

Elli-Noora Mäkitalo

**EKOLOGINEN KESTÄVYYS KOLMEN
ERI TOIMIALAN TUOTANTOKETJUN
NÄKÖKULMASTA**

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Kandidaatintyö
Toukokuu 2019

TIIVISTELMÄ

Elli-Noora Mäkitalo: Ekologinen kestävyys kolmen eri toimialan tuotantoketjun näkökulmasta
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tekniikan kandidaatin tutkinto: tuotantotalouden pääaine
Toukokuu 2019

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena oli selvittää, mitä yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia on kolmen eri toimialan tuotantoketjujen ekologiseen kestävyysliittymään liittyvissä tutkimuksissa. Ekologinen kestävyys voidaan määritellä monella eri tavalla. Keskiössä on kuitenkin luonnon kantokyvyn huomioiminen kaikessa. Kun ekologista kestävyttä puhutaan tuotantoketjun kontekstissa, voidaan käsitteellisesti puhua ekologisesti kestävästä tuotannosta. Ekologisesti kestävä tuotanto voidaan yksinkertaistettuna katsoa olevan tuotantoa, joka toimii ekologisen kestävyysperiaatteiden mukaisesti eli minimoi resurssien käytön ja saastuttamisen.

Tuotantoketjun ekologista kestävyttä voidaan tutkia ja mitata monilla eri menetelmillä ja indikaattoreilla. Tähän työhön valitut tutkimukset on tehty elinkaariarvioinnilla, joka on työkalu tuotteen, prosessin tai toiminnan ympäristövaikutusten arviointiin koko elinkaaren tai käyttöajan ajalta. Kuitenkin elinkaariarviointi voidaan toteuttaa myös tietyn elinkaaren vaiheen osalta.

Työn tutkimusosuus toteutettiin vertailemalla kolmen eri toimialan tutkimuksia keskenään. Valikoidut toimialat ovat tomaattituotteiden tuotanto Italiassa, bioetanolin tuotanto Thaimaassa ja broilerin tuotanto Ranskassa ja Brasiliassa. Kaikki tutkimukset ulottuvat kehdosta tuotantolaitoksen porteille. Tutkimuksia yhdistää myös kaikkien pääraaka-aineiden liitos maatalouteen. Työssä tutkimuksia vertailtiin systemaattisesti pääasiassa vaikutusluokkien sekä ympäristövaikutusten ja niiden vähentämiskeinojen osalta.

Suurimpana yhtäläisyytenä tutkimuksissa oli, että kaikissa tuotantoketjun suurimmat haitat ympäristölle aiheutti maatalous. Syyt vaihtelivat kuitenkin tutkimuksittain. Merkittävimmäksi eroavaisuudeksi nousi tutkimusten erilaiset lähtökohdat, mikä vaikutti tutkimusten sisältöön ja näin ollen tuloksiin.

Avainsanat: ekologinen kestävyys, ekologisesti kestävä tuotanto, elinkaariarviointi, ympäristövaikutus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Elli-Noora Mäkitalo: Environmental Sustainability in Three Separate Industries' Production Chain

Bachelor of Science Thesis

Tampere University

Bachelor of Science Degree Programme: Industrial Engineering and Management Major

May 2019

The purpose of this bachelor's thesis was to identify what similarities and differences can be found between the studies of environmental sustainability in three separate production chains. Environmental sustainability can be defined in many different ways. The main idea of the concept is to take the capacity of nature into account in everything. When environmental sustainability is put to the context of production chain, a concept of environmentally sustainable production can be used. Shortly, it means production that follows the guidelines of environmental sustainability: it uses resources and produces waste as little as possible.

The environmental sustainability of production chain can be studied and measured with many different methods and indicators. All studies chosen to this paper are done by using life cycle assessment which is a method of estimating the environmental impacts of the whole life cycle of product, process or system. However, life cycle assessment may be used in analyzing also a part of the life cycle.

The research of this paper is done by comparing studies of three different industries' production chain. The selected industries are tomato products production in Italy, bio-ethanol production in Thailand and broiler chicken production in France and Brazil. All studies discuss the production from cradle to the gate of the factory. The main raw materials of the production have a connection with cultivation. Studies are compared with each other systematically and mainly from the point of view of their impact categories and of environmental impacts and the ways to decrease them.

The biggest similarity of the studies is that the biggest environmental impacts of the production chain is caused by cultivation. The most important difference of the studies is that the specific research topics are different. Due to this, the contents of the studies are quite unlike each other.

Keywords: environmental sustainability, environmentally sustainable production, life cycle assessment, environmental impact

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Valitsin työni aiheen puhtaasti oman kiinnostukseni pohjalta: tiesin jo ennen kurssin alkua, että haluan liittää aiheeseeni ekologisen kestävyuden, sillä ilmasto- ja ympäristöasiat ovat itseäni huolettavia, mutta samalla myös kiinnostavia asioita. Työn aloitus ei ollut helppoa, sillä sopivien artikkelien löytäminen oli aluksi vaikeaa. Vauhtiin päästyäni työ kuitenkin alkoi valmistua nopealla vauhdilla ja olenkin erittäin tyytyväinen, että valitsin aiheeni oman kiinnostukseni pohjalta.

Aihe muuttui muutamaan otteeseen matkan varrella, mutta erityistä tukea aihetta etsiessäni sain professori Jussi Heikkilältä, jota haluan kiittää hyvistä ja kannustavista neuvoista sekä ideoista työni parantamiseksi. Lisäksi haluan kiittää kandidaatintyön ohjaajani Johanna Kirjavaista, jonka asiantuntevasta ja suorasta, mutta kannustavasta palautteesta oli valtavasti hyötyä koko prosessin ajan. Haluan myös kiittää opiskelutoveritani ja lähipiiriäni vertaistuesta, neuvoista ja avusta työn viimeistelyssä.

Tampereella, 5.5.2019

Elli-Noora Mäkitalo

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. EKOLOGINEN KESTÄVYYS	3
2.1 Ekologinen kestävyys yleisesti	3
2.2 Ekologinen kestävyys tuotantoketjun kontekstissa: kestävä tuotanto ja elinkaariarviointi	6
3. KOLMEN VALITUN TOIMIALAN TUTKIMUSTEN ESITTELY	9
3.1 Ekologinen kestävyys tomaattituotteiden tuotannossa	9
3.2 Ekologinen kestävyys bioetanolin tuotannossa	10
3.3 Ekologinen kestävyys broilerin tuotannossa	10
4. TUTKIMUSTEN VERTAILU	12
4.1 Vaikutusluokat	13
4.2 Päästöjen huomiointi	15
4.3 Energian ja veden kulutuksen huomiointi	16
4.4 Sivutuotteiden ja jätteen käsittely, kierrätys, uusiokäyttö ja uudelleenvalmistus	17
4.5 Ympäristövaikutusten vähentäminen	18
4.6 Tutkimusten arviointi omassa kontekstissaan sekä yleisemmin	19
5. PÄÄTELMÄT	21
LÄHTEET	24

LYHENTEET JA MERKINNÄT

LCA engl. Life cycle assessment, elinkaariarviointi

1. JOHDANTO

Ekologisuus ja kestävyys ovat hyvin ajankohtaisia aiheita muun muassa vuonna 2018 julkaistun IPCC:n Global Warming of 1,5 °C -ilmastoraportin vuoksi. Lähivuosien aikana niin paikallisesti Suomessa kuin laajemmin Euroopan Unionissa sekä Yhdistyneissä kansakunnissa tehdään suuria päätöksiä ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Tämä kaikki tulee vaikuttamaan teollisuuteen valtavasti, ja yhä enenevässä määrin yritysten tuleekin huomioida ekologinen kestävyys kaikessa toiminnassaan. Vuonna 2012 julkaistun kyseilytutkimuksen mukaan yhä useampi yritys on ottanut toiminnassaan kestävyiden huomioon, ja sen myös nähdään vaikuttavan toiminnan tehostumiseen ja kustannusten alenemiseen (McKinsey). Toisessakin tutkimuksessa on havaittu, että ympäristöteoilla, asiakastytyväisyydellä ja kannattavuudella on yhteys (Kassinis & Soteriou 2003). Ekologisen kestävyiden huomiointi ei olekaan enää pelkkää ympäristöystävällisyyttä, vaan hyvää ja älykästä liiketoimintaa ja tuottaa parempaa tulosta (Florida 1996; Pil & Rotherberg 2003; Corbett & Klassen 2006, Prajogo et al. 2014 mukaan). Ekologisen kestävyiden huomiointi liiketoiminnassa onkin jo miltei välttämättömyys.

Lyhyesti ekologisen kestävyiden tavoitteena on pitää huolta ilmakehästä, vesistä ja maaperästä eli koko ympäristöstä, sillä ne ovat elämälle välttämättömiä (Goodland 1995). Kun ekologista kestävyttä tarkastellaan tuotantoketjun näkökulmasta, puhutaan ekologisesti kestävästä tuotannosta. Kestäväällä tuotannolla tarkoitetaan valmistusprosesseja, joissa minimoidaan negatiiviset ympäristövaikutukset, säästetään energiaa ja luonnonvaroja, sekä jotka ovat turvallisia kaikille sidosryhmille ja taloudellisesti järkeviä (US Department of Commerce 2011, OECD 2011 mukaan). Ekologisesti kestävään tuotantoon liittyvät kolme ensimmäisenä mainittua tekijää eli ympäristöhaittojen minimointi sekä energian ja luonnonvarojen käyttö säästeliäästi.

Tämän kandidaatintyön aiheena on ekologinen kestävyys kolmen eri toimialan tuotantoketjun näkökulmasta. Tarkemmin kaikki työssä käsiteltävät toimialat koskettavat jollakin tapaa maataloutta. Laajemmin työ koskettaa kestävä kehityksen ja tuotannon ekologista näkökulmaa sekä ympäristötekijöiden korostumista liiketoiminnassa ja tuotantoketjussa. Aihe on rajattu kestävyiden ekologiseen näkökulmaan, sillä se on nykyisin yhä tärkeämpi aihe alussa kuvatuista syistä. Lisäksi käsittelyssä on vain tuotantoketju esimerkiksi koko toimitusketjun sijaan. Aineiston haun yhteydessä kävi ilmi, ettei tuotanto-

ketjujen kestävyttä yleisesti ole juurikaan tutkittu. Mahdollisesti syy tälle voisi olla tuotantoketjujen suuret eroavaisuudet eri toimialojen välillä, mikä taas kävi ilmi toimialakohtaisia tutkimuksia lukiessa. Toimialakohtaisia tutkimuksia tuotantoketjun kestävydestä löytyy jonkin verran.

Työn tarkoituksena on selvittää, mitä yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia on kolmen eri toimialan tuotantoketjujen ekologiseen kestävyteen liittyvissä tutkimuksissa. Tämä on myös työn tutkimuskysymys. Absoluuttista oikeaa vastausta tutkimuskysymykseen ei voida löytää, vaan tarkoituksena on tutkia ja vertailla valittujen toimialojen tutkimuksia esimerkinomaisesti. Työssä toteutettava vertailu on tärkeä ja hyödyllinen, sillä sitä kautta saadaan tuotantoketjujen kestävydestä myös yleisempää tietoa sekä tietoja alojen eroista ympäristövaikutusten osalta. Vastaavanlaista vertailua ei näytä aiemmin olleen toteutettu. Jo vuonna 1995 julkaistussa artikkelissa todetaan ekologiseen kestävyteen panostamisen olevan kiireellinen asia (Goodland), joten ekologista kestävyttä on tärkeää tutkia kaikilta osin.

Ensimmäisenä työssä käsitellään ekologisen kestävyden käsitettä ja sen eri määritelmiä. Aihealuetta tutkiessa kävi ilmi, että ekologinen kestävyys ja yhteiskuntavastuu ovat osittain samoja asioita, mutta eivät täysin. Tässä työssä käytetäänkin termiä ekologinen kestävyys. Tämän jälkeen käydään läpi, mitä ekologinen kestävyys tarkoittaa tuotantoketjujen kontekstissa. Tarkemmin esitellään kestävä tuotannon käsitettä sekä avataan elinkaariarviointia (engl. life cycle assessment, LCA) tutkimusmetodina. Kaikki työhön valitut tutkimuksen on toteutettu LCA:lla. Tutkimusosuudessa vertaillaan kolmen eri toimialan ekologisen kestävyden tutkimuksia keskenään. Toimialat valikoituivat artikkelien sopivan rakenteen sekä vertailun helpottamiseksi samankaltaisuutensa vuoksi. Tutkittavina toimialoina ja kohteina ovat tomaattituotteiden tuotanto Italiassa, bioetanoli tuotanto Thaimaassa sekä broilerituotanto Ranskassa ja Brasiliassa. Vertailua tehdään pääasiassa vaikutusluokkien sekä ympäristövaikutusten ja niiden vähentämisen osalta.

Työ on toteutettu kirjallisuuskatsauksena. Artikkelien haussa on käytetty pääasiassa Tampereen yliopiston kirjaston hakupalvelua Andoria, Web of Sciencea sekä eri instituutioiden raporttien osalta Googlea. Kaikki työssä käytetyt artikkelit ovat vertaisarvioituja ja niiden laadun arviointiin on käytetty Julkaisufoorumin luokitusta. Suurin osa lähteistä on kirjoitettu viimeisen kymmenen vuoden sisällä, mutta erityisesti ekologista kestävyttä määrittelevät artikkelit ovat hyvin vanhoja. Olennaisimpina hakusanoina on käytetty "environmental sustainability", "sustainable production", "life cycle assessment" sekä "environmental impact", sekä näiden yhdistelmiä Boolean operaattoreiden avulla.

2. EKOLOGINEN KESTÄVYYS

Tässä luvussa käsitellään työn pääkäsitettä ekologista kestävyyttä eri näkökulmista. Lisäksi määritellään kestävä tuotanto sekä avataan elinkaariarvionti-tutkimusmallia.

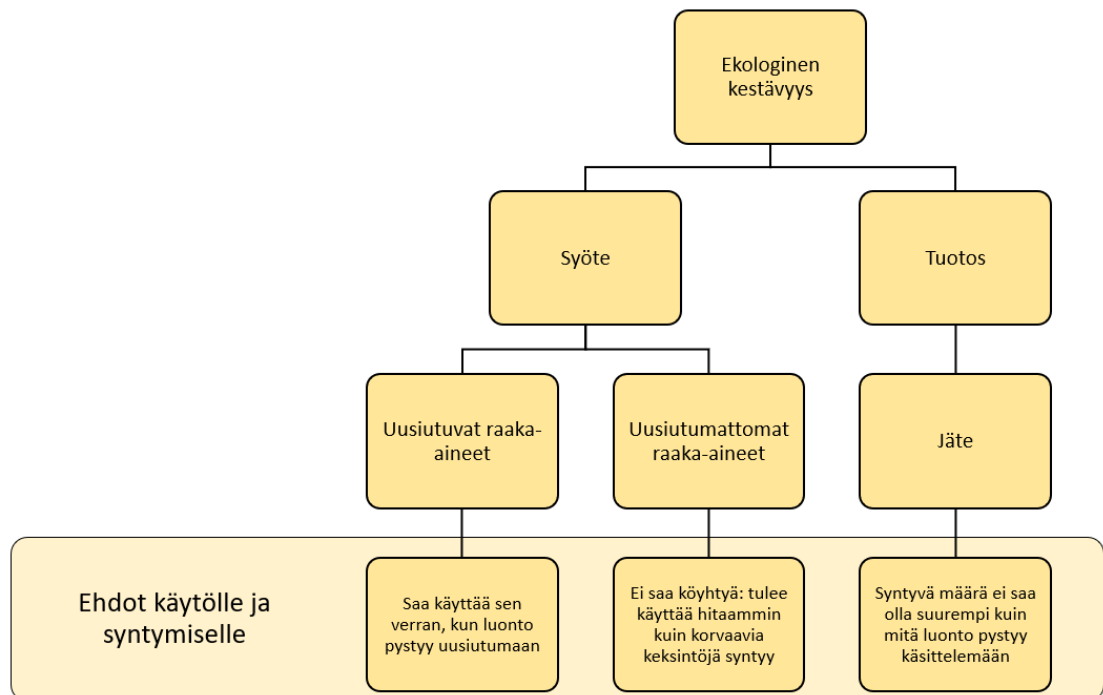
2.1 Ekologinen kestävyys yleisesti

Kestävyiden ja yhteiskuntavastuun käsitteet liittyvät paljon toisiinsa ja ovat osittain jopa päällekkäisiä. Yhteiskuntavastuulla tarkoitetaan yksinkertaistetusti yksilön, organisaation tai yhteisön vastuuta yhteiskunnalle. Yhteiskunta määritellään tässä tapauksessa toimijan muiden kanssa jakamaksi sosiaalisesti viitetaustaksi. (Järvinen 2004, s. 22–32) Vaihtoehtoisesti yhteiskuntavastuulla voidaan tarkoittaa niitä toimia, joilla edistetään yrityksen hyvinvointia ja jotka toteutetaan, vaikka ne olisivat voiton maksimoinnin kanssa ristiriidassa (McWilliams 2015, Senvar 2018 mukaan). Yhteiskuntavastuu itsessään onkin enemmän sosiaaliseen vastuuseen viittaava käsite: se on esimerkiksi englanniksi corporate social responsibility (Järvinen 2004, s. 32).

Kuitenkin yhteiskuntavastuussakin on ekologinen näkökulma mukana. Yhteiskuntavastuun yhdeksi sisältöalueeksi luetaan ympäristövastuu, johon sisältyy muun muassa kestävä kehitys (Järvinen 2004, s. 48). Ekologinen kestävyys ja ekologinen yhteiskuntavastuu ovatkin molemmat englanniksi environmental sustainability, joten käsitteet on hyvä erottaa suomeksi toisistaan. Tässä työssä käytetään käsitettä ekologinen kestävyys.

Kestävän kehityksen käsitettä on käytetty ensimmäisen kerran IUCN:n, UNEP:n ja WWF:n yhdessä vuonna 1980 julkaisemassa teoksessa *World Conservation Strategy*. Teoksessa määritellään, että kehityksessä on otettava huomioon sosiaaliset, taloudelliset ja ekologiset tekijät, jotta se olisi kestävä (IUCN et al. 1980, 1. luku). Näitä kolmea kestävyiden näkökulmaa kutsutaan kestävyiden kolmeksi pilariksi (UN 2002, Moldan et al. 2012 mukaan). Yleisesti kestävä kehityksen määritelmänä on, että niin nykyisten kuin tulevienkin sukupolvien tulee pystyä täyttämään kaikki tarpeensa (World Commission on the Environment and Development 1987, Deif 2011 mukaan). Ekologisen kestävyiden käsitettä käytti ensimmäisen kerran Robert Goodland vuonna 1995 kirjoittamassaan teoksessa *The Concept of Environmental Sustainability* (Moldan et al. 2012). Samaisessa teoksessa Goodland (1995) toteaa, että pohjimmiltaan ekologinen kestävyys on sosiaalisen kestävyiden rakentamiselle välttämättömyys. Kestävän kehityksen osa-alueet eivät siis ole irrallaan toisistaan.

Ekologinen kestävyys Goodlandin (1995) julkaisemassa ensimmäisessä määritelmässä jaetaan kahteen osaan: syötteeseen ja tuotokseen. Lisäksi ekologiseen kestävyys voidaan liittää sitä edistäviä toimintaperiaatteita. Syötteen puolella tulee suojella raaka-aineiden alkulähteitä, kuten maaperää, ilmakehää, metsiä ja vesiä, joita käytetään ihmisten tarpeiden täyttämiseen. Raaka-aineet jaetaan uusiutuviin ja uusiutumattomiin. Uusiutuvia resursseja saa käyttää saman verran kuin luonto pystyy tuottamaan uutta. Uusiutumattomien luonnonvarojen köyhtymisen taas tulisi tapahtua hitaammin kuin uusiutuvia korvaavia keksintöjä ja investointeja tehdään. Tuotoksen puolella sen sijaan on huomioitava, ettei syntyvän jätteen määrä saa ylittää ympäristön kapasiteettia hajottaa sitä. (Goodland 1995) Käsitteen rakennetta on avattu kuvassa 1. Sekä syötteen että tuotoksen puoli tulee hoitaa moitteettomasti, sillä vaikka luonnon kapasiteetit ovat suuret, ne ovat äärelliset (Goodland 1995). Käsitteen keskiössä on siis huomioida luonnon kyky ja nopeus käsitellä ihmisen tekemiä muutoksia siihen.



Kuva 1 Ekologisen kestävyden käsite (Goodland 1995)

Toimintaperiaatteena ekologinen kestävyys asettaa rajat sille, kuinka paljon ihmiset voivat kuluttaa. Rajoitteena ovat uusiutuvat ja uusiutumattomat luonnonvarat syötteen puolella, saastuttaminen sekä jätteen assimilaatio tuotoksen puolella. Ihmiskunnan tulisi oppia elämään näiden rajoitteiden mukaisesti. (Goodland 1995)

OECD:n (2001, Moldan et al. 2012 mukaan) Ympäristöstrategiassa vuosille 2000-2010 määritellään neljä kriteeriä kestävyydelle, joista kolme ensimmäistä ovat täysin vastaa-

vat kuin mitä Goodland (1995) tuo omassa määritelmässään esiin: 1) uusiutuvien luonnonvarojen käytössä tulee huomioida luonnollinen uusiutuminen, 2) uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö tulee rajoittaa korvaavia tuotteita käyttämällä sekä 3) saasteiden ja vaarallisten aineiden määrä luonnossa ei saa ylittää luonnon kapasiteettia. Uutena Goodlandiin (1995) verrattuna neljännessä kriteerissä nostetaan vielä esille, että toiminta ei saisi aiheuttaa mitään peruuttamatonta (OECD 2001, Moldan et al. 2012 mukaan).

Toisesta näkökulmasta asiaa katseltuna on luokiteltu, että luonnosta saatavia ihmisille ja heidän hyvinvoinnilleen välttämättömiä hyötyjä kutsutaan ekosysteemipalveluiksi. Ekosysteemipalveluluokkia on neljä:

- 1) tuotantopalvelut, kuten ravinto, vesi, puu, kuitu ja polttoaineet
- 2) sääntelypalvelut, kuten ilmaston sääntely, tautien sääntely ja vedenpuhdistus
- 3) kulttuuripalvelut, kuten esteettisyys, hengellisyys, opetus ja virkistys
- 4) ylläpitopalvelut, kuten ravinteiden kierto, maaperän muodostuminen ja alkutuotanto.

Ekosysteemipalvelut tulee pitää riittävällä tasolla ihmisten hyvinvoinnin turvaamiseksi. (Millennium Ecosystem Assessment 2005)

Goodland (1995) toteaa määritelmänsä olevan paikkansa pitävä riippumatta maasta tai alasta sekä myös ajasta. Myöhemmin toisaalla julkaistu määritelmä ekologiselle kestävyydelle on, että ekologinen kestävyys on kyky säilyttää fyysisen ympäristön ominaisuudet, jotka tuottavat arvoa (Sutton 2004, s. 1). Goodlandin (1995) määritelmää voidaan pitää uudemman määritelmän perustana, sillä toiminnan kestävyys määrittää lopulta luonnon kantokyky. Uudessa määritelmässä huomioidaan paremmin kuitenkin myös muut ympäristön ominaisuudet kuin vain luonnonvarat: Suttonin (2004) määritelmän alle voidaan katsoa kuuluvan myös esimerkiksi esteettistä arvoa tuottavat nähtävyydet eli ekosysteemipalveluiden kulttuuripalvelut.

Ekologinen kestävyys voidaan jakaa myös kolmeen eri tasoon: heikkoon, vahvaan ja mielettömän vahvaan. Heikolla ekologisella kestävyydellä tarkoitetaan kokonaisvarojen tai -pääoman säilyttämistä vakiona. Varoja voidaan katsoa olevan neljää erilaista: luonnonvarat, inhimillinen pääoma, ihmisen luoma pääoma ja sosiaalinen pääoma. Heikko kestävyys on välttämätöntä, mutta se ei riitä yksinään. Vahva ekologinen kestävyys vaatii, että kaikki erityyppiset pääomat tulee säilyttää. Mielettömän vahvassa ekologisessa kestävyudessa mitään yksittäistä ainetta ei saa koskaan kuluttaa loppuun. (Goodland 1995) Myöhemmässä teoksessa edellä mainittujen listaan on lisätty myös keskitason

ekologinen kestävyys, jossa huomioidaan, että kaikilla pääomilla tulisi olla kriittiset tasot, joilla pääomien määrä tulisi säilyttää (Goodland & Daly 1996).

Ekologisen kestävyuden pääajatus on, että kaikessa toiminnassa tulee huomioida luonnon kantokyky niin resurssien kuin jätteidenkin puolella. Mitään peruuttamatonta ei saisi tehdä fyysisten eikä esteettisten ominaisuuksien puolella.

2.2 Ekologinen kestävyys tuotantoketjun kontekstissa: kestävä tuotanto ja elinkaariarviointi

Kestävällä tuotannolla tarkoitetaan ”tuotteiden ja palveluiden jalostamista käyttämällä prosesseja ja systeemejä, jotka eivät saastuta, säästävät energiaa ja luonnonvaroja, ovat taloudellisesti kannattavia, ovat turvallisia työntekijöille, yhteisöille ja kuluttajille, eivätkä aiheuta haittaa terveydelle sekä ovat sosiaalisesti palkitsevia ja monipuolisia kaikille työskenteleville ihmisille”. Tavoitteena kestävässä tuotannossa on vähentää saasteita, energiatarvetta ja luonnonvarojen käyttöä, ja näin parantaa kestävä kehityksen tilaa. (Lowell center for sustainable production 2010, Kuusela 2011, s. 7 mukaan) Määritelmässä ensimmäisenä mainitut ei-saastuttavien systeemien käyttö sekä energian ja luonnonvarojen säästäminen liittyvät ekologiseen kestävyteen.

OECD (2011) lisää edellä kuvatun määritelmän ympäristönäkökulmaan vaarallisten aineiden käytön minimoinnin, biologisen monimuotoisuuden suojelemisen sekä ympäristöystävällisyyden huomioinnin energian ja luonnonvarojen valinnassa ja käytössä. Verrattaessa kestäväan kulutukseen kestävä tuotannon lähtökohdiksi voidaan ajatella prosessilähtöisyys, raaka-aineiden vähentäminen, jätteiden ja saasteiden vähentäminen sekä työn tehostaminen (Kuusela 2011, s. 6).

Kuusela (2011, s. 26-34) toteaa Lowell center for sustainable productioniin (2010) viitaten, että heidän luettelemistaan kymmenestä kestävä tuotannon periaatteesta kolme liittyy ekologiseen kestävyteen. Ensimmäisenä tuotteiden ja pakkausten tulisi olla turvallisia ja ympäristöystävällisiä koko elinkaarensa ajalta. Toiseksi jätteitä ja sivutuotteita tulisi vähentää, poistaa tai kierrättää. Kolmantena materiaalin- ja energiankäyttöä tulisi vähentää kuitenkin laadusta tinkimättä. Huomionarvoista on, ettei periaatteissa mainita päästöjä ja niiden vähentämistä.

Kestävä tuotannon käsitteen kanssa osittain päällekkäinen on vihreän tuotannon käsite. Lisäksi englanniksi käytetään kahta eri käsitettä vihreästä tuotannosta: green production ja green manufacturing. Bainesin et al. (2012) mukaan termejä vihreä ja kestävä käytetään enenevässä määrin synonyymeinä, vaikka terminä vihreä ei olekaan niin tieteellinen. Deif (2011) määrittelee vihreän tuotannon käsittävän kestävä kehityksen

kaikki kolme näkökulmaa ja niiden tavoitteiden säilyttämisen tuotantoympäristössä eli täysin vastaavasti kuin mitä kestävä tuotanto määriteltiin yllä. Aikaisemmin, vuonna 2001 julkaistussa tekstissä vihreä tuotanto määritellään tuotantoprosessiksi, jolla on vähän ympäristövaikutuksia, joka on tehokasta ja josta ei tule tai tulee ainakin mahdollisimman vähän jätettä ja päästöjä (Atlas & Florida). Tässä määritelmässä sen nähdään siis käsiteltävän vain kestävyuden ekologinen osa. Käsitteen vihreä erilaisten määrittelyiden vuoksi tässä työssä käytetään käsitteitä ekologinen kestävyys ja ekologisesti kestävä.

Vihreää tuotantoa ekologisesti kestävä tuotannon synonyyminä käyttävässä tekstissä ekologisesti kestävä tuotannon katsotaan sisältävän raaka-aineiden vähentäminen, kierrätys, uusiokäyttö sekä uusiovalmistus (Kuusela 2011, s. 32). Nykyisin trendisanana käytetään kiertotaloutta, johon kuuluu edellä mainittuja elementtejä. Kiertotaloudessa tuotteiden ja raaka-aineiden kierto pyritään maksimoimaan ylläpidolla, uudelleenikäytöllä, uudelleenvalmistuksella, kierrätyksellä sekä materiaalien uudelleenikäytöllä (Arponen et al. 2014).

Ekologisen kestävyuden arvioinnissa voidaan käyttää erilaisia menetelmiä, kuten elinkaariarviointia eli LCA:ta ja ekologinen jalanjälki -indikaattoria (engl. ecological footprint) (Kuusela 2011, s. 15-20). LCA on hyvin keskeinen työkalu kestävä kehityksen arvioinnissa tuotteiden ja teknologioiden osalta (Guinée et al. 2011, Del Borghi et al. 2014 mukaan).

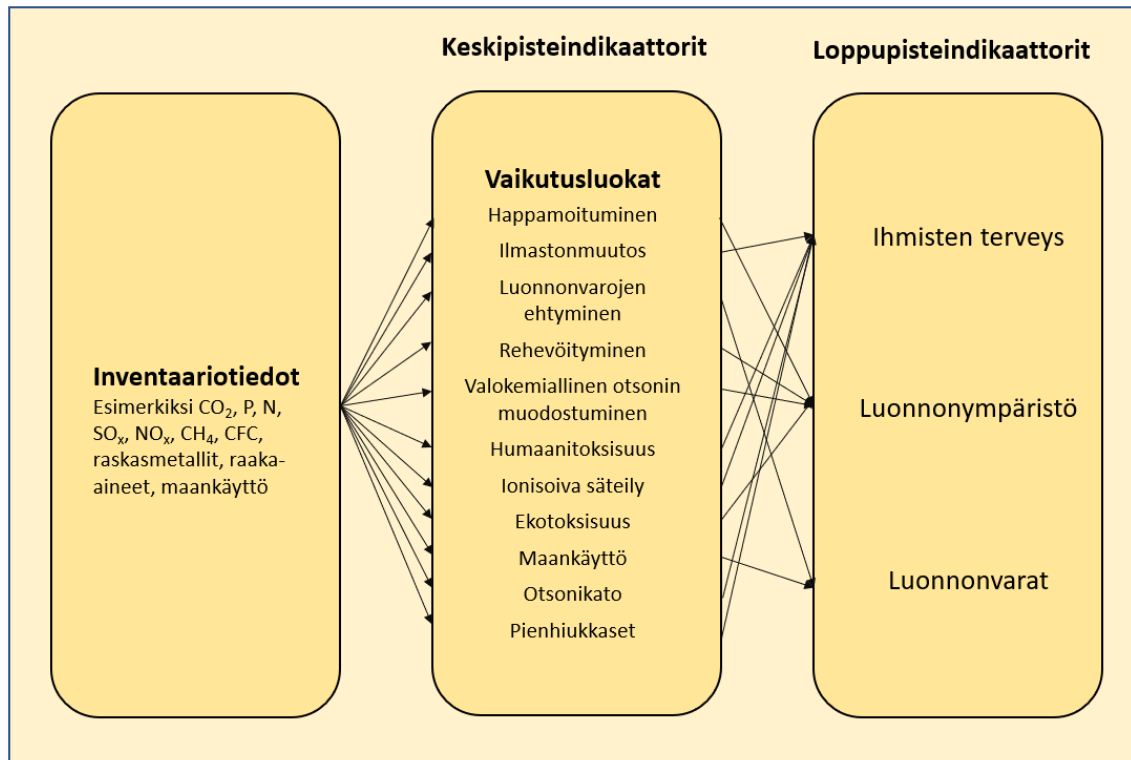
Elinkaariarviointi on työkalu tuotteen, prosessin tai toiminnan ympäristövaikutusten arviointiin koko elinkaaren tai käyttöiän ajalta (SFS-EN ISO 14040 2006; SFS-EN ISO 14044 2006; Roy et al. 2009). Tällä saadaan vähennettyä ympäristökuormaa ja kasvatettua resurssikäytön tehokkuutta (European Environmental Agency 2017). Menetelmä tunnetaan myös nimellä kehdestä hautaan (Roy et al. 2009) ja se on kansainvälisesti standardoitu ISO 14040 -sarjaan (Senvar 2018). Elinkaariarvioinnin tarkoitus voi olla vaihtoehtoisten tuotteiden, prosessien tai palveluiden vertailu, tietyn tuotteen tai palvelun vaihtoehtoisten elinkaarien vertailu tai niiden elinkaaren osien tunnistaminen, joissa voidaan tehdä eniten parannuksia (Roy et al. 2009). LCA onkin alun perin luotu päätöksentekoa tukeväksi työkaluksi (Del Borghi 2013). LCA:ssa keskitytään yleensä nimenomaan tutkimuskohteen ekologisiin vaikutuksiin, ja taloudellinen ja sosiaalinen puoli jäävät arvioinnin ulkopuolelle (SFS-EN ISO 14040 2006; SFS-EN ISO 14044 2006). Yleisesti ympäristövaikutuksista pyritään antamaan täydellinen kuva (Senvar 2018).

Elinkaariarvioinnissa on neljä vaihetta:

- 1) tavoitteiden ja soveltamisalan määrittäminen
- 2) inventaarioanalyysi, jossa kerätään arvioinnille vaadittavat tiedot

- 3) vaikutusarviointi, jossa tietoa jalostetaan ja arvioidaan
- 4) tulosten tulkinta, jossa tiedot kerätään yhteen ja niitä analysoidaan (SFS-EN ISO 14040 2006; SFS-EN ISO 14044 2006).

LCA:ssa huomioidaan tutkittavan kohteen päästöt, resurssien kulutus sekä ympäristö- ja terveysvaikutukset elinkaaren ajalta (EC 2010; Guinée et al. 2002, Senvar 2018 mukaan). Näistä tarvittavia tietoja haetaan inventaarioanalyysivaiheessa. Tulokset jaetaan keskipisteen ympäristövaikutusluokkiin ja edelleen loppupisteisiin (kuva 2).



Kuva 2 Inventaariotietojen kohdistaminen vaikutusluokkiin ja edelleen suojeltaviin kohteisiin (Suomen ympäristökeskus 2017)

Ekologisesti kestävää tuotantoa voidaankin määritellä ja arvioida monin eri tavoin. Yhdistävänä tekijänä on arvioida syntyviä saasteita, käytettyä energiaa ja luonnonvaroja sekä pyrkiä vähentämään näitä ja näiden vaikutuksia ympäristöön. LCA on yksi tapa toteuttaa tällainen arviointi.

3. KOLMEN VALITUN TOIMIALAN TUTKIMUSTEN ESITTELY

Seuraavaksi esitellään kolme valittua toimialaa ja tehdyssä tutkimuksessa selvinneitä tuotantoketjuun liittyviä ympäristövaikutuksia. Kaikki tutkimukset on tehty LCA:lla ja ne liittyvät jollakin tapaa maatalouteen.

3.1 Ekologinen kestävyys tomaattituotteiden tuotannossa

Del Borghi et al. (2014) vertailevat artikkelissaan Italiassa tuotettujen eri tomaattituotteiden ympäristövaikutuksia. Tarkemmin tuotteita ovat tomaattisose sekä paloitetut ja kuoritut tomaatit tomaattimehussa. Lisäksi vertailua on laajennettu eri pakkauskokoihin ja pakkausmateriaaleihin niin, että lopullisia vertailtavia tuotteita on 13. (Del Borghi et al. 2014)

Kaikkien tuotteiden tuotantoprosessin aluksi tomaatit valikoidaan, jonka jälkeen ne siirtyvät automaattiseen tuotannon valintajärjestelmään. Tämän jälkeen kullakin tuotteella on oma prosessinsa, jossa tomaatteja käsitellään sopiviksi sekä säilyviksi. Paloiteltuihin ja kuorittuihin tomaatteihin lisätään lopuksi tomaattimehua, joka valmistetaan samassa tehtaassa. Sivutuotteena prosesseista jää tomaatin kuoria, puristusjätettä sekä siemeniä, joita voidaan myydä eläimille rehuksi, sekä lehtiä ja muita tomaattikasvin osia, joita käytetään lannoitteena. (Del Borghi et al. 2014)

Tutkimuksen tavoitteena on huomioida koko tuotantoketju ja vähentää tuotteiden ympäristövaikutuksia: tutkimus kulkee kehdosta tehtaan porteille sekä varsinaisen pakkauksen hävittämiseen. Tutkimuksessa käydään hyvin yksityiskohtaisesti läpi, mitä tutkimukseen kuuluu ja mitä ei kuulu: esimerkiksi viljelyvaiheessa kasvien tuottamia hiilidioksidipäästöjä tai torjunta-aineiden vuotojen ja päästöjen vaikutuksia ei otettu huomioon. Sen sijaan esimerkiksi lannoitteiden päästöt huomioitiin. (Del Borghi et al. 2014)

Tutkimuksen tuloksena saatiin, että suurimmat parannuskohteet liittyvät pakkauksiin sekä viljelyyn. Pakkauksen kokoa, muotoa, paksuutta ja kantta muuttamalla voidaan saada suuria vaikutuksia aikaan. Viljelyn kehittämisellä vähemmän tyypeä ja fosforia sisältävillä lannoitteilla, vuoroviljelyllä ja kastelua tehostamalla saataisiin vaiheen ympäristövaikutuksia pienennettyä. (Del Borghi et al. 2014)

3.2 Ekologinen kestävyys bioetanolin tuotannossa

Silalertruksa ja Gheewala (2009) vertailevat tutkimuksessaan kahdesta eri raaka-aineesta, ruokomelassista ja maniokista, valmistettavan bioetanolin ympäristövaikutuksia. Ruokomelassi on sokerin valmistuksen sivutuotteena syntyvää siirappia ja maniokki on pelkästään etanolin tuotannon vuoksi kasvatettava kasvi (Silalertruksa & Gheewala 2009).

Tarkemmin vertailukohteena on kummankin raaka-aineen tuotantoketjut ja niissä käytettävät menetelmät. Tutkimuksessa käytetäänkin vertailuna kahta eri maniokkituotantoa (todellinen ja suunniteltu) sekä kolmea eri ruokomelassituotantoa. Kummankin raaka-aineen perustuotantoprosessit käydään tarkasti läpi samoin kuin jokaisen eri tuotantolaitoksen erilaisuudet. Maniokkituotannon sivutuotteena syntyy biokaasua, jota käytetään höyryntuotannon raaka-aineena. Melassi itsessään on sokerin jyrsinän sivutuote, ja siinä syntyy myös erilaisia sokereita sekä sähköntuotantoon käytettävää sokeriruokojätettä. (Silalertruksa & Gheewala 2009)

Tutkimuksen tavoitteena on arvioida energian nettotasetta ja hahmottaa Thaimaan nykyisen etanolituotantojärjestelmien ympäristönäkökulma. Tarkastelukohteena on koko tuotantoprosessi kehdestä hautaan sisältäen raaka-aineiden viljelyn, korjuun, kuljetuksen ja käsittelyn, etanolin konvertoinnin, sivutuotteiden käsittelyn sekä paikan päällä hoidettavan jätehuollon. Elinkaariarviointiin perustuen arvioinnissa huomioidaan myös lannoitteiden, torjunta-aineiden, polttoaineiden, sähkön ja ihmistyön tuotanto. Tietoa kerätään resursseista ja maankäytöstä sekä päästöistä ilmaan ja vesiin. Tutkimuksessa LCA:n lisäksi tehdään energian nettotase energiatehokkuuden arvioimiseksi. (Silalertruksa & Gheewala 2009)

Tutkimuksen tuloksena keskeisimmät parannuskohteet löytyvät viljelystä sekä itse tuotannosta. Viljelyssä tulisi panostaa raaka-aineiden viljelyn tuottavuuden parantamiseen orgaanisten lannoitteiden avulla sekä sokeriruonon jätteen polton lopettamiseen. Tuotannossa sen sijaan keskeistä olisi parantaa jätehuoltoa, lisätä uusiutuvien polttoaineiden käyttöä sekä maniokkituotannossa parantaa energiatehokkuutta. (Silalertruksa & Gheewala 2009)

3.3 Ekologinen kestävyys broilerin tuotannossa

Prudêncio da Silva et al. (2014) vertailevat tutkimuksessaan Brasilian ja Ranskan broilerin tuotantoa ja kummankin maan kahden erilaisen tuotantojärjestelmän ympäristövaikutuksia. Kyseessä on kaksi maailman suurinta broilerintuottaja- ja -ostajamaata. Brasilian tuotantojärjestelmät eroavat toisistaan kokonsa puolesta: toinen on suuren ja toinen

pienen mittakaavan tuotantoa. Ranskan tuotantojärjestelmistä toinen sen sijaan on standardoitu systeemi ja toinen on Label Rouge -niminen Ranskan viranomaisten hyväksymä prosessi korkealaatuisten broilerin tuottamiseksi. Label Rouge on niin sanottu laajaperäinen järjestelmä (ei-tehotuotantojärjestelmä), kun muut kolme järjestelmää ovat tehotuotantoa. (Prudêncio da Silva et al. 2014)

Tutkimuksen tarkoituksena on arvioida broilerin ympäristövaikutuksia kehdestä hautaan: viljelytuotteiden tuotannosta, rehuntuotannon ja linnun kasvatuksen kautta teurastukseen ja lopulta pakatuksi ja jäähdytetyksi kokonaiseksi kanaksi teurastamon porteille. Sivutuotteena tuotantoketjussa syntyy lantaa, jota käytetään viljelyssä lannoitteena. Tutkimuksessa käytetty data perustuu tietyn alueen tyypillisiin tietoihin, eikä tarkasti minikään tilan tietoihin. (Prudêncio da Silva et al. 2014)

Tutkimuksen tuloksena suurimmat ympäristövaikutukset tulevat rehuntuotannosta ja tarkemmin viljelystä. Erityisen tärkeää tähän olisi panostaa Brasiliassa, jossa metsien liialliset hakkuut ovat tulleet ongelmaksi. Brasilian rehuntuotannon päästöt kohdistetaan osittain myös Ranskalle, sillä rehua kuljetetaan Brasiliasta Ranskaan. Lisäksi tutkimuksessa selvisi, ettei tuotantolaitoksen koolla ole merkittävää vaikutusta ympäristövaikutuksiin, vaan merkitystä on tuotannon intensiivisyydellä: Label Rouge -tyyppisen tuotannon ympäristövaikutukset olivat suurimmat kaikissa vaikutusluokissa. Molemmilla Ranskan tuotantotapojen rehuntuotantovaiheilla on suuret ympäristövaikutukset. Jotta Label Rouge -tyyppisen tuotannon ympäristövaikutuksia saadaan kokonaisuudessaan laskemaan, rehuntuotantoon panostaminen on tärkeää ja järkevää, koska näin saadaan laskevaa myös muiden tuotantotyyppien päästöjä. Rehuntuotanto on Brasilian tuotantoprosesseissa myös merkittävin tekijä happamoitumiseen. (Prudêncio da Silva et al. 2014)

4. TUTKIMUSTEN VERTAILU

Tutkimukset ovat kaikki julkaistu viiden vuoden sisällä: Silalertruksan ja Gheewalan bioetanolista kertova artikkeli vuonna 2009, ja Del Borghin et al. tomaattituotteista sekä Prudêncio da Silvan et al. broilerin tuotannosta kertovat artikkelit vuonna 2014. Kaikki tutkimukset ovat vertaisarvioituja, ja niihin on viitattu kymmeniä kertoja Web of Sciencen mukaan. Vuoden 2019 julkaisufoorumin luokittelun mukaan artikkelit on julkaistu hyvin eritasoisissa lehdissä: tomaattituoteartikkeli on tason 2 lehdessä, bioetanoliartikkeli on tason 3 lehdessä ja broilerin tuotantoartikkeli tason 1 lehdessä. Kuitenkin julkaisufoorumin arkistoista löytyy luokittelut vuoteen 2012 asti, ja julkaisuvuonnaan tomaattituotteiden ja broilerin tuotantoartikkeli ovat molemmat olleet luokan 2 lehdissä, ja bioetanoliartikkelin lehti on vuosina 2012-2014 ollut luokan 2 lehti. Näin ollen artikkelien voidaan katsoa olevan samantasoisista lehdistä.

Tutkimuksia etsiessä suurella osalla hakutuloksista oli jollakin tapaa liitos maatalouteen: tutkimukset koskivat biopolttoaineista, elintarvikkeista sekä karjan kasvatuksesta. Osittain tämä selittyy sillä, että maatalous tuottaa joidenkin arvioiden mukaan 20-30 % kaikista ympäristövaikutuksista (European Commission 2006, Del Borghi et al. 2014 mukaan) ja esimerkiksi vuonna 2011 Euroopan Unioni asetti maataloudelle tavoitteita lähitulevaisuudelle, kuten 50 % jätteiden muodostumisen vähentäminen, maankäytön vähentäminen sekä maanlaadun parantaminen (European Commission 2011, Del Borghi et al. 2014 mukaan). On siis tunnistettu, että maataloudella on suuret vaikutukset ympäristöön, joten on luontevaa, että sitä on myös tutkittu paljon.

Kaikki valitut tutkimukset koskettavatkin jollakin tapaa maataloutta, tarkemmin viljelyä, ja kaikissa artikkeleissa yhtenä osana käsitellään sen vaikutuksia ympäristöön. Kuitenkin tutkimusten asettelu ja lähtökohdat ovat hyvin erilaiset. Tomaattituotteista kertovassa artikkelissa vertaillaan 13 erilaista tuotetta, ja tutkimuksen keskiössä on nimenomaan valmis tuote itsessään pakkauksineen sekä niiden tuotanto. Tomaatinviljelyä ja sen ympäristövaikutuksia tutkitaan artikkelissa, mutta sen menetelmistä tarkemmin tai mahdollisista vaihtoehtoisista menetelmistä ei puhuta (Del Borghi et al. 2014). Bioetanolin tuotannosta sen sijaan Silalertruska ja Gheewala (2009) vertailevat kahta eri raaka-ainetta keskenään ja niiden eroavaisuuksista seuraavia eroja koko tuotantoketjussa. Broilerin tuotannosta Prudêncio da Silva et al. (2014) taas vertailevat sekä eri tuotantojärjestelmien eroja kokonsa ja tuotantotapansa mukaan että kahden hyvin erilaisen maan, Rans-

kan ja Brasilian, välisiä eroja tuotannossa. Itse bioetanolia tai broileria tuotteena ei tutkimuksissa käsitellä ollenkaan (Silalertruksa & Gheewala 2009; Prudêncio da Silva et al. 2014). Taulukossa 1 on eritelty tutkimusten tarkastelukohteet.

Taulukko 1 Tutkimuksissa vertailtavat kohteet eriteltynä (Silalertruksa & Gheewala 2009; Del Borghi et al. 2014; Prudêncio da Silva et al. 2014)

Vertailtavat kohteet	Tomaattituotteiden tuotantoartikkelin käsittelykohteet	Bioetanolin tuotantoartikkelin käsittelykohteen	Broilerin tuotantoartikkelin käsittelykohteen
Raaka-aineet		x	x*
Tuote	x		
Pakkaukset	x		
Tuotanto	x	x	x
Maantieteelliset erot			x

* siipikarjan ravintoa tarkasteltu raaka-aineena

Kaikki artikkelit tarkastelevat tuotantoketjua kokonaisuudessaan kehdestä haetaan. Ketju alkaa raaka-aineiden tai ravinnon viljelystä ja päättyy valmiiseen tuotteeseen. Tutkimusten tavoitteena on arvioida tuotantoketjun ympäristövaikutuksia sekä tunnistaa, miten ympäristövaikutuksia voitaisiin vähentää. (Silalertruksa & Gheewala 2009; Del Borghi et al. 2014; Prudêncio da Silva et al. 2014) Erilaisuutena Silalertruksa ja Gheewala (2009) korostavat artikkelinsa tavoitteissa myös erikseen energiatehokkuuden arvioimista ja mainitsevat ottavansa ketjussa huomioon myös tuotannossa paikan päällä tapahtuvan jätehuollon. Del Borghi et al. (2014) taas ottavat huomioon tutkimuksessaan myös ensisijaisen pakkauksen kierrättämisen sekä raaka-aineen kuljetukset. Prudêncio da Silva et al. (2014) sen sijaan eivät huomioi tutkimuksessaan ollenkaan jakelua tai kulutusta.

4.1 Vaikutusluokat

Kaikissa artikkeleissa ympäristövaikutukset on jaettu vaikutusluokkiin CML -järjestelmän mukaisesti (Silalertruksa & Gheewala 2009, Del Borghi et al. 2014, Prudêncio da Silva et al. 2014), mikä on yksi menetelmä vaikutusarvioinnin toteuttamiseen (Del Borghi et al. 2014). Taulukossa 2 on kuvattu kussakin artikkelissa käytetyt vaikutusluokat. Vaikutusluokkien valintaan ovat vaikuttaneet aiemmat tutkimukset (Prudêncio da Silva et al. 2014) sekä luokkien sopivuus käsitellylle toimialalle (Silalertruksa & Gheewala 2009).

Taulukko 2 Tutkimusten vaikutusluokat eriteltynä (Silalertruksa & Gheewala 2009; Del Borghi et al. 2014; Prudêncio da Silva et al. 2014)

Vaikutusluokat	Tomaattituotteiden tuotannon vaikutusluokat	Bioetanolin tuotannon vaikutusluokat	Broilerin tuotannon vaikutusluokat
Happamoituminen	x	x	x
Ilmastonmuutos	x	x	x
Rehevöityminen	x	x	x
Valokemiallinen otsonin muodostuminen	x	x	
Humaanitoksisuus	x	x	
Maan ekotoksisuus	x		x
Makean veden ekotoksisuus	x		
Suolaisen veden ekotoksisuus	x		
Maankäyttö	x	x	x
Otsonikato	x		
Uusiutumattomien energialähteiden käyttö	x		
Uusiutuvien energialähteiden käyttö	x		
Aineellisten resurssien käyttö	x		
Veden kulutus	x		
Jätteiden muodostuminen	x		
Kumulatiivinen energian kokonaiskysyntä			x

Taulukosta huomataan, että kaikkia kolmea tutkimusta yhdistäviä vaikutusluokkia ovat happamoituminen, ilmastonmuutos, rehevöityminen ja maankäyttö. Tomaattituotteista kertovassa artikkelissa uusiutuvien ja uusiutumattomien energialähteiden sekä aineellisten resurssien käyttö, veden kulutus ja jätteiden muodostuminen on otettu mukaan kansainvälisestä Environmental Product Declaration -järjestelmästä (Del Borghi et al. 2014), joka on standardoitu, elinkaariarviointiin perustuva tarkempi menetelmä tuotteiden ekotehokkuuden arvioimiseksi (Del Borghi 2013). Vaikutusluokista humaanitoksisuus osuu ekologisen ja sosiaalisen kestävyiden väliin, kun kaikki muut ovat selkeästi ekologista

kestävyyttä. Ilmiönä sillä tarkoitetaan ihmisten pitkäaikaista altistumista ympäristöön päässeille vaarallisille kemikaaleille, jotka aiheuttavat esimerkiksi syöpää (Silertruksa & Gheewala 2009). Ilmiö itsessään siis koskettaa ympäristöä ja on ekologista kestävyttä, mutta sen vaikutukset kohdistuvat ihmisiin ja ovat sosiaalisia.

Eri vaikutusluokkien vertailussa saadut tiedot on kohdistettu hieman eri tavoin tutkimuksissa. Del Borghi et al. (2014) ovat taulukoineet tomaattituotteiden tuotannon valittujen vaikutusluokkien arvot kaikille 13 tuotteelle ja edelleen niiden kolmelle tärkeimmälle tuotantovaiheelle: viljelylle, ruuan prosessoinnille ja pakkaamiselle. Bioetanoliartikkelissa taas on käsitelty eri raaka-aineiden tuloksia eri tavalla johtuen ruokomelassituotannon kolmesta hyvin erilaisesta tuotantoprosessista. Maniokkituotannon tiedot on eritelty kahdelle eri tuotantotavalle tärkeimpiin tuotantovaiheisiin: viljelyyn, kuljetukseen ja etanolin konvertointiin. Ruokomelassituotannon tiedot sen sijaan on eritelty vain kolmelle eri tuotantotavalle ilman erittelyä eri tuotantovaiheille. (Silertruksa & Gheewala 2009) Prudêncio da Silva et al. (2014) ovat kohdistaneet broilerin tuotannon vaikutusluokkien tiedot ensin kullekin tuotantomuodolle ja sen jälkeen prosenttiosuuksina erikseen kolmelle tuotantovaiheelle: rehuntuotannolle, linnun tuotannolle ja teurastukselle.

Kuten huomataan, kohdistuksissa on paljon yhteistä: kaikissa tutkimuksissa tuotantoprosessista on tunnistettu kolme päätuotantovaihetta sekä yksi niistä liittyy läheisesti viljelyyn ja yksi suoraan itse tuotantoon tuotantolaitoksella. Lisäksi kaikissa artikkeleissa on käytetty yhdenmukaiset yksiköt kullekin vaikutusluokalle. (Silertruksa & Gheewala 2009; Del Borghi et al. 2014; Prudêncio da Silva et al. 2014)

4.2 Päästöjen huomiointi

Kaikissa tutkimuksissa huomioidaan päästöt niin ilmaan, maaperään kuin vesiinkin. Tutkimuksissa eri vaikutusluokat ovat yhteismitallistettu aina tietyn aineen mukaisesti. (Silertruksa & Gheewala 2009; Del Borghi et al. 2014; Prudêncio da Silva et al. 2014) Yhteismitallistamisessa kullekin vaikuttavalle aineelle annetaan kerroin verraten yhteismitallistettavaan aineeseen. Esimerkiksi kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittäviä vaikutuksia yhteismitallistetaan hiilidioksidiekvivalenteina (kg CO₂ eq.), jolloin hiilidioksidin kerroin on 1 ja muille aineille annetaan kerroinarvot niiden vaikutusten mukaisesti hiilidioksidiin verraten. (Suomen virallinen tilasto 2017)

Kaikissa tutkimuksissa päästöt ilmaan huomioidaan ilmastomuutoksen vaikutusluokkana ja eri aineet ovat yhteismitallistettu hiilidioksidiekvivalenteiksi (Silertruksa & Gheewala 2009; Del Borghi et al. 2014; Prudêncio da Silva et al. 2014), kuten edellä

mainittiin. Myös Del Borghin et al. (2014) sekä Silalertruksan ja Gheewalan (2009) tutkimuksiinsa vaikutusluokaksi nostama valokemiallinen otsonin muodostuminen osaltaan kuvastaa päästöjä ilmaan, ja se yhteismitallistetaan eteeniekvivalenteiksi (kg C₂H₄ eq.). Valokemiallisessa otsonin muodostumisessa auringonvalon vaikutuksesta ilman epäpuhtauksista irtoaa happiatomeja, jotka yhdistyessään happimolekyylin kanssa muodostavat otsonia. Ongelmallista tämä on, kun sitä tapahtuu alailmakehässä. (Silalertruksa & Gheewala 2009) Samoissa tutkimuksissa nostetaan esiin myös humaanitoksisuus, jossa 1,4-diklooribentseeniekvivalenteiksi (kg 1,4-DCB eq.) yhteismitallistettuna arvioidaan päästöjä ilmassa, vedessä ja maalla sekä niiden pitkäaikaisia vaikutuksia ihmisille. (Silalertruksa & Gheewala 2009; Del Borghi et al. 2014)

Muita vesien ja maan päästöjen mittareita ovat happamoituminen rikkioksidiekvivalenteiksi (kg SO₂ eq.) yhteismitallistettuna ja rehevöityminen ortofosfaattiekvivalenteiksi (kg PO₄³⁻ eq.) yhteismitallistettuna (Silalertruksa & Gheewala 2009; Del Borghi et al. 2014; Prudêncio da Silva et al. 2014). Tarkemmin mainitaan vielä esimerkiksi broilerin tuotannon tutkimuksessa raskas metallien päästöt maaperään (Prudêncio da Silva et al. 2014). Tomaattituotteiden tuotannon arvioinnissa vaikutusluokiksi on jaettu erikseen suolaisen ja makean veden sekä maan ekotoksisuus, jotka kaikki yhteismitallistetaan 1,4-diklooribentseeniekvivalenteiksi (kg 1,4-DCB eq.) (Del Borghi et al. 2014). Maan ekotoksisuutta mitataan myös broilerin tuotantoa tutkivassa artikkelissa (Prudêncio da Silva et al. 2014).

4.3 Energian ja veden kulutuksen huomiointi

Energian kulutuksen arvioinnissa on paljon eroja tutkimusten välillä. Tomaattituotteita valmistavassa yrityksessä käytetään pelkästään tuulivoimalla tuotettua energiaa, joten energian päästöt ovat minimaaliset eikä asiaa näin huomioida tutkimuksessa (Del Borghi et al. 2014). Sen sijaan bioetanolin tuotannossa energiaa kuluu valtavasti, joten sen arvioimiseksi tutkimuksessa tehdään energian nettotase LCA:n lisäksi. Tutkimuksessa mielenkiintoista on myös se, että maniokkituotannossa valtava energian kulutus on yksi suurimmista ongelmista, kun taas ruokomelassituotannossa sivutuotteena syntyy sähköä. (Silalertruksa & Gheewala 2009) Broilerin tuotannossa kumulatiivinen energian kokonaiskysyntä on nostettu yhdeksi vaikutusluokaksi ja sitä arvioidaan jouleina (Prudêncio da Silva et al. 2014).

Veden kulutusta huomioidaan tutkimuksissa myös hyvin eri tavoin. Tomaattituotteiden tuotannon arvioinnissa veden kulutus kohteita kuvataan melko tarkasti sekä kerrotaan tehtaalla sijaitsevasta jätevedenpuhdistamosta (Del Borghi et al. 2014). Bioetanolin tuotannossa veden kulutuksesta ei mainita muuta kuin, että veden hallintaa tulee kehittää

teollisilla sovelluksilla (Silalertruksa & Gheewala 2009). Broilerin tuotannossa veden kulu-
lutuksesta ei edes mainita (Prudêncio da Silva et al. 2014), mikä pitkälti selittyy aiem-
malla tutkimuksella, jonka mukaan veden ja ravinnon kulutusta verrattaessa veden kulu-
tus on 0,2% (Leinonen et al. 2012).

4.4 Sivutuotteiden ja jätteen käsittely, kierrätys, uusiokäyttö ja uudelleenvalmistus

Valittujen tutkimusten tuotantoketjuissa syntyvät tuotteet itsessään ovat sellaisia, ettei
niitä voida uusiokäyttää tai kierrättää, mutta prosesseissa syntyvät sivutuotteet ja jätteet
voidaan. Tomaattituotteita valmistettaessa sivutuotteena syntyy tomaatin kuoria, sieme-
niä sekä puristusosetta, jotka hyödynnetään lemmikkien ja kotieläinten ravintona. To-
maatin viljelystä jäljelle jää viljelykasvi ja lehdet, joita käytetään uudelleen orgaanisena
lannoitteena. Lisäksi aiemmin mainitulta tehtaan sisäiseltä jätevedenpuhdistamolta yli-
jäävä liete voidaan myös kierrättää viljelyyn käytettäväksi. Tässä voidaankin puhua pro-
sessin sisäisestä kierrosta. (Del Borghi et al. 2014)

Bioetanolin valmistuksessa maniokista etanolin konvertoinnin sivutuotteena saadaan
biokaasua, jota käytetään edelleen saman prosessin höyryntuotannon polttoaineena.
Ruokomelassi sen sijaan itsessään on sokerinjyrsinnän sivutuote: prosessissa syntyy
raakasokeria, hienonnettua sokeria, erittäin hienonnettua sokeria, melassia sekä soke-
riruokojätettä. Sokeriruokojätettä käytetään sähkön ja höyryn valmistukseen tehtaalle.
Ylijäämä sähköä myydään yleiseen sähköverkkoon. Thaimaalaisilta bioetanolitehtailta
kerrotaan puuttuvan sivutuotteiden hallinta, joten muiden sivutuotteiden osalta käsitte-
lyssä on parannettavaa. (Silalertruksa & Gheewala 2009) Prudêncio da Silvan et al.
(2014) tutkimuksessa broilerin tuotannon sivutuotteena kerrotaan syntyvän vain lantaa,
jota käytetään viljelykasvien lannoitteena ja näin saadaan vähennettyä kemiallisten lan-
noitteiden käyttöä. Samainen tutkimus päättyy teurastamolta lähtevään kokonaiseen
jäähdytettyyn broileriin (Prudêncio da Silva et al. 2014), joten esimerkiksi rasva tai leik-
kuujäte eivät kuulu tutkimukseen.

Kaikissa prosesseissa syntyy siis joitain sivutuotteita, jotka ainakin osittain saadaan te-
hokkaasti hyödynnettyä sellaisenaan tai uudelleenvalmistuksen myötä tuotantoketjussa.
Kuitenkin prosesseissa syntyy myös jätettä lukuun ottamatta broilerin tuotantoa, sillä sa-
masta syystä kuin sivutuotteita ei juurikaan synny, myöskään jätettä ei synny. Tomaatti-
tuotteiden valmistuksessa jätteiden muodostuminen on yksi huomioonotetuista vaikutus-
luokista. Tuotannossa syntyvä jäte on pääasiassa prosessitähteitä sekä pakkausjätettä,
jonka kierrätystä arvioidaan tutkimuksessa. Kuitenkin ensisijaisten pakkauksien arvioin-

tiin tutkimuksessa liittyä ristiriita. Ensin työssä havaitaan, että kartonkipakkauksia kierrätetään eniten ja niiden päästöjen olevan pienimpiä. Toisaalla ristiriitaisesti väitetään, että eniten kierrätetyt pakkaukset ovat teräksisiä ja niiden aiheuttamat päästöt ovat pienimpiä. (Del Borghi et al. 2014) Bioetanolin tuotannossa jätehuollon parantaminen nostetaan yhdeksi kehityskohteeksi, mutta eri tuotantoprosessien jätehuollossa kerrotaan olevan eroja. Yksi suurimmista ongelmista on ruokojätteen polttaminen, sillä siitä aiheutuu valtavasti päästöjä, ja sitä halutaankin saada vähennettyä. (Silalertruksa & Gheewala 2009)

4.5 Ympäristövaikutusten vähentäminen

Kaikista tuotantoketjuista löytyi paljon kehityskohteita. Taulukossa 3 on eritelty kussakin tutkimuksessa esitetyt parannusehdotukset ympäristövaikutusten vähentämiseksi. Kuten taulukosta huomataan, eniten parannusehdotuksia on viljelylle. Viljely on myös jokaisessa tutkimuksessa suurin ympäristövaikutuksia aiheuttava vaihe.

Taulukko 3 Tutkimuksissa esiinnousseet parannuskeinot ympäristövaikutusten vähentämiseksi (Silalertruksa & Gheewala 2009; Del Borghi et al. 2014; Prudêncio da Silva et al. 2014)

		Tomaattituotteiden tuotanto	Bioetanolin tuotanto	Broilerin tuotanto
Tuotteet	Pakkausten (koon, materiaalin, muodon ja paksuuden) optimointi	x		
Viljely	Lannoitteiden käytön optimointi	x		
	Vuoroviljelyn kehittäminen	x		
	Kastelun tehostaminen	x		
	Viljelyn tuottavuuden parantaminen orgaanisten lannoitteiden avulla		x	
	Sokeriruohon viljelyjätteiden polton lopettaminen		x	
	Rehuntuotannon päästöjen vähentäminen			x
	Metsien hakkuiden vähentäminen			x
Tuotanto	Jätteiden käsittelyn parantaminen		x	
	Uusiutuvien polttoaineiden käytön lisääminen		x	
	Energiätehokkuuden parantaminen		x	

Kaikissa tutkimuksissa mainitaan lannoitteiden käytössä olevan kehitettävää. Tomaattituotteiden ja bioetanolin tuotantojen osalta lannoitteet mainitaan suoraan, kun taas broilerin tuotannossa tämä mainitaan esimerkkinä rehuntuotannon kehittämisen yhteydessä ja samalla selitetään, ettei lannoitteet kuitenkaan ole aukoton parannuskeino. (Silalert-ruksa & Gheewala 2009; Del Borghi et al. 2014; Prudêncio da Silva et al. 2014) Mielenkiintoista myös on, että vaikka broilerin tuotantoartikkelissa tuotanto oli yksi keskeisimmistä tutkimuskohteista, siihen ei esitetä mitään parannuskeinoja. Tämä kuitenkin osaltaan selittyy rehuntuotannon huomattavasti suuremmilla ympäristövaikutuksilla kaikkien vaikutusluokkien osalta, joten parannuskeinoissa on keskitytty rehuntuotannon parantamiseen. (Prudêncio da Silva et al. 2014)

4.6 Tutkimusten arviointi omassa kontekstissään sekä yleisemmin

Tutkimuskohtaisemmin ja alansa kontekstissa tarkasteltuna bioetanoliartikkelissa sivuutetaan kokonaan biopolttoaineiden raaka-aineisiin perustuva sukupolviluokittelu. Ensimmäisen sukupolven polttoaineilla tarkoitetaan suoraan ravinnoksi kelpaavista tuotteista valmistettua polttoainetta, kuten molemmat bioetanolin tuotantoartikkelissa verratut tuotteet, ja toisen sukupolven polttoaineilla jätteistä tai selluloosapitoisista kasveista valmistettuja tuotteita. Olennainen ero on, että ensimmäisen sukupolven polttoaineet kilpailevat suoraan ruuantuotannon kanssa. (Charles et al. 2007; Mohr & Raman 2013) Silalert-ruksa ja Gheewala (2009) mainitsevat artikkelissaan, että viljelyn maankäytössä tulee huomioida, ettei se saa vaikuttaa ruuantuotantoon. Kuitenkaan asiaa ei analysoida sen enempiä tai edes mainita toisen sukupolven tuotteita, mikä biopolttoaineista puhuttaessa kuitenkin on merkittävä asia. Lisäksi analysoimista olisi kaivannut myös maniokin ja ruokomelassin eri lähtökohdista: toinen kasvatetaan varta vasten bioetanolin tuotantoon ja toinen on sokerin tuotannon sivutuote.

Del Borghin et al. (2014) tomaattituotteista kertova artikkeli sen sijaan on hyvin tarkka kahteen muuhun artikkeliin verrattuna, mikä näkyy esimerkiksi vaikutusluokkien suurena määränä. Määrä on niin suuri, että se nostaa epäilyksen tutkimuksen luotettavuudesta: onko kaikki yhteismitallistetut päästöt varmasti erillisiä vai onko niissä päällekkäisyyksiä? Lisäksi se osaltaan tekee tutkimuksesta hieman sekavan, joten lukijan kannalta vaikutusluokkia olisi ollut parempi yhdistellä, kuten kahdessa muussa artikkelissa on tehty (Silalert-ruksa & Gheewala 2009; Prudêncio da Silva et al. 2014).

Broilerin tuotannon arvioinnissa taas tekstissä ei kertaakaan mainita kestävyyttä, vaan esimerkiksi otsikossa puhutaan vain ympäristövaikutuksista. Kuitenkin sisällöllisesti artikkeli ei eroa merkittävästi kahdesta muusta, vaan artikkelissa käsitellään hyvin samoja elementtejä, minkä vuoksi artikkeli sopii tähän työhön vertailtavaksi. (Prudêncio da Silva et al. 2014)

Yleisesti tutkimusten tuotantoprosessit ovat hyvin erilaiset, mikä myös tekee tarkemmasta vertailusta mahdotonta. Etanolin ja tomaattituotteiden tuotanto tapahtuu käytännössä katsoen suoraviivaisesti liukuhihnalla yhden laitoksen sisällä (Silalertruksa & Gheewala 2009; Del Borghi et al. 2014). Näiden osalta tuotantoprosesseja itsessään voitaisiin vertailla keskenään. Broilerin tuotanto sen sijaan on pitkä prosessi, mikä vaatii paljon aikaa. Lisäksi prosessissa käsitellään eläimiä, joten huolenpito niistä sekä erityistarpeiden huomioiminen esimerkiksi mahdollisten sairauksien iskiessä tuovat prosessiin hyvin erilaisen lähtökohdan. Broilerin rehuntuotannossa voisi olla samoja piirteitä toisten artikkelien tuotantojen kanssa, mutta tutkimuksessa ei tarkasti kerrota, miten rehunvalmistus tapahtuu. (Prudêncio da Silva et al. 2014)

Eroja tutkimusten välillä löytyy myös luvussa 2.2 mainituista mahdollisia tarkoituksia LCA:n toteuttamiselle. Broilerin tuotantoartikkelissa tarkoituksena on selkeästi vaihtoehtoisten prosessien vertailu (Prudêncio da Silva et al. 2014). Bioetanolin osalta syntyvät tuotteet ovat molemmissa prosesseissa samat, mutta erot raaka-aineissa aiheuttavat suuret erot koko elinkaareen, joten tutkimuksen tarkoituksiksi voidaan katsoa tuotteen vaihtoehtoisten elinkaarien arviointi (Silalertruksa & Gheewala 2009). Tomaattituotteiden osalta vertailtavat tuotteet tai niiden prosessit eivät ole toisilleen vaihtoehtoisia. Kyseessä on kuitenkin saman tehtaan tomaatteihin liittyvien tuotteiden vertailu, joten tarkoituksiksi voidaan katsoa niiden elinkaaren osien tunnistaminen, joissa on eniten parannettavaa. (Del Borghi et al. 2014)

Vertailuista tutkimuksista broilerin tuotannosta kertova artikkeli on ainut, mistä löytyy oman työn kriittistä arviointia tutkimustietojen puutteellisuudesta sekä vertailua aiempiin tutkimuksiin (Prudêncio da Silva et al. 2014). Bioetanoliartikkelissa todetaan, että samankaltaista tutkimusta ei suoraan ole tehty: aiemmat tutkimukset ovat olleet suppeampia tai kohdistuneet kokeilulaitoksiin todellisten kaupallisten laitosten sijaan (Silalertruksa & Gheewala 2009). Näin ollen tällaista vertailua ei juurikaan edes voida tehdä. Tomaattituotetutkimuksessa aikaisemmista tutkimuksista ei mainita mitään, mikä voi johtua osaltaan siitä, että tutkimus on tehty suoraan yritykselle ja on hyvin tarkka: vertailukohteena ovat tarkasti eri tuotteet ja pakkauskoot, joten yleinen vertailu voisi olla vaikeaa (Del Borghi et al. 2014).

5. PÄÄTELMÄT

Työn tarkoituksena oli selvittää, mitä yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia on kolmen eri toimialan tuotantoketjujen ekologiseen kestävyYTEEN liittyvissä tutkimuksissa. Tutkimuksia vertaillaessa esiin nousseet erot tuodaan yksityiskohtaisesti ilmi luvussa 4. Yleisesti tutkimukset ovat melko erilaiset niin lähtökohtiensa kuin alojensakin puolesta, mutta kunkin toimialan raaka-aineiden liitos maatalouteen sekä sama tutkimusmenetelmä tekevät niistä lopulta melko samankaltaiset esimerkiksi tutkimusten tavoitteiden osalta. Samankaltaisuutta lisää myös se, että kaikissa tutkimuksissa vaikutusarvioinnissa on käytetty CML-järjestelmää. (Silalertruksa & Gheewala 2009; Del Borghi et al. 2014; Prudêncio da Silva et al. 2014) Kaikista tutkimuksista bioetanolin ja broilerin tuotantoon liittyvät tutkimukset voidaan katsoa samankaltaisimmiksi: esimerkiksi molemmissa käsitellään keskeisenä osana raaka-aineita, kummassakin energian kulutuksen arviointi tehdään erillisenä ja yleisesti esimerkiksi vaikutusluokkien valinta on tarkemmin perusteltu (Silalertruksa & Gheewala 2009; Prudêncio da Silva et al. 2014). Tuotantoprosessin puolesta sen sijaan bioetanolin ja tomaattituotteiden tuotannot ovat samankaltaisimmat selkeän liukuhihnamaisen prosessinsa vuoksi (Silalertruksa & Gheewala 2009; Del Borghi et al. 2014).

Kaikissa tutkimuksissa pääpaino on päästöissä niin ilmaan, vesiin kuin maahan. Lähtökohtaisesti tämä selittynee sillä, että inventaarioanalyysivaiheessa kerättävät tiedot liittyvät enimmäkseen päästöihin sekä tutkimuksiin valituista, taulukossa 2 esitellyistä vaikutusluokista suurin osa liittyy päästöihin. (Silalertruksa & Gheewala 2009; Del Borghi et al. 2014; Prudêncio da Silva et al. 2014) Vaikutusluokkavalinnat selittyvät maatalouden valtavilla päästöillä, sillä yleisesti esimerkiksi rehevöitymisestä 50 % johtuu maataloudesta (European Commission 2006, Del Borghi et al. 2014 mukaan). Myös kaikissa tutkimuksissa viljelyvaiheesta aiheutui suurimmat päästöt (Silalertruksa & Gheewala 2009; Del Borghi et al. 2014; Prudêncio da Silva et al. 2014). Päästöille on myös yleisesti käytössä olevat mittayksikkönsä sekä niitä on helppoa ilmaista numeerisesti ja vertailla näin eri ketjun osien tai tuotteiden arvoja keskenään toisiinsa.

Kuitenkaan toimialojen erilaisuuden, valittujen eri vaikutusluokkien sekä tutkimusten sisältöerojen vuoksi päästöjen numeerisia arvoja ei voida vertailla suoraan eri tutkimusten välillä. On esimerkiksi mahdotonta sanoa näiden tutkimusten perusteella, minkä tuotteen 1000 kilogramman valmistus on eniten haitallista ympäristölle tai edes millä on suurimmat tietyn aineen päästöt. Tällainen vertailu ei kuitenkaan ole edes olennaista, sillä jo pelkästään esimerkiksi biopolttoaineen ja ruuan tarkoitukset ja käyttökohteet ovat niin

erilaiset, ettei vertailu ole tarkoituksenmukaista. Tarpeellisempia havaintoja tutkimusten vertailussa ovat yleisemmät huomiot, kuten kaikkien tutkimusten suurimpien ongelmien liittyminen maatalouteen sekä erilaiset tavat toteuttaa elinkaariarviointia (Silalertruksa & Gheewala 2009; Del Borghi et al. 2014; Prudêncio da Silva et al. 2014).

Yhtenä erona ja puutteena tutkimuksissa on, ettei materiaalien käyttöä tai muodostuvan jätteen määrää mitata kuin tomaattituoteartikkelissa (Del Borghi et al. 2014), vaikka tätä voisi olla melko helppoa mitata ja arvioida. Bioetanolin tuotannon jätehuollon sanotaan olevan hyvin heikkoa (Silalertruksa & Gheewala 2009), joten jätteestä ei liene olevan saatavilla myöskään dataa. Käytetyt kasvien määrät 1000 litraa etanolia kohden kerrotaan ja viljelyn tehostaminen todetaan tarpeelliseksi (Silalertruksa & Gheewala 2009), mutta analyysi ja arviointi käytön tehokkuudesta tehtaalla puuttuu. Broilerin tuotannossa rehunviljelyn tehostaminen sekä vaihtoehtoisten ravintoaineiden käyttö on esitetty yksinä parannusehdotuksista, mutta käytännössä näillä pyrkimyksenä on vähentää viljelystä aiheutuvia päästöjä eikä vaikuttaa raaka-aineiden käyttöön. Muuten broileri hyödynnetään teurastamon porteille päättyvässä tutkimuksessa kokonaan (Prudêncio da Silva et al. 2014), joten jätettä ei synny. Huomionarvoista joka tapauksessa on, ettei yhdessäkään tutkimuksessa pohdita tuotteen raaka-aineiden vähentämismahdollisuuksia tai käytön tehostamista: esimerkiksi voisiko prosesseja muuttamalla saada vähennettyä syntyvän jätteen määrää ja siten myös vähennettyä vaadittavan raaka-aineen määrää. Tätä tulee jatkossa tutkia lisää, sillä raaka-aineiden käytön vähentämisellä voitaisiin vaikuttaa niin maatalouden päästöihin kuin syntyvän jätteen määräänkin.

Kestävän kehityksen aihealueen alla käsitteitä tulee myös jatkossa yhdenmukaistaa. Eriyisesti kestävän ja vihreän tuotannon käsitteitä tulisi tarkastella, sillä tällä hetkellä ne tarkoittavat nykyisissä artikkeleissa välillä samaa ja välillä eri asioita. Kiertotalouden nousua ilmionä se on noussut kestävän kehityksen rinnalle käsitteellisesti. Tulevissa tutkimuksissa olisikin tarpeen keskittyä enemmän kiertotalouden näkökulmaan: materiaalien ja raaka-aineiden kiertoon esimerkiksi uudelleenvalmistuksen ja uusiokäytön kautta.

Yleisesti työssä huomataan, ettei ekologista kestävyttä voida erottaa sosiaalisesta ja taloudellisesta kestävydestä. Tämä nähdään esimerkiksi humanitoksisuuden käsitteen kautta sekä tarkemmin tutkimuksissa. Bioetanolin tuotannossa pohditaan, että mikäli bioetanolin tuotannon määrää kasvatettaisiin paljon, se alkaisi kilpailla ruuantuotannon kanssa ja ruuan hinta nousisi, mikä vaikuttaisi voimakkaimmin köyhimpiin ihmisiin (Silalertruksa & Gheewala 2009). Tässä on selkeästi sosiaalinen näkökulma mukana. Broilerin tuotannosta sen sijaan nostetaan esiin, että ihmiset ovat valmiita maksamaan ei-tehotuotetusta lihasta enemmän, sillä sen ajatellaan olevan ekologisempaa (Prudên-

cio da Silva et al. 2014), mikä liittyy oikeastaan kaikkiin kestävyiden osa-alueisiin. Tulevissa tutkimuksissa tulisikin keskittyä kokonaisvaltaisemmin kestävyiden kaikkiin osa-alueisiin tuotantoketjujen osalta, jotta myös sosiaaliset ja taloudelliset tekijät tulisivat selville.

Tutkimusten välillä suurin yhtäläisyys löytyy tuloksista: maatalous on ympäristölle eniten haittaa aiheuttava vaihe ketjussa. Suurimmat erot aiheutuvat tutkimusten hyvin erilaisista lähtökohdista. Isossa kuvassa kaikkien tutkimusten voidaan katsoa tutkivan samoja asioita, mutta tarkemmin jo lähtökohdissa on paljon eroja. Erilaiset lähtökohdat tutkimuksissa aiheuttavatkin tutkimuksiin suuria eroja esimerkiksi siinä, mitä niissä on huomioitu ja tutkittu ja mitä on jätetty tutkimuksen ulkopuolelle. Tulevissa tutkimuksissa tulisi keskittyä laajemmin kiertotalouteen ja ottaa kaikki kolme kestävyiden näkökulmaa tutkimukseen mukaan. Lisäksi tuotantoketjujen ja -prosessien kestävyyttä tulisi tarkastella yleisemmin, mikäli mahdollista, tai tämän työn kaltaisten vertailujen kautta.

LÄHTEET

Arponen, J., Granskog, A., Pantsar-Kallio, M., Stuchtey, M., Törmänen, A. & Vanthournout, H. (2014). Kiertotalouden Mahdollisuudet Suomelle. Sitran selvityksiä 84. Helsinki: Libris.

Atlas, M. & Florida, R. (2001). Green Manufacturing. In: Dorf, R., C. Technology, Humans and Society: Toward a Sustainable World. Academic Press. pp. 126-132.

Baines, T., Brown, S., Benedettini, O. & Ball, P. (2012). Examining green production and its role within the competitive strategy of manufacturers. *Journal of Industrial Engineering and Management*. Vol. 5(1), pp. 53-87.

Charles, M. B., Ryan, R., Ryan, N. & Oloruntoba, R. (2007). Public policy and biofuels: The way forward? *Energy Policy*. Vol. 35(11), pp. 5737-5746.

Deif, A. M. (2011). A system model for green manufacturing. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 19(14), pp. 1553-1559.

Del Borghi, A. (2013). LCA and communication: Environmental Product Declaration. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. Vol. 18(2), pp. 293-295.

Del Borghi, A., Gallo, M., Strazza, C. & Del Borghi, M. (2014). An evaluation of environmental sustainability in the food industry through Life Cycle Assessment: the case study of tomato products supply chain. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 78, pp. 121-130

European Environment Agency. (2017). Glossary: life cycle assessment. Saatavissa (viitattu 24.4.2019): <https://www.eea.europa.eu/help/glossary>.

Goodland, R. (1995). The Concept of Environmental Sustainability. *Annual Review of Ecology and Systematics*. Vol. 26, pp. 1-24.

Goodland, R. & Daly, H. (1996). Environmental sustainability: Universal and non-negotiable. *Ecological Applications*. Vol. 6(4), pp. 1002-1017.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2018). Global Warming to 1.5°C. Saatavissa (viitattu 10.4.2019): <https://www.ipcc.ch/sr15/>.

IUCN, UNEP & WWF. (1980). *World Conservation Strategy*. Gland: International Union for the Conservation of Nature.

Järvinen, R. (2004). *Yhteiskuntavastuu: näkökulmia yritysten ja julkisyhteisöjen yhteiskunnalliseen vastuuseen*. Tampere: Tampere University Press.

Kassinis, G. I. & Soteriou, A. C. (2003). Greening the service profit chain: the impact of environmental management practices. *Production and Operations Management*. Vol. 12(3), pp. 386-403.

Kuusela, J. (2011). *Kestävä tuotanto suomalaisessa teollisuudessa nyt ja tulevaisuudessa*. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere, 92 s. Saatavissa (viitattu 10.4.2019): <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/20650>.

Leinonen, I., Williams, A.G., Wiseman, J., Guy, J. & Kyriazakis, I. (2012). Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: Broiler production systems. *Poultry Science*. Vol. 91(1), pp. 8-25.

McKinsey. (2012). *The business of sustainability*. New York: McKinsey.

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: health synthesis: a report of the Millennium Ecosystem Assessment*. Geneva: WHO.

Mohr, A. & Raman, S., 2013. Lessons from first generation biofuels and implications for the sustainability appraisal of second generation biofuels. *Energy Policy*. Vol. 63(100), pp. 114-122.

Moldan, B., Janouskova, S. & Hak, T. (2012). How to understand and measure environmental sustainability: Indicators and targets. *Ecological Indicators*. Vol. 17, pp. 4-13.

OECD. (2011). *OECD Sustainable Manufacturing Toolkit*. Saatavissa (viitattu 22.4.2019): <https://www.oecd.org/innovation/green/toolkit/>.

Prajogo, D., K.Y. Tang, A. & Lai, K. (2014). The diffusion of environmental management system and its effect on environmental management practices. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol. 34(5), pp. 565-585.

Prudêncio Da Silva, V., Hayo M. G. van der Werf, Soares, S. R. & Corson, M.S. (2014). Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: An LCA approach. *Journal of Environmental Management*. Vol. 133, pp. 222-231.

Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N. & Shiina, T. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*. Vol. 90(1), pp. 1-10.

Senvar, O. (2018). Intelligent life cycle assessment in environmental sustainability. *International Journal of Information, Business and Management*. Vol. 10(2), pp. 189-200.

SFS-EN ISO 14040. (2006). *Environmental management. Life cycle assessment. Principles and frameworks*. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2nd edition. Switzerland: ISO copyright office. 20 p.

SFS-EN ISO 14044. 2006. *Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines*. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1st edition. Switzerland: ISO copyright office. 46 p.

Silalertruksa, T. & Gheewala, S. H. (2009). Environmental sustainability assessment of bio-ethanol production in Thailand. *Energy*. Vol. 34(11), pp. 1933-1946.

Suomen virallinen tilasto (SVT). (2017) *Laatuseloste: Kasvihuonekaasut*. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa (viitattu: 4.5.2019): http://www.stat.fi/til/khki/2017/khki_2017_2019-03-28_laa_001_fi.html.

Suomen ympäristökeskus. (2017). *Tietoa elinkaariarvioinnista (LCA) ja elinkaariklinikatoimintamallista pk-yrityksille: ToimintaMALLI yritysten elinkaaristen Ympäristövaikutusten kehittämiseksi (MALLI-Y) –hanke*. Saatavissa (viitattu 10.4.2019): https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus__kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/ToimintaMALLI_yritysten_elinkaaristen_Ymparistovaikutusten_kehittamiseksi_MALLIY.

Sutton, P. (2004). A Perspective on environmental sustainability? A paper for the Victorian Commissioner for Environmental Sustainability. Saatavissa (viitattu 10.4.2019): <http://www.green-innovations.asn.au/papers.html>.