., Pennington D. 2004. Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International* 30. 2004. sivut: 701-720.

Heijungs R. & Guinée J.B. 2007. Allocation and ‘what-if’ scenarios in life cycle assessment of waste management systems. *Waste Management* 27 (2007). sivut: 997-1005.

IEA 2008. World Energy Outlook 2008. International Energy Agency. ISBN 978-92-64-04560-6

IEA 2004. Biofuels for transport- An international Perspective. International Energy Agency 2004. Verkkojulkaisu. [viitattu 2.4.2009] saatavissa: <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/biofuels2004.pdf>

IPCC 2007a. Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Summary for Policymakers and Technical Summary. Cambridge. 2007. ISBN 92-9169-121-6. 108 s.

IPCC 2007b. Hallitusten välinen ilmastopaneeli. Ilmastonmuutos v.2007: Luonnontieteellinen perusta. Yhteenveto päätöksentekijöille. 23s. Internetjulkaisu. [viitattu 12.1.2008] saatavissa: http://www.fmi.fi/kuvat/ipcc_ar4_spm_suomennos.pdf

IPCC 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. Japan. ISBN 4-88788-032-4. saatavilla: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>

IPCC 2001. Climate change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton J., Ding Y., Griggs D., Noguer M., Van der Linden P., Xiaosu D. Cambridge University Press, Cambridge. saatavilla: http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/CLIMATE/IPCC_TAR/WG1/index.htm

IPCC 2000. Intergovernmental Panel on Climate Change. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 5: Waste

IPCC 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Houghton J., Meira Filho L., Lim B., Treanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D., Callender B. IPCC/OECD/IEA. UK Meteorological Office. saatavilla: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs5.html>

JLY 2009. Jätelaitosyhdistyksen internetsivut, energiahyödyntämis-osio. Energiahyödyntäminen Suomessa. [viitattu 23.3.2009]. saatavissa: <http://www.jly.fi/energia1.php?treeviewid=tree3&nodeid=1>

Jokinen M. 2004. Sekapolttoaineet Suomen kasvihuonekaasuinventaarissa ja energiatilastoinnissa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan ja ympäristönsuojelun osasto. Espoo.

JRC 2008. Biofuels in the European Context: Facts and Uncertainties. European Commission Joint Research Centre.

Kirkinen J., Minkkinen K., Penttilä T., Koljola S., Sievänen R., Alm J., Saarnio S., Silvan N., Laine J., Savolainen I. 2007. Greenhouse impact due to different peat fuel utilisation chains in Finland – a life-cycle approach. Boreal Environment Research. 12/2007. 11.5.2007. Helsinki. sivut: 211-223.

Koponen K., Soimakallio S., Sipilä E. 2009. Assessing greenhouse gas emissions of waste derived ethanol in accordance with the EU RES methodology for biofuels. VTT Research report. Luottamuksellinen.

Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä. 13.4.2007 / 446. Voimaan 1.1.2008.

Larson Eric D. 2006. A review of life-cycle analysis studies on liquid biofuel systems for the transport sector. Energy for Sustainable Development No.20 June 2006. Princeton Environmental Institute. Princeton University. USA.

LIPASTO-liikenteen päästöt tietokanta. VTT [viitattu 19.3.2009] saatavissa: http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne_tieliikenne.htm

Mattila T., Kujanpää M., Myllymaa T., Korhonen M., Soukka R., Dahlbo H. 2009. Ostokassin ilmastovaikutusten vähentäminen. Suomen ympäristö 2/2009. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 2009. ISBN:978-952-11-3350-3 (PDF) 66s.

Michell D. 2007. Agriculture and the WTO. Workshop on International Trade and the Doha Round, UNITAR. 10.7.2007. saatavissa: www.unitary.org/mm/File/Agriculture%20Mitchell.ppt

Mäkinen T., Soimakallio S., Paappanen T., Pahkala K., Mikkola H. . 2006. Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit. VTT Tiedotteita 2357. Helsinki 2006. ISBN 951-38-6925-7. 134s.

Nielsen PH, Oxenbøll KM, Wenzel H (2007): Cradle-to-Gate Environmental Assessment of Enzyme Products Produced Industrially in Denmark by Novozymes A/S. *Int J LCA* 12 (6) sivut: 432–438

Nissinen A. & Seppälä J. 2008. Tuotteiden ilmastovaikutuksista kertovat merkit. Selvitys Vanhasen II hallituksen tulevaisuusselontekoa varten. Valtioneuvoston kanslian julkaisusarja 11/2008. ISBN 978-952-5631-73-9

Nordic Ecolabelling. 2008. Swan Labelling of Fuels. Version 1.0 • 25 June 2008 – 30 June 2010.

OECD & Round Table of Sustainable Development. 2007. Biofuels: Is the cure worse than the disease? Paris 2007. Verkkojulkaisu. [viitattu 2.4.2009] saatavissa: <http://media.ft.com/cms/fb8b5078-5fdb-11dc-b0fe-0000779fd2ac.pdf>

RSPO. Roundtable of Sustainable Palm Oil Production. RSPO Principles and Criteria for Sustainable Palm Oil Production. October 2007.

RTRS. Roundtable of Responsible Soy. Draft document: RTRS Principles and Criteria for Responsible soy production and trade. 30.10.2007.

Schlamadinger, B., Edwards, R., Byrne, K. A., Cowie, A., Faaij, A., Green, C., Fijan-Parlov, S., Gustavsson, L., Hatton, T., Heding, N., Kwant, K., Pingoud, K., Ringer, M., Robertson, K., Solberg, B., Soimakallio, S., Woess-Gallasch, S. 2005. Optimizing the greenhouse gas benefits of bioenergy systems. 14th European Biomass Conference, 17–21 October 2005, Paris, France, 4pp.

Seppälä R., Buck A., Katila P..2009. Adaptation of Forests and People to Climate Change - A Global Assessment Report. IUFRO World Series Volume 22. Helsinki. ISBN 978-3-901347-80-1. 224 s.

Sipilä E. 2008. Henkilökohtainen tiedonanto 13.12.2008.

Soimakallio S., Antikainen R., Thun R. et al. 2009a. Assessing the sustainability of biofuels from evolving technologies –Finnish approach. VTT:n Tiedotteita – Research notes 2482. VTT 2009. ISBN 978-951-38-7291-5. 268 s.

Soimakallio, S., Mäkinen T., Ekholm T., Pahkala K., Mikkola H., Paappanen T. 2009b. Greenhouse gas balances of transportation biofuels, electricity and heat generation in Finland—Dealing with the uncertainties. *Energy Policy* 37 (2009) sivut: 80-90.

The Bali Roadmap. 2007. Witoelar P. Closing of Joint High-Level Segment. Bali 15.12.2007. [viitattu 21.4.2009] saatavissa: http://unfccc.int/files/meetings/cop_13/application/pdf/close_stat_cop13_president.pdf

Thomassen M. A., Dalgaard R., Heijungs R., Boer I. 2008. Attributional and consequential LCA of milk production. *International Journal of Life Cycle Assessment* 13. 2008. sivut: 339-349.

Tilastokeskus 2009. Internetsivut: Energian hankinta, kulutus ja hinnat. Taulukot. . [viitattu 27.4.2009] saatavissa: <http://www.stat.fi/til/ehkh/tau.html>

Tilastokeskus 2008. Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2006. National Inventory Report to the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 11 April 2008. Taulukko 3.2_6. p.57

Tilastokeskus 2007. Energiavuosi 2006 tilasto.

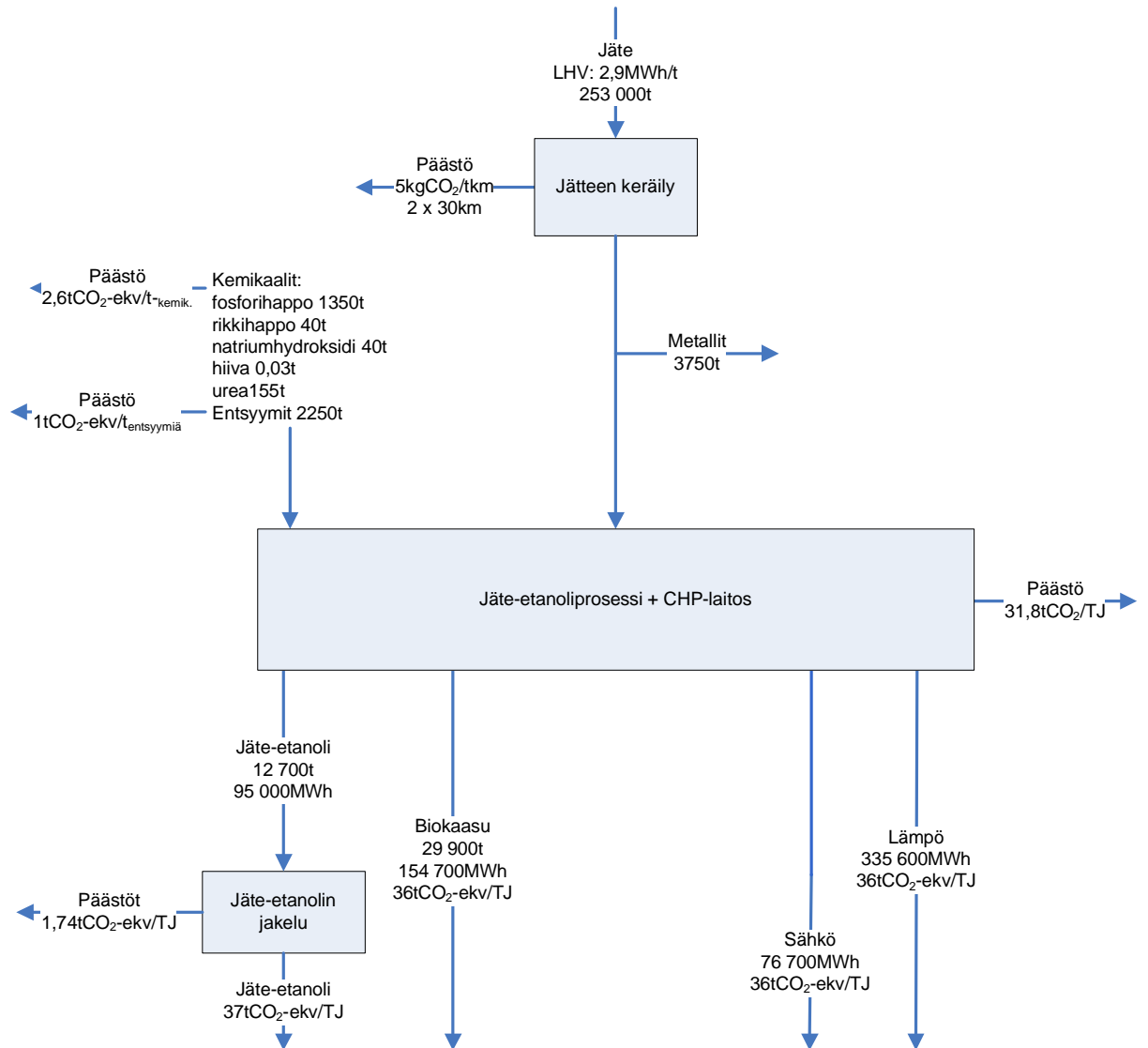
Tuhkanen S., Pipatti R., Sipilä K., Mäkinen T. 2001. The effect of new solid waste treatment systems on greenhouse gas emissions. VTT

UNFCCC 2008. The United Nations Framework Convention on Climate Change-internetsivut. [viitattu 10.12.2008] saatavissa:
http://unfccc.int/essential_background/convention/items/2627.php
http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php

Wang, M., 2005. "Energy and greenhouse emission impacts of fuel ethanol", esitelmä DOE/EC Biorefinery Workshop:ssa, Washington DC, 21 July. [viitattu 19.3.2009] saatavissa:www.anl.gov/Media_Center/News/2005/NCGA_Ethanol_Meeting_050823.pdf

LIITE 1

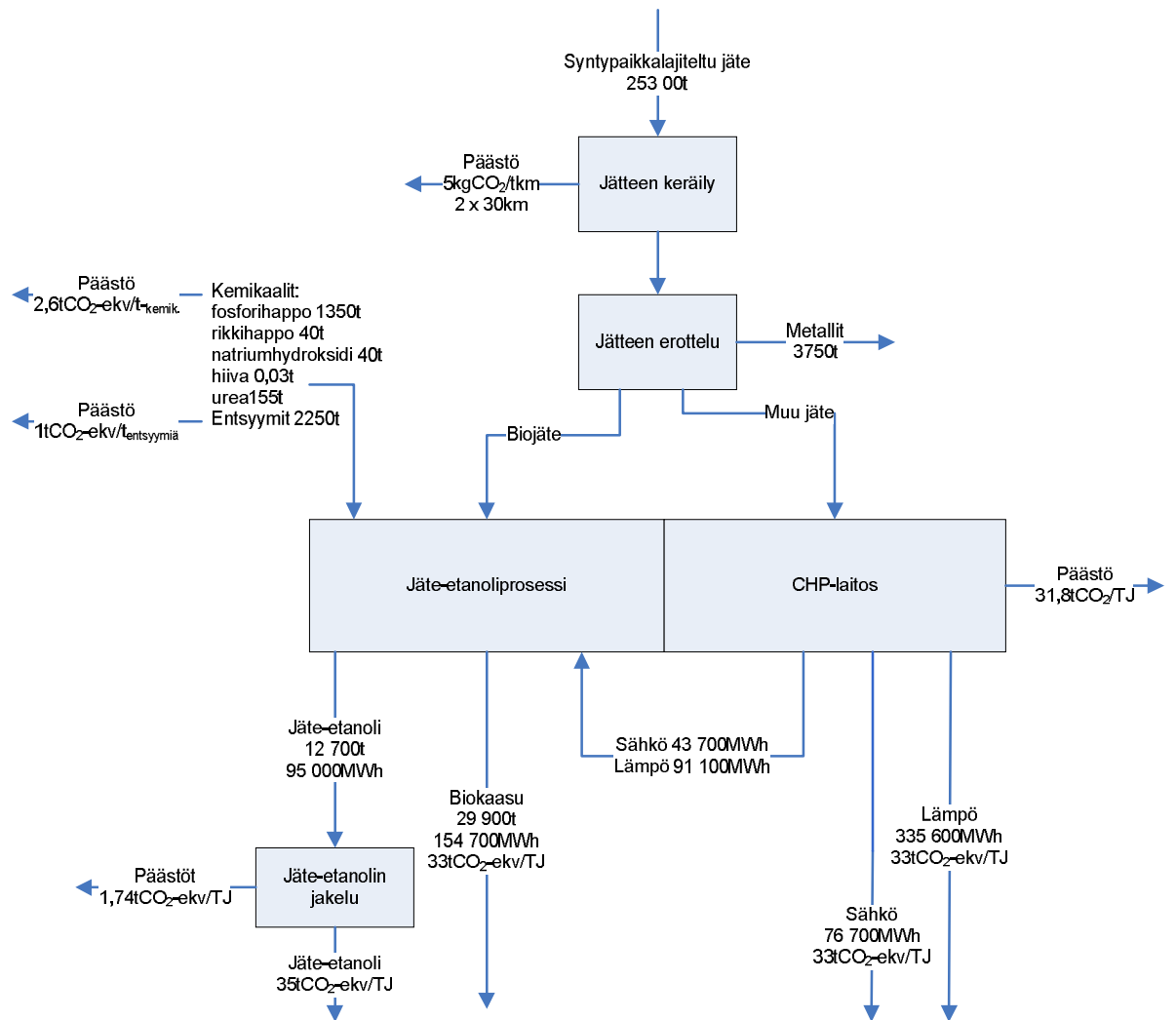
Jäte-etanoliprosessin eri tulkintavaihtoehtojen tasekuvat



Kuva L1. Jäte-etanoliprosessin tulkintavaihtoehtojen 1 tasekuva.

(jatkuu)

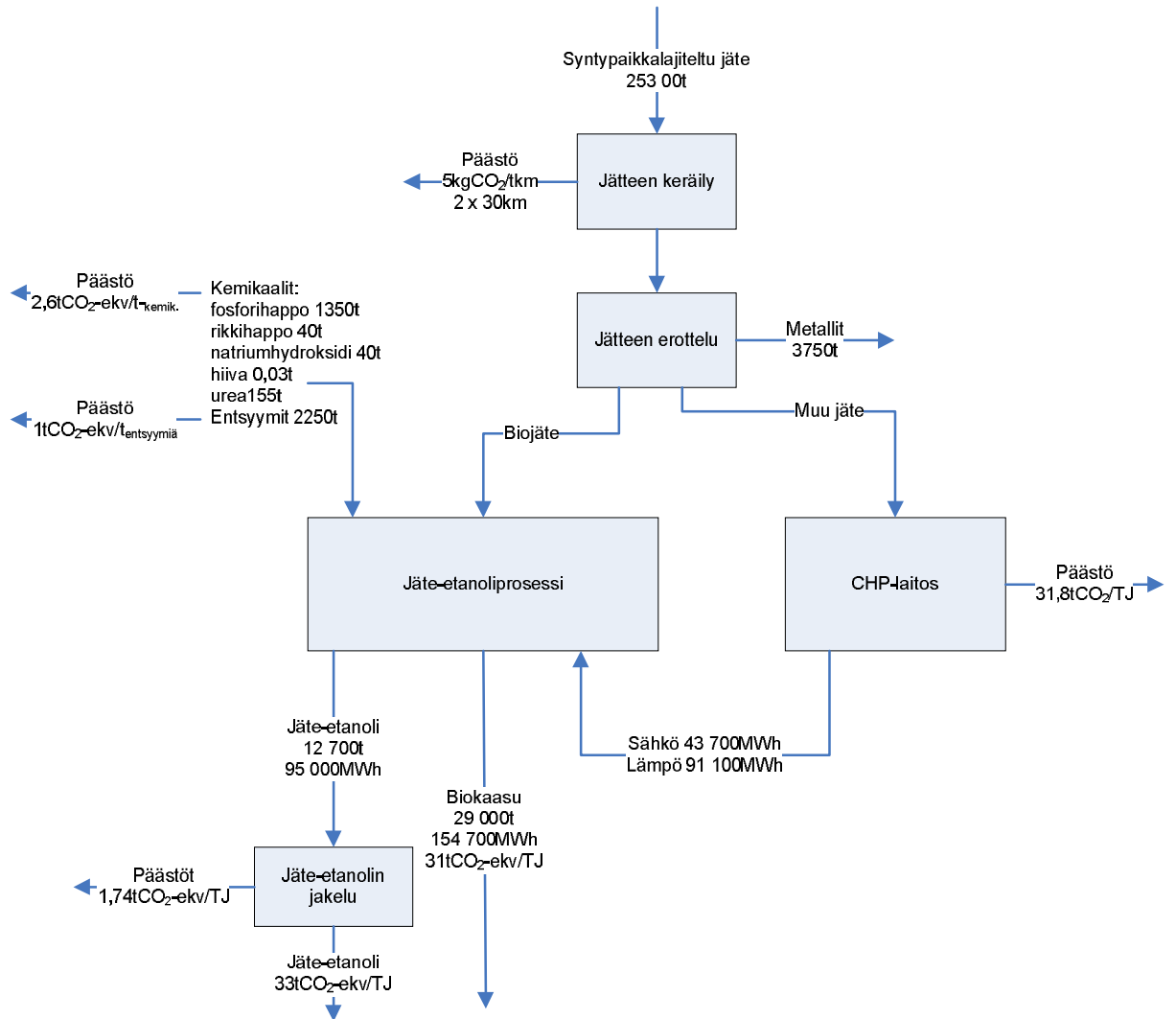
(liite 1 jatkoa)



Kuva L2. Jäte-etanoliprosessin tulkintavaihtoehdon 2 tasekuva.

(jatkuu)

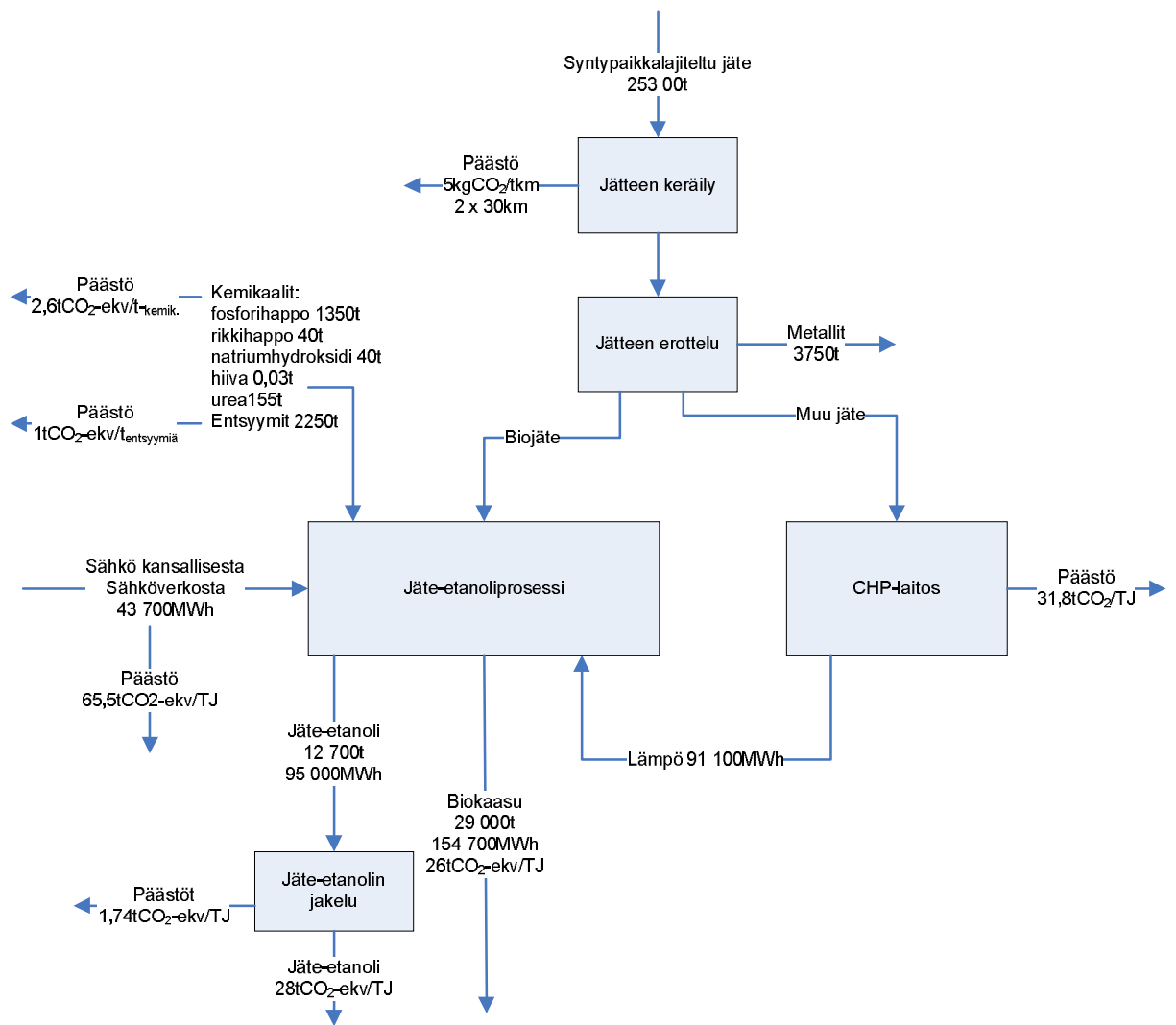
(liite 1 jatkoa)



Kuva L3. Jäte-etanoliprosessin tulkintavaihtoehdon 3 tasekuva.

(jatkuu)

(liite 1 jatkoa)



Kuva L4. Jäte-etanoliprosessin tulkintavaihtoehdon 4 tasekuva.