
**REJEKTIVEDESTÄ VALMISTETUN
AMMONIUMSULFAATTITUOTTEEN
YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET**

Elinkaariarvio taloudellisen kestävyuden mittarina

HAMK
HÄMEEN AMMATTIKORKEAKOULU

Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Kestävän kehityksen koulutusohjelma

Forssa, kevät 2014

Tuomas Jantunen

Tekijä	Tuomas Jantunen	Vuosi 2014
Työn nimi	Rejektivedestä valmistetun ammoniumsulfaattituotteen ympäristövaikutukset: Elinkaariarvio taloudellisen kestävyuden mittarina	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää biokaasulaitoksen mädätysjäätännöksen kuivaamisesta syntyvän rejektiveden jatkohyödyntämispotentiaalia arvioimalla rejektiveden tyyppistä valmistetun ammoniumsulfaattituotteen potentiaaliset ympäristövaikutukset. Lisäksi työssä selvitettiin tuotteen potentiaalinen kysyntä tuotantolaitoksen lähialueella. Opinnäytetyö liittyi helmikuussa 2013 alkaneeseen EAKR-hankkeeseen ”Biojätteistä ja lietteistä kestävää toimintaa” (Bioliike), jota rahoitetaan Etelä-Suomen EAKR -ohjelmasta. Hanketoteuttajina ovat ammattikorkeakoulut HAMK, LAMK ja Laurea. Hankkeessa on mukana myös jäte- ja vesihuoltoalan yrityksiä sekä biopolttoainetuottajia. Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli HAMK.

Teoriaosuudessa perehdyttiin taloudellisen kestävyuden ja kestävä kehityksen periaatteisiin sekä niihin liittyviin kansallisiin ja kansainvälisiin strategioihin ja sitoumuksiin. Lisäksi tämän opinnäytetyön teoriaosuudessa käsiteltiin elinkaariarvion toteuttamisen perusteita sekä yleisiä käytäntöjä.

Ammoniumsulfaattituotteen potentiaaliset ympäristövaikutukset arvioitiin elinkaariarvion menetelmän avulla. Elinkaariarvion tiedonkeruussa hyödynnettiin EcoInvent-tietokannan korvaavaa tietoaainetta. Tuotteen potentiaalisen kysynnän selvitys suoritettiin tiedonhaun perusteella tehtyjen puhelinhaastatteluiden avulla.

Elinkaariarvion tulosten perusteella rejektiveden tyyppistä valmistetun ammoniumsulfaattituotteen valmistuksen suurimmat vaikutukset kohdistuvat happamoitumista, abioottisten ympäristötekijöiden ehtymistä ja rehevöitymistä kuvaaviin vaikutusluokkiin. Valtaosa tutkitun tuotejärjestelmän vaikutuksista syntyi prosessissa käytettävän natriumhydroksidin valmistuksessa. Kysynnän selvityksen perusteella tuotteella on kysyntää teollisuuden kemikaalien komponenttina ja maatalouden epäorgaanisena lannoitteena.

Avainsanat Elinkaarianalyysi, kestävä kehitys, biokaasu, jätevedenpuhdistamot, typpi

Sivut 46 s. + liitteet 6 s.

Author	Tuomas Jantunen	Year 2014
Subject of Bachelor's thesis	Environmental impacts of ammonium sulphate product made from nitrogen of reject water: LCA as an indicator of economic sustainability	

ABSTRACT

The aim of the bachelor's thesis was to examine the reclamation potential of a biogas plant's reject water by assessing the potential environmental impacts of ammonium sulphate product made from nitrogen of reject water and sulphuric acid. The potential demand of the ammonium sulphate product in the biogas plant's region was studied as a part of this thesis. The bachelor's thesis was a part of the "Sustainable treatment technologies and business from biowaste and sludge" project, which is funded by the Southern Finland ERDF programme. The project was coordinated by HAMK and done in cooperation with LAMK and Laurea. The project is carried out in cooperation with regional partner companies working in the fields of waste management, water supply and biogas production. This bachelor's thesis was commissioned by HAMK.


The theoretical part of the thesis deals with principles of economic sustainability and sustainable development and also national and international strategies and commitments related to these principles. The theoretical part also deals with the general principles and practices of life cycle assessment.

The potential impacts of the ammonium sulphate product were evaluated with streamlined cradle-to-gate life cycle assessment study. Secondary data from EcoInvent database were used in life cycle inventory analysis. The product's potential demand study was carried out with telephone interviews which were based on results of information retrieval.

According to results of life cycle assessment, the ammonium sulphate product's greatest potential impacts are focused on impact categories of acidification, abiotic depletion and eutrophication. The most damaging phases of the assessed product system were production of sodium hydroxide and sulphuric acid. The ammonium sulphate product has demand in chemical industry and agriculture, according to the potential demand study of the product in the biogas plant's region.

Keywords Life cycle assessment, sustainable development, biogas, wastewater treatment plants, nitrogen

Pages 46 p. + appendices 6 p.



TERMIT JA LYHENTEET

Abiotic depletion	Abioottisten (elottomien) ympäristötekijöiden ehtyminen. Esimerkiksi mineraalien ja fossiilisten polttoaineiden ehtyminen.
Ammoniakkistriippaus	Menetelmä, jossa nesteeseen sitoutunut ammoniakkikaasu siirretään nesteestä kaasuun.
CAS-numero	Chemical Abstract Service -numero on yhdysvaltalainen kemikaalien tunnistenumerojärjestelmä, jonka tarkoituksena on helpottaa kemikaalien tunnistamista.
EAKR	Euroopan aluekehitysrahasto
Elinkaariajattelu	Tarkoittaa tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaisten ympäristönäkökohtien huomioonottamista. Elinkaariajattelun pää tavoitteena on, että ympäristöongelmien siirtyminen eri elinkaaren vaiheiden tai vaikutusluokkien välillä sekä ajallisesti vältetään.
Ihmisen tekemä pääoma	Tarkoittaa varallisuutta, rahaa tai omaisuutta, jota käytetään tai voidaan käyttää varallisuuden kasvattamiseen ja jonka omistaja tai haltija on yksilö, yhteisö, yhdistys, yritys, instituutio tai jokin muu yhteenliittymä.
ILCD-käsikirja	International Life Cycle Data System -käsikirja on JRC:n julkaiseva teos, joka pyrkii kokoamaan parhaat käytännöt olemassa olevista elinkaariarvioinnin työkaluista ja tietopohjasta.
Inhimillinen pääoma	Koostuu yksilön omista kyvyistä ja taidoista sekä taidoista ja osaamisesta, jotka on saatu koulutuksen kautta. (Joskus myös terveys otetaan tähän mukaan.)
Inventaarioanalyysin tulos	Tarkoittaa tiettyyn vaikutusluokkaan vaikuttavien päästöjen määrää toiminnallista yksikköä kohti. Esimerkiksi yhden jalokapallon elinkaaren kasvihuonekaasujen määrä.
ISO	International Organization for Standardization on kansainvälinen standardisointijärjestö.
Iteratiivinen prosessi	Kaksisuuntainen prosessi, jossa on aina mahdollista palata aiempiin vaiheisiin tarkastamaan ja myös muuttamaan aiemmin tehtyjä valintoja.
Infrastruktuuri	Tarkoittaa yhteiskunnan toiminnalle tärkeitä rakenteita kuten esimerkiksi tiet, rakennukset, viemäriputket sekä sähkö- ja tietoliikenneverkot.
JRC	Joint Research Centre on Euroopan komission alainen tutkimuskeskus, joka on julkaissut moniosaisen ILCD-käsikirjan elinkaariarvioinnin suorittamiseen.
Järjestelmän rajat	Joukko kriteerejä, joilla määritellään, mitkä yksikköprosessit kuuluvat tuotejärjestelmään.
Karakterisointi	Luonnehdinta. Tarkoittaa inventaarioanalyysin tulosten muun-

	tamista yhteiseen yksikköön karakterisointikertoimien avulla.
Kestävä talous	Taloujärjestelmä, jossa otetaan taloudellinen, ekologinen ja sosiaalinen kestävyys tasavertaisesti huomioon.
LCA	Life Cycle Assessment eli elinkaariarvio on elinkaariajatteluun perustuva ympäristönäkökohtien arviointityökalu.
Luontopääoma	Koostuu ekosysteemeistä, geenivaroista ja lajeista.
Rejektivesi	Biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen mekaanisessa kuivauksessa syntyvä typpipitoinen nestejäte.
SEMCo	Swedish Environmental Management Council on Ruotsin hallituksen alainen ympäristöasiantuntijaneuvosto.
Sosiaalinen pääoma	Koostuu sosiaalisista verkostoista, normeista ja luottamuksesta, joilla on kyky edistää verkoston jäsenten välistä yhteistoimintaa, resurssien hyödyntämistä ja toimintojen yhteensovittamista.
Suhteellinen lähestymistapa	Tarkoittaa elinkaariarvioinnissa sitä, että kaikki analyysin tulokset ja arviot on suhteutettu toiminnalliseen yksikköön.
Syöte	Yksikköprosessiin tuleva tuote-, materiaali- tai energiavirta. Materiaali ja tuotevirrat voivat olla välivalmisteita, raaka-aineita, päästöjä tai rinnakkaistuotteita.
Toiminnallinen yksikkö	Tarkoittaa tiettyä tuotetta tai palvelua, jonka perusteella inventaarioanalyysin kerättävä tieto ja tuloksien analysointi ja arviointi suhteutetaan.
Tuotejärjestelmä	Sarja yksikköprosesseja, joissa on syöte- ja tuotevirtoja, jotka kuvaavat yhden tai useampia määriteltyjä toimintoja ja jotka kuvaavat tuotteen elinkaarta.
Tuotos	Yksikköprosessista poistuva materiaali-, energia- tai tuotevirta.
Vaikutusluokka	Tarkoittaa tarkasteltavia ympäristökysymyksiä edustava luokka, johon inventaarioanalyysin tulokset voidaan sijoittaa. Esimerkiksi ilmastonmuutosta edustava vaikutusluokka.
Vaikutusluokkaindikaattori	Tarkoittaa tiettyä vaikutusluokkaa edustavaa määrällistä mittaria. Esimerkiksi ilmastonmuutoksen vaikutusluokkaindikaattori on infrapunasäteilypakote (W/m ²).
Vihreä talous	Taloujärjestelmä, jossa ekosysteemin hyvinvointi otetaan huomioon kiinteänä osana järjestelmää.
Yksikköprosessi	Pienin inventaarioanalyysissä huomioon otettava osa, jonka suhteen tuotos- ja syötevirrat suhteutetaan.
Yksinkertaistettu elinkaariarvio	Tarkoittaa elinkaariarviota, jossa on tehty yksinkertaistuksia työmäärän pienentämiseksi.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Tutkimuksen tarkoitus.....	1
1.2	Toimeksiantaja	1
2	TALOUDELLINEN KESTÄVYYS	2
2.1	Kestävä kehitys	2
2.2	Taloudellinen kestävyys	2
2.3	Kestävä talous ja maapallon kantokyky	4
2.4	Kestävän kehityksen Eurooppa 2020 -strategia	6
2.4.1	Suomen kansallinen Eurooppa 2020 -strategia	7
2.4.2	Kansallinen kestävä kehityksen yhteiskuntasitoumus.....	8
2.5	Kestävän kehityksen indikaattoreita eli mittareita	9
3	ELINKAARIARVIO.....	13
3.1	Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely	13
3.2	Inventaarioanalyysi	13
3.3	Vaikutusarviointi.....	15
3.4	Tulosten tulkinta.....	17
3.5	Vaikutusarviointimenetelmät	17
3.5.1	CML 2 baseline 2000 V2.05	19
3.5.2	EPD 2008.....	20
3.6	ISO 14020 -standardisarja ja ympäristömerkinnät.....	20
4	REJEKTIVEDESTÄ VALMISTETUN AMMONIUMSULFAATIN YKSINKERTAISTETTU ELINKAARIARVIO JA POTENTIAALISEN KYSYNNÄN SELVITYS.....	22
4.1	Ammoniumsulfaattituotteen potentiaalisen kysynnän selvitys	22
4.1.1	Ammoniumsulfaatin käyttö teollisuudessa.....	22
4.1.2	Ammoniumsulfaatin käyttö kasvintuotannossa.....	23
4.2	Yksinkertaistettu elinkaariarvio	24
4.2.1	Tavoitteiden määrittely.....	25
4.2.2	Soveltamisalan määrittely	25
4.2.3	Inventaarioanalyysi.....	27
4.2.4	Vaikutusarviointi	31
4.2.5	Tulosten tulkinta.....	33
4.2.6	Elinkaariarvion tulosten epävarmuustekijät	36
5	POHDINTA.....	37
5.1	Tulokset.....	37
5.2	Opinnäytetyöprosessi	39
	LÄHTEET	41

-
- Liite 1 Abioottisten ympäristötekijöiden ehtymisen vaikutusluokka indikaattorituloksen verkosto
 - Liite 2 Happamoitumisen vaikutusluokka indikaattorituloksen verkosto
 - Liite 3 Rehevöitymisen vaikutusluokka indikaattorituloksen verkosto
 - Liite 4 Ilmastonmuutoksen vaikutusluokka indikaattorituloksen verkosto
 - Liite 5 Otsonikadon vaikutusluokka indikaattorituloksen verkosto
 - Liite 6 Fotokemiallisen (alailmakehän) otsonin muodostumisen vaikutusluokka indikaattorituloksen verkosto

1 JOHDANTO

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää biokaasulaitoksen rejektivedestä valmistetun ammoniumsulfaattituotteen tuotannon mahdolliset ympäristövaikutukset yksinkertaistetun elinkaariarvion avulla. Elinkaariarvion lisäksi opinnäytetyössä selvitettiin ammoniumsulfaattituotteen potentiaalinen kysyntä tiedonhaun ja puhelinhaastatteluiden avulla. Ammoniumsulfaattia valmistetaan rejektiveden tyyppistä ammoniakkistriippauksen avulla. Ammoniakkistriippauslaitoksen tarkoitus on pienentää biokaasulaitoksen rejektiveden vesistökuormitusta sekä parantaa kansallista ravinteiden kierrätyksen tasoa. Tässä opinnäytetyössä tehtiin yhdessä portille elinkaariarvio, joka on yleisesti käytetty elinkaariarvioinnin lähestymistapa yritysmarkkinoinnissa ja luokan kolme ympäristömerkinnöissä. Elinkaariarvioinnissa on pyritty huomioimaan SFS-EN ISO 14040 ja -14044 standardien sekä ILCD-käsikirjan ohjeet ja suositukset.

1.1 Tutkimuksen tarkoitus

Työn tarkoituksena on edistää biojätteiden ja -lietteiden hyödyntämistä ja niistä saatavien hyödykkeiden tuotteistamista työn tilaajan, Bioliike-hankkeen tavoitteiden mukaisesti. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää ympäristön ja ravinteiden kierrätyksen kannalta parhaiden biojätteiden käsittelymenetelmien selvittämisessä ja tutkimisessa. Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää myös strippauslaitoksen omistavan yrityksen päätöksenteossa ja prosessisuunnittelussa.

1.2 Toimeksiantaja

Opinnäytetyö liittyi helmikuussa 2013 alkaneeseen EAKR-hankkeeseen ”Biojätteistä ja lietteistä kestävää toimintaa” (Bioliike), jota rahoitetaan Etelä-Suomen EAKR-ohjelmasta. Bioliike-hankkeen toteuttajina ovat ammattikorkeakoulut HAMK, LAMK ja Laurea. Hankkeessa on mukana myös jäte- ja vesihuoltoalan yrityksiä sekä biopolttoainetuottajia. Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli HAMK.

2 TALOUDELLINEN KESTÄVYYS

"Kestävä kehitys on maailmanlaajuisesti, alueellisesti ja paikallisesti tapahtuvaa jatkuvaa ja ohjattua yhteiskunnallista muutosta, jonka päämääränä on turvata nykyisille ja tuleville sukupolville hyvät elämisen mahdollisuudet" (Ympäristöministeriö 2013a). Tässä luvussa käsitellään taloudellista kestävyyttä, kestävästä kehityksestä sekä niihin liittyviä kansallisia ja kansainvälisiä strategioita ja tavoitteita.

2.1 Kestävä kehitys

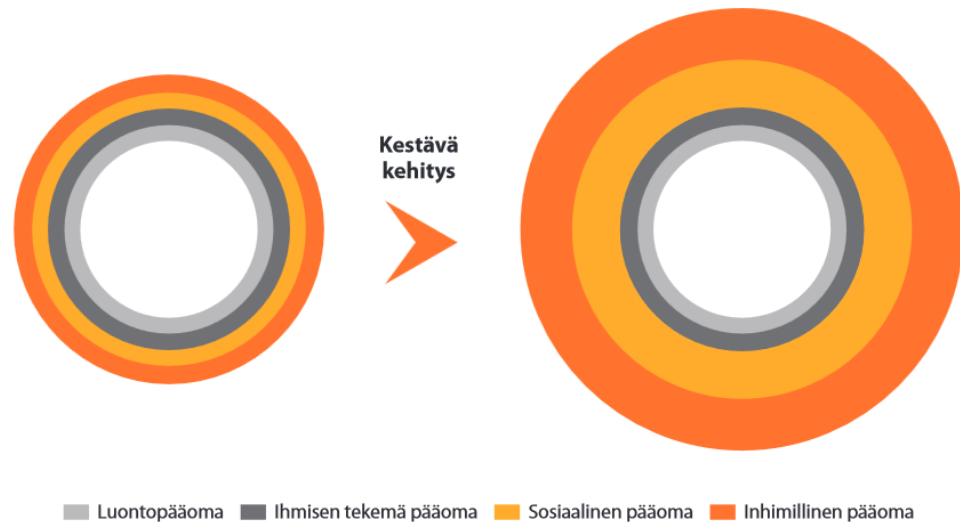
Kestävä kehitys on ihmiskeskeinen lähestymistapa, jossa pyritään huomioimaan tasavertaisesti ympäristö, talous sekä ihmisen terveys kaikissa päätöksissä ja toiminnassa siten, että ihmiselle elintärkeät luonnon ekosysteemitoinnot eivät vaarannu eivätkä heikkene pitkällä aikavälillä. Kestävän kehityksen ihmiskeskeisyys ilmenee hyvin vuonna 1992 tehdyn Rion julistuksen ensimmäisessä periaatteessa: "Kestävän kehityksen keskeinen huolenaihe ovat ihmiset. Heillä on oikeus terveeseen ja hedelmälliseen elämään sopusoinnussa luonnon kanssa" (Ympäristöministeriö ja ulkoasiainministeriö n.d., 218). Kestävän kehityksen periaatteiden mukainen yhteiskunnallinen muutos sisältää kolme eri ulottuvuutta, taloudellisen, ekologisen ja sosiaalis-kulttuurisen kestävyuden. Kestävän kehityksen eri ulottuvuudet täytyy ottaa yhdenvertaisesti huomioon kestävä kehityksen tavoitteisiin pyrkivissä päätöksissä ja toiminnoissa. (Ympäristöministeriö 2013a.)

Nykyinen poliittinen kestävä kehityksen tahtotila on muodostunut pitkän ajan saatossa eikä käsitteen varsinaista alkulähdettä tunneta. Brundlandin raportti, *Our Common future* julkaistiin vuonna 1987 ja sitä voidaan pitää nykyisen kestävä kehityksen periaatteen yhtenä merkkipaaluna, sillä se toi ensimmäistä kertaa kestävä kehityksen käsitteen suuren yleisen tietoisuuteen. Brundlandin raportti yhdistää taloustieteelliset, kulttuurilliset, sosiaaliset ja ympäristölliset asiat yhdeksi kokonaisuudeksi ja esittää maailmanlaajuisia ratkaisumalleja kestävä kehityksen edistämiseksi. (Vuori, Tuurjärvi & Aatos 2007, 1–2.)

2.2 Taloudellinen kestävyys

Yleisesti hyväksytty määritelmä taloudelliselle kestävyydelle on pääoman ylläpito (eng. maintenance of capital) (Goodland & Daly 1996, 1003). Pääoma koostuu inhimillisestä pääomasta, luontopääomasta, sosiaalisesta pääomasta ja ihmisen tekemästä pääomasta. Määritelmän mukaan taloudellinen kestävyys on siis kaikkia niitä toimia, joiden avulla luontopääoma, inhimillinen pääoma ja sosiaalinen pääoma ei heikkene ihmisen tekemän pääoman kustannuksella. Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitran *Kestävä talous -foorum*in mukaan pääoma voi kasvaa kestävä kehityksen mukaisesti, jos kasvua tapahtuu inhimillisen ja sosiaalisen pääoman osalta (Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra 2013, 16). Sitra on julkisoikeudellinen rahasto, joka toimii suoraan eduskunnan alaisuudessa. Kestävän

kehityksen mukainen pääoman kasvu on esitetty kuviossa 1. Ympäristöministeriö määrittelee taloudellisen kestävyuden sisällöltään ja laadultaan tasapainoiseksi kasvuksi, joka ei pitkällä aikavälillä johda varantojen ehtymiseen eikä velkaantumiseen (Ympäristöministeriö 2013a). Ympäristöministeriön määritelmä vastaa Ecological Applications julkaisussa esitettyä määritelmää.



Kuvio 1. Kestävän kehityksen mukainen pääoman kasvu (Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra 2013, 16).

Taloudellisen kestävyuden edistämiseen tähtäävät toiminnot pyrkivät kehittämään entistä parempia ratkaisuja kokonaispääoman ylläpitämiseksi tai kasvattamiseksi. Taloudellisen kestävyuden keskeisiä tavoitteita Suomessa on siirtyä toimintamalleihin ja strategioihin, joilla yhteiskunta voi vastata voimistuvan ilmastonmuutoksen, luonnonvarojen ehtymisen ja yhteiskunnan tuloerojen ja ikääntymisen sekä eriarvoisuuden kasvamisen asettamiin kansallisiin ja maailmanlaajuisiin haasteisiin (Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra 2013, 5, 7, 10).

Merkkejä taloudellisen kestävyuden voimistumisesta Suomessa ja Euroopassa on jo selvästi nähtävillä esimerkiksi julkishallinnon kestävä kehityksen periaatteita edistävissä strategioissa, periaatepäätöksissä, ohjelmissa ja hankkeissa sekä kansallisessa kestävä kehityksen yhteiskuntasitoutuksessa, joita käsitellään tarkemmin tämän opinnäytetyön luvussa 2.4. Julkisen sektorin toimet vaikuttavat koko talouteen ja sen kaikkiin osapuoliin, kuten tavallisiin kuluttajiin ja yrityksiin. Yrityssectorilla taloudellinen kestävyys voi ilmetä esimerkiksi ympäristöjärjestelmän ylläpidolla, ympäristöystävällisyyteen tähtäävään innovaatiotoiminnan edistämisenä ja tuotannon ympäristövaikutusten kartoittamisena sekä niiden pienentämisenä. Lisäksi työnteon pelisääntöjen tasa-arvoistaminen sekä yleisesti kestävä kehityksen periaatteiden edistäminen työyhteisössä on taloudellisen kestävyuden mukaista toimintaa.

2.3 Kestävä talous ja maapallon kantokyky

Suomen itsenäisyyden juhlarahaston mukaan talous on yhteiskunnan toimivuuden kannalta olennainen, ihmisen luoma järjestelmä, joka mahdollistaa yhteiskunnan kehityksen haluttuun suuntaan. Ihmiset, yhteisöt, markkinat, instituutiot ja yritykset ovat kaikki osa taloutta ja niiden välinen vuorovaikutus muodostaa talouden järjestelmän. Kestävä talous on järjestelmä, jonka perustana on maapallon kantokyvyn asettamat rajat ja jossa hyvinvointia luodaan taloudellisen ja sosiaalisen kestävyuden avulla. Kestävän talouden periaate on esitetty kuviossa 2. Yksi kestävä talouden perusedellytyksistä on avoimuus, joka mahdollistaa tehokkaamman markkinoiden toiminnan ja yhteiskunnan toiminnan kestävyuden arvioinnin (Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra 2013, 8, 25).



Kuvio 2. Kestävän talouden periaate (Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra 2013, 8).

Maapallon kantokyky asettaa rajat ihmiskunnan kestäväälle toiminnalle. Kantokykyä voidaan havainnollistaa ekologisten riskirajojen avulla. Ekologiset riskirajat määrittävät ihmiselle turvallisen alueen toimia ja kehittää toimintaansa ilman, että ihmisen toiminnan vaikutuksesta syntyy pysyviä ympäristömuutoksia, joilla voi olla tuhoisia vaikutuksia maapallon toiminnalle ja ihmiselle. Ihmisen toiminta on ylittänyt kolme maapallon ekosysteemien toiminnan kannalta tärkeää ekologista riskirajaa. Riskirajat on ylitetty ilmastonmuutoksen, luonnon monimuotoisuuden heikkenemisen ja typen kierron osalta. Ekologiset riskirajat on esitetty taulukossa 1 (s. 4). Ilmastonmuutoksen ekologista riskirajaa kuvataan ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden (ppm) ja säteilypakotteen (W/m²) muutoksen avulla. Luonnon monimuotoisuuden heikkenemisen riskirajaa kuvataan eliöiden sukupuuton nopeudella ja typen kierron riskirajaa ihmisen käyttämän ilmakehän typen osalta. (Rockström ym. 2009, 472–473.)

Ilmastonmuutos on hyvä esimerkki siitä, kuinka maapallon ekologisten riskirajojen ylittäminen voi vaikuttaa talouteen ja koko yhteiskuntaan sekä kuinka vaikeaa vaikutusten arviointi on. Sir Nicholas Stern julkaisi vuonna 2006 ilmastonmuutoksen talousvaikutuksia käsittelevän raportin, jonka

keskeinen sanoma oli, että ilmastonmuutoksen vaikutukset tulevat pienentämään maailmanlaajuista bruttokansantuotetta pysyvästi 20 prosentilla, jos toimia sen hillitsemiseksi ei tehdä (Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra 2013, 6). Vuonna 2008 alkanut taluskriisi pienensi maailmanlaajuisen bruttokansantuotteen kehitystä väliaikaisesti 5,7 prosenttiyksikköä vuosien 2007 ja 2009 välillä (International Monetary Fund IMF 2014, 180). Sternin vuonna 2006 arvioima ilmastonmuutoksen vaikutus maailman talouteen todennäköisesti murtaisi nykyisen kapitalistisen talousjärjestelmämme ja pakottaisi yhteiskunnan suuriin kulttuurillisiin muutoksiin. Yhteiskunnallinen muutos on siis välttämätön ja sen takia siihen kannattaa suhtautua mahdollisuutena ohjata yhteiskunta hallitusti kohti kestävää taloutta ja yhteiskuntaa (Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra 2013, 11).

Taulukko 1. Ekologiset riskirajat (Rockström ym. 2009, 473).

PLANETARY BOUNDARIES				
Earth-system process	Parameters	Proposed boundary	Current status	Pre-industrial value
Climate change	(i) Atmospheric carbon dioxide concentration (parts per million by volume)	350	387	280
	(ii) Change in radiative forcing (watts per metre squared)	1	1.5	0
Rate of biodiversity loss	Extinction rate (number of species per million species per year)	10	>100	0.1-1
Nitrogen cycle (part of a boundary with the phosphorus cycle)	Amount of N ₂ removed from the atmosphere for human use (millions of tonnes per year)	35	121	0
Phosphorus cycle (part of a boundary with the nitrogen cycle)	Quantity of P flowing into the oceans (millions of tonnes per year)	11	8.5-9.5	-1
Stratospheric ozone depletion	Concentration of ozone (Dobson unit)	276	283	290
Ocean acidification	Global mean saturation state of aragonite in surface sea water	2.75	2.90	3.44
Global freshwater use	Consumption of freshwater by humans (km ³ per year)	4,000	2,600	415
Change in land use	Percentage of global land cover converted to cropland	15	11.7	Low
Atmospheric aerosol loading	Overall particulate concentration in the atmosphere, on a regional basis		To be determined	
Chemical pollution	For example, amount emitted to, or concentration of persistent organic pollutants, plastics, endocrine disrupters, heavy metals and nuclear waste in, the global environment, or the effects on ecosystem and functioning of Earth system thereof		To be determined	

Boundaries for processes in red have been crossed. Data sources: ref. 10 and supplementary information

Kestävän talouden ja talouspolitiikan onnistuminen vaatii rohkeita ja selkeitä visioita toimista, joilla kestävä yhteiskunta on mahdollista saavuttaa. Suomen kestävä kehitys on tehnyt visionäärisen kestävä kehityksen yhteiskuntasitoumuksen Suomi, jonka haluamme 2050, joka toimii Suomen julkishallinnon ohjelma- ja strategiatyön tavoitekehikkona (Kestävän kehityksen toimikunta 2013, 1, 6). Kansallisia kestävä kehityksen

tyksen strategioita ja kestäväen kehityksen yhteiskuntasitoumusta käsitellään tarkemmin luvussa 2.4.

Kestävään talouteen pyrkiminen edellyttää suuria yhteiskunnallisia muutoksia, kuten esimerkiksi kulutuskulttuurista luopumisen ja siirtymisen kestävyuden kulttuuriin. Suuria muutoksia tarvitaan etenkin energia- ja maatalouspolitiikassa sekä talouden valjastamisesta ihmisen ja ympäristön hyvinvoinnin lisäämiseen jatkuvan talouskasvun tavoittelun sijaan. (Worldwatch-instituutti 2013, 111–113.) Kulutuksen muuttaminen kestäväälle tasolle on kirjattu myös Suomen kansalliseen kestäväen kehityksen yhteiskuntasitoumukseen, jossa tavoitteet on asetettu vuodelle 2050 (Kestäväen kehityksen toimikunta 2013, 3–4). Kulutustottumuksien muuttaminen kestäväälle tasolle ja siirtyminen kestävyuden kulttuuriin on kestävään yhteiskuntaan siirtymisen kannalta avainasemassa, sillä ihmisen aiheuttamista ympäristöongelmista suurin osa johtuu kulutuksesta sekä kulutettavien tuotteiden ja palveluiden tuotannon ympäristövaikutuksista (Suomen ympäristökeskus 2014).

2.4 Kestäväen kehityksen Eurooppa 2020 -strategia

Eurooppa 2020 on vuonna 2010 käynnistetty Euroopan unionin kymmennenvuotinen kasvustrategia, jonka avulla pyritään täyttämään muun muassa Rio20+-kokouksessa annetut sitoumukset kestäväen kehityksen edistämiseksi. Strategian avulla EU pyrkii voittamaan talouskriisin kehittämällä taloutta kohti älykäästä, osallistavaa ja kestäväää taloutta. Tavoitteen saavuttamiseksi strategia sisältää viisi päätavoitetta, jotka on tarkoitus saavuttaa vuoteen 2020 mennessä. EU:n yleispäätavoitteisiin kuuluu työikäisten työllisyyden nostaminen 75 prosenttiin, tutkimus- ja kehitystoimintojen tukeminen kolmella prosentilla EU:n bruttokansantuotteesta, koulutustason nostaminen EU:n alueella, köyhyys- ja syrjäytymisvaaran poistaminen vähintään 20 miljoonalta ihmiseltä ja kahdenkymmenen prosentin ilmastomuutos ja energiapolitiikan tavoite. Ilmastomuutoksen hillitsemiseen tähtäävä energiapolitiikan tavoite sisältää energiatehokkuuden nostamisen 20 prosentilla, päästötasojen laskemisen vähintään 20 prosenttia pienemmäksi kuin vertailuvuonna 1990 sekä uusiutuvan energian osuuden nostamisen 20 prosenttiin EU:n alueen energiankulutuksesta. Nämä viisi päätavoitetta sovelletaan kansallisiksi tavoitteiksi ja niiden toteutumista valvotaan talouden ohjausjärjestelmän avulla. EU:n ohjausjärjestelmään kuuluu muun muassa jäsenmaiden vuotuinen kasvuselvytys ja EU:n joka vuosi antamat maakohtaiset suositukset talouden kehittämiseksi. (Euroopan komissio 2014a; Euroopan komissio 2014b.) Eurooppa 2020 -strategian päätavoitteiden valvottu toteutuminen edistää kestäväen kehityksen ulottuvuuksien tuomista osaksi valtakulttuuria, kestäväen kehityksen ulottuvuuksien keskinäisen synergian voimistumista ja kestäväen kehityksen periaatteiden sisällyttämistä poliittiseen päätöksentekoon (Ympäristöministeriö 2013b).

2.4.1 Suomen kansallinen Eurooppa 2020 -strategia

Valtionvarainministeriö julkaisi huhtikuussa 2014 kuudennen Eurooppa 2020 -strategian kansallisen ohjelman, jossa esitetään, miten kansalliset tavoitteet saavutetaan ja miten EU:n antamat suositukset on otettu ohjelmassa huomioon. Suomen kansalliset vuonna 2011 asetetut Eurooppa 2020 -strategian päätavoitteet on esitetty taulukossa 2. Vuoden 2014 ohjelmassa on esitetty toimia, joiden avulla pyritään nostamaan Suomen talous kestäväan nousuun ja kohti vihreää taloutta muun muassa uusien innovaatioiden, energiatehokkuuden parantamisen ja yritysraenteen monipuolistamisen avulla (Suomen kansallinen ohjelma, 29, 40). Hallituksen taloudenohjaukskeinoista taloudellisen kestävyuden ja vihreän talouden edistämisen kannalta keskeisessä asemassa on erilaiset strategiset kehittämisohjelmat, kestäväan kehityksen yhteiskuntasitoutumus, innovaatiotoimintaa ja kestäväan talouden muodostumista tukevat verokannustimet sekä uusi energiatehokkuus- ja ympäristölaki. Strategisista kehittämisohjelmista etenkin ympäristöliiketoiminnan ohjelma Cleantech, kestäväan kulutuksen ja tuotannon (KULTU) ohjelma, kansallinen materiaalitehokkuusohjelma ja biotalousstrategia voimistavat taloudellisen kestävyuden asemaa Suomen makrotaloudessa. (Valtionvarainministeriö 2014, 30–31, 34–35, 41.)

Taulukko 2. Eurooppa 2020 -strategian mukaiset tavoitteet (Valtionvarainministeriö 2014, 39).

	EU:n yleistavoite	Suomi vuonna 2012	Suomi vuonna 2020
Työllisyysaste (20 – 64 -vuotiaat)	75 %	73,8%	78 %
T%K menot/BKT	3 %	3,55 %	tavoitetasona 4 %
Ilmasto:			
- Kasvihuonekaasupäästöt (päästökaupan ulkopuolella)	- 10 % vuoden 2005 tasosta	-10 %	-16 %
- uusiutuvan energian osuus	20 %	35,1 %	38 %
- energiatehokkuus (energian loppukulutus)	-20 %	308 TWh	310 TWh
Koulutus			
- Korkea- asteen tutkinnon suorittaneet 30 – 34 -vuotiaat	40 %	44,6 %	42 %
- Koulupudokkaat	10 %	11,2 %	8 %
Köyhyys- tai syrjäytymisriskissä elävät	20 miljoonaa vähemmän	854 000	770 000

Vuonna 2012 käynnistyneen Cleantech ohjelman tavoitteena on erilaisten toimenpiteiden avulla luoda vuoteen 2020 mennessä Suomeen puhtaan teknologian alalle 40 000 uutta työpaikkaa ja siten kaksinkertaistaa cleantech-yritysten yhteenlaskettu liikevaihto. (Valtionvarainministeriö 2014, 30.)

Kestäväan kulutuksen ja tuotannon ohjelman tavoitteena on vähentää julkisen sektorin ja kotitalouksien ympäristöhaittoja ja kasvihuonekaasupäästöjä energian käytössä, asumisessa, ruokailussa ja liikkumisessa. Valtioneuvosto teki kesäkuussa 2013 periaatepäätöksen, jossa julkinen sektori sitoutuu eri toimenpiteiden avulla edistämään vuonna 2012 uudistetun kestäväan kulutuksen ja tuotannon ohjelman (Vähemmästä viisaammin) tavoitteita kotitalouksissa ja julkisella sektorilla. KULTU-periaatepäätöksen lisäksi

valtioneuvosto teki kesäkuussa 2013 periaatepäätöksen cleantech-ratkaisujen edistämisestä julkisissa hankinnoissa. KULTU-ohjelman tavoitteisiin pyritään julkisen sektorin esimerkin ja kahdeksan kokeiluhankkeen avulla. (Ympäristöministeriö 2014a.)

Kansallisen materiaalitehokkuusohjelman tavoitteena on edistää materiaalitehokkuustoimilla talouden kestäväää kasvua. Työ- ja elinkeinoministeriön sekä Ympäristöministeriön asettama työryhmä jätti ehdotuksensa Kansalliseksi materiaalitehokkuusohjelmaksi joulukuussa 2013. Ehdotuksessa esitetään tarvittavia toimia tuotteiden elinkaaren ympäristövaikutusten pienentämiseksi ja yritysten kilpailukyvyyn parantamiseksi tuotannon materiaalitehokkuuden edistämisen kautta. Ehdotuksessa on esitetty toimia muun muassa materiaalitehokkuuden tutkimusyhteistyön kehittämiseksi, yritysten välisen yhteistyön kehittämiseksi energia- ja materiaalivirtojen hyödyntämisen tehostamiseksi sekä yritysten materiaalivirtojen tunnistamiseksi. Lisäksi työryhmä esittää ympäristölupien selkeyttämistä nopeuttamaan materiaalitehokkuuden innovaatioiden käyttöönottoa. (Työ- ja elinkeinoministeriö & Ympäristöministeriö 2013, 23–27.)

Keväällä 2014 valmistuva kansallinen biotalousstrategia pyrkii edistämään biotalouden liiketoiminnan kestäväää kasvua ja luomaan alalle vuoteen 2025 mennessä 100 000 uutta työpaikkaa. Biotalousstrategian tavoitteena on kehittää biotalouden osaamisperustaa, edistää biomassojen hyödyntämistä, kehittää uusia ratkaisuja ilmastonmuutoksen ja luonnonvarojen ehtymisen ongelmiin sekä yhteiskunnan fossiilisten polttoaineiden riippuvuuden pienentämiseksi. Uusi kansallinen biotalousstrategia edesauttaa todennäköisesti esimerkiksi uusien, Bioliike-hankkeen kaltaisten tutkimushankkeiden perustamista biotalouden kehittämiseksi entistä kestävämpään ja liikevaihdoltaan merkittävämpään suuntaan. Tämä Bioliike-hankkeelle tehty opinnäytetyö on myös omalta osaltaan yksi esimerkki tutkimushankkeiden merkityksestä uusien biotalouden innovaatioiden kestävyuden ja merkittävyyden arvioimisessa sekä korkeakoulujen tutkimuksen ja yrityssektorin välisen yhteistyön vahvistamisessa. (Valtionvarainministeriö 2014, 31, 44.)

2.4.2 Kansallinen kestävä kehityksen yhteiskuntasitoumus

Suomen kestävä kehityksen toimikunta päätti vuonna 2013 tehdä kansallisen kestävä kehityksen strategian sijaan kansallisen yhteiskuntasitoumuksen, Suomi, jonka haluamme 2050. Kestävä kehityksen yhteiskuntasitoumuksen tarkoituksena on luoda yhteiset pitkän aikavälin tavoitteet ja toimintatavat, joiden avulla Suomesta tulee vuoteen 2050 mennessä kestävä yhteiskunta. Kestävä kehityksen yhteiskuntasitoumus sisältää kahdeksan tavoitetta, joilla pyritään vastaamaan Suomen kansallisiin kestävä kehityksen haasteisiin. Yhteiskuntasitoumuksen taustalla on ymmärrys siitä, että elämme nykyisen, kestävättömän talouskulttuurin murrosaikaa, joka johtuu maapallon ekologisten riskirajojen saavuttamisesta ja ylittämisestä ilmastonmuutoksen, typen kierron ja luonnon monimuotoisuuden osalta. Ekologisten riskirajojen ylittäminen on seurausta maapallon väkiluvun ja kulutuksen kasvamisesta. Kulttuurillinen muutos

kulutukseen perustuvasta taloudesta kestävyuden kulttuuriin onkin kestävä kehityksen yhteiskuntasitoumuksen vision keskeinen tavoite. Yhteiskuntasitoumus koostuu kahdeksasta tavoitteesta, jotka saavuttamalla vuoden 2050 visio Suomesta saavutetaan. Tavoitteet on muodostettu ihmisen ja ympäristön hyvinvoinnin, kestävä talouden ja kestävien elintapojen näkökulmasta huomioiden kestävä kehityksen periaatteet. Yhteiskuntasitoumuksen tavoitteiden pääteemat ovat: yhdenvertaisen mahdollisuudet hyvinvointiin, vaikuttavien kansalaisten yhteiskunta, työtä kestävästi, kestävät yhdyskunnat ja paikallisyhteisöt, hiilineutraali yhteiskunta, resurssiviisas talous, luonnon kantokykyä kunnioittavat elämäntavat ja luontoa kunnioittava päätöksenteko. Suomen julkishallinto yhdessä muiden toimijoiden kanssa on sitoutunut edistämään kestävä kehityksen periaatteita ja yhteiskuntasitoumuksen tavoitteiden saavuttamista kaikessa työssään ja toiminnassaan (Valtionvarainministeriö 2014, 44). Kansallista kestävä kehityksen yhteiskuntasitoumuksista käytetään pitkän aikavälin tavoitteena eri hallinnonalojen poliittisten strategioiden ja ohjelmien suunnittelussa. (Kestävä kehityksen toimikunta 2013, 1, 5, 6.)

Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra isännöi asiantuntijapaneelia, joka perustettiin valvomaan ja seuraamaan kestävä kehityksen toimikunnan toimintaa ja yhteiskuntasitoumuksen edistymistä (Ympäristöministeriö 2014b). Kansallisen kestävä kehityksen yhteiskuntasitoumuksen tavoitteiden saavuttamiseksi kestävä kehityksen toimikunnan sihteeristö kerää eri toimijoilta toimenpidesitoumuksia, joiden tarkoituksena on edistää tavoitteiden saavuttamista konkreettisilla toimilla 5–10 vuoden aikavälillä. Toimenpidesitoumuksen voi tehdä yksittäinen henkilö, yhteisö, yhdistys, yritys, oppilaitos tai mikä tahansa yhteiskunnallinen toimija sillä kulttuurillinen muutos kestävään yhteiskuntaan vaatii onnistuakseen eri toimijoiden entistä tiiviimpää yhteistyötä ja yhteistä tahtoa. Kestävä kehityksen toimenpidesitoumuksia kerätään Suomen kestävä kehityksen toimikunnan ylläpitämällä sitoumus2050.fi-sivustolla, jossa kaikki tehdyt toimenpidesitoumukset ovat myös vapaasti nähtävillä. (Kestävä kehityksen toimikunta 2013, 1–2, 6.)

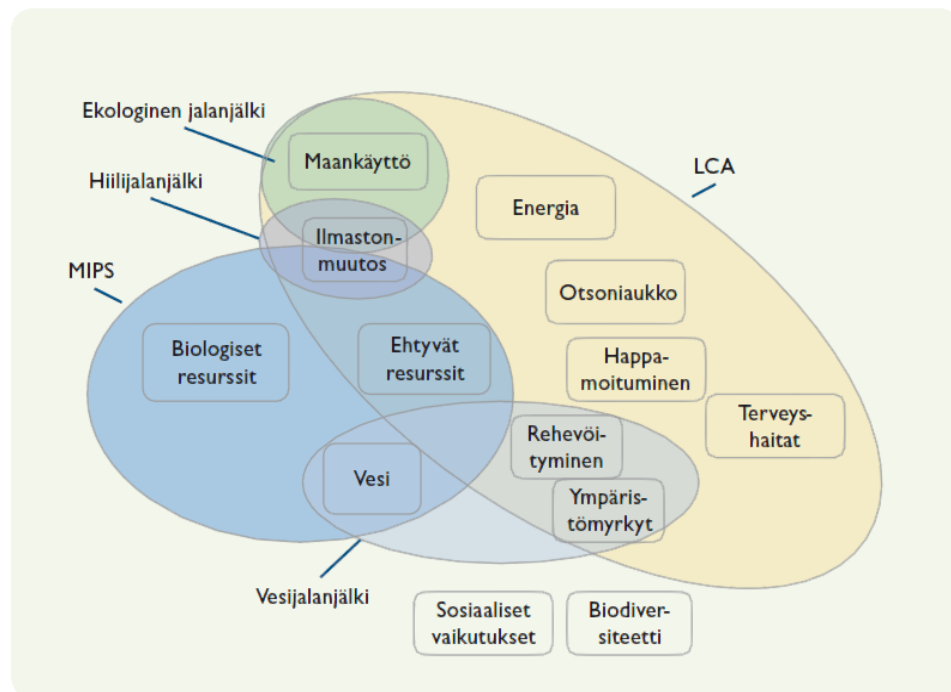
2.5 Kestävä kehityksen indikaattoreita eli mittareita

Kestävä kehityksen tilaa ja muutosta kuvaamaan on kehitetty erilaisia indikaattoreita. Euroopan komissio on tehnyt listauksen kestävä kehityksen indikaattoreista, joita käytetään kuvaamaan EU:n kestävä kehityksen strategian onnistumista Eurostatin kahden vuoden välein julkaisemassa raportissa. Raportissa käytetään yli sataa indikaattoria, jotka on jaettu kymmeneen eri pääluokkaan. Näihin pääluokkiin kuuluu muun muassa sosioekonomista kehitystä, ilmastonmuutosta ja energian käyttöä sekä kestävä kulutusta ja tuotantoa kuvaavat pääluokat. (Euroopan komissio 2014c.)

Suomen kestävä kehityksen yhteiskuntasitoumukselle asetettujen välitavoitteiden saavuttamista seurataan indikaattorien avulla, jotka on listattu valtionneuvoston kanslian ja Tilastokeskuksen ylläpitämällä indikaattorisivustolla. Suomessa käytettäviä kestävä kehityksen indikaattoreita on yhteensä 39, jotka on jaettu kahdeksaan eri pääluokkaan kuvastamaan yh-

teiskuntasitoumuksen pääteemoja. Suomen kestävän kehityksen indikaattorien pääteemoja on muun muassa hiilineutraali yhteiskunta, kestävät elämäntavat ja yhdenvertaiset mahdollisuudet hyvinvointiin. (Kestävän kehityksen toimikunta 2013, 6; Valtioneuvostonkanslia ja Tilastokeskus n.d.)

Osalle kestävän kehityksen indikaattoreista on kehitetty erilaisia elinkaariajatteluun perustuvia menetelmiä, joiden avulla voidaan arvioida eri tuotteiden ja palveluiden vaikutus tiettyyn vaikutusluokkaan. Menetelmiä on muun muassa hiilijalanjälki, ekologinen selkäreppu eli MIPS, vesijalanjälki, ekologinen jalanjälki ja elinkaariarviointi. Euroopan komission mukaan elinkaariarviointi on elinkaarimenetelmistä kaikista tieteellisin ja se on myös tällä hetkellä ainoa standardisoitu menetelmä. Hiilijalanjäljen ja ekologisen jalanjäljen järjestelmän rajaukset ja allokointisäännöt ovat yhteensopivia elinkaariarvion kanssa ja niitä voidaan käyttää elinkaariarvion osana tai sen lähtökohtana. Ekologinen selkäreppu ja vesijalanjälki ovat luonteeltaan lähempänä materiaalivirta-analyysia kuin ympäristövaikutusarviointimenetelmiä. Vesijalanjälki ja ekologinen selkäreppu eivät ole yhteensopivia elinkaariarvioinnin kanssa, koska niiden allokointisäännöt ja järjestelmärajausmenettelyt eivät vastaa elinkaariarvion kanssa. Eri menetelmät ja niissä huomioitavat ympäristövaikutusluokat on esitetty kuviossa 3. (Antikainen 2010, 12, 71.)



Kuvio 3. Elinkaariajatteluun perustuvat menetelmät ja niiden avulla arvioitavat vaikutusluokat (Antikainen 2010, 62).

Hiilijalanjälki ilmoittaa tuotteen elinkaaren aikana syntyneiden kasvihuonekaasujen määrään hiilidioksidiekvivalenteiksi muutettuna. Hiilijalanjälki perustuu elinkaariajatteluun ja sen tarkoitus on arvioida tuotteen elinkaaren aikana syntyvien kasvihuonekaasujen vaikutus ilmastonmuutokseen. Hiilijalanjälki eroaa muista elinkaariajatteluun perustuvista menetelmistä, sillä hiilijalanjälki keskittyy vain yhteen, ilmastonmuutoksen

vaikutusluokkaan, kun muut menetelmät pyrkivät arvioimaan vaikutukset vähintään kahteen eri vaikutusluokkaan. Hiilijalanjäljen laskemiseen liittyviä periaatteita ja suosituksia käsitellään Iso-Britannian standardiviranomaisen ja Carbon Trustin vuonna 2008 julkaisemassa PAS 2050:2008 -dokumentissa (PAS = Publicly Available Specification). PAS 2050 ei ole virallinen standardi vaikka se perustuu ISO 14040, -14044, -14048, -14021 ja -17050-1 standardeihin. (Antikainen 2010, 63.)

Ekologinen jalanjälki kuvaa jonkin toimijan kuten yhteisön, yrityksen tai yksityishenkilön kuluttamien resurssien tuottamiseen ja jätteiden käsittelyyn tarvittavaa maa- tai vesipinta-alaa. Ekologinen jalanjälki voidaan laskea myös tietyille tuotteille. Ekologinen jalanjälki huomioi laskelmissa kulutetut biomassapohjaiset resurssit ja jätteiden osalta vain hiilidioksidin, sillä menetelmä perustuu yhteyttävän pinta-alan kykyyn sitoa hiilidioksidia ja tuottaa biomassapohjaisia resursseja. Tulos ilmoitetaan globaalihehtaareina, joka vastaa hehtaarin kokoista aluetta, jonka ekologinen tuottavuus vastaa maapallon keskituottavuutta. Arvioinnin kohteen ekologista jalanjälkeä voidaan verrata käytettävissä olevaan tuottavaan pinta-alaan ja arvioida siten toiminnan kestävyttä. Suomessa ekologista jalanjälkeä käytetään lähinnä alueiden ja yksittäisten henkilöiden jalanjäljen laskemiseen. Maapallon kantokyvyn sallima maailmanlaajuinen ekologinen tuottavuus henkeä kohti on noin 1,8 globaalihehtaaria. Suomalaisten ekologinen jalanjälki vuonna 2013 oli noin 6,2 globaalihehtaaria, joka on yli kolme kertaa suurempi kuin maailmanlaajuinen ekologinen tuottavuus (Ympäristöministeriö 2013c). Tämä tarkoittaa sitä, että jos kaikki maapallon ihmiset eläisivät kuin keskiverto suomalainen, tarvitsisimme yli kolme maapalloa tuottamaan toimintamme kuluttamat luonnonvarat. (Antikainen 2010, 64.) Vuonna 2012 ilmestyneessä Kuutoskaupunkien kestävä kehityksen indikaattorit 2006–2010 -raportissa todetaan, että tulevaisuudessa kaupunkien ekologisen jalanjäljen arvioimisesta luovutaan ja siirrytään hiilijalanjäljen arviointiin (Tampereen kaupunki 2012, 6).

MIPS (Material Input per Service Unit) eli ekologinen selkäreppu arvioi tuotteen elinkaaren aikana kuluvien luonnonvarojen määrän kiloina tai tonneina. Ekologinen selkäreppu lasketaan jakamalla tuotannon materiaalinkulutus tuotteen käyttökerroilla. Laskennassa huomioidaan tuotantoon käytettyjen materiaaliavirtojen lisäksi tuotantoprosessin sivuvirtojen ja tuotannossa syntyvä jätteen määrä. Menetelmä ei sovellu sellaisenaan tuotteen ympäristövaikutusten arviointiin, sillä kokonaismateriaalinkulutus korreloi ympäristövaikutuksien kanssa heikosti ja vain tietyissä tapauksissa. (Kilpailu- ja kuluttajavirasto 2010; Antikainen 2010, 68–71.)

Vesijalanjälki kuvaa kulutetun makean veden määrää ja se voidaan laskea esimerkiksi tietylle tuotteelle, yritykselle, yhteisölle tai yksittäiselle kuluttajalle. Vesijalanjälki menetelmä jakaa vedenkulutuksen kolmeen eri luokkaan, pohja- ja pintavesien kulutukseen, sadeveden kulutukseen ja harmaavesien käsittelyn vaatimaan vedenkulutukseen. Vesijalanjäljen laskemisessa huomioidaan kaikki tietyn toiminnon kuluttama vesimäärä, johon kuuluu talousvesi ja piilovesi. Piilovedellä tarkoitetaan tietyn toiminnon koko elinkaaren kuluttamaa vesimäärää, joka ei välttämättä näy lop-

putuotteessa. Suomalaisen vesijalanjälki on keskimäärin 1727 m³ vettä henkilöä kohden vuodessa. Suomalaisen vesijalanjäljestä 41 prosenttia muodostuu ulkomailla ja vain noin 54 m³ on niin sanottua näkyvää eli talousvettä. (Vesijalanjäljen teemasivusto 2007; Antikainen 2010, 65–69.)

Tällä hetkellä yksikään elinkaariajatteluun perustuva menetelmä ei suoraan huomioi sosiaalisia ja kulttuurillisia vaikutuksia tai vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen (Antikainen 2010, 62). SustainValue on Teknologian tutkimuskeskus, VTT:n tutkimushanke, jonka tavoitteena on kehittää kestävä kehityksen arviointiin tarkoitettuja menetelmiä sekä työkaluja, joiden avulla voidaan kartoittaa jonkin tuotteen tai palvelun koko tuotejärjestelmän verkoston sosiaalisia, taloudellisia ja ympäristöön kohdistuvia vaikutuksia. SustainValue on Euroopan komission The Seventh Framework Programme -hankkeen (FP7) rahoittama kolme vuotta kestänyt projekti, joka päättyi huhtikuussa 2014. (VTT 2012; SustainValue n.d., 3, 24.)

3 ELINKAARIARVIO

Elinkaariarvio palvelee elinkaariajattelua elinkaarimenetelmistä kaikista parhaiten, sillä se ei keskity pelkästään yhden ympäristönäkökohdan arviointiin, vaan sen lähtökohtana on arvioida tuotteen tai palvelun kaikki elinkaaren aikaiset ympäristönäkökohdat sekä potentiaaliset ympäristövaikutukset (Antikainen & Seppälä 2012, 16). Elinkaariarvio ja sen kaikki vaiheet ovat iteratiivisia prosesseja. Vaikka elinkaariarvio on elinkaariajatteluun perustuvista menetelmistä kaikista kattavin ja tieteellisin, se ei huomioi vaikutusarvioinnissa sosiaalisia ja kulttuurillisia vaikutuksia, eikä suoria vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen (Antikainen 2010, 62). Menetelmä on toiminnalliseen yksikköön perustuva suhteellinen lähestymistapa, minkä takia se ei anna tarkkaa ennustetta toiminnan todellisista ympäristövaikutuksista. Elinkaariarvion avulla yritys voi saada hyödyllistä tietoa tutkittavan tuotteen tuotekehitystä ja markkinointia varten ja se voi tarjota myös tärkeää tietoa yritysten, julkishallinnon ja järjestöjen päätöksentekoa ja strategioita varten. (SFS-ISO 14040:2006, 12, 30.) Tässä luvussa käsitellään ISO 14040 ja -14044 standardeissa määritellyt elinkaariarvion vaiheet, elinkaariarvion vaikutusarviointimenetelmiä sekä ISO 14020 -standardisarjan ympäristömerkkejä.

3.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely

Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely on tärkeä osa elinkaariarviota, sillä siinä määritellään muun muassa elinkaariarvion tavoitteet ja kuinka yksityiskohtaisena elinkaariarvio suoritetaan. ISO 14044 standardin mukaan tavoitteiden määrittelyssä ilmoitetaan, mitä ja miksi elinkaariarviossa tutkitaan ja mihin saatuja tuloksia aiotaan käyttää. Soveltamisalan määrittelyssä määritellään, miten elinkaariarvio on tarkoitus toteuttaa. Standardin mukaan soveltamisalan määrittelyssä täytyy huomioida muun muassa tutkittava järjestelmä ja järjestelmän rajat, toiminnallinen yksikkö, käytettävät allokointi- ja vaikutusarviointimenetelmät, arvioitavat vaikutusluokat, elinkaariarvion rajoitukset, tutkimuksessa tehdyt oletukset ja vapaaehtoisien kriittisen arvioinnin suoritustapa. Soveltamisalan määrittelyn kattava ja läpinäkyvä raportointi on erityisen tärkeää elinkaariarvion tulosten käytettävyyden kannalta, sillä järjestelmän rajauksella ja valituilla arviointimenetelmillä on merkittävä vaikutus tuloksiin. Vapaaehtoisessa kriittisessä arvioinnissa selvitetään, onko tutkimus täyttänyt käytettyihin tietoihin, menetelmiin ja tulkintaan liittyvät standardin mukaiset periaatteet ja vaatimukset. Kriittisen arvioinnin voi suorittaa esimerkiksi riippumaton organisaation sisäinen tai ulkoinen asiantuntija tai sidosryhmän edustaja. (SFS-ISO 14044:2006, 22, 24, 70.)

3.2 Inventaarioanalyysi

Inventaarioanalyysi on standardin mukaan elinkaariarvion toinen vaihe. Elinkaariarvioinnin inventaarioanalyysivaiheessa selvitetään tuotteen tai palvelun elinkaaren aikaiset syötteen ja tuotokset ja esitetään ne määrällisessä muodossa. Standardin mukaan inventaarioanalyysi koostuu tuotejär-

jestelmän rajojen sisäpuolella olevien yksikköprosessien tietojen keräämisestä ja laskemisesta. (SFS-ISO 14040:2006, 12, 22, 34.)

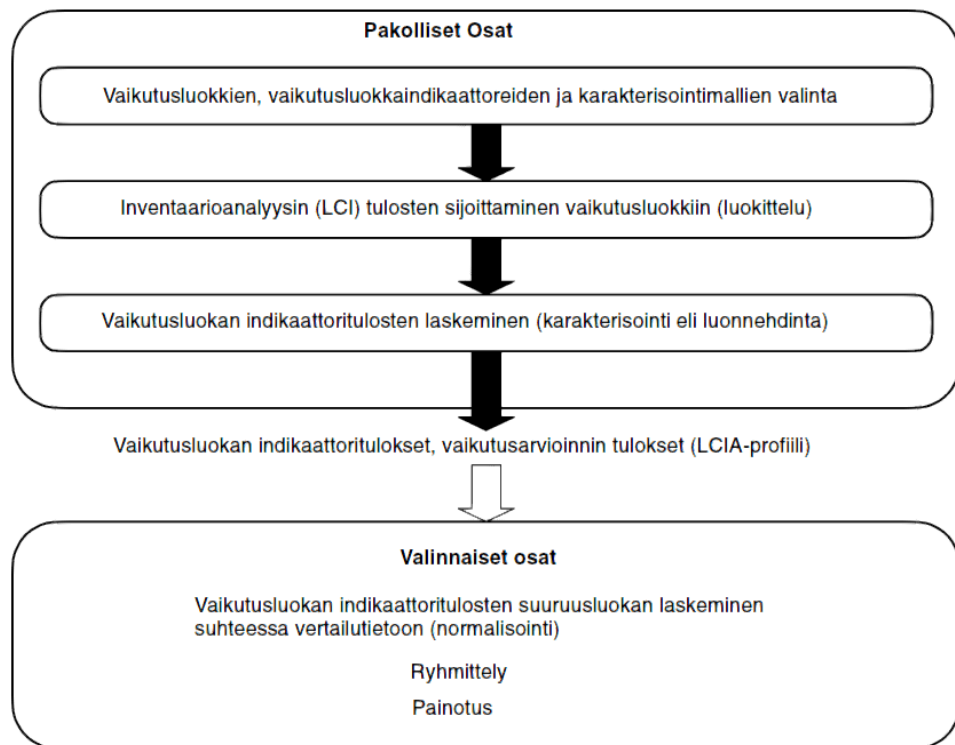
Inventaarioanalyysissä kerättävät yksikköprosessien tiedot voidaan luokitella neljään eri kategoriaan, syötteisiin, tuotteisiin, päästöihin ja muihin ympäristönäkökohtiin. Yksikköprosessien syötteisiin kuuluu energia-, raaka-aine- ja apusyötteet sekä muut fysikaaliset syötteet. Tuotteiden kategoriaan kuuluu tuotteet, rinnakkaistuotteet ja jäte. Yksikköprosesseista kerätään tiedot päästöistä ilmaan, veteen ja maaperään. Inventaarioanalyysin tiedonkeruu on elinkaariarvion yksi työläimmistä vaiheista ja sen takia tiedonkeruun käytännön rajoitukset kannattaa ottaa huomioon jo soveltamisalan määrittelyssä. Tiedonkeruun rajoituksia voi olla esimerkiksi se, että tiedonkeruuseen varatut resurssit ovat rajalliset, tarvittavaa tietoa ei ole vielä olemassa tai tieto ei ole saatavilla esimerkiksi yrityssalaisuuksien vuoksi. Mahdollisten rajoittavien tekijöiden takia inventaarioanalyysissä voidaan tehdä yksinkertaistuksia, jos se on elinkaariarvioinnin tavoitteiden määrittelyn perusteella mahdollista. Yksinkertaistetussa elinkaariarviossa voi inventaarioanalyysiä varten kerättävää tietoa korvata eri tietokantojen korvaavalla tietoaineistolla. Inventaarioanalyysin tiedonkeruuta voidaan myös helpottaa esimerkiksi vähentämällä tutkittavien tietojen määrää tai rajaamalla tuotejärjestelmä siten, että tutkittavien yksikköprosessien määrä pienenee. Yksinkertaistuksia käytettäessä inventaarioanalyysin työpanos pienenee, mutta samalla tutkimuksen tuloksiin liittyvät epävarmuustekijät kasvavat. (Antikainen 2010, 19, 39; SFS-ISO 14040:2006, 34.)

Inventaarioanalyysin tietojen laskennassa aiemmin kerätyt tiedot tarkistetaan, määritetään yksikköprosessikohtaiseksi sekä suhteutetaan elinkaariarvion toiminnalliseen yksikköön. Laskennan jälkeen jokaisella yksikköprosessilla on toiminnalliseen yksikköön suhteutettu inventaarioanalyysin tulos. Inventaarioanalyysin tuloksessa on ilmoitettu kaikki ne virrat, jotka ylittävät järjestelmän rajat eli tulevat ympäristöstä järjestelmään ja lähtevät järjestelmästä ympäristöön. (SFS-ISO 14040:2006, 22, 34.)

Mitattavien päästöjen ja virtojen allokointia voidaan joutua suorittamaan inventaarioanalyysissä, jos tutkittavassa järjestelmässä tuotetaan tai käsitellään useita eri syötteitä tai tuotteita. Allokointiin ja allokointimenettelyihin liittyviä suosituksia ja käytäntöjä käsitellään SFS-EN ISO 14044 standardissa. Standardi suosittelee allokointi ongelman käsittelyyn toimintamallia, jossa ensisijaisesti pyritään välttämään allokointia muuttamalla yksikköprosessien tarkastelua tai tuotejärjestelmän rajoja. Standardin mukaan tilanteessa, jossa allokointia ei voi välttää, tulisi allokointi suorittaa ensisijaisesti syöte- tai tuotetietojen fysikaalisten ominaisuuksien, kuten massan perusteella. Jos allokointia ei voi suorittaa yksinomaan fysikaalisten ominaisuuksien perusteella, tulee allokointimenettely suorittaa muiden syöte- tai tuotetietojen välisten suhteiden, kuten taloudellisen arvon perusteella. (SFS-ISO 14044:2006, 34, 36.)

3.3 Vaikutusarviointi

Vaikutusarviointi on SFS-EN ISO 14040 standardin mukaan toteutetun elinkaariarvion kolmas vaihe. Vaikutusarvioinnin toteuttamisesta säädetään tarkemmin SFS-EN ISO 14044 standardissa. Vaikutusarviointivaiheessa tarkastellaan inventaarioanalyysin tuloksia ja arvioidaan niiden avulla potentiaalisten ympäristövaikutuksien merkittävyyttä. Vaikutusarviointi voidaan jakaa standardin mukaan pakollisiin ja vapaaehtoiisiin vaiheisiin. Vaikutusarvioinnin pakollisiin vaiheisiin kuuluu vaikutusluokkien, vaikutusluokkaindikaattorien ja karakterisointimallien valinta, inventaarioanalyysin tulosten sijoittaminen vaikutusluokkiin ja vaikutusluokka indikaattoritulosten laskeminen. Normalisointi, ryhmittely, painotus ja lähtötiedon laadun analysointi ovat standardin mukaan vaikutusarvioinnin vapaaehtoisia vaiheita. Vaikutusarvioinnin pääkohdat on esitetty kuviossa 4. (SFS-ISO 14040:2006, 8; SFS-ISO 14044:2006, 42, 50.)



Kuvio 4. Vaikutusarvioinnin pääkohdat (SFS-ISO 14040:2006, 36).

Standardin mukaisten pakollisten vaikutusarvioinnin vaiheiden avulla inventaarioanalyysin tulokset muutetaan ja yhdistetään vaikutusluokka indikaattorituloksiksi. Vaikutusarvioinnin pakollisiin vaiheisiin liittyvät valinnat tehdään yleensä jo olemassa olevista ja yleistyneistä vaikutusluokista, vaikutusluokkaindikaattoreista ja karakterisointimalleista. Euroopan komission alaisen Joint Research Center -tutkimuslaitoksen julkaisemassa ILCD-käsikirjassa listataan elinkaariarvioinnin vaikutusarvioinnissa vaikiintuneet vaikutusluokat, joita on yhteensä seitsemäntoista. Näihin vaikutusluokkiin kuuluu muun muassa ilmastonmuutos, otsonikato, happamoituminen, rehevöityminen, ekotoksisuus, luonnonvarojen ehtyminen, toksisuus ihmiselle ja alailmakehän otsonin muodostuminen (Joint Research Center 2011, 5; Antikainen & Seppälä 2012, 17). Vaikutusarviointimenetelmissä vaikutusarvioinnin pakollisten vaiheiden valinnat on tehty elin-

kaariarvion tekijän puolesta, jolloin valitut vaikutusluokat, vaikutusluokkaindikaattorit ja karakterisointimallit määräytyvät valitun menetelmän mukaan. Pakollisten vaiheiden lisäksi vaikutusarviointimenetelmät sisältävät usein myös vaikutusarvioinnin vapaaehtoisia osioita, joita voidaan hyödyntää tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyn mukaisesti. (SFS-ISO 14040:2006, 8; SFS-ISO 14044:2006, 42.)

Normalisointi, ryhmittäminen, painotus ja lähtötiedon laadun analysointi ovat standardissa määriteltyjä vaikutusarvioinnin vapaaehtoisia vaiheita. Vaikutusarvioinnin normalisointivaiheessa vaikutusluokkien indikaattoritulokset suhteutetaan kyseisten vaikutusluokkien vertailutuloksiin. Normalisoinnin avulla voidaan tutkia vaikutusluokka indikaattorituloksien keskinäistä merkittävyyttä (United States Environmental Protection Agency 2006, 51). On suositeltavaa käyttää normalisoinnin maailmanlaajuisia vertailuarvoja, jos tuotejärjestelmän kaikkia prosesseja ei voi tarkasti määrittää tietylle maantieteelliselle alueelle. (SFS-ISO 14044:2006, 50.) Alueellisia vertailuarvoja voi kuitenkin käyttää normalisoinnissa, jos suurin osa tuotejärjestelmän ympäristövaikutuksista sijoittuu kyseiselle alueelle (Joint Research Center 2011, 12; Dahlbo, Koskela, Pihkola, Nors, Federlay & Seppälä 2013).

Jos normalisoiduista indikaattorituloksista ei voi selvästi päätellä vaikutusluokkien keskinäistä merkittävyyttä, voidaan vaikutusarvioinnissa suorittaa arvovalintoihin perustuvat ryhmittämisen ja painotuksen vapaaehtoiset vaiheet. Ryhmittelyssä vaikutusluokat järjestetään tärkeysjärjestykseen eri arvovalintojen perusteella. Järjestely voidaan suorittaa esimerkiksi vaikutusluokkien maailmanlaajuisen, alueellisen tai paikallisen merkittävyyden mukaan. Ryhmittely voidaan suorittaa myös esimerkiksi jakamalla vaikutusluokat kolmeen eri luokkaan niiden merkittävyyden perusteella. Painotuksessa vaikutusluokka- tai normalisoituja indikaattorituloksia muutetaan eri painotuskertoimien avulla, jolloin vaikutusluokkien keskinäisen merkittävyyden mukainen järjestys saadaan luotua. Painotuksessa voidaan lisäksi yhdistää muutettuja indikaattorituloksia keskenään (esimerkiksi eri ekotoksisuus-luokat yhdistetään yhdeksi toksisuutta kuvaavaksi vaikutusluokaksi). Arvovalinnat voivat vaihdella eri organisaatioissa, sidosryhmissä ja yhteisöissä, minkä takia arvovalintoihin perustuvat tulokset voivat vaihdella paljon. Pelkästään arvovalintoihin perustuvilla valinnoilla ei ole tieteellistä perustaa. (SFS-ISO 14044:2006, 50, 52.)

Vaikutusarvioinnin vapaaehtoisessa lähtötietojen laadun analysoinnin vaiheessa pyritään perehtymään tarkemmin saatuihin tuloksiin vaikuttaviin tekijöihin. Tuloksiin vaikuttavia tekijöitä tarkastellaan esimerkiksi painoarvo-, epävarmuus- ja herkkyysoanalyysien avulla. Analyysien avulla voidaan selvittää tarkemmin vaikutusarvion tulokseen vaikuttavat merkittävimmät yksittäiset prosessit ja epävarmuudet sekä käytettyjen menetelmien vaikutus tulokseen. (SFS-ISO 14044:2006, 52, 54.)

3.4 Tulosten tulkinta

Tulosten tulkinta vaiheessa pyritään tunnistamaan elinkaariarvion merkittävimmät tuloksiin vaikuttavat asiat, arvioimaan ja parantamaan tuloksien luotettavuutta sekä tekemään saaduista tuloksista johtopäätöksiä ja suosituksia. Merkittävimmät tuloksiin vaikuttavat asiat pyritään tunnistamaan kaikista edeltävistä elinkaariarvion vaiheista. Esimerkiksi tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyn vaiheessa järjestelmän rajaus voi olla yksi merkittävä tekijä, kun taas vaikutusarvioinnin vaiheessa käytetty vaikutusarviointimenetelmä voi vaikuttaa merkittävästi saatuun elinkaariarvion tulokseen. Tulosten luotettavuuden arviointi aloitetaan täydellisyyden tarkistuksella, jossa arvioidaan onko tulosten tulkintaan tarvittavat tiedot tarpeeksi kattavia ja täydellisiä. Täydellisyyden tarkistuksen jälkeen tehdään herkkyystarkistus, jossa tarkastellaan elinkaariarvion laskentaan liittyviä epävarmuustekijöitä. Laskentaan liittyvien epävarmuuksien tarkistuksen jälkeen varmistetaan, että elinkaariarviossa tehdyt oletukset, menetelmien valinnat ja lähtötiedot vastaavat määriteltyjä tavoitteita ja soveltamisalaa (johdonmukaisuuden tarkistuksen vaihe). Elinkaariarvion tuloksien johtopäätökset tehdään tulosten tulkinnan aiempien vaiheiden ja lopullisten tulosten perusteella. Johtopäätösten perusteella voidaan tehdä suosituksia tavoitteiden määrittelyssä nimetyille kohderyhmille. (SFS-ISO 14044:2006, 54, 56, 58, 60, 62.)

3.5 Vaikutusarviointimenetelmät

Standardeissa ei anneta suosituksia vaikutusarvioinnissa käytettävistä menetelmistä. Euroopan komissio antaa ILCD-käsikirjassa omat suosituksensa elinkaariarvion vaikutusarvioinnissa käytettävistä menetelmistä. Vaikutusarviointimenetelmät voidaan luokitella käytetyn lähestymistavan mukaan keskipiste- tai loppupistemenetelmiksi. Keskipistelähestymistapaa käyttävä vaikutusarviointimenetelmä arvioi päästöjen vaikutuksen loppupisteeseen valitsemalla näiden väliltä indikaattorin, jonka avulla päästön vaikutus voidaan arvioida. Esimerkiksi keskipistemallinnuksessa kasvihuonekaasu metaanin vaikutusta merenpinnan nousuun voidaan arvioida muuttamalla metaanipäästö karakterisointikertoimen avulla hiilidioksidiekvivalentiksi (vaikutusluokka indikaattoritulos), jonka vaikutus ilmastonmuutoksen vaikutusluokkaindikaattoriin (infrapunasäteilypakote W/m^2) voidaan arvioida. Keskipistelähestymistavan (eng. midpoint level) ja loppupistelähestymistavan (eng. endpoint level) menetelmien vaikutusarvioinnin eroa havainnollistetaan kuviossa 5 (s. 18) käyttämällä ilmastonmuutoksen vaikutusluokkaa esimerkkinä. Kuviossa 5 on myös esitetty, kuinka eri loppupistelähestymistavan vaikutusarviointimenetelmissä (esimerkiksi ReCiPe ja LIME) arvioitavat vaikutusluokat voivat vaihdella keskenään. (Antikainen 2010, 24–26.)

Keskipistemallinnusta käyttävä vaikutusarviointimenetelmä ottaa huomioon indikaattoritulosten vaikutuksen tarkasteltavaan vaikutusluokkaan, kuten esimerkiksi ilmastonmuutoksen vaikutusluokkaan. Keskipistelähestymistavan menetelmät antavat pääosin luotettavampia arvioita potentiaalisista vaikutuksista kuin loppupistelähestymistavan menetelmät, koska

päästöjen vaikutus vaikutusluokan loppupisteeseen on monimutkaisten ympäristömekanismien takia erittäin vaikea arvioida. Euroopan komissio suosittelee keskipistelähestymistavan menetelmää neljälletoista elinkaariarvioinnissa tarkasteltavalle ympäristövaikutusluokalle, joita on yhteensä kuusitoista. (Antikainen 2010, 24–26.) Myrkyllisyyttä kuvastavat vaikutusluokat ovat vaikutusarvioinnissa vaikeita mallintaa luotettavasti, koska ne ovat vahvasti sidoksissa paikallisiin olosuhteisiin (Schulze, Jödicke, Scheringer, Margni, Jolliet, Hungerbühler & Matthies 2001). ILCD-käsikirjassa ei vielä suositella keskipistelähestymistavan vaikutusarviointimenetelmiä maaperän ja meriekosysteemien ekotoksisuuden arvioimiseen, koska olemassa olevat menetelmät ovat vielä toistaiseksi hyvin kehittymättömiä. Käsikirjassa suositellaan käyttämään ihmisen ja makean veden toksisuuden arvioimiseen vain USEtox-menetelmää sillä lisähuomautuksella, että menetelmän avulla saatuihin tuloksiin täytyy suhtautua vielä varauksin (Joint Research Center 2011, 3, 5). Vuonna 2008 julkaistu USEtox-menetelmä ei sisälly tässä opinnäytetyössä käytettyyn SimaPro7 elinkaariarvioinnin ohjelmaan. Ekotoksisuuden ja humanitoksisuuden arvioimiseen liittyvien epävarmuustekijöiden vuoksi niitä ei yleensä oteta huomioon elinkaariarvioinneissa (Mattila 2009, 6).

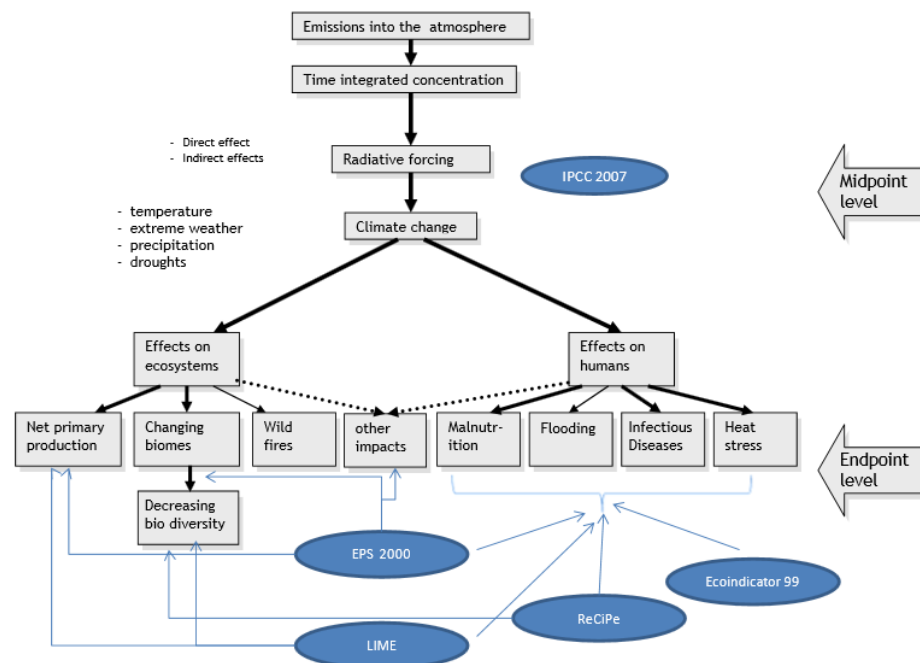


Figure 1 Environmental mechanism for climate change and associated LCIA methods.

Kuvio 5. Keskipiste- ja loppupistemallinnuksen ero ilmastomuutoksen vaikutusluokan arvioinnissa (Joint Research Center 2011, 15).

Loppupistemallinnusta käytävä vaikutusarviointimenetelmä ottaa huomioon vaikutusluokka indikaattorituloksen (esimerkiksi CO₂-ekv) vaikutuksen vaikutusluokkaindikaattoriin (esimerkiksi infrapunasäteilypakote W/m²) ja edelleen vaikutusluokkaindikaattoriin vaikutuksen vaikutusluokan loppupisteeseen (esimerkiksi ihmisen terveyteen tai koralliriuttoihin). (Antikainen 2010, 24–25, 27–28; Joint Research Center 2011, xiii, 5.) Monet loppupistelähestymistavan vaikutusarviointimenetelmistä ovat vielä keskeneräisiä, minkä takia Euroopan komissio suosittelee ILCD-käsikirjassa loppupistelähestymistavan vaikutusarviointimenetelmiä käy-

tettäväksi vain karsinogeenien, hiukkaspäästöjen ja alailmakehän otsonin ihmisen terveyteen kohdistuvien vaikutuksien arviointiin (Joint Research Center 2011, 6).

3.5.1 CML 2 baseline 2000 V2.05

Tämän opinnäytetyön elinkaariarvio-osuudessa käytetään keskipistelähestymistapaan perustuvaa CML 2 baseline 2000 V2.05 -vaikutusarviointimenetelmää, joka sisältää myös vaikutusarvioinnin pakollisten osien lisäksi vapaaehtoisen normalisointivaiheen. CML 2 baseline 2000 vaikutusarviointimenetelmä päivitettiin viimeisimmän kerran marraskuussa 2009 versioon 2.05. Menetelmässä on mukana kymmenen vaikutusluokkaa, joista neljä keskittyy toksisuuden arviointiin. Menetelmässä huomioitavat ympäristövaikutusluokat ovat abioottisten (elottomien) ympäristötekijöiden ehtyminen, happamoituminen, rehevöityminen, ilmastonmuutos, otsonikato, fotokemiallinen (alailmakehän) otsonin muodostuminen, toksisuus ihmiselle sekä merien-, maaperän- ja makean veden ekotoksisuus. CML 2 baseline 2000 -menetelmä käyttää inventaarioanalyysin tulosten karakterisointiin yleisesti käytettyjä karakterisointikertoimia kuten esimerkiksi IPCC 2007 GW 100a -karakterisointimallin kasvihuonekaasujen karakterisointikertoimia. Menetelmän vaikutusluokka indikaattoritulosten yksiköt ja selitteet on esitetty taulukossa 3. Normalisoinnissa vaikutusluokka indikaattoritulos suhteutetaan Länsi-Euroopan, Alankomaiden tai koko maailman vastaaviin tarkasteluvuoden tuloksiin. Normalisoinnissa voi valita Länsi-Euroopan tulokset vuodelta 1995, koko maailman tulokset vuodelta 1990 ja 1995 tai Alankomaiden tulokset vuodelta 1997 normalisoinnin vertailuarvoiksi. Normalisoinnin vuoden 1995 Länsi-Euroopan vertailuarvot on esitetty taulukossa 4 (s. 20). (Goedkoop, Oele, An de, Vieira & Hegger 2010, 3–5; Antikainen 2010, 30–31).

Taulukko 3. Tässä opinnäytetyössä käytetyt karakterisointimallien vaikutusluokka indikaattoritulosten yksiköt ja selitteet.

CML 2 baseline 2000 V2.05		
Vaikutusluokka	Yksikkö	Yksikön selite
Abioottisten ympäristötekijöiden ehtyminen	kg Sb eq / kg	antimoni (Sb) ekvivalentti
Happamoituminen	kg SO ₂ eq	rikkidioksidi ekvivalentti
Rehevöityminen	kg PO ₄ --- eq	fosfaatti ekvivalentti
Ilmastonmuutos	kg CO ₂ eq	hiilidioksidi ekvivalentti
Otsonikato	kg CFC-11 eq	Trikloorifluorimetaani ekvivalentti
Fotokemiallinen (alailmakehän) otsonin muodostuminen	kg C ₂ H ₄	kg eteeni ekvivalenttia

CML 2 baseline 2000 sisältää menetelmän abioottisten (elottomien) ympäristötekijöiden ehtymisen vaikutusluokan arvioimiseen. Abioottiset ympäristötekijät voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan niiden uusiutumiskyvyn mukaan. Ensimmäinen luokka käsittää kaikki ne elottoman ympäristön elementit, jotka eivät uusiudu ihmisen elinaikana. Tähän luokkaan kuuluu muun muassa fossiiliset polttoaineet, mineraalit, sedimentit ja savi. Toinen luokka sisältää elottoman ympäristön elementit, jotka kykenevät uusiutu-

maan ihmisen elinaikana. Esimerkiksi pohjavesi ja jotkin maalajit kykenevät tähän. Kolmanteen luokkaan kuuluu elementit, jotka uusiutuvat jatkuvasti, kuten esimerkiksi tuuli ja auringon säteilyenergia. Abioottisten ympäristötekijöiden ehtymisellä viitataan siis lähinnä ihmisen aikana uusiutumattomiin elementteihin, kuten mineraaleihin ja fossiilisiin polttoaineisiin. Vaikutusluokan karakterisointi- ja normalisointimallien rakentamisen kannalta on erityisen tärkeää tuntea abioottisten ympäristötekijöiden reservi. Tästä syystä esimerkiksi kipsin, saven ja hiekan ym. sisällyttäminen näihin malleihin ei ole mahdollista. Abioottisten ympäristötekijöiden karakterisointi- ja normalisointimalleihin on sisällytetty vain tiettyjä alkuaineita ja fossiilisia polttoaineita. (Road and Hydraulic Engineering Institute 2002, 16, 41.)

Taulukko 4. Normalisoinnissa käytetyt vuoden 1995 Länsi-Euroopan vertailuarvot.

CML 2 baseline 2000 V2.05 Normalisoinnin vuoden 1995 Länsi-Euroopan vertailuarvot	
Vaikutusluokka	Arvo
Abioottisten ympäristötekijöiden ehtyminen	6,74E-11
Happamoituminen	3,66E-11
Rehevöityminen	8,02E-11
Ilmastonmuutos	2,08E-13
Otsonikato	0,000000012
Fotokemiallinen (alailmakehän) otsonin muodostuminen	1,21E-10

3.5.2 EPD 2008

EPD 2008 -vaikutusarviointimenetelmää käytetään ympäristövaikutusten arvioimiseen tyyppin 3 ympäristömerkintää varten. EPD 2008 -menetelmä ottaa huomioon kuusi eri vaikutusluokkaa, uusiutumattomien energialähteiden käytön, ilmastonmuutoksen, otsonikadon, happamoitumisen, alailmakehän otsonin muodostumisen ja rehevöitymisen. EPD 2008 perustuu pääosin CML 2 baseline 2000 V2.03 -menetelmään, eikä siihen sisälly vaikutusarvioinnin vapaaehtoisia vaiheita, kuten indikaattoritulosten normalisointia tai painotusta. (Goedkoop ym. 2010, 18.)

3.6 ISO 14020 -standardisarja ja ympäristömerkinnät

ISO 14024 määrittelee säännöt ja vaatimukset tyyppin 1 ympäristömerkin, kuten Pohjoismaiden ympäristömerkin eli Joutsenmerkin ja Euroopan unionin ympäristömerkin eli EU-kukan käytölle. Tyyppin 1 ympäristömerkit eivät ilmoita tuotteesta määrällistä tietoa, vaan kertovat kuluttajille merkillä varustetun tuotteen kuuluvan tuoteryhmässään vähiten ympäristöä kuormittaviin tuotteisiin. Tyyppin 1 ympäristömerkkien käyttö on vapaaehtoista mutta maksullista. Maksullisuus johtuu riippumattoman kolmannen osapuolen myöntämästä sertifiointista. (Motiva Oy n.d.a.; Antikainen 2010, 19.)

ISO 14025 standardi määrittää säännöt tyyppin 3 ympäristömerkin, ympäristöselosteen käytölle. Ympäristöselosteen tiedot perustuvat tuotteelle tehdyn elinkaariarvion tuloksiin. Ympäristöselosteissa ilmoitetaan määrällistä tietoa tuotteesta, jolloin eri tuotteita voi vertailla keskenään ympäristöselosteissa ilmoitettujen tietojen perusteella. Vertaillessa tuotteita ympäristöselosteiden perusteella täytyy kuitenkin huomioida, että vain samassa ympäristöselosteohjelmassa olevat tuotteet ovat keskenään vertailukelpoisia. Vertailun rajoittuminen vain samassa ympäristöselosteohjelmassa olevien tuotteiden kesken johtuu siitä, että eri selosteohjelmilla voi olla erilaisia ohjeita ja sääntöjä elinkaariarvion toteuttamiselle. ISO 14025 standardi määrittää tuotteen elinkaariarviolle vaatimukset, jotka on huomioitu ympäristöselosteohjelmien omissa ohjeistuksissa. The International EPD® System on ympäristöselosteohjelma, joka on myöntänyt sertifioitun ympäristöselosteen muun muassa viiden eri Vattenfallin sähköntuotantolaitoksen tuottamalle sähkölle ja Carlsberg Italian Kronenbourg 1664 oluelle. SEMCo johtaa The International EPD® System -ohjelmaa ja on päävastuussa siitä. Ympäristöselosteohjelmia on useita, jotka voivat erikoistua tietyn tuotesektorin tuotteiden sertifiointiin. Esimerkiksi Suomessa on rakennusalan käytössä Rakennussäätiö RTS:n ylläpitämä rakennustuotteiden ympäristöselostejärjestelmä. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet perustuvat ISO 14040 ja -14020 standardien lisäksi rakennusalan omaan ISO 21930 standardiin, joka sisältää ohjeet myös rakennusten vaikutusarvioinnille. Rakennussäätiö RTS ylläpitää luettelo riippumattoman Ympäristöselostetoimikunnan myöntämistä rakennustuotteiden ympäristöselosteista. (Motiva Oy n.d.b.; Antikainen 2010, 19–21; The International EPD System n.d. ; Global Ecolabelling Network 2004, 1; Rakennustieto n.d.)

ISO 14021 antaa ohjeita tyyppin 2 ympäristömerkeille. Tyyppin 2 ympäristömerkeillä ei ole ennalta määriteltyä muotoa vaan ne ilmenevät yleensä väittämän muodossa. Näitä omaehtoisia väittämiä, jotka ovat tuotteen maahantuojan, valmistajan tai kaupan esittämiä, ei tarvitse sertifioida riippumattoman kolmannen osapuolen toimesta. ISO 14021 standardin ohjeiden lisäksi, kuluttajavirasto antaa ohjeita ympäristöväittämien käyttöön Suomessa. Tyyppin 2 ympäristömerkin käyttö on vapaaehtoista ja maksutonta, koska sen käyttö ei velvoita riippumattoman kolmannen osapuolen myöntämää sertifikaattia. Tyyppin 2 ympäristömerkin sertifiointi on kuitenkin suositeltavaa. (Antikainen 2010, 19; Motiva Oy. n.d.c.)

4 REJEKTIVEDESTÄ VALMISTETUN AMMONIUMSULFAATIN YKSINKERTAISTETTU ELINKAARIARVIO JA POTENTIAALISEN KYSYNNÄN SELVITYS

Tämän opinnäytetyön tutkimuskohteena oli biokaasulaitoksen rejektiveden tyyppistä ammoniakkistriippauksen avulla valmistettu ammoniumsulfaattituote. Ammoniumsulfaattia valmistetaan ammoniakkistriippauslaitoksessa, joka on rakennettu biokaasulaitoksen rejektiveden typpikuormituksen pienentämiseksi. Ammoniumsulfaatin CAS-numero on 7783-20-2. Strippauslaitoksen valmistama ammoniumsulfaattituote on liuos, jossa ammoniumsulfaatti on veteen liuenneena. Tässä luvussa käsitellään ammoniumsulfaattituotteen potentiaalisen kysynnän selvityksen ja elinkaariarvion tuloksia.

4.1 Ammoniumsulfaattituotteen potentiaalisen kysynnän selvitys

Koska strippauslaitos rakennettiin ensisijaisesti rejektiveden käsittelyä varten, ei rejektiveden tyyppistä valmistetun ammoniumsulfaattituotteen jatkohyödyntämismahdollisuuksista ollut vielä tarkkaa kokonaiskuvaa laitoksen aloittaessa toimintansa. Osana tätä opinnäytetyötä ammoniumsulfaattituotteelle suoritettiin potentiaalisen kysynnän selvitys, jonka tarkoituksena oli kartoittaa tuotteen jatkohyödyntämispotentiaali noin 200 kilometrin säteellä. Selvitys suoritettiin yhdessä biokaasulaitoksen kehityspäällikön kanssa. Selvitys toteutettiin tiedonhaun tulosten perusteella tehtyjen puhelinhaastatteluiden avulla. Tiedonhauilla selvitettiin ammoniumsulfaatin käyttökohteita kasvituotannossa sekä teollisuudessa ja siinä hyödynnettiin muun muassa Tullin ULJAS-Tavaroiden ulkomaankauppatilaston sekä Euroopan unionin ESIS (European chemical Substances Information System) tietokantoja. Selvityksen tulokset on esitetty taulukossa 5 (s.24).

4.1.1 Ammoniumsulfaatin käyttö teollisuudessa

Tiedonhaun tulosten perusteella ammoniumsulfaattia voidaan käyttää paperiteollisuudessa paperikoneiden limantorjuntaan sekä biologisen jätevedenpuhdistuksen aktiivilietteen mikrobien ammoniumtyppiravinteena. Turvallisuus ja kemikaalivirasto (Tukes) hallinnoi luetteloa limantorjuntaan sallituista kemikaaleista, koska kemikaalilain mukaan suojauskemikaalin valmistajan tai maahantuojan on hankittava tuotteelle Tukesin hyväksyntä (KemL 5:27 §). Tukesin 5.3.2014 päivittämällä sallittujen suojauskemikaalien listalla on kolme ammoniumsulfaattituotetta, joiden vahvuudet vaihtelevat 27–30 prosentin välillä (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2014, 12). Puhelinhaastatteluiden perusteella ammoniumsulfaattituotteella ei ole tarkasteltavalla alueella kysyntää paperiteollisuudessa.

Ammoniumsulfaattia voidaan käyttää nahkateollisuudessa nahkojen parkitsemisprosessissa kalkinpoistoon. Tiedonhaun avulla löytyi kaksi nahkatehdasta, jotka käyttävät ammoniumsulfaattia (Länsi-Suomen ympäristökeskus 2007, 3, 4; Länsi- ja Sisä-Suomen Aluehallintovirasto 2013, 5).

Nahkatehtaat sijaitsevat yli 200 kilometrin päässä ammoniakkistriippauslaitoksesta.

Ammoniumsulfaattia voidaan käyttää myös sähkösinkityksessä. Muun muassa Laspek Oy myy sähkösinkityspakettia, johon kuuluu ammoniumsulfaattia (Laspek Oy 2013). Vaikka kirjallisuusviitteitä ammoniumsulfaatin käytöstä sähkösinkityksessä ei löytynyt, haluttiin tiedonhaun avulla selvittää, käytetäänkö ammoniumsulfaattia sähkösinkitykseen teollisessa mittakaavassa. Selvityksen erityisenä mielenkiinnon kohteena oli autoteollisuus ja henkilöautoja valmistava Valmet Automotiven autotehdas. Selvityksen perusteella sähkösinkitystä ei käytetä Valmet Automotiven autotehtaalla, sillä autojen metallikorien korroosionesto suoritetaan fosfatoinnin avulla (Lounais-Suomen ympäristökeskus 2004, 3).

Selvityksessä tehdyn tiedonhaun perusteella ammoniumsulfaattia voidaan käyttää villan, silkin ja nylonin happovärjäyksen apuaineena (University of Hertfordshire n.d., 1). Selvityksessä tehtiin puhelinhaastattelu suomalaisen käsityölänsä valmistavan tehtaan värjäämöpäällikölle. Tehtaan happovärjäämisen apuaineina käytetään ammoniumsulfaatin sijaan natriumsulfaattia ja -kloridia.

Ammoniumsulfaattia käytetään elintarviketeollisuudessa happamuudensäätöaineena E517 ja Yhdysvaltojen lääketieteellisuudessa rokotteiden valmistusprosessissa (Elintarviketurvallisuusvirasto Evira 2011, 12; Centers for Disease Control and Prevention 2013, 1–4). Ammoniumsulfaatin potentiaalista kysyntää ei tässä tutkimuksessa selvitetty ruoka- ja lääketieteellisuuden osalta, koska arvioitiin striippausprosessilla valmistetun ammoniumsulfaatin käyttöön liittyvän näiden teollisuudenalojen osalta suuria hygieni- ja laatuvaatimuksia. Lisäksi ruoka- ja lääketieteellisuuden ammoniumsulfaattituotteen potentiaalinen kysyntä arvioitiin hyvin pieneksi suhteessa esimerkiksi maatalouden ammoniumsulfaatin lannoitekäytön käyttömääriin nähden.

4.1.2 Ammoniumsulfaatin käyttö kasvintuotannossa

Ammoniumsulfaattia käytetään yleisesti epäorgaanisena typpilannoitteena maataloudessa (Elintarviketurvallisuusvirasto Evira n.d., 1). Ammoniakkistriippauksella valmistettu ammoniumsulfaatti ei sovellu luonnonmukaiseen tuotantoon, koska se valmistetaan teollisella prosessilla ja sen raaka-aineena käytetään mineraalihappoa orgaanisen hapon sijaan (Heinonen, haastattelu 26.2.2014). Tässä selvityksessä ei koettu tarvetta selvittää tarkemmin ammoniumsulfaatin potentiaalista kysyntää maatalouden lannoitevalmisteenä, koska jo tiedettiin sillä olevan kysyntää tarkasteltavalla alueella.

Ammoniumsulfaattituote ei pääsääntöisesti sovellu kasvihuoneviljelyn epäorgaaniseksi lannoitteeksi, koska sen typpi on ammoniummuodossa. Ammoniummuodossa oleva typpi laskee kasvualustan pH-arvoa kasvin juurivyöhykkeellä nitrifikaation vaikutuksesta, mikä voi olla ongelmallista Suomessa kasvihuoneviljelyssä käytetyille rajoitetuille kasvualustoille.

Suomessa kasvihuoneviljelyn typpilannoitukseen käytetään nitraattityppeä. (Järvinen, haastattelu 27.2.2014.)

Selvityksen tiedonhaun perusteella ammoniumsulfaattia käytetään golf- ja jalkapallokenttien lannoitukseen. Erityisenä mielenkiinnon kohteena oli selvittää, kuinka paljon ammoniumsulfaattia käytetään golf-kenttien lannoitukseen. Ammoniumsulfaattia käytetään viheriöiden nopean lannoitustarpeen tyydyttämiseen niin sanottuna "shokkilannoituksena", minkä takia ammoniumsulfaattia ei välttämättä käytetä joka vuosi golf-kenttien lannoitukseen (Lehmuskoski, haastattelu 27.2.2014). Ammoniumsulfaatin potentiaalista kysyntää ei selvitetty viherlannoituksen osalta, koska viheriöiden lannoitustarve ei ole säännöllistä ja ammoniumsulfaatin käyttömäärät viherlannoituksessa ovat hyvin pieniä.

Taulukko 5. Ammoniumsulfaattituotteen potentiaalisen kysynnän selvityksen tulokset.

Teollisuus	Käyttötarkoitus	Potentiaalisen kysynnän selvityksen tulos
Paperiteollisuus	Limantorjunta-aineena ja jätevedenpuhdistuksen aktiivilietteen mikrobien ammoniumtyppiravinteena	Ei kysyntää
Lasivillateollisuus	Liiman lisäaine	Kyllä
Kivivillateollisuus	Liiman lisäaine	Ei kysyntää tällä hetkellä
Vaneri- ja lastulevyteollisuus	Liiman komponentti	Kyllä
Elintarviketeollisuus	Happamuudensäätöaine E517	Ei selvitetty (hygieniä & laatuksiteerit)
Lääketeollisuus	Rokotteiden valmistus	Ei selvitetty (hygieniä & laatuksiteerit)
Tekstiiliteollisuus	Villan, silkin ja nylonin hapovärjäyksen apuaine	Ei kysyntää
Nahkateollisuus	Kalkin poistamiseen nahkojen parkitsemisessa	Kyllä (yli 200 km päässä)
Maanparannus ja lannoitekäyttö		
Viherlannoitus (Golf-kentät)	Viheriöiden hätälannoitus	Ei selvitetty (käyttömäärät hyvin pieniä)
Maatalous	Maatalouden lannoite	Kyllä
Ei käytetä		
Kasvihuoneviljely	Ammoniumtyypin lannoitekäyttö alentaa kasvualustan pH-arvoa, minkä takia ammoniumsulfaattia ei käytetä rajoitettujen kasvualustojen lannoitukseen	Ei selvitetty
Metalliteollisuus	Ammoniumsulfaattia ei käytetä sähkösinkitykseen teollisessa mittakaavassa	Ei kysyntää

4.2 Yksinkertaistettu elinkaariarvio

Ammoniumsulfaattituotteen potentiaalisia ympäristövaikutuksia arvioitiin yksinkertaistetun elinkaariarvion avulla. Elinkaariarviossa tuotejärjestelmän vaikutukset arvioitiin kehdosta portille. Tässä luvussa käsitellään tämän työn elinkaariarviota ja sen tuloksia.

4.2.1 Tavoitteiden määrittely

Elinkaariarvioinnin tavoitteena oli tuottaa uutta tietoa biokaasulaitoksen rejektiveden esikäsittelyn sekä esikäsittelyn yhteydessä valmistetun ammoniumsulfaattituotteen valmistusprosessin ympäristövaikutuksista. Tutkimuksessa arvioitiin tuotejärjestelmän vaikutuksia yksinkertaistetun, kehdosta portille elinkaariarvion avulla. Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää tutkittavan tuotejärjestelmän kehittämisessä ja parhaiden biojätteiden hyödyntämiskeinojen selvittämisessä ja tutkimisessa. Tämän elinkaariarvion tuloksia ei ole tarkoitus esittää julkisissa vertailuväitteissä. Tutkimus toteutettiin osana Hämeen ammattikorkeakoulun Kestävän kehityksen koulutusohjelman opinnäytetyötä sekä Bioliike-hankkeen kehittämistoimintaa.

4.2.2 Soveltamisalan määrittely

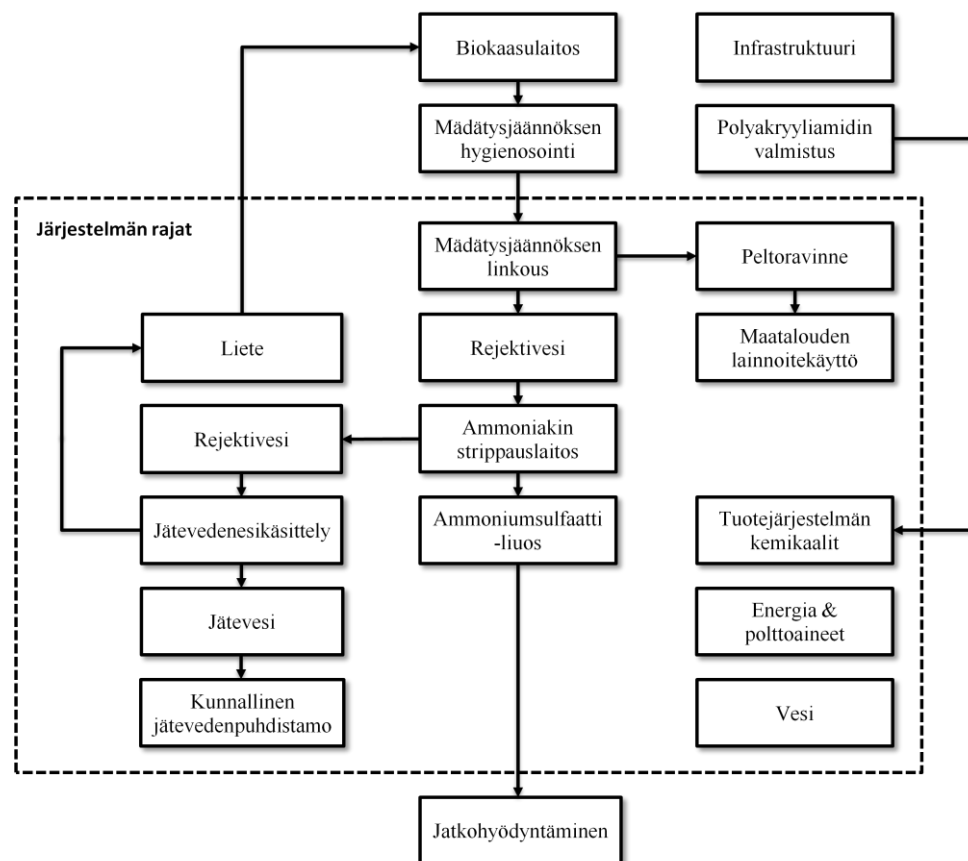
Tässä tutkimuksessa elinkaariarvioon yleisesti liittyvä allokointi vältettiin järjestelmärajausten avulla. Elinkaariarvion järjestelmärajaus on esitetty kuviossa 6 (s. 26). Elinkaariarvion järjestelmän rajausta määriteltiin aluksi biokaasulaitoksen toiminnasta muodostuvan hygienisoidun mädätysjäännöksen mekaanisella kuivaamisella ja päättyväksi ammoniumsulfaattituotteen varastoimiseen sekä esikäsitellyn rejektiveden käsittelyyn kunnallisessa jätevedenpuhdistamossa. Tässä tutkimuksessa infrastruktuuri, biokaasulaitoksen tuotejärjestelmä sekä jätevedenesikäsittelyssä käytettävä polyakryyliamidin valmistus jätettiin tarkasteltavan tuotejärjestelmän ulkopuolelle. Mädätysjäännöksen hygienisointi katsottiin osaksi biokaasulaitoksen järjestelmää, koska biokaasulaitoksessa on oltava kiinteä hygienisointiyksikkö, jos laitoksessa käsitellään luokan 3 eläinperäistä jätettä (Elintarviketurvallisuusvirasto Evira 2014a). Elinkaariarvion järjestelmän rajausta katsottiin olevan perusteltu, koska infrastruktuuria ei yleisesti huomioida elinkaariarvioissa, biokaasulaitoksen tuotejärjestelmän ympäristövaikutukset katsottiin kuuluvan tuotetulle biokaasulle, tietoa polyakryyliamidin tuotantoprosessista ei ollut tämän tutkimuksen tekoaikana saatavilla ja polyakryyliamidin massavirta on suhteellisen pieni verrattuna muihin tuotejärjestelmässä käytettäviin kemikaaleihin (Antikainen 2010, 32). Mädätysjäännöksen mekaanisessa kuivaamisessa muodostuu nestemäinen jae, rejektivesi sekä kuiva jae, mädätysjäännös (kuiva-ainepitoisuus 28 prosenttia). Mekaanisesti kuivattu mädätysjäännös ja sen jatkohyödyntäminen maanparannusaineena liitettiin osaksi tässä tutkimuksessa tarkasteltavaa järjestelmää.

Elinkaariarviossa tehtiin yksinkertaistuksia käyttämällä inventaarioanalyysissä tietokantojen korvaavaa tietoa aineistoa joidenkin tuotejärjestelmän kemikaalien ja prosessien osalta. Elinkaariarviossa tehtiin yksinkertaistuksia, koska yksityiskohtaisen elinkaariarvion suorittaminen ei ollut opinnäytetyöhön käytettävissä olevien resurssien takia mahdollista. Korvaavan tietoa aineiston käyttöön vaikutti myös se, että joidenkin prosessien osalta tietoa ei ollut muuten saatavilla.

Tämän tutkimuksen elinkaariarvion toiminnallinen yksikkö oli 1 tonni sa-
taprosenttista ammoniumsulfaattia.

Elinkaariarvioinnissa oletettiin, että tuotejärjestelmän mekaanisesti kuivat-
tu mädätysjäännös käytetään maatalouden maanparannusaineena ja että
sen sisältämät ravinteet korvaavat määränsä verran typpi-, fosfori- ja ka-
liumlannoitteita.

Elinkaariarvion inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin vaiheissa hyö-
dynnettiin SimaPro7 elinkaariarvioinnin ohjelmaa sekä sen sisältämiä tie-
tokantoja. Tutkimuksessa sovellettiin keskipistelähestymistapaan perustu-
vaa CML 2 baseline 2000 V2.05 .vaikutusarviointimenetelmää. Vaiku-
tusarvioinnissa huomioitiin happamoitumista, rehevöitymistä, ilmaston-
muutosta, otsonikatoa, fotokemiallisen (alailmakehän) otsonin muodostu-
mista ja abioottisten eli elottomien ympäristötekijöiden ehtymistä kuvaa-
vat vaikutusluokat. Vaikutusarvioinnissa ei huomioitu humaani- ja ekotok-
sisuus vaikutusluokkia, koska niiden arviointimenetelmiin liittyy suuria
epävarmuustekijöitä menetelmien kehittymättömyyden vuoksi. Vaiku-
tusarvioinnissa suoritettiin pakollisten osien lisäksi myös normalisointi,
joka helpotti saatujen tulosten merkittävyyden hahmottamista. Norma-
lisoinnissa käytettiin vuoden 1995 Länsi-Euroopan vertailuarvoja, koska
inventaarioanalyysissä hyödynnetyt inventaarioanalyysin vertailutiedot
olivat eurooppalaisia.



Kuvio 6. Elinkaariarvion järjestelmän rajat.

Suurin osa elinkaariarvion rajoituksista kohdistui elinkaariarvion inventaarioanalyysin tiedonkeruuseen. Tiedonkeruussa rajoituksia ilmeni tiedon saatavuudessa tai saatavilla olevan tiedon laadussa. Tiedonkeruussa ja elinkaariarvioinnin inventaarioanalyysissä hyödynnettiin inventaarioanalyysin tietokantoja joidenkin prosessien ja materiaalien osalta. Tuotejärjestelmässä jätevedenesikäsittelyyn käytettävän kemikaalin, kationisoitun polyakryyliamidin inventaariotietoja ei ollut tämän tutkimuksen tekoajana saatavilla kemikaalin toimittajalta eikä tietokannoista. Polyakryyliamidin käyttömäärä jätevedenesikäsittelyprosessissa on suhteellisen pieni verrattuna toisen, jätevedenesikäsittelyssä käytettävän kemikaalin, ferrisulfaatin käyttömäärään. Ferrisulfaattia kuluu jätevedenesikäsittelyssä noin 54 kertaa enemmän kuin polyakryyliamidia.

Tämän tutkimuksen elinkaariarviolle ei suoriteta standardissa määriteltyä kriittistä arviointia.

4.2.3 Inventaarioanalyysi

Tiedonkeruu inventaarioanalyysiä varten suoritettiin yhdessä laitoksen hankepäällikkö kanssa. Lisäselvityksiä suoritettiin puhelinhaastatteluilla ja kirjallisuusselvityksellä. Inventaarioanalyysin apuna käytettiin SimaPro7 elinkaariarvioin ohjelmaa sekä sen sisältämien tietokantojen korvaavaa tietoa. Inventaarioanalyysissä kerätyt tiedot suhteutettiin toiminnalliseen yksikköön. Suhteutuksen perustana oli tieto siitä, kuinka kauan yhden ammoniumsulfaattitonin valmistaminen kestää strippauslaitoksen toimiessa rejektiveden optimaalisella käsittelynopeudella, joka on 15,5 kuutiometriä rejektivettä tunnissa. Tuotantonopeus selvitettiin tarkasteluajanjakson (20.3.2014–24.3.2014) aikana muodostuneen ammoniumsulfaatin avulla. Tarkasteluajanjaksolla rejektiveden käsittelynopeus oli 15,5 kuutiometriä tunnissa. Strippausprosessissa käytettävien kemikaalien, natriumhydroksidin ja rikkihapon kulutus 15,5 kuutiometrin käsittelynopeudella arvioitiin laitevalmistajan antamien arvojen perusteella ja suhteutettiin inventaarioanalyysissä toiminnalliseen yksikköön. Tuotantoon kuuluvat huoltokatkokset ja prosessien käyttöasteet ja -tehot huomioitiin tuotejärjestelmän inventaarioanalyysin tuloksien laskennassa.

Tuotejärjestelmän syötteet on esitetty taulukossa 6 (s. 28). Tässä tutkimuksessa on käytettiin EcoInvent-tietokannan korvaavaa tietoa tuotejärjestelmässä käytetyn sähköntuotannon ympäristövaikutuksien arvioinnissa lukuun ottamatta kemikaalien valmistuksen käyttämää sähköä. Ammoniakkistrippauslaitoksen käyttämä sähkö tuotetaan biokaasulaitoksen yhteydessä olevassa sähköntuotantolaitoksessa, jonka sähköntuotanto riittää kattamaan koko laitoksen sähkökulutuksen. Sähköntuotannon korvaavana tietona käytettiin EcoInvent-tietokannan sveitsiläisen sähkön- ja lämmöntuotantolaitoksen (CHP-laitos) tietoja. CHP-laitos tuottaa biokaasusta sähköä ja lämpöä 90 prosentin hyötysuhteella (33 prosenttia sähköä ja 67 prosenttia lämpöä) noin 15,1 GWh vuodessa. Korvaavassa tietoa-aineistossa CHP -laitoksen ympäristövaikutukset on allokoitu pääosin sähköntuotannolle. Tässä tutkimuksessa oletettiin korvaavan tietoa-aineiston antavan hyvän arvion todellisista sähköntuotannon vaikutuksista, koska

korvaavan tietoaineiston laitoksen ja todellisen laitoksen sähköntuotanto-potentiaalit ovat lähes yhtä suuret. Tämän tutkimuksen tuotejärjestelmässä sähköä kuluu kemikaalien ja polttoaineiden valmistuksessa sekä strippauslaitoksen sähkölaitteissa, kuten pumpuissa, puhaltimissa, automaatiossa, valaistuksessa, sekoittimissa, tärylevyissä sekä mädätysjäännöksen kuivaamiseen käytettävässä lingossa. Tuotejärjestelmän energiaintensiivisin yksittäinen toiminto on tärylevyn sähkönkulutus, kun kemikaalien tuotannon energiankulutusta ei huomioida.

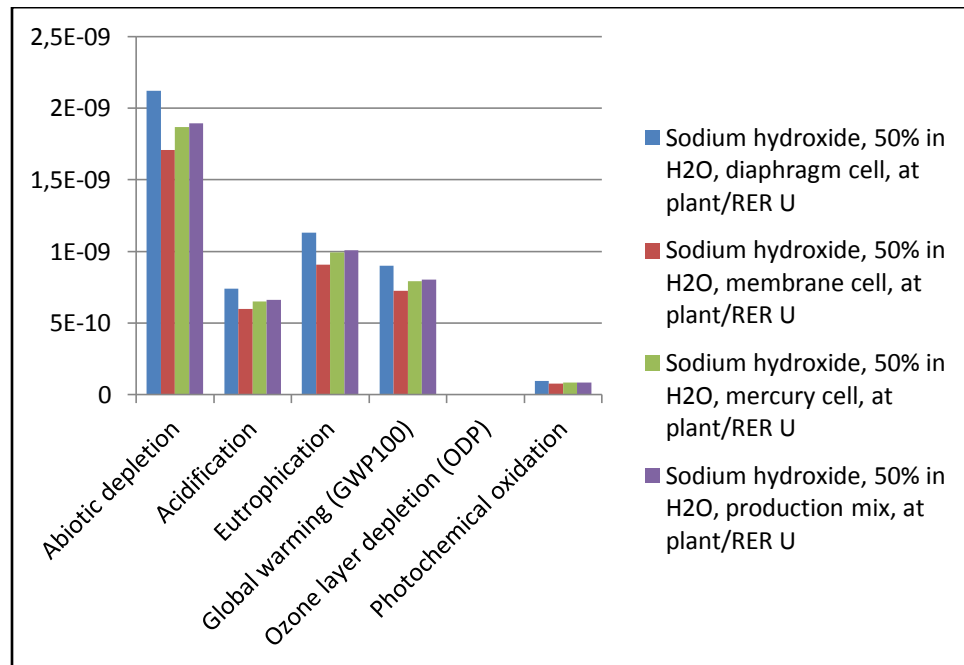
Taulukko 6. Toiminnalliseen yksikköön suhteutetut tuotejärjestelmän syötteen. Kemikaalien valmistuksen syötteitä ei ole erikseen listattu tässä taulukossa. (1) Tuotejärjestelmässä käytetävän 70-prosenttisen rikkihapon ainemäärä on muutettu vastaamaan 100-prosenttisen rikkihapon massaa. (2) Ammoniikki on tuotejärjestelmän yksikköprosessien välivirta.

Syötteen (materiaalit, polttoaineet & sähkö)	Arvo	Yksikkö	Tietokanta
Suolahappo 30 %	1	kg	EcoInvent
Rikkihappo 100 % (1)	2695	kg	EcoInvent
Natriumhydroksidi 50 %	3826	kg	EcoInvent
Ferrisulfaatti (III)	861	kg	Projektin tietokanta
Polyakryyliamidi	16	kg	n.a.
Hygienisoitu mädätysjäännös	289	m ³	Projektin tietokanta
Rejektivesi	299	m ³	Projektin tietokanta
Teoreettinen ammoniakkin määrä (2)	339	m ³	Projektin tietokanta
Talousvesi	2885	kg	EcoInvent
Sähkö	2183	kWh	EcoInvent
Kuljetukset, lorry >32 t, EURO 4	1705	tkm	EcoInvent
Kuljetukset, lorry 7,5–16 t EURO 5	1406	kgkm	EcoInvent
Kuljetukset, van <3,5 t	84	kgkm	EcoInvent
Mädätysjäännöksen levitys pellolle, Slurry spreading, by vacuum tanker	36562	kg	EcoInvent & projek- tin tietokanta

Ammoniakkistrippausprosessissa rejektiveden tyyppistä valmistetaan ammoniakkia, jota käytetään ammoniumsulfaatin valmistuksen raaka-aineena. Strippausprosessissa rejektiveden tyyppi muutetaan ammoniakkikaasuksi nostamalla veden pH-arvoa. Rejektivesi sisältää mädätysjäännöksen hygienisoinnin lämpöenergiaa, minkä takia tuotejärjestelmään ei tarvitse erikseen syöttää prosessilämpöä. Rejektiveden hukkalämpö lämmittää myös strippauslaitoksen sisäilmaa, eikä erillistä sisälämmitystä tarvita.

Natriumhydroksidia käytetään ammoniakkistrippausprosessissa rejektiveden pH-arvon nostamiseen, jolloin suuri osa rejektiveden tyyppistä muuttuu veteen liuenneeksi ammoniakkikaasuksi, joka erotetaan vedestä ilmaan ammoniakkistrippauksella. Kemikaalintoimittaja ei voinut tarjota tarkempia tietoja tuotejärjestelmässä käytetävän natriumhydroksidin valmistusmenetelmästä. Koska tietoa natriumhydroksidin valmistusmenetelmästä ei inventaarioanalyysin tekoaikana ollut saatavilla, inventaarioanalyysivaiheessa hyödynnettiin EcoInvent-tietokannan korvaava tietoaineistoa.

Natriumhydroksidin korvaava tietoaaineisto on vuodelta 2003 ja se koostuu EU-alueella kolmella eri tavalla valmistetun natriumhydroksidin sekoituksesta. Tuotesekoituksen valinta korvaavaksi inventaariotiedoksi pienensi korvaavan tietoaaineiston käyttöön liittyviä epävarmuustekijöitä, koska natriumhydroksidin eri tuotantomenetelmien vaikutuksissa on eroja ja todellista tuotantomenetelmää ei tunnettu. Kuviossa 7 on esitetty natriumhydroksidin valmistuksen ympäristövaikutusten valmistusmenetelmien välisiä eroja CML 2 baseline 2000 V2.05 -menetelmän normalisoinnin avulla.



Kuvio 7. EcoInvent-tietokannan natriumhydroksidin eri valmistusmenetelmien välinen vertailu CML 2 baseline 2000 V2.05 -menetelmän normalisoinnin avulla. Normalisoinnissa käytettiin Länsi-Eurooppa 1995 vertailuarvoja.

Suolahappoa käytetään kahden kuukauden välein strippauslaitteiston puhdistamiseen. Laitteiston puhdistamiseen käytettävä suolahapon määrä on inventaarioanalyysissä suhteutettu toiminnalliseen yksikköön. Koska suolahapon valmistusmenetelmää ei tunnettu, suolahapon vaikutusten arviointiin käytettiin EcoInvent-tietokannan suolahapon tuotesekoituksen korvaavaa tietoaaineistoa.

Tuotejärjestelmässä käytetään 70 prosentista rikkihappoa ammoniumsulfaatin valmistuksen raaka-aineena sekä strippausprosessin läpi käyneen rejektiveden pH-arvon laskemiseen. Tuotejärjestelmän rikkihaposta noin 43 prosenttia kuluu ammoniumsulfaatin valmistukseen ja 57 prosenttia rejektiveden pH-arvon laskemiseen. Rikkihapon osalta inventaarioanalyysissä käytettiin EcoInvent-tietokannan korvaavaa tietoaaineistoa vuodelta 2003, koska tietoa rikkihapon valmistusprosessista ei ollut tutkimuksen tekoaikana saatavilla. Korvaava tietoaaineisto oli Euroopassa valmistettu 100-prosenttinen rikkihappo. Inventaarioanalyysissä 100-prosenttisen rikkihapon massa suhteutettiin vastaamaan tuotejärjestelmässä käytettävän 70-prosenttisen rikkihapon ainemäärää.

Suurin osa tuotejärjestelmän fossiilisten polttoaineiden syötteistä kuluu kemikaalien valmistuksen käyttämän energian tuotannossa sekä niiden kuljetukseen käytettävän kuljetuskaluston polttoaineena. Kemikaalien valmistuksessa käytetyn energian tuotannon vaikutukset sisältyvät kemikaalien inventaariotietoihin. Inventaarioanalyysissä ei huomioitu kuljetus-suoritteita, jotka ovat tapahtuneet Suomen aluerajojen ulkopuolella, koska tietoa näistä kuljetuksista ei ollut. Taulukossa 6 (s. 28) on esitetty kaikki tunnetut tuotejärjestelmän kuljetukset. Kuljetuksen yksikkö tkm kuvaa kuljetetun materiaalin massan (tonni) ja kuljetusetäisyyden (km) tuloa. Ferrisulfaatin inventaarioanalyysin tiedot saatiin Kemira Engineering Oy:n vuonna 2001 valmistuneesta tutkimuksesta. Kemiran ferrisulfaatin tuotantoprosessi ei ole merkittävästi muuttunut vuoden 2001 jälkeen. Kationisoidun polyakryyliamidin tietoja inventaarioanalyysiä varten ei ollut tämän tutkimuksen tekoaikana saatavilla tietokannoista tai kemikaalin toimittajalta (He, Liu & Hodgins 2013, 9).

Ammoniakkistrippauslaitos valmistaa biokaasulaitoksen rejektivedestä poistetusta tyyppistä ammoniumsulfaattia, jota käytetään teollisuudessa raaka-aineena ja maataloudessa lannoitteena. Strippauslaitoksessa valmistettava ammoniumsulfaatti on liukoisessa muodossa, veteen liuotettuna. Liuoksessa on 20–40 prosenttia ammoniumsulfaattia. Liuoksen ammoniumsulfaattipitoisuus voidaan säätää haluttuun vahvuuteen.

Mädätysjäännöksen mekaanisessa kuivauksessa muodostuu rejektiveden lisäksi myös kiinteä jae, jonka kuiva-ainepitoisuus on 28 prosenttia. Kuivattua mädätysjäännöstä käytetään sellaisenaan maatalouden maanparannusaineena. Biokaasulaitoksen hygienisoidusta mädätysjäännöksestä kuivaamalla valmistettu maanparannusaine on ravinnepitoista ja sen lannoitekäytöllä voidaan suoraan korvata synteettisesti valmistettuja fosfori-, typi- ja kaliumlannoitteita. Kuivatussa mädätysjäännöksessä on myös 55 prosenttia orgaanista ainesta, joka edistää viljelysmaan biologista aktiivisuutta sekä nostaa maan hiilipitoisuutta (Elintarviketurvallisuusvirasto Evira 2014b). Yhdessä kuutiometrissä maanparannusainetta on 7,2 kilogrammaa tyyppiä (3,21 prosenttia kuiva-aineessa), 4,8 kilogrammaa fosforia (2,4 prosenttia kuiva-aineessa) ja 0,7 kilogrammaa kaliumia (0,3 prosenttia kuiva-aineessa). Maanparannusaine sisältää myös pieniä määriä haitallisia yhdisteitä kuten raskasmetalleja kadmiumia, lyijyä ja elohopeaa. Raskasmetallien lisäksi mädätysjäännöksestä valmistetussa maanparannusaineessa on pieniä määriä arseenia, kromia, kuparia, nikkeliä ja sinkkiä. Laitoksen valmistama maanparannusaine on Eviran hyväksymä orgaaninen lannoite ja maanparannusaine (Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. n.d.).

Tässä tutkimuksessa tutkittava tuotejärjestelmä on suunniteltu ja toteutettu biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen ja sen kuivaamisesta syntyvän rejektiveden jätevedenesikäsittelyyn sekä rejektiveden käsittelystä kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle aiheutuvan kuormituksen pienentämiseksi. Rejektivesi on erittäin typpipitoista, minkä takia rejektivedestä poistetaan tyyppiä ammoniakkistrippauksella. Strippausprosessilla rejektiveden sisältämästä kokonaistypestä saadaan poistettua noin 87 prosenttia. Osa strip-

pausprosessin läpi kulkeneesta rejektivedestä pyritään jatkossa hyödyntämään biokaasulaitoksen prosessivetenä. Rejektivedestä poistetaan fosforia kemiallisesti flotaatioaltaassa ennen sen johtamista kaupungin jätevesiverkkoon. Flotaatiossa separoitu liete johdetaan biokaasureaktoriin biokaasun raaka-aineeksi. Kunnalliseen jätevesiverkostoon syötetyn esikäsitellyn jäteveden laatua valvotaan säännöllisesti vedenlaadunmittauksien avulla (Taulukko 7).

Tuotejärjestelmästä syntyvät päästöt ilmaan, kuten kasvihuonekaasut sekä happamoittavat ja rehevöittävät päästöt, muodostuvat pääosin järjestelmässä käytettävien kemikaalien valmistuksen ja kuljetuksen aikana. Ilmapäästöjä syntyy myös ammoniakkipauslaitoksen käyttämän sähkön tuotannosta. Ammoniumsulfaatin valmistusprosessin ilmankierto on suljettu, eikä laitoksesta pääse ilmaan prosessikaasuja, kuten ammoniakkia.

Tuotejärjestelmän päästöt maaperään ja vesistöihin syntyvät pääosin ilmapäästöjen aiheuttamasta happamoittavasta ja rehevöittävästä laskeumasta. Happamoittavan- ja rehevöittävän laskeuman lisäksi tuotejärjestelmä kuormittaa vesistöjä niiden ravinteiden osalta, joita rejektiveden esikäsitely ja kunnallinen jätevedenkäsittely ei kykene puhdistamaan. Kunnallisen jätevedenpuhdistuslaitoksen vesistökuormitus tässä tutkimuksessa tutkitavan tuotejärjestelmän osalta on hyvin pieni, koska suurin osa rejektiveden typpi- ja fosforikuormituksesta poistetaan rejektivedestä ammoniakkipausprosessin sekä rejektiveden esikäsitelyn aikana. Taulukossa 7 on esitetty tammikuussa 2014 tehdyn vedenlaadunmittauksen tulokset. Vedenlaadunmittauksen aikana suoritettiin vielä strippauslaitoksen koeajoja. Ympäristöluvan asettamat rejektiveden kuormituksen luparajat alitetaan todennäköisesti myös kokonaistypen osalta, kun strippausprosessi käy rejektiveden syötön optimiteholla, 15,5 m³ tunnissa. Esikäsitellyn rejektiveden puhdistamisen vaikutukset kunnallisessa jätevedenpuhdistuslaitoksessa on arvioitu EcoInvent-tietokannan korvaavan tietoaineiston avulla.

Taulukko 7. Rejektiveden vedenlaadunmittauksen tulokset tammikuu 2014.

Rejektivesi Kunnalliseen jätevesiverkkoon	mg/l	Kuormitus kg/vrk kaupungin virtauslukema	Kuormitus kg/vrk laitoksen mittarin virtauslukema	Luparaja kg/vrk
Typpi	330	125	104	90
Ammoniumtyppi	250	95	79	
Fosfori	15	6	5	16
Kiintoaine	690	262	218	325
BOD	1100	418	348	3600 mg/l 1100 kg/vrk

4.2.4 Vaikutusarviointi

Tämän tutkimuksen vaikutusarvioinnissa käytettiin keskipistelähestymistapaan perustuvaa CML 2 baseline 2000 V2.05 -vaikutusarviointimenetelmää, joka sisältää standardissa määriteltyjen vaikutusarvion pakollisten osien lisäksi vapaaehtoisen normalisoinnin osion.

Vaikutusarvioinnissa arvioitiin tuotejärjestelmän vaikutuksia kuuteen eri ympäristövaikutusluokkaan, abioottisten ympäristötekijöiden ehtymiseen, happamoitumiseen, rehevöitymiseen, ilmastonmuutokseen, otsonikatoon ja fotokemiallisen otsonin muodostumiseen. Vaikutusluokka indikaattoritulokset laskettiin inventaarioanalyysin toiminnalliseen yksikköön suhteutetuista tuloksista. Tämän tutkimuksen vaikutusluokka indikaattoritulokset on esitetty taulukossa 8. CML 2 baseline 2000 V2.05 -menetelmässä käytetyt vaikutusluokka indikaattoritulosten yksiköt selitteen on esitetty taulukossa 3 (s. 19).

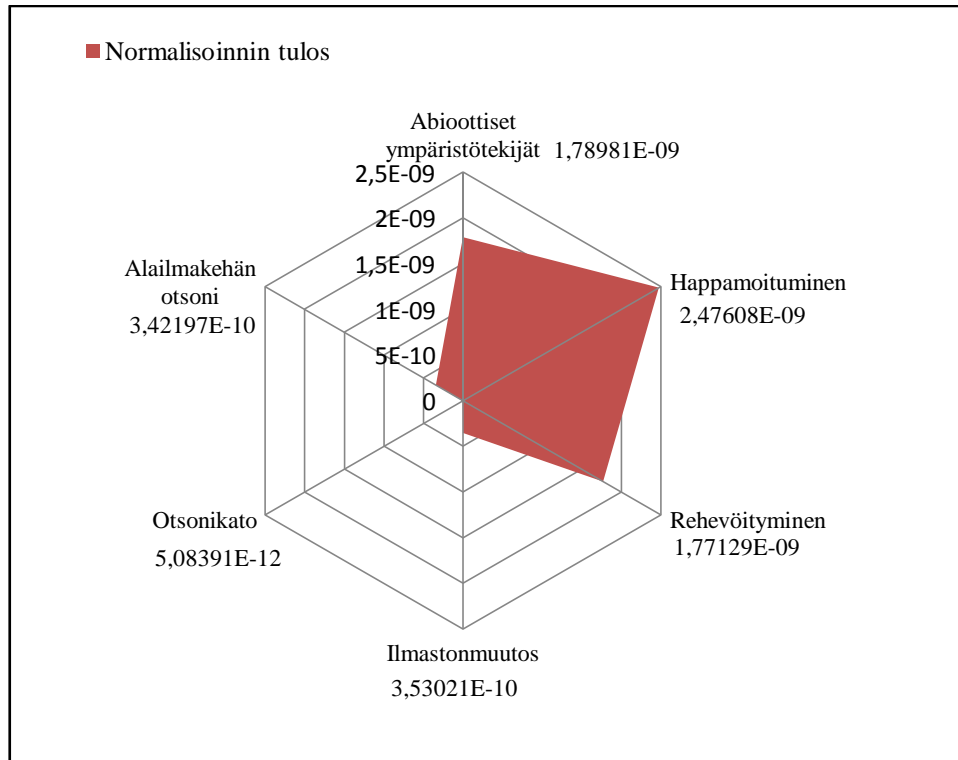
Taulukko 8. Vaikutusluokka indikaattoritulokset.

CML 2 baseline 2000 V2.05 Vaikutusluokka indikaattoritulokset		
Vaikutusluokka	Indikaattoritulos	Yksikkö
Abioottisten ympäristötekijöiden ehtyminen	26,55505398	kg Sb eq
Happamoituminen	67,65243632	kg SO ₂ eq
Rehevöityminen	22,08586363	kg PO ₄ --- eq
Ilmastonmuutos	1697,21666	kg CO ₂ eq
Otsonikato	0,000423659	kg CFC-11 eq
Fotokemiallinen (alailmakehän) otsonin muodostuminen	2,828077762	kg C ₂ H ₄

Elinkaariarvion vaikutusarvioinnissa tehtiin myös vaikutusluokka indikaattoritulosten normalisointi. Vaikutusarvion normalisoinnissa käytettiin CML 2 baseline 2000 V2.05 -menetelmän vuoden 1995 Länsi-Euroopan vertailuarvoja, jotka on esitetty taulukossa 4 (s.20). Normalisoinnin tulokset on esitetty taulukossa 9 ja kuviossa 8 (s. 33).

Taulukko 9. Vaikutusarvion normalisoinnin tulokset.

CML 2 baseline 2000 V2.05 Normalisoinnin tulokset	
Vaikutusluokka	Normalisoitu indikaattoritulos
Abioottiset ympäristötekijät	1,78981E-09
Happamoituminen	2,47608E-09
Rehevöityminen	1,77129E-09
Ilmastonmuutos	3,53021E-10
Otsonikato	5,08391E-12
Fotokemiallinen (alailmakehän) otsonin muodostuminen	3,42197E-10



Kuvio 8. Vaikutusarvion normalisoinnin tulokset.

4.2.5 Tulosten tulkinta

Vaikutusarvioinnin perusteella tuotejärjestelmän suurimmat ympäristövaikutukset syntyvät natriumhydroksidin ja rikkihapon tuotannosta. Tuotejärjestelmän merkittävimmät ympäristövaikutukset kohdistuvat happamoitumisen, abioottisten ympäristötekijöiden ehtymisen ja rehevöitymisen vaikutusluokkiin. Normalisoinnin tulosten perusteella tuotejärjestelmällä on suhteessa pienempi vaikutus ilmastonmuutoksen, otsonikadon ja fotokeemiallisen otsonin muodostumisen vaikutusluokkiin. Tutkitun järjestelmän vaikutusluokka indikaattoritulosten verkostot on esitetty liitteissä 1–6. Liitteiden tulkinnan selkeyttämiseksi esitystavassa on käytetty 4 % node cut-off -toimintoa, joka piilottaa ne tuotejärjestelmän verkoston osat näkyvistä, joiden osuus koko tuotejärjestelmän vaikutusluokka indikaattorituloksesta on pienempi kuin 4 prosenttia. Piilotetut osat otetaan verkostossa huomioon vaikka ne eivät ole näkyvissä.

Normalisoinnin tulosten perusteella happamoituminen on tuotejärjestelmän merkittävin vaikutus. Tuotejärjestelmän toiminnalliseen yksikköön suhteutetut happamoitumista aiheuttavat päästöt ovat noin 67,7 kilogrammaa rikkidioksidiekvivalenttia. Happamoitumisen vaikutusluokka indikaattorituloksen verkosto on esitetty liitteessä 2. Happamoittavista päästöistä noin 70 prosenttia (59,1 kg SO₂-ekv) muodostuu rikkihapon valmistusprosessissa ja loput päästöistä syntyy pääosin natriumhydroksidin valmistuksen kuluttaman energian tuotannossa. Kuivatun mädätysjäännöksen hyödyntäminen maatalouden maanparannusaineena pienentää tuotejärjestelmän happamoittavia päästöjä 23,9 SO₂-ekvivalenttikilogrammaa. Mädätysjäännöksen käyttäminen maanparannusaineen oletetaan korvaavan vä-

kilannoitteiden käyttöä ja pienentävän siten väkilannoitteiden valmistuksessa aiheutuvia happamoittavia päästöjä.

Abioottisten ympäristötekijöiden ehtyminen oli normalisoinnin tulosten perusteella happamoitumisen jälkeen tuotejärjestelmän yksi merkittävimmistä ympäristövaikutuksista. Abioottisten ympäristötekijöiden ehtyminen johtuu pääosin natriumhydroksidin valmistuksesta, koska valmistusprosessissa kuluu huomattava määrä energiaa ja prosessin käyttämän sähkön tuotantoon käytetään fossiilisia polttoaineita (liite 1). Natriumhydroksidin valmistus pienentää elottomien ympäristötekijöiden varantoja noin 39,4 kilogrammaa antimoniokvivalenttia, joka vastaa noin 91 prosenttia koko tuotejärjestelmän abioottisten ympäristötekijöiden ehtymistä aiheuttavista vaikutuksista. Kuivatun mädätysjäännöksen hyödyntäminen maanparannusaineena pienentää abioottisten ympäristötekijöiden ehtymistä noin 16,6 kilogrammaa antimoniokvivalenttia, koska sen käytöllä korvataan väkilannoitteiden käyttöä. Väkilannoitteita valmistetaan pääosin kaivettavista mineraaleista, minkä takia väkilannoitteiden korvaaminen mädätysjäännöksellä pienentää abioottisten ympäristötekijöiden ehtymistä.

Tuotejärjestelmän rehevöittävät vaikutukset syntyvät pääosin natriumhydroksidin valmistuksesta sekä jätevedenkäsittelystä. Rehevöitymisen vaikutusluokka indikaattoritulosten verkosto on esitetty liitteessä 3. Natriumhydroksidin valmistukseen käytettävän sähkön tuottamisesta syntyy noin 71 prosenttia (17,6 kg PO₄-ekv) tuotejärjestelmän rehevöittävästä vaikutuksesta. Sähköntuotannon rehevöittävä vaikutus ilmenee pääosin rehevöittäväna laskeumana, joka johtuu energiantuotannon palamisreaktioiden tyypipäästöistä. Rejektiveden käsittely kunnallisessa jätevedenpuhdistuslaitoksessa aiheuttaa rehevöittäviä päästöjä 5,3 kilogrammaa fosfaattiekvivalenttia, joka vastaa noin 21 prosenttia koko tuotejärjestelmän rehevöittävästä päästöistä. Loput tuotejärjestelmän rehevöittävästä päästöistä syntyy talousveden valmistuksesta sekä ammoniakkipauslaitoksen käyttämän sähköenergian tuotannosta. Maatalouden väkilannoitteiden ja etenkin typpilannoitteiden korvaaminen mädätysjäännöksellä pienentää tuotejärjestelmän rehevöittäviä päästöjä yhteensä 2,62 fosfaattiekvivalenttikilogrammaa.

Tuotejärjestelmän kasvihuonekaasujen vaikutukset ilmastonmuutokseen vastaavat normalisoinnin tulosten perusteella merkittävyydeltään noin 14 prosenttia happamoittavien päästöjen aiheuttamista vaikutuksista. Ilmastonmuutoksen vaikutusluokka indikaattorituloksien verkosto on esitetty liitteessä 4. Tuotejärjestelmän toiminnalliseen yksikköön suhteutetut hiilidioksidiekvivalentti päästöt ovat noin 1,7 tonnia. Natriumhydroksidin valmistuksessa syntyy kasvihuonekaasuja noin 5,41 tonnia hiilidioksidiekvivalenttia, joka vastaa noin 84 prosenttia koko tuotejärjestelmän kasvihuonekaasuista. Tarkastellun järjestelmän kasvihuonekaasutasetta pienentää väkilannoitteiden korvaaminen kuivatulla mädätysjäännöksellä. Mädätysjäännöksen hyödyntäminen maatalouden maanparannusaineena pienentää tuotejärjestelmän kasvihuonekaasujen määrää 4,71 hiilidioksidiekvivalenttonnia, joka muuten olisi syntynyt korvattujen väkilannoitteiden tuotannossa. Ammoniakkipauslaitoksen käyttämän sähköenergian tuo-

tannossa syntyvät kasviuonekaasut vastaavat noin 6 prosenttia (405 kg CO₂-ekv) koko tuotejärjestelmän hiilidioksidiekvivalenttipäästöistä. Jätevedenkäsittelyssä käytetyn rikkihapon valmistuksessa syntyy 326 kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia, joka vastaa noin 5 prosenttia koko järjestelmän kasviuonekaasupäästöistä.

Tuotejärjestelmän vaikutukset fotokemiallisen (alailmakehän) otsonin muodostumiseen on normalisoinnin tulosten perusteella pienet. Tuotejärjestelmässä muodostuu fotokemiallisen otsonin muodostumista aiheuttavia päästöjä pääosin rikkihapon ja natriumhydroksidin valmistuksessa. Rikkihapon valmistusprosessissa muodostuu fotokemiallisen otsonin muodostumiseen vaikuttavia päästöjä noin 2,33 kilogrammaa eteeniekvivalenttia, joka vastaa 67 prosenttia koko tuotejärjestelmän vaikutusluokka indikaattorituloksesta. Natriumhydroksidin valmistuksessa muodostuvat päästöt johtuvat lähes täysin valmistusprosessin kuluttaman sähkön tuotannon päästöistä. Natriumhydroksidin valmistuksen päästöt ovat noin 0,994 kilogrammaa eteeniekvivalenttia, joka vastaa noin 29 prosenttia tuotejärjestelmän eteeniekvivalenttipäästöistä. Määtysjäännöksen käyttäminen maanparannusaineena pienentää tuotejärjestelmän eteeniekvivalenttipäästöjä noin 0,646 kilogrammaa. Fotokemiallisen otsonin muodostumisen vaikutusluokka indikaattorituloksen verkosto on esitetty liitteessä 6.

Normalisoinnin tulosten perusteella, tuotejärjestelmän potentiaaliset vaikutukset otsonikadon vaikutusluokkaan olivat suhteessa kaikista vähäisimmät. Otsonikadon vaikutusluokka indikaattoritulos on noin 0,42 grammaa trikloorifluorimetaaniekvivalenttia (CFC 11 -ekv), josta noin 78 prosenttia muodostuu natriumhydroksidin valmistuksesta. Natriumhydroksidin CFC 11 -ekvivalenttipäästöistä valtaosa muodostuu valmistuksessa käytettävän sähkön tuotannosta. Otsonikadon vaikutusluokka indikaattorituloksen verkosto on esitetty liitteessä 5.

Vaikutusarvioinnin tuloksen perusteella tuotejärjestelmän merkittävimmät vaikutukset syntyivät natriumhydroksidin ja rikkihapon valmistuksessa. Taulukossa 10 on esitetty tuotejärjestelmän merkittävimmät yksittäiset vaikutusluokkiin vaikuttaneet tekijät.

Taulukko 10. Vaikutusluokkien merkittävimmät yksittäiset tekijät.

Vaikutusluokka	Merkittävin yksittäinen tekijä	Osuus koko tuotejärjestelmän potentiaalisesta vaikutuksesta
Abioottisten ympäristötekijöiden ehtyminen	Natriumhydroksidin valmistus	91 %
Happamoituminen	Rikkihapon valmistus	70 %
Rehevöityminen	Natriumhydroksidin valmistus	71 %
Ilmastonmuutos	Natriumhydroksidin valmistus	84 %
Otsonikato	Rikkihapon valmistus	67 %
Alailmakehän otsoni	Natriumhydroksidin valmistus	78 %

4.2.6 Elinkaariarvion tulosten epävarmuustekijät

Tämän tutkimuksen keskeisimmät epävarmuustekijät olivat korvaavan tietoineiston käyttäminen inventaarioanalyysissä sekä elinkaariarvion järjestelmän rajaus. Elinkaariarviossa tehtyjen yksinkertaistuksien takia, tämän tutkimuksen tulokset antavat vain alustavan arvion tuotejärjestelmän toiminnalliseen yksikköön suhteutetuista vaikutuksista. Tuotejärjestelmän merkittävimmät vaikutukset syntyvät prosesseissa, joiden arvioimiseen käytettiin tietokantojen korvaavaa tietoineistoa. Korvaavat tietoineistot valittiin siten, että ne vastasivat mahdollisimman tarkasti todellisia prosesseja ja materiaaleja. Suurin osa koko tuotejärjestelmän vaikutuksista muodostuu natriumhydroksidin valmistuksessa käytettävän sähkön tuotantoprosessissa. Natriumhydroksidin korvaavassa tietoineistossa tuotantoprosessin käyttämän sähkön tuotannon päästöt on arvioitu Keski-Euroopan sähköverkon keskiarvon mukaan. Tuotejärjestelmän jäteveden esikäsitteilyprosessissa käytetyn kationisoidun polyakryyliamidin inventaariotietoja ei ollut tämän tutkimuksen tiedonkeruun aikana saatavilla (He, Liu, & Hodgins 2013, 9–10). Etelä-Afrikan University of Pretorian case-tutkimuksen mukaan polyakryyliamidin ympäristövaikutukset on todettu merkitykseltään vähäisiksi, minkä johdosta polyakryyliamidin tietojen puuttuminen arvioitiin tämän tutkimuksen lopullisten tulosten kannalta merkityksettömäksi (Landu & Brent 2006, 255).

5 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli arvioida biokaasulaitoksen rejektivedestä valmistetun ammoniumsulfaattituotteen potentiaaliset ympäristövaikutukset. Lisäksi opinnäytetyöhön sisältyi ammoniumsulfaattituotteen potentiaalisen kysynnän selvityksen osio. Inventaarioanalyysin vaiheessa käytettiin korvaava tietoaineistoa niiden materiaalien ja prosessien osalta, joiden tietoa ei ollut muuten saatavilla tai joiden selvittäminen tämän tutkimuksen resurssien puitteissa ei ollut mahdollista. Työn tavoitteet katsotaan täyttyneiksi, sillä elinkaariarvion avulla saatiin alustava arvio tuotejärjestelmän potentiaalisista vaikutuksista sekä vaikutusten syntyyn vaikuttavista tekijöistä. Lisäksi selvityksen avulla saatiin tietoa tuotteen potentiaalisesta kysynnästä tuotantolaitoksen lähialueella.

5.1 Tulokset

Potentiaalisen kysynnän selvityksessä saatiin hyvin kartoitettua ammoniumsulfaattituotteen mahdolliset käyttökohteet ja tuotteen potentiaalinen kysyntä laitoksen lähialueella. Selvityksen keskeinen tavoite oli löytää ammoniakkistriippauslaitoksen lähialueelta yhteistyötahoja, joiden ammoniumsulfaatin tarve olisi jatkuvaa ja joille tuotteen nestemäinen olomuoto ei olisi ongelma. Tiedonhaun perusteella tehdyt yhteydenotot tehtiin yrityksiin, jotka sijaitsivat korkeintaan kahdensadan kilometrin päässä strippauslaitoksesta. Yhteydenottoja ei tehty yli kahdensadan kilometrin etäisyydellä oleviin yrityksiin, koska tuotteen kuljetusetaisyyden kasvaessa toiminnan kannattavuus heikkenee merkittävästi. Potentiaalisen kysynnän selvitysosion merkittävin haaste oli selvittää, mihin tarkoitukseen ammoniumsulfaattia voidaan käyttää. Esimerkiksi tietoa ammoniumsulfaattia hyödyntävistä teollisuudenaloista ei ollut saatavilla tullin ULJAS-tietokannasta, koska ammoniumsulfaatin hyödyntämiskohteita koskevat tiedot osoittautuivat salaisiksi. Vaikka tiedonhaku osoittautui osittain hyvinkin haasteelliseksi, saatiin tiedonhaun avulla kartoitettua potentiaaliset ammoniumsulfaattituotetta hyödyntävät teollisuudenalat, joiden kysyntä lähialueella oli mahdollista selvittää.

Ammoniakkistriippauslaitos on suunniteltu biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen kuivaamisesta syntyvän rejektiveden käsittelyyn. Tässä tutkimuksessa strippauslaitosta tarkastasteltiin erillisenä järjestelmänä, vaikka se todellisuudessa on osa biokaasulaitoksen tuotejärjestelmää. Tämän tutkimuksen tuotejärjestelmään kuului myös mädätysjäännöksen kuivaamisesta muodostuva kuivajae ja sen jatko- ja kuivaamisen maanparannusaineena. Elinkaariarvion tulosten perusteella tutkitun tuotejärjestelmän potentiaalisista ympäristövaikutuksista suurin osa muodostui strippauksessa käytetyn natriumhydroksidin valmistuksesta. Natriumhydroksidin valmistuksen vaikutukset johtuvat pääosin valmistusprosessin käyttämän sähkön tuotannossa syntyvistä päästöistä. Elinkaariarvion normalisoinnin perusteella merkittävimmät tuotejärjestelmän vaikutukset kohdistuivat happamoitumisen, abioottisten ympäristötekijöiden ehtymisen ja rehevöitymisen vaikutusluokkiin.

Elinkaariarvion tuloksien merkitystä voi olla vaikeaa hahmottaa, jos esimerkiksi tutkitun tuotteen tuoteryhmä on ennestään tuntematon ja tuloksia on vaikea verrata muiden tuoteryhmien tuotteisiin. Esimerkiksi lannoitevalmisteen elinkaariarvion tulosten vertaaminen leikkiauton tuloksiin ei anna kovin paljon hyödyllistä tietoa lannoitevalmisteen tuotejärjestelmän ympäristövaikutuksista. Elinkaariarvion vaikutusarvioinnin normalisoinnin tulos antaa tärkeää tietoa tutkitun tuotejärjestelmän vaikutusluokka indikaattoritulosten keskinäisestä merkittävydestä. Normalisointi ei kuitenkaan kuvasta tutkitun tuotejärjestelmän vaikutuksien merkittävyttä suhteessa vastaavaan tuotteeseen tai samassa tuoteryhmässä olevaan tuotteeseen. Elinkaariarvioiden tulosten julkinen vertailu on tarkasti säännöstelty ISO 14020 standardisarjan avulla. Uskottava julkinen vertailu esimerkiksi ympäristöselosteiden perusteella edellyttää, että vertailtavien tuotteiden ympäristöselosteet on sertifioitu samaan ympäristöselosteohjelmaan. Tässä opinnäytetyössä ei tehty elinkaariarvion tuloksien vertailua muihin vastaaviin tuotteisiin, koska standardissa määritellyt julkisen vertailun ehtoja ei ollut mahdollista täyttää opinnäytetyöhön käytettävissä olevien rajallisten resurssien takia. Elinkaariarviossa tehtyjen yksinkertaistuksien takia tämän tutkimuksen tuloksiin liittyy suuria epävarmuustekijöitä ja tulokset antavat vain alustavan arvion tuotejärjestelmän potentiaalisista vaikutuksista. Suurin osa tutkitun tuotejärjestelmän arvioiduista potentiaalisista vaikutuksista muodostui natriumhydroksidin ja rikkihapon valmistusprosesseista, joiden arviointiin käytettiin korvaava tietoaaineistoa. Elinkaariarvion tulosten julkinen vertailu edellyttäisi vähintään yksinkertaistuksiin liittyvien epävarmuustekijöiden pienentämistä, lisäraporttien tekemistä ja kriittisen arvioinnin suorittamista.

Tässä tutkimuksessa tehty elinkaariarvion järjestelmän rajausta vaikuttaa merkittävästi elinkaariarvion tuloksiin. Elinkaariarvion tuloksiin olisi voitu merkittävästi vaikuttaa erilaisella tuotejärjestelmän rajauksella. Esimerkiksi jos järjestelmän rajausta olisi tehty siten, että siihen olisi sisällytetty biokaasulaitoksen toiminta, olisi tuotejärjestelmän toiminnalliseen yksikköön suhteutetut vaikutukset muuttuneet merkittävästi. Esimerkiksi biokaasulaitoksen kasvihuonekaasujen nettovähennys tämän tutkimuksen toiminnalliseen yksikköön suhteutettuna on noin 90 tonnia hiilidioksidiekvivalenttia. Tämä tarkoittaa sitä, että kun yhden ammoniumsulfaattitonin valmistuksessa muodostuu kasvihuonekaasuja noin 1,7 tonnia hiilidioksidiekvivalenttia, biokaasulaitoksen toiminta vähentää toiminnallaan kasvihuonekaasupäästöjä noin 90 hiilidioksidiekvivalenttitonilla. Biokaasulaitoksen kasvihuonekaasujen nettovähennyksen laskennassa on oletettu, että tuotettu biokaasu korvaisi raskasta polttoöljyä energiantuotannossa.

Elinkaariarvion järjestelmän rajausta olisi voitu tehdä myös siten, että ammoniakkipaasulaitoksen rejektiveden kuormitusta pienentävät toiminnot olisi katsottu kuuluvan biokaasulaitoksen järjestelmään, jolloin valtaosa ammoniumsulfaattituotteen potentiaalisista vaikutuksista olisi siirtynyt tarkasteltavan järjestelmän ulkopuolelle. Esimerkiksi natriumhydroksidia käytetään strippauslaitoksella pelkästään rejektiveden typpikuormituksen pienentämiseen, jolloin natriumhydroksidin valmistuksen ympäristövaikutukset siirtyisivät biokaasun tuotejärjestelmään. Myös rikkihapon aiheut-

tamista vaikutuksista yli puolet siirtyisivät biokaasulaitoksen järjestelmään, sillä rikkihappoa käytetään rejektiveden pH-arvon laskemiseen ennen sen johtamista flotaatioaltaaseen.

Elinkaariarvion yksi keskeisistä tarkoituksista on tuottaa luotettava ja uskottava arvio tuotejärjestelmän potentiaalisista ympäristövaikutuksista. Tämä ei toteudu, jos elinkaariarviossa tehtyjä valintoja ja oletuksia ei ole esitetty läpinäkyvästi perusteltuina. Elinkaariarvion tekeminen on pitkä ja iteratiivinen prosessi, jonka perusteellinen suorittaminen vaatii paljon resursseja ja tietotaitoa.

5.2 Opinnäytetyöprosessi

Opinnäytetyön aiheen etsiminen alkoi kesällä 2013, jolloin suoritin viimeistä opintoihini liittyvää harjoittelua Hämeenlinnan kaupungin Viranomaishallituksessa. Useista yhteydenotoista huolimatta mieluista ja samalla kestävästi kehittyvää opintoihini sopivaa aihetta ei löytynyt. Syyskuussa 2013 opinnäytetyöni tilaajaksi varmistui Bioliike-hanke, jonka hankepäätoteuttaja on HAMK. Varsinainen opinnäytetyöprosessi alkoi joulukuussa 2013 pidetyssä palaverissa, jossa lopulta sovittiin opinnäytetyöni lopullinen aihe, joka oli elinkaariarvio biokaasulaitoksen rejektiveden tyyppistä valmistetulle ammoniumsulfaattituotteelle. Tammikuussa 2014 laitosvierailun yhteydessä sovittiin tuotteen potentiaalisen kysynnän selvittämisen liittämisestä opinnäytetyöhön. Opinnäytetyöni suunnitelmaseminaarissa olin aikatauluttanut opinnäytetyöni etenemisen haasteellisen tiukaksi, minkä johdosta siitä jäätin lopulta noin kuukauden verran. Opinnäytetyön tekeminen alkoi ammoniumsulfaattituotteen potentiaalisen kysynnän selvityksellä, joka suoritettiin helmi-maaliskuun aikana. Opinnäytetyön toinen tutkimusosio, ammoniumsulfaatin elinkaariarvio alkoi maaliskuun aikana ja päättyi toukokuussa 2014 raportin kirjoittamisen yhteydessä tehtyyn tulosten tulkintaan ja arviointiin. Suunnitelmaseminaarissa esitetty opinnäytetyön aikataulu osoittautui lopulta yhdeksi haasteellisimmaksi asiaksi opinnäytetyössä, sillä varsinkin elinkaariarvion kokonaisuus ja siihen liittyvä tiedon määrä osoittautui ennakoitua suuremmaksi.

Opinnäytetyöni aihe oli mielestäni lähtökohtaisesti erittäin työelämälähtöinen, sillä usein elinkaariarvioita suorittavat asiaan perehtyneet konsultointiyritykset, jotka tarjoavat palveluitaan esimerkiksi yrityssectorille. Opinnäytetyössäni tein yksinkertaistetun kehdon portille elinkaariarvion, jota käytetään muun muassa yritysmarkkinoinnissa ja tyyppin kolme ympäristömerkkien sertifiointia varten. Opinnäytetyöni aikana tein tiivistä yhteistyötä laitoksen edustajan ja työni tilaajan, Bioliike-hankkeen edustajien kanssa. Opinnäytetyöni ohjaaja kannusti minua ottamaan rohkeasti yhteyttä asiantuntijatahoihin elinkaariarvion ja potentiaalisen kysynnän selvityksen osioihin liittyvissä ongelmissa. Asiantuntijatahoilta sain tärkeitä ideoita ja tietoja, joiden avulla sain työhöni liittyviä ongelmia ratkottua. Työhöni liittyneet puhelut valmensivat minua hyvin myös työelämää varten, sillä opinnäytetyön aikana kynnys tarttua puhelimeen ja rohkeasti lähestyä asiantuntijaa, joskus vaikeidenkin kysymysten kanssa, pieneni huomattavasti.

Tiukan aikataulun lisäksi, opinnäytetyön suurimmat haasteet liittyivät pääosin elinkaariarvion toteuttamiseen. Opinnäytetyön alussa minulla ei vielä ollut riittävää tietopohjaa elinkaariarvion tekemiseen, joten työ alkoi opettelemalla elinkaariarvion toteutuksen perusteet. Perusteiden opettelu ansiosta pystyin aloittamaan elinkaariarvion inventaarioanalyysin tiedonkeruun, minkä jälkeen opettelin itse käytännön toteutusta SimaPro7-ohjelmiston avulla. SimaPro7-ohjelmiston harjoitusten sekä elinkaariarvion perusteiden opetteluun avulla tietotaito elinkaariarvion suorittamiseksi karttui muutaman viikon aikana. Erityisiä haasteita elinkaariarvion tekemisen aikana ilmeni etenkin järjestelmän rajojen määrittelyssä sekä inventaarioanalyysin tiedonkeruussa. Elinkaariarvio on iteratiivinen prosessi, mikä näkyi etenkin työni järjestelmän rajojen määrittelyssä. Järjestelmän rajat muuttuivat monta kertaa ennen lopullisten rajojen löytymistä. Inventaarioanalyysi on usein työläin elinkaariarvion vaihe, mitä se oli myös tämän opinnäytetyön elinkaariarvion osalta. Erityisen haasteellista inventaarioanalyysin suorittamisessa oli selvitettävän tiedon määrä ja se, että inventaariotietoja joidenkin tuotejärjestelmän osien osalta ei löytynyt edes tietokannoista. Inventaarioanalyysin tiedonkeruuseen liittyvät ongelmat saatiin kuitenkin ratkaistua käyttämällä korvaava tietoaineista ja muuttamalla järjestelmän rajoja. Elinkaariarvion tekemisessä haasteellista oli myös tarkastella omia valintojaan kriittisesti ja tarvittaessa muuttaa aiemmin tehtyjä valintoja, jotta ne vastaisivat paremmin esimerkiksi ILCD käsikirjassa annettuja ohjeistuksia.

Opin paljon tämän opinnäytetyön aikana etenkin yrityselämässä tarvittavista vuorovaikutustaidoista, tutkimuksen tekemisestä, elinkaariarviosta, itsenäisestä työskentelystä sekä omista työskentelymenetelmästäni. Oppimista tapahtui koko opinnäytetyön tekemisen ajan aina tämän raportin kirjoittamisen loppuun asti. Elinkaariarvio ja siihen liittyvät menetelmät ja suositukset olivat minulle ennestään lähes tuntemattomia, minkä takia opin todella paljon juuri elinkaariarviointiin liittyvistä asioista. Tämän työn aikana opin käyttämään myös SimaPro7 elinkaariarvioinnin ohjelmistoa, mistä uskon olevan minulle hyötyä myös tulevaisuudessa.

Opinnäytetyön tavoitteet ja sen suorittamiseen käytettävissä olevat resurssit huomioiden, tämän opinnäytetyön elinkaariarvio ja potentiaalisen kysynnän selvitys onnistuivat hyvin. Selvityksessä onnistuttiin hyvin kartoittamaan mahdolliset jatkoehdyntämiskohteet ja niiden perusteella tehtiin tuotteen potentiaalisen kysynnän selvitys laitoksen lähialueelle. Elinkaariarvion tulokseen vaikuttavat merkittävät tekijät ja niihin liittyvät epävarmuustekijät saatiin selvitettyä, mikä on erityisen tärkeää elinkaariarvion tuloksien tulkinnan kannalta. Elinkaariarvion ja potentiaalisen kysynnän selvityksen tulokset vastaavat hyvin työn tilaajan toimeksiantoa ja niitä voidaan käyttää tulevaisuudessa päätöksenteon ja kehitystoiminnan tukena.

LÄHTEET

Antikainen, R. 2010. Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 7:2010. Viitattu 2.6.2014.

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39822/SYKEra_7_2010.pdf?sequence=1

Antikainen, R. & Seppälä, J. 2012. Elinkaarimenetelmät yrityksen päätöksenteon tukena – FINLCA -hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristö 10:2012. Viitattu 2.6.2014.

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38711/SY_10_2012.pdf?sequence=3

Centers for Disease Control and Prevention 2013. Vaccine Excipient & Media Summary: Excipients Included in U.S. Vaccines, by Vaccine. Viitattu 2.6.2014.

<http://www.cdc.gov/vaccines/pubs/pinkbook/downloads/appendices/B/excipient-table-2.pdf>

Dahlbo, H., Koskela, S., Pihkola, H., Nors, M., Federlay, M. & Seppälä, J. 2013. Comparison of different normalised LCIA results and their feasibility in communication. Abstract. Viitattu 2.6.2014.

<http://link.springer.com/article/10.1007/s11367-012-0498-4#page-1>

Elintarviketurvallisuusvirasto Evira 2011. Elintarvikkeiden lisäaineiden E-koodiavain. Viitattu 2.6.2014.

http://www.evira.fi/files/products/1303797828482_e-koodisuomi_ok_20.4.2011.net.pdf

Elintarviketurvallisuusvirasto Evira 2014a. Biokaasu- ja kompostointilaitokset. Viitattu 2.6.2014.

<http://www.evira.fi/portal/fi/tietoa+evirasta/asiakokonaisuudet/elaimista+saaavat+sivutuotteet/biokaasutus+ja+kompostointi/>

Elintarviketurvallisuusvirasto Evira 2014b. Biokaasulaitokset voivat jalostaa peltokäyttöön sopivia lannoitteita. Viitattu 2.6.2014.

<http://www.evira.fi/portal/fi/tietoa+evirasta/esittely/toiminta/laboratoriotoiminta/analytiikka+ja+diagnostiikka/kasvit/lannoitevalmisteet/biokaasulaitokista+lannoitteita/>

Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. n.d. Kansallinen lannoitevalmisteiden tyyppinimiluettelo. Viitattu 2.6.2014.

http://www.evira.fi/files/attachments/fi/evira/asiointi/liite_fi.pdf

Euroopan komissio 2014a. Eurooppa 2020 -tavoitteet. Viitattu 2.6.2014.

http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/targets/index_fi.htm

Euroopan komissio 2014b. Prioriteetit. Viitattu 2.6.2014.
http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/priorities/index_fi.htm

Euroopan komissio 2014c. Kestävän kehityksen indikaattorit. Viitattu 2.6.2014. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/sdi/indicators>

Global Ecolabelling Network 2004. Information Paper: Introduction to Ecolabelling. Viitattu 2.6.2014.
http://www.globalecolabelling.net/docs/documents/intro_to_ecolabelling.pdf

Goedkoop, M., Oele, M., An de, S., Vieira, M. & Hegger, S. 2010. SimaPro Database Manual: Methods Library. Viitattu 2.6.2014.

Goodland, R. & Daly, H. 1996. Ecological Applications, Vol. 6, No. 4. Teoksessa Ecological Society of America (toim.) Environmental Sustainability: Universal and Non-Negotiable, 1002–1017. Viitattu 2.6.2014.
<https://sustainability.water.ca.gov/documents/18/3407876/environmental+sustainability+universal+and+nonnegotiable.pdf>

He, C., Liu, Z. & Hodgins, M. 2013. Using Life Cycle Assessment for Quantifying Embedded Water and Energy in a Water Treatment System. Water Research Foundation Web report #4443. Viitattu 2.6.2014.
<http://www.waterrf.org/PublicReportLibrary/4443.pdf>

Heinonen, S. 2014. Luomujaoston ylitarkastaja. Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. Haastattelu 26.2.2014.

International Monetary Fund IMF 2014. World Economic Outlook, April 2014. Viitattu 2.6.2014.
<http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2014/01/pdf/text.pdf>

Joint Research Center 2011. ILCD Handbook: Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context - based on existing environmental impact assessment models and factors. 1. painos. Viitattu 2.6.2014.
http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/111111111/26229/1/jrc61049_ilcd%20handbook%20final.pdf

Järvinen, M. 2014. Tuotantopäällikkö. HAMK, Lepaan tuotantoyksikkö. Haastattelu 27.2.2014.

KemL, Kemikaalilaki nro 599/2013. 9.8.2013. Viitattu 2.6.2014.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130599#Pidp789776>

Kestävän kehityksen toimikunta 2013. Suomi, jonka haluamme 2050 — Kestävän kehityksen yhteiskuntasitoumus, pdf-tiedosto. Viitattu 2.6.2014.
<http://www.ym.fi/download/noname/%7B6D4F0465-02BE-492C-8FB7-70460A9CE6E5%7D/94793>

Kilpailu- ja kuluttajavirasto 2010. Ekologinen selkäreppu. Viitattu: 2.6.2014. <http://www.kuluttajavirasto.fi/fi-FI/eko-ostaja/kestavakulutus/ekologinen-selkareppu/>

Landu, L. & Brent, A. 2006. Environmental life cycle assessment of water supply in South Africa: The Rosslyn industrial area as a case study, pdf-tiedosto. Viitattu 2.6.2014. www.ajol.info/index.php/wsa/article/download/5250/12826

Laspek Oy 2013. Sähkösinkitys aineet. Viitattu 2.6.2014. <http://www.laspek.com/tuotteet.html?id=2/180>

Lehmuskoski, P. 2014. Lehtori. Hämeen ammatti-instituutti. Haastattelu 27.2.2014.

Lounais-Suomen ympäristökeskus 2004. Ympäristölupapäätös nro 108 YLO. 2.12.2004. Viitattu 2.6.2014. <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BFEC5EFEE-CEDF-49E8-9AFF-0F01812AFBAC%7D/89209>

Länsi-Suomen ympäristökeskus 2007. Ympäristölupapäätös nro LSU-2005-Y-999 (111). 30.1.2007. Viitattu 2.6.2014. <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B095EC418-51B8-4BC0-A023-24A3300A4050%7D/82819>

Länsi- ja Sisä-Suomen Aluehallintovirasto 2013. Ympäristölupapäätös nro 203/2013/1. 10.12.2013. Viitattu 2.6.2014. http://www.avi.fi/documents/10191/56864/LSSAVI_276_04_08_2010_Kokkolan_Nahka.doc/799d5651-05f9-46f4-ac53-0d5db2f9d6c1

Mattila, T. 2009. Haitallisten aineiden ja päästöjen huomioon ottaminen elinkaariarvioinnissa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 6:2009. Viitattu 2.6.2014. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39830/SYKEra_6_2009.pdf?sequence=1

Motiva Oy. n.d.a. Myönteiset ympäristömerkit (ISO 14024 -standardi). Viitattu 2.6.2014. http://www.tuoreverkosto.fi/viestinta/myonteiset_ymparistomerkit-standardi_iso_14024/

Motiva Oy. n.d.b. Ympäristöselosteet (ISO 14025 -standardi). Viitattu 2.6.2014. http://www.tuoreverkosto.fi/viestinta/ymparistoselosteet-iso_14025_standardi/

Motiva Oy. n.d.c. Omaehtoiset ympäristövaittamät (ISO 14021 -standardi). Viitattu 2.6.2014. http://www.tuoreverkosto.fi/viestinta/omaehtoiset_ymparistovaittamat-iso_14021_standardi/

Rakennustieto. n.d. Viitattu 2.6.2014.
<https://www.rakennustieto.fi/index/rakennustieto.html>

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S. III, Lambin, E., Lenton, T., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H., Nykvist, B., De Wit, C., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R., Fabry, V., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. and Foley, J. 2009. Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. Teoksessa Macmillan Publishers Ltd (toim.) A safe operating space for humanity, 472–475. Viitattu 2.6.2014.
http://pubs.giss.nasa.gov/docs/2009/2009_Rockstrom_etal_1.pdf

Road and Hydraulic Engineering Institute 2002. Abiotic resource depletion in LCA. Viitattu 2.6.2014.
http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/report_abiotic_depletion_web.pdf

Schulze, C., Jödicke, A., Scheringer, M., Margni, M., Joliet, O., Hungerbühler, K. & Matthies, M. 2001. Comparison of different life-cycle impact assessment methods for aquatic ecotoxicity. Abstract. Viitattu 2.6.2014. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11521844>

SFS-ISO14040. 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. Viitattu 2.6.2014.

SFS-ISO14044. 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. Viitattu 2.6.2014.

Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra 2013. Kestämätön käy kalliiksi: 10 teesiä kestävään talouteen. Viitattu 2.6.2014.
http://www.sitra.fi/julkaisut/muut/Kestamaton_kay_kalliiksi.pdf

Suomen ympäristökeskus 2014. Kulutus, tuotanto ja luonnonvarat -teema. Viitattu 2.6.2014. http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Kulutus_tuotanto_ja_luonnonvarat

SustainValue. n.d. SustainValue: Sustainable value creation in manufacturing networks. Viitattu 2.6.2014.
http://www.sustainvalue.eu/publications/sustainvalue_slides_general_and_wps_090413.pdf

Tampereen kaupunki 2012. Kuutoskaupunkien kestävä kehityksen indikaattorit 2006–2010: Espoo, Helsinki, Oulu, Tampere, Turku ja Vantaa. Viitattu 2.6.2014.

http://www.tampere.fi/material/attachments/k/67A5kbMvE/Kuutosten_indikaattorit_2006-2010.pdf

The International EDP System. n.d. Viitattu 2.6.2014.
<http://www.environdec.com/en/The-International-EPD-System/#.U1kCO3ciw5g>

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2014. Luettelo sallituista suojauskemikaaleista. Viitattu 2.6.2014.
http://www.tukes.fi/Tiedostot/Kemikaalituotteet/biosidit/Luettelot/Luettelo_sallituista_suojauskemikaaleista050314.pdf

Työ- ja elinkeinoministeriö & Ympäristöministeriö 2013. Kestävää kasvua materiaalitehokkuudella: Työryhmän esitys Kansalliseksi materiaalitehokkuusohjelmaksi. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 33:2013. Helsinki: Edita. Viitattu 2.6.2014.
http://www.tem.fi/files/38426/TEMjul_33_2013_web.pdf

United States Environmental Protection Agency 2006. Life Cycle Assessment: Principles and Practice. [United States Environmental Protection Agency, EPA]. Viitattu 2.6.2014.
<http://www.epa.gov/nrmrl/std/lca/pdfs/chapter4lca101.pdf>

University of Hertfordshire. n.d. Textiles, Help Sheets, Acid Dyes. Viitattu 2.6.2014. Viitattu 2.6.2014. <http://creative-arts.stca.herts.ac.uk/helpsheets/acid%20dyes.pdf>

Valtioneuvostonkanslia ja Tilastokeskus. n.d. Kestävän kehityksen indikaattorit. Viitattu 2.6.2014. <http://www.findikaattori.fi/fi/kestavakehitys>

Valtionvarainministeriö 2014. Eurooppa 2020 -strategia: Suomen kansallinen ohjelma kevät 2014. Valtiovarainministeriön julkaisuja. Viitattu 2.6.2014.
http://www.vm.fi/vm/fi/04_julkaisut_ja_asiakirjat/01_julkaisut/02_taloudelliset_katsaukset/20140415Euroop/Europa_2020_kevaet_2014_NETTI.pdf

Vesijalanjäljen teemasivusto. Tausta. Viitattu 2.6.2014.
<http://akva.ayy.fi/vesijalanjalki/tausta2.html>

VTT 2012. VTT varoittaa: kestävän kehityksen mittarit ja menetelmät yksipuolisia. Viitattu 2.6.2014.
http://www.vtt.fi/news/2012/21112012_kestavan_kehityksen_mittarit_ja_menetelmat_yksipuolisia.jsp

Vuori, S., Tuusjärvi, M. ja Aatos, S. 2007. Johdanto kestävän kehityksen historiaan ja merkkipaaluihin. Viitattu 2.6.2014.
http://arkisto.gtk.fi/m10/m_10_1_2007_95.pdf

Worldwatch-instituutti, P. 2013. Maailman tila 2013: Onko liian myöhäistä? Raportti kehityksestä kohti kestävää yhteiskuntaa. Helsinki: Gaudeamus.

Ympäristöministeriö 2013a. Mitä on kestävä kehitys. Viitattu 2.6.2014.
http://www.ym.fi/fi-FI/ymparisto/Kestava_kehitys/Mita_on_kestava_kehitys

Ympäristöministeriö 2013b. Euroopan kestävä kehityksen työ. Viitattu 2.6.2014.
http://www.ym.fi/fi-FI/ymparisto/Kestava_kehitys/Euroopan_kestavan_kehityksen_työ

Ympäristöministeriö 2013c. Maapallo elää keskiviikosta lähtien velaksi. Viitattu 2.6.2014.
http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Maapallo_elaa_keskiviikosta_lahtien_vela%2824933%29

Ympäristöministeriö 2014a. Kestävä kulutus ja tuotanto. Viitattu 2.6.2014.
http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Kestava_kulutus_ja_tuotanto

Ympäristöministeriö 2014b. Kestävä kehityksen asiantuntijapaneeli. Viitattu 2.6.2014.
http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Kestava_kehitys/Yhteystiedot/Kestavan_kehityksen_asiantuntijapaneeli/Kestavan_kehityksen_asiantuntijapaneeli%2827890%29

Ympäristöministeriö ja ulkoasiainministeriö. n.d. UNCED: YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssi, Rio de Janeiro 3.-14.6.1992.

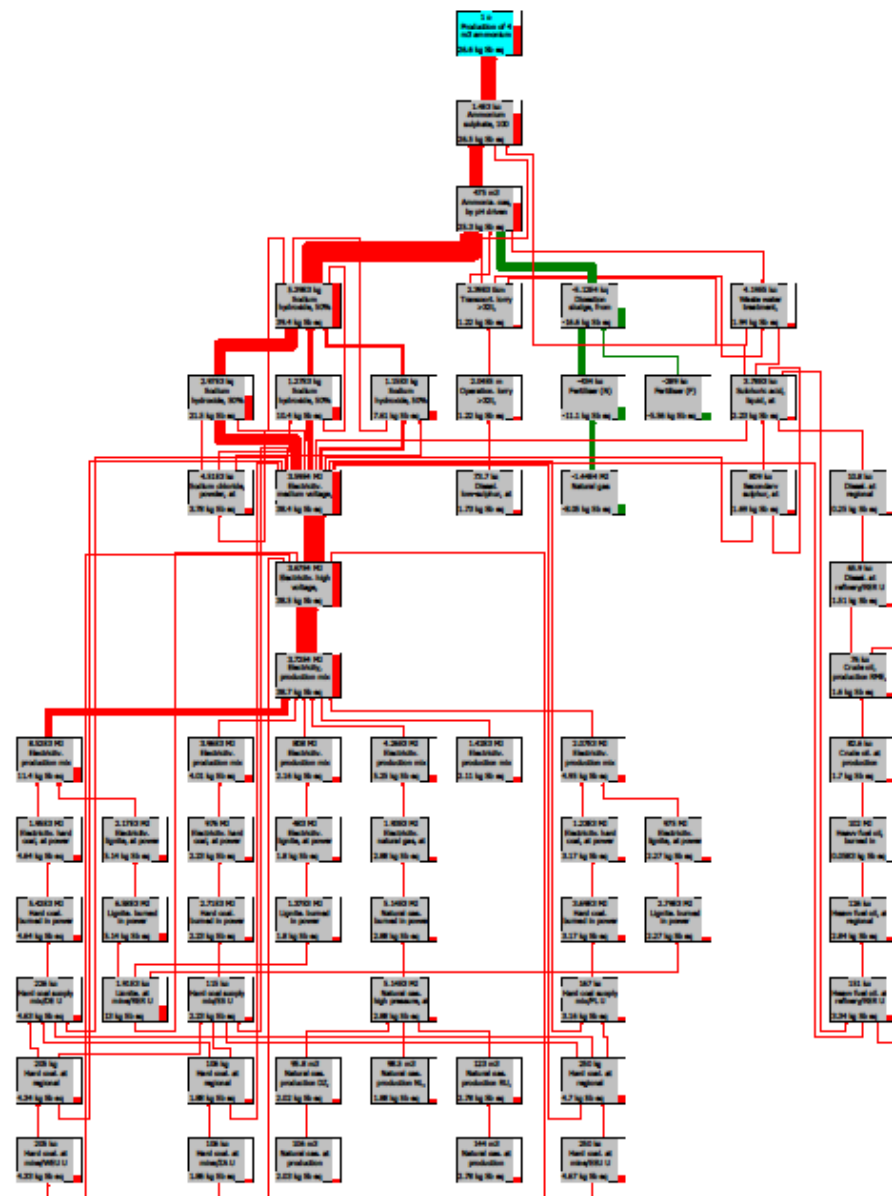
ABIOOTTISTEN YMPÄRISTÖTEKIJÖIDEN EHTYMISEN VAIKUTUSLUOKKA
INDIKAATTORITULOKSEN VERKOSTO

SimaPro 7.3 Educational
Project: ammoniumsulfaatti LCA

Network

Date: 5/8/2014 Time: 10:18:52 AM

Product: Production of 4 m3 ammonium sulfate liquid, 32 %
 Project: ammoniumsulfaatti LCA
 Category: Assembly/Others
 Method: CML 2 baseline 2000 V2.05 / West Europe, 1995
 Characterization, Abiotic depletion (kg Sb eq)
 Selected weight: Including inputs
 Node weight: No
 Exclude long-term emissions: 4%



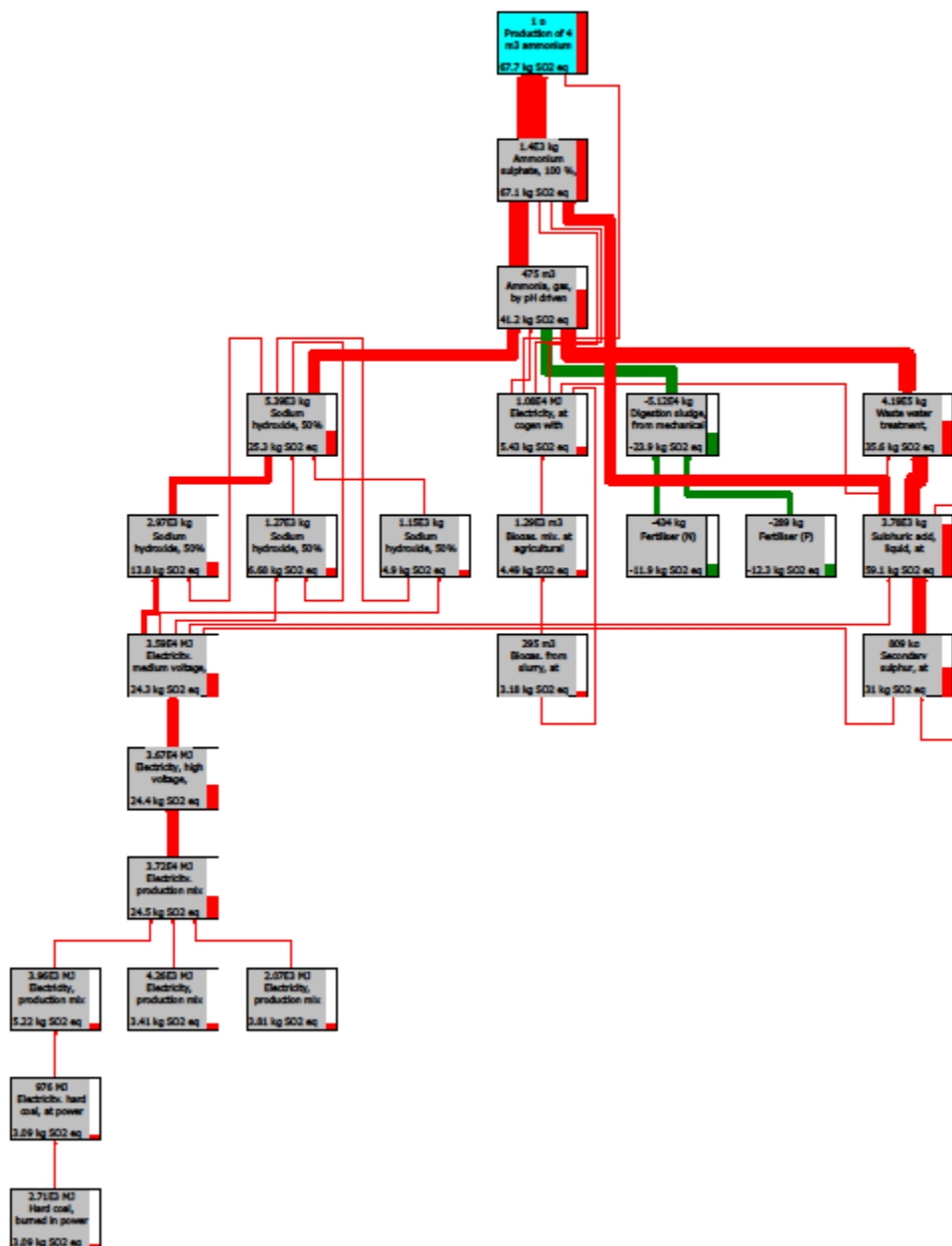
HAPPAMOITUMISEN VAIKUTUSLUOKKA INDIKAATTORITULOKSEN VERKOSTO

SimaPro 7.3 Educational
Project: ammoniumsulfaatti LCA

Network

Date: 5/8/2014 Time: 10:20:32 AM

Product: Production of 4 m3 ammonium sulfate liquid, 32 %
 Project: ammoniumsulfaatti LCA
 Category: Assembly\Others
 Method: CML 2 baseline 2000 V2.05 / West Europe, 1995
 Selected weight: Characterization, Acidification (kg SO2 eq)
 Node weight: Including inputs
 Exclude long-term emissions: No
 Node cut-off: 4%



Rejektivedestä valmistetun ammoniumsulfaattituotteen ympäristövaikutukset
Elinkaariarvio taloudellisen kestävyuden mittarina

Liite 3

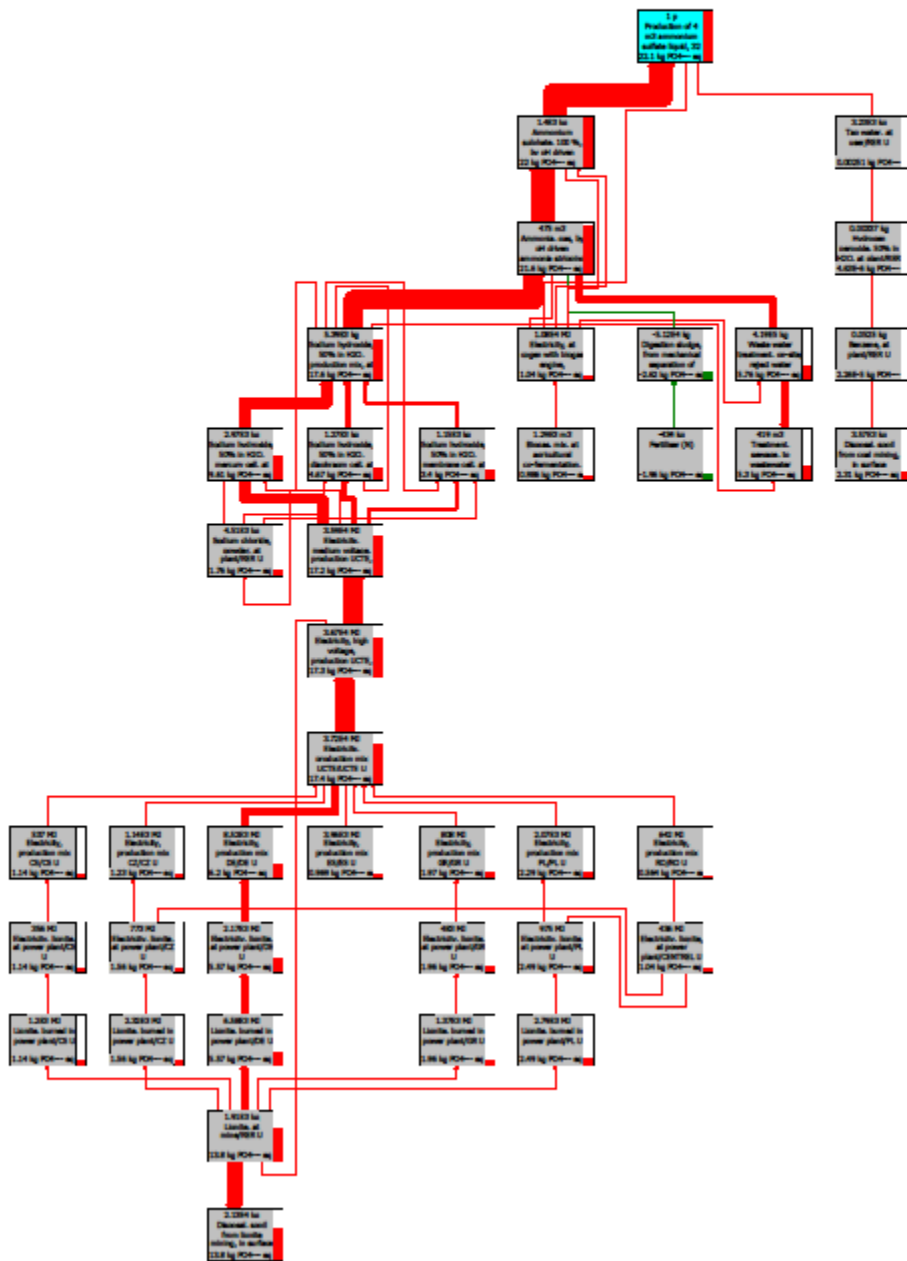
REHEVÖITYMISEN VAIKUTUSLUOKKA INDIKAATTORITULOSEN VERKOSTO

SimaPro 7.3 Educational
Project: ammoniumsulfaatti LCA

Network

Date: 5/8/2014 Time: 10:21:03 AM

Product: Production of 4 m3 ammonium sulfate liquid, 32 %
Project: ammoniumsulfaatti LCA
Category: Assembly/Others
Method: CML 2 baseline 2000 V2.05 / West Europe, 1995
Selected weight: Characterization, Eutrophication (kg PO4-- eq)
Node weight: Including inputs
Exclude long-term emissions: No
Node cut-off: 4%



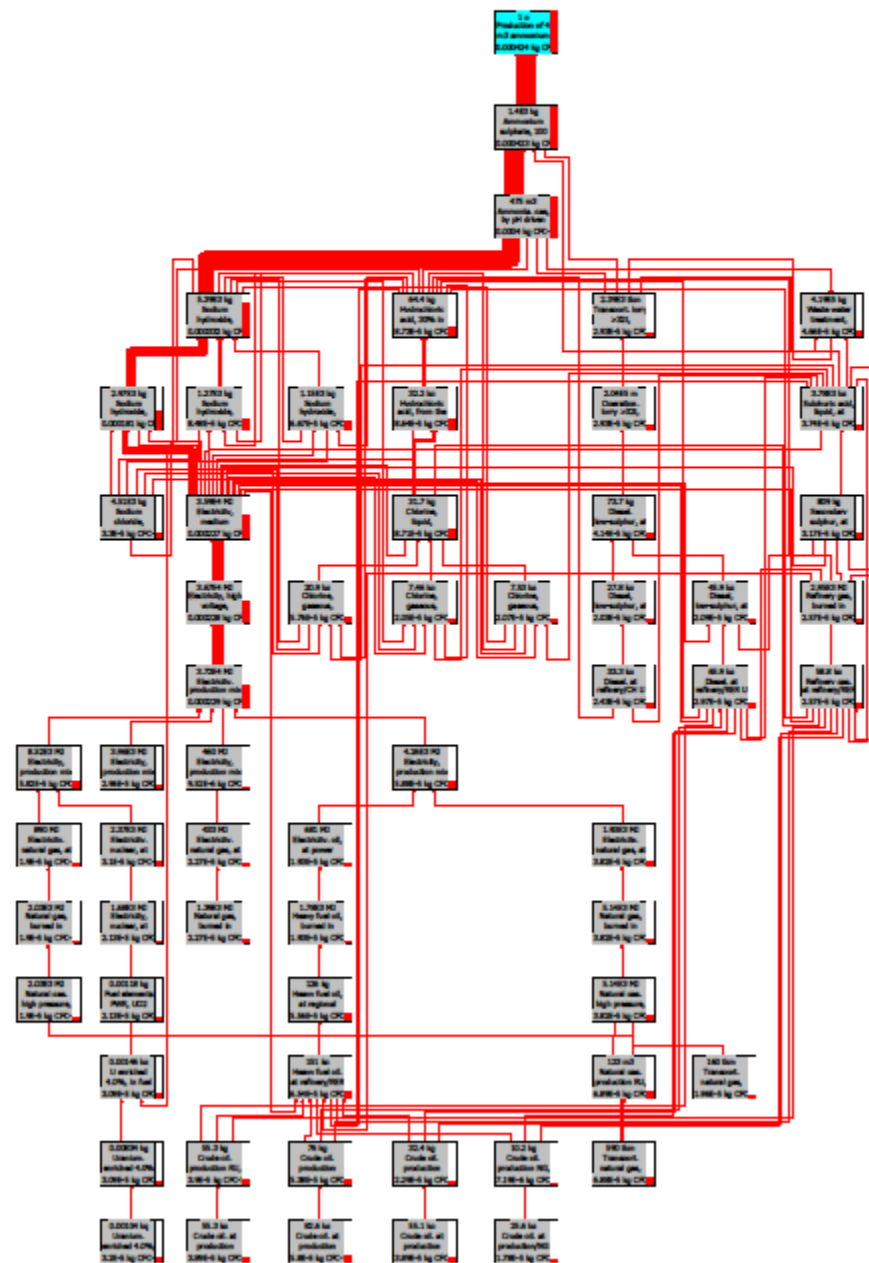
OTSONIKADON VAIKUTUSLUOKKA INDIKAATTORITULOSEN VERKOSTO

SimaPro 7.3 Educational
Project: ammoniumsulfaatti LCA

Network

Date: 5/8/2014 Time: 10:21:57 AM

Product: Production of 4 m3 ammonium sulfate liquid, 32 %
Project: ammoniumsulfaatti LCA
Category: Assembly\Others
Method: CML 2 baseline 2000 V2.05 / West Europe, 1995
Selected weight: Characterization, Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)
Node weight: Including inputs
Exclude long-term emissions: No
Node cut-off: 4%



FOTOKEMIALLISEN (ALAILMAKEHÄN) OTSONIN MUODOSTUMISEN
VAIKUTUSLUOKKA INDIKAATTORITULOKSEN VERKOSTO

SimaPro 7.3 Educational
Project: ammoniumsulfaatti LCA

Network

Date: 5/8/2014 Time: 10:22:48 AM

Product: Production of 4 m3 ammonium sulfate liquid, 32 %
 Project: ammoniumsulfaatti LCA
 Category: Assembly/Others
 Method: CML 2 baseline 2000 V2.05 / West Europe, 1995
 Selected weight: Characterization, Photochemical oxidation (kg C2H4)
 Node weight: Including inputs
 Exclude long-term emissions: No
 Node cut-off: 4%

