



Kasvihuonetuotteiden ilmastovaikutus- laskenta 2004 ja 2017 todellisten ener- giankulutustilastojen perusteella sekä vesijalanjälki.

Tilaustutkimus Kauppapuutarhaliitolle ja SLC:lle

Frans Silvenius, Kirsi Usva, Juha-Matti Katajajuuri, Anna-Kaisa Jaakko-
nen



Kirjoittajat: Frans Silvenius, Kirsi Usva, Juha-Matti Katajajuuri, Timo Kaukoranta, Anna-Kaisa Jaakkonen

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)
Julkaisija: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2019
Julkaisuvuosi: 2019
Kannen kuva: Erkki Oksanen / Luke

Alkusanat

Tämä on kauppapuutarhaliiton rahoittaman tilaustutkimuksen loppuraportti. Hankkeen tavoitteena oli laskea koko tuotantoketjun ilmastovaikutus suomalaiselle tomaatille, kurkulle ja salaatile sekä arvioida sen kehitys aikavälillä 2004-2017 perustuen kasvihuoneviljelyn energiantilastoihin vuodelta 2004 ja 2017. Taustalla on tieto energiaprofiilin suuresta muutoksesta vuosien saatossa ja muista ruokatuotteista poiketen kotimaisten kasvihuonetuotteiden hiilijalanjälkeä dominoiva kasvihuoneiden energiankäyttö.

Lisäksi tavoitteena oli laskea koko toimialan energiankäytön ilmastovaikutus vuosina 2004 ja 2017 sekä arvioida erikseen kotimaisen kasvihuonevihannestuotannon vesijalanjälkeä suhteessa tuontiin. Hanke painottui energiankulutustietojen tuotekohtaiseen selvittämiseen ja niiden laskemiseen hiilijalanjäljeksi, mutta myös muut tuotantovaiheet arvioitiin käyttäen lähteenä lähinnä Kauppapuutarhaliiton ja Luonnonvarakeskuksen asiantuntija-arvioita sekä kirjallisuustietoja, joilla päivitettiin Greenhouse Carbon-hankkeessa aiemmin julkaistua dataa eri tuotantopanosien ilmastovaikutuksista.

Hankkeen yhteyshenkilö Kauppapuutarhaliitosta oli toiminnanjohtaja Jyrki Jalkanen, jonka lisäksi Kauppapuutarhaliitosta tiedon tuottamiseen osallistuivat Lassi Remes ja Niina Kangas.

Tutkimuksen päästömallinnuksen teki tutkija Frans Silvenius. Tutkija Timo Kaukoranta suoritti mallinnuksia liittyen hiilidioksidin käyttöön eri kasveilla ja energiankäyttöön yhdellä suurella kasvihuone-tilalla. Energiatilastot tutkimuksen käyttöön toimittivat yliaktuaari Anna-Kaisa Jaakkonen, erityisasiantuntija Mika Kuoppa-aho ja erityisasiantuntija Mirva Kokkinen. Erikoistutkija Liisa Särkkä toimitti arvion veden kulutukseen kasvinhuoneviljelyssä kasvilajeittain. Erikoistutkija Juha-Matti Katajajuuri ja johtava tutkija Kari Jokinen antoivat arvokasta taustatukea tutkimukseen ja tutkija Kirsi Usva auttoi vesijalanjäljen laskennan toteuttamisessa. Tutkija Marja Jallinoja oikoluki raportin. Kaikki edellä mainitut tutkimuksen suorittajat ovat Luonnonvarakeskuksesta.

Tutkimuksen suorittaminen edellytti lisäksi jonkin verran tiedonkeruuta kasvihuoneviljelijöiltä, pakkausteollisuudesta, ruukkujen valmistajilta sekä lisäksi kasvualustojen tuotannosta, taimikasvatuksesta, energiayhtiöistä ja teollisuudesta. Tutkimusryhmä kiittää kaikkia tutkimuksessa avustaneita henkilöitä!

Helsingissä toukokuussa 2019

Tekijät

Tiivistelmä

Frans Silvenius¹⁾, Kirsi Usva²⁾, Juha-Matti Katajajuuri¹⁾, Timo Kaukoranta²⁾ ja Anna-Kaisa Jaakkonen¹⁾,

¹⁾Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

²⁾Luonnonvarakeskus, Tietotie 4, 31600 Jokioinen

Tämä raportti käsittää Luonnonvarakeskuksen Kauppapuutarhaliitolle ja Österbottens svenska producentförbund r.f.:lle tehdyn tilaustutkimuksen tulokset tomaatin, kurkun ja salaatin sekä koko toimialan ilmastovaikutuslaskennasta ja vesijalanjäljestä. Toiminnallisena yksikkönä, eli tuotemääränä, johon ilmastovaikutus ja vesijalanjälki suhteutettiin, oli yksi kilogramma lopputuotetta. Kasvihuonekaasuista laskennassa huomioitiin hiilidioksidi, metaani sekä dityppioksidi. Tarkasteltavia toimintoja olivat taimikasvatus, kalkin, lannoitteiden ja torjunta-aineiden valmistus, kasvatusruukkujen valmistus ja loppukäyttö, hiilidioksidin lisäys, kastelu, sähkön ja lämmön kulutus ja tuotanto, kasvualustan tuotanto ja loppukäsittely, sekä jätehuolto ja kierrätys koskien kasvualustoja sekä kompostoitavaa kasvustojätettä. Tutkimuksen ulkopuolelle rajattiin kaupan ja kuluttajan toiminnot ja jakelu. Lisäksi infrastruktuurin valmistus ja ylläpito jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle. Tutkimus on näin vertailukelpoinen rajauksiltaan mm. MTT:n aiempaan vastaavaan (Yrjänäinen et al. 2013) tutkimukseen.

Tarkasteltavat yritykset valittiin jo suunnitteluvaiheessa tietoisesti siten, että ne tuottivat ainoastaan kurkkua, tomaattia tai ruukkuvihanneksia, jolloin energiankäytön allokointiongelmia eri tuotteille ei ole ja tulokset ovat mahdollisimman vertailukelpoisia siltä osin. Salaatin osalta valittiin tutkimukseen myös niitä tiloja, joista valtaosa oli ruukkusalaattia ja allokointi tässä tapauksessa tuotteiden välillä tehtiin viljelypinta-alaan perustuen. Yritysten tiedot saatiin ajettua Luonnonvarakeskuksen energiatilastojen tilakohtaisista aineistoista. Energioiden lisäksi päivitettiin myös tiedot lannoitteiden, kasvualustan, kasteluveden ja hiilidioksidin käyttömääristä, jotka saatiin Kauppapuutarhaliiton ja Luonnonvarakeskuksen asiantuntija-arvioista. Päästökertoimet panosten valmistuksesta perustuivat pääosin Yrjänäinen et al. 2013 tutkimukseen. Hiilidioksidin ilmastovaikutusarvio päivitettiin lisäksi valmistajalta.

Tutkimustulosten mukaan energiantuotannon päästöt olivat edelleen ylivoimaisesti suurin yksittäinen päästölähde kasvihuonetuotteiden ilmastovaikutuksia laskettaessa. Muiden päästölähteiden osuus vastasi Greenhouse Carbon-projektin arviota.

Koko tomaatintuotannon ilmastovaikutus oli 3,0 kgCO₂-ekv/kg tomaatteja, josta lämpöenergian osuus oli 68 %, sähkö 26 % ja muut 6 %. Jos kirsikka- ja muiden erikoistomaattien osuus jätetään laskennan ulkopuolelle, ilmastovaikutus oli 2,6 kgCO₂-ekv/kg tomaatteja, lämpöenergiaan osuus oli tällöin 74 %, sähkön 20 % ja muiden tuotantovaiheiden 6 %. Kurkun ilmastovaikutus oli 2,0 kgCO₂-ekv/kg kurkkua, lämmön osuus 24 %, sähkön 71 % ja muiden tuotantovaiheiden 5 %. Ruukkusalaatin osalta luvut olivat 2,7 kgCO₂-ekv/kg ruukkusalaattia, lämpö 33 %, sähkö 60 % ja muut tuotantovaiheet 7 %. Koko toimialan ilmastovaikutus oli 216 000 t CO₂-ekv.

Tomaatin ilmastovaikutus, kun pelkät tavanomaiset tomaatit huomioidaan, oli laskenut vuodesta 2004 61 %. Lämmön osuus oli laskenut 66 % sähkön osuus 38 %. Kurkun osalta koko tuotantoketjun osuus oli laskenut vuoteen 2004 nähden 45 %. Lämmön osuus oli laskenut 81 %, mutta sähkön osuus oli lisääntynyt 22 %. Ruukkusalaatin koko tuotantoketjun muutos vuoteen 2004 nähden oli hiilijalanjäljen pienentyminen 35 %, josta lämmön osuus oli pudonnut 42 % ja sähkön osuus 32 %. Ruukkusalaatin koko tuotantoketjun päästö pieneni vähemmän kuin muilla kasveilla, sillä suurempi osa energiankulutuksesta on sähköä kuin tomaatilla ja kurkulla, mutta vihreään sähkөөn siirtyminen vähensi kuitenkin sähköntuotannon osuutta selvästi. Lämpöprofiilit ovat kehittyneet siis pääosin ilmaston kannalta parempaan suuntaan kun fossiilisia lähteitä on korvattu mm. puuhakkeella. Mutta edelleen yksi huomattavimmista päästövähennysmahdollisuuksista liittyy lämmön lähteisiin eli turpeen käytön vähentämiseen jatkossa: sen osuus oli tomaatilla 38 %, kurkulla 7,2 % ja salaatilla 16 %. Muidenkin

fossiilisten polttoaineiden osuus oli kuitenkin edelleen mm. tomaatilla 30 % ja 16 %. Koko toimialan ilmastovaikutus oli pienentynyt 56 % aikavälillä 2004–2017: lämmityksen osuus pieneni 63 % ja sähkön osuus 30 %, vaikka tuotantomäärät ovat tällä aikavälillä kasvaneet 24 %. Pinta-alaan suhteutettuna ilmastovaikutus oli vähentynyt 47 %.

Tomaatin tuotannon ilmastovaikutus vaihtelee Pohjois- ja Keski-Euroopassa yleensä välillä 1,6 – 9 kgCO₂-ekv/kg ja Etelä-Euroopassa 0,15-0,5 kgCO₂-ekv/kg. Suomalainen tuotanto on karkeasti ottaen siis samalla tasolla keski- ja pohjoiseurooppalaiseen tuotantoon nähden, mutta parannusta on tullut jo paljon vuoteen 2004 verrattuna. Niillä suomalaisilla tiloilla, joilla käytetään jo täysin ekosähköä ja uusiutuvia polttoaineita päästään Etelä-Euroopan hiilijalanjäljen tasolle, kun otetaan myös niiden kuljetukset huomioon.

Kasvihuonetuotannon vesijalanjälki laskettiin ISO:n AWARE-menetelmällä, joka ottaa huomioon ns. karakterisointikertoimella tuotantomaan vesiniukkuuden suhteessa käytettyyn vesimäärään. Kotimaisen tomaatin vesijalanjälki oli 35 l/kg, kurkun 17 l/kg ja salaatin 36 l/kg. Suurin osa oli peräisin kastelusta, mutta salaatilla muovien osuus oli 8 % johtuen siitä, että osa muovista oli peräisin Italiasta, joissa on korkeampi karakterisointikerroin kuin Suomessa. Espanjalaisen tomaatin vesijalanjälki oli korkeammasta karakterisointikerroimesta johtuen peräti 91 kertaa korkeampi kuin Suomessa, Suomessa siis 35 l/kg, mutta Espanjassa 3165 l/kg.

Asiasanat: Kasvihuone, ilmastovaikutus, ympäristövaikutukset, tomaatti, kurkku, salaatti, kasvihuonetuotanto, hiilijalanjälki, vesijalanjälki

Abstract

This report includes results of client investigation made by Natural Resources Institute Luke for Finnish Glasshouse Growers' Association and for The Union of Swedish-speaking Agricultural Producers in Ostrobothnia. The scope of the study was average climate impact and water footprint of tomato, cucumber and lettuce in Finnish greenhouses as well as carbon footprint of the whole greenhouse sector. The calculation was made for two time periods, years 2004 and 2017. The functional unit was one kilogram final product at the farm gate. The investigated greenhouse gases in the assessment were carbon dioxide, methane and nitrous oxide. The system boundaries included nurseries, fertilizer and lime production and use, production of packages and pots, carbon dioxide production, irrigation, lightning, production of electricity and heat energy, production and end-of-life of substrates and waste management. Logistics, consumer part and trade we left outside the study as well as construction and maintenance of the infrastructure. The study is then comparable to the previous corresponding study made by MTT Agrifood Research Finland (Yrjänäinen et al. 2013)

The farms of the investigation were chosen in purpose so that they produced only cucumber, tomato or pot vegetables to avoid allocation problems and to reach high comparability of the results. For lettuce some of the farms produced also other pot vegetables and the allocation between the crops was based on cultivated area. The data of the farms was obtained from the energy statistics of Natural Resources Institute Luke. Also data concerning fertilizer, substrate, water and carbon dioxide use were updated by using expert opinions of Finnish Glasshouse Growers' Association and Natural Resources Institute Luke. The carbon footprint of carbon dioxide production was updated based on information obtained from the producer.

According to the results the energy production was still clearly the most important component when calculating the climate impact of the greenhouse products. The part of the other emission was very near of the assessment of previous Greenhouse Carbon project for each product.

The average climate impact of tomato was 3.0 kgCO₂-eq/kg, share of heat energy 68%, electricity 26 % and other components 6 %. When only conventional tomatoes were included the climate impact was 2.6 kgCO₂-eq/kg, share of heat energy 74%, electricity 20 % and other components 6 %. The average climate impact of cucumber was 2.0 kgCO₂-ekv/kg, share of heat energy 24 %, electricity 71 % and other components 5 %. For lettuce the climate impact was 2.7 kgCO₂-ekv/kg, share of heat energy 33%, electricity 60 % and others 6 %. The climate impact of the whole greenhouse sector was 216 000 t CO₂-ekv/year in total.

The climate impact of conventional tomatoes has declined 61 % from year 2004, impact of heat energy was 66 % and electricity 38 % lower. For cucumber the climate impact declined 45 % from 2004, heat energy declined 81 % but electricity increased 22 %. For lettuce the result was 35 % smaller climate impact, reduction for heat energy 42 % and for electricity 32 %. The reduction for lettuce was smaller, because the share of the electricity was more remarkable than in production of cucumber and tomato, but the green electricity reduced also the share of electricity in lettuce production. The heat energy profiles are developed to more climate-friendly direction, when fossil energy has been replaced by woodchips. One of the most efficient possibilities to reduce the carbon footprint is to reduce the use of peat in heat energy production: the share of peat in the climate impact was for tomato 38 %, cucumber 7.2 % and lettuce 16 %. Also the share of other fossil energy is still remarkable for cucumber, 16 %. For the whole production sector the climate impact declined 56 % from 2004: heat energy 63 %, and electricity 30 %. In the same time the production volume has increased 24 %. In relation to cultivated area the climate impact has declined 47 %.

. The climate impact of tomato produced in Central and Northern Europe was mainly 1.6-9 kgCO₂-ekv/kg and in Southern Europe 0.15-0.5 kg CO₂-eq/kg. Finnish production is according to these results quite typical production in Central and Northern Europe, but climate impact has declined a lot in relation to situation in 2004. Greenhouse production by using green electricity and renewable heat

energy is on a same level as in Southern Europe concerning climate impact, when also transports to Finland are taken into account.

The water footprint of tomato was 35 l/kg, cucumber 17 l/kg and lettuce 36 l/kg, when the AWARE methodology was used. The water footprint was mainly due to irrigation, but for lettuce 8 % originated from plastic production, because the higher characterization factor of the production countries, in Finland 35 l/kg and in Spain 3165 l/kg. The water footprint of Spanish tomato was 91 times higher, which was caused by higher characterization factor. The characterization factor of AWARE-methodology takes into account the local conditions concerning water resources in different countries.

Sisällys

X	1.	Johdanto
	3	
	2. Aineisto ja menetelmät	3
	2.1. Järjestelmärajaukset	3
	3. Tutkimustulokset	13
	3.1. Tomaatti	13
	3.2. Kurkku	13
	3.3. Ruukkusalaatti	14
	3.4. Koko toimiala	15
	3.5. Vesijalanjälki	16
	3.6. Vertailua muihin tutkimuksiin	16
	4. Johtopäätökset	17

1. Johdanto

Tämä tutkimus on Kauppapuutarhaliiton rahoittama tilaustutkimus, jonka suoritti Luonnonvarakeskus. Luonnonvarakeskuksessa tutkimukseen osallistuivat pääasiassa Kestävyystudkimus ja indikaattoritryhmä, Tietopalvelut-yksikkö sekä Luonnonvarakeskuksen kasvihuoneviljelyn asiantuntijat.

Tutkimuksen pääasiallisena lähtöaineistona oli Luonnonvarakeskuksen energia- ja tuotantotilastot kasvihuoneviljelystä. Tutkimukseen valittiin tilat, jotka tuottivat pelkäästään kurkkua, tomaattia ja ruukkusalaattia, ottaen kuitenkin mukaan myös muutamia tiloja, jotka tuottivat vähäisiä määriä muita kasveja pääasiallisen viljelykasvin lisäksi. Greenhouse Carbonissa (Yrjänäinen ym. 2013) kerättyjä tuotantotietoja päivitettiin lannoitteiden, kasvualustojen, pakkausten ja hiilidioksidin käyttömäärien osalta asiantuntija-arvioin. Sen sijaan päästökertoimista vain osa päivitettiin suhteessa Greenhouse Carbon tietoihin, eniten tuloksiin vaikuttavana suomalaisen keskimääräisen sähköntuotannon päästökerroin. Lisäksi koko toimialan ilmastovaikutus laskettiin vuosille 2004 ja 2017. Mallinnus tehtiin elinkaariarvioinnin periaatteilla (ISO 14040, 14040) pyrkien myös noudattamaan PEFCR-ohjeistusta (European Commission 2012) koskien mm. sitä, että tiedot perustuvat suurimmalta osin kasvihuoneyritysten todellisen toiminnan tietoihin sekä myös kierrätyksen ja jätteiden käsittelyn mallintamista ja vihreän sähkön sisällyttämistä laskentaan. Esimerkiksi kaupan osuutta ei toisaalta sisällytetty laskentaan. Laskentaan huomioitiin elinkaariarvioinnin periaatteiden mukaisesti lähtökohtaisesti koko tuotantoketju.

2. Aineisto ja menetelmät

2.1. Järjestelmärajaukset

Tutkittavista ympäristövaikutuksista tarkastelu rajattiin ilmastovaikutuksiin ja vesijalanjälkeen. Kasvihuonekaasuista laskentaan huomioitiin kolme merkittävintä, eli hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄) sekä dityppioksidi (N₂O). Tutkimuksen tulokset on ilmaistu hiilidioksidiekvivalentteina, joka ilmaisee kasvihuonekaasun ilmastovaikutuksen hiilidioksidin ilmastovaikutukseen verrattuna. Tutkimuksessa käytetyt karakterisointikertoimet, jotka kuvaavat kaasun vaikutusta ilmastomuutokseen hiilidioksidiin verrattuna, on koottu taulukkoon 1.

Taulukko 1. Kasvihuonekaasujen karakterisointikertoimet (Solomon ym. 2007).

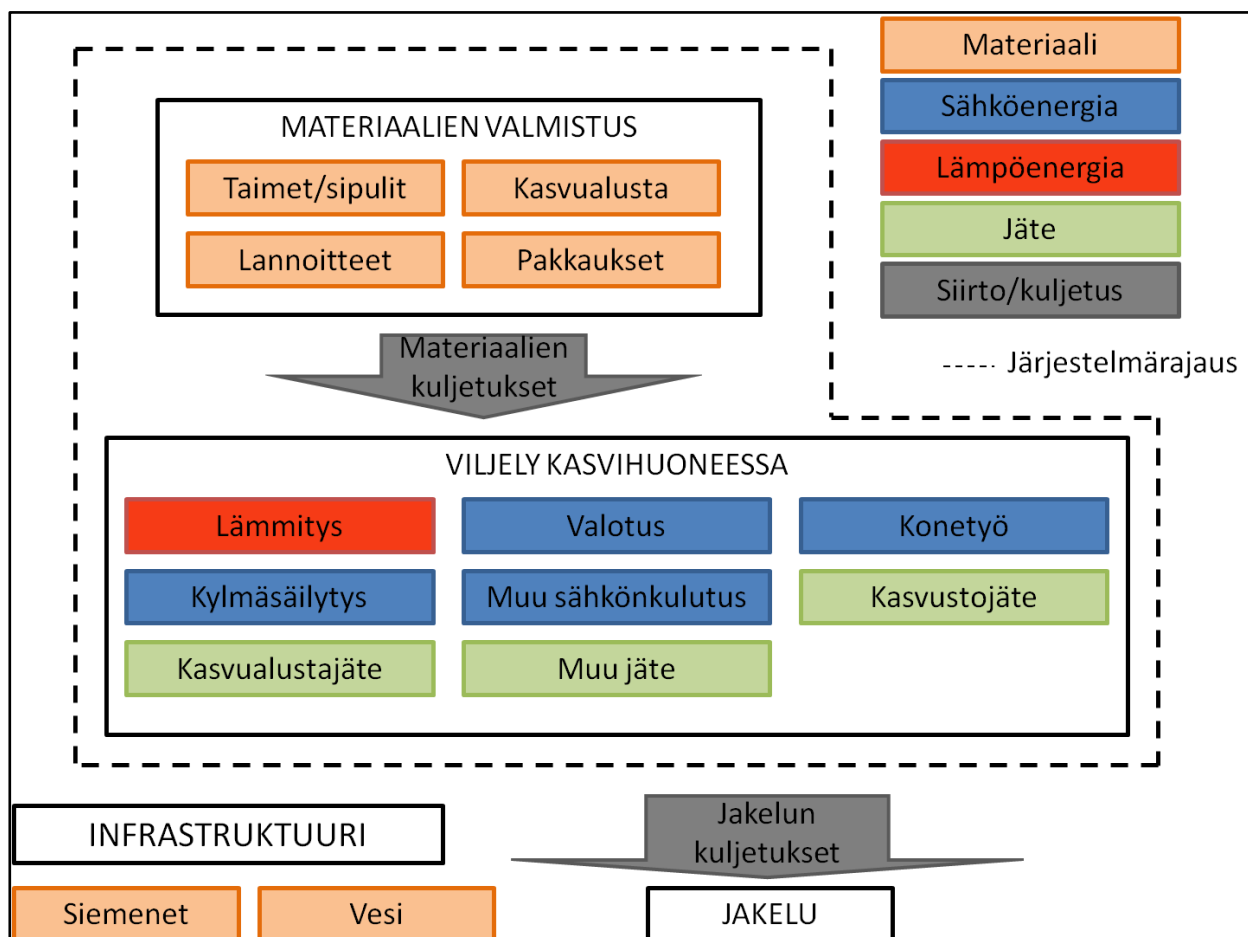
Kasvihuonekaasu	Karakterisointikerroin
Hiilidioksidi	1
Metaani	25
Dityppioksidi	298

Vesijalanjäljen laskentaan käytettiin AWARE-menetelmää, jossa huomioitiin maakohtaisesti vesivarojen riittävyys. Karakterisointikertoimella kerrotaan absoluuttinen veden käyttö. Käytetyt karakterisointikertoimet olivat seuraavat esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Käytetyn veden karakterisointikerroimet eri maissa (AWARE-menetelmä).

Maa	Karakterisointikerroin
Suomi, maatalous	1,72
Suomi, yleinen	1,96
Espanja, maatalous	79,13
Puola, yleinen	1,94
Italia, yleinen	17,75

Elinkaaren rajaukset on pidetty tässä tutkimuksessa ennallaan Greenhouse Carboniin nähden. Kuvassa 2.1 on esitetty huomioidut energia- ja materiaalivirrat, joihin laskenta perustuu (Yrjänäinen ym. 2013).



Kuva 1. Kasvihuoneviljelyn energia- ja materiaalivirrat sekä järjestelmärajaukset.

Materiaali- ja energiavirroista on huomioitu koko tuotantoketju sisältäen kaikki valmistusketjun vaiheet sekä kuljetukset. Siemenet ja vesi rajattiin laskennan ulkopuolelle, sillä niiden vaikutus kokonaisilmastovaikutukseen todettiin merkityksettömäksi. Veden osalta kuitenkin laskettiin vesijalanjälki erik-

seen omana laskentanaan. Lisäksi jätettiin huomioimatta infrastruktuuri sisältäen esimerkiksi koneet ja muun kaluston, rakennukset sekä jakelu, kauppa ja kuluttaja. Tutkittava elinkaari päättyy siis tuotteen lähtiessä kasvihuoneelta. Jätteen käsittelystä huomioitiin kompostoinnin päästöt kasvijätteiden osalta sekä muovien polton päästöt ja talteenotetusta energiasta saadut energiahyvitykset.

2.1 Tuotantopanokset

Tässä luvussa käydään läpi kasvihuonetuotantoon liittyviä tuotantotekijöitä sekä lähteitä, joista kunkin tuotantotekijän päästötietoja on kerätty.

2.1.1 Tiedon laatuvaatimukset

Tiedonkeruun osalta tiedon laadun suhteen pystyttiin täyttämään tiedon MTT:n ilmastovaikutusten laskentasuosituksen (Hartikainen ym. 2012) laatuvaatimukset koskien satotasoa, energiankulutusta, viljelypinta-alaa, lannoitteiden määrää ja tyyppiä ja kasvualustaa sekä lannoitteiden tuotannon päästöjä. Näistä edellä mainituista komponenteista energia-, sato- ja pinta-alatiedot saatiin Luonnonvarakeskuksen Tilastopalveluiden ylläpitämistä energiatilastoista ja otoskoko arvioitiin riittäväksi. Muut tiedot olivat pääosin asiantuntija-arvioita, joiden laatu arvioitiin tutkimuksen tarpeisiin nähden riittäviksi.

2.1.2 Energia

Kasvihuoneissa käytetään sekä lämpö- että sähköenergiaa, joista saatiin tiedot Luonnonvarakeskuksen energiatilastoista jaoteltuna energialähteittäin. Tuotekohtaisiin laskelmiin käytettiin tiloja, joissa viljeltiin vain laskennan kohteena olevaa kasvilajia. Lisäksi muutama sellainen tila otettiin mukaan laskentaa, jossa muita viljelykasveja viljeltiin vain hyvin vähäinen määrä. Kaukolämmön ja ostolämmön tuotantoprofiili selvitettiin Kauppapuutarhaliiton kyselyllä. Kaikille käytetyille polttoaineille käytettiin elinkaarisia päästökertoimia. Energiankulutus suhteessa viljeltyihin neliömääriin on esitetty taulukossa 1. Sen mukaan sähkönkulutusmäärät olivat kaikissa tuotantomuodoissa viljeltyihin neliömääriin suhteutettuna selvästi kasvaneet. Lämmönkulutus oli kasvanut salaatilla, mutta pienentynyt tomaatilla ja kurkulla suhteessa viljeltyyn pinta-alaan. Energiankulutuksen osalta suhteessa neliömääriin sähkönkulutus oli kasvanut kaikilla viljelylajeilla, eniten kurkulla, jonka viljelyssä sähkönkulutuksen osuus on noussut yli nelinkertaiseksi. Lämmönkulutus sen sijaan oli vähentynyt kaikilla muilla viljelylajeilla paitsi salaatilla suhteessa viljeltyyn neliömetrimäärään (Taulukko 3).

Energiatilastojen aineiston lisäksi arvioitiin yhden suuren kurkkutilan energiankulutus mallintamalla perustuen valaistuksen nimellistehoon sekä käytettyihin energialähteisiin. Lisäksi yhden merkittävän kasvihuoneyrityksen käyttämä vihreä sähkö huomioitiin laskelmissa PEF-ohjeistuksessa mainitulla tavalla. Laajempaa kyselyä vihreän sähkön määrästä ei kuitenkaan suoritettu, koska siihen ei hankkeen aikataulun ja resurssien puitteissa ollut mahdollisuuksia. Näitä sopimuksia saattaa olla enemmänkin, ja näillä olisi kotimaisen tuotannon hiilijalanjälkeä pienentävä vaikutus.

Yhteensä aineistossa oli kurkkutiloja 35 kattaen 48 % koko Suomen tuotannosta, tomaattitiloja 99 kattaen 67 % tuotannosta ja ruukkusalaattitiloja 17 kattaen 85 % tuotannosta. 2004 aineistossa kurkkutiloja 107 kattaen 46 % tuotannosta, tomaattitiloja 232 kattaen 58,3 % tuotannosta, ruukkusalaattitiloja 15 kattaen 74 % tuotannosta. Kun vuoden 2017 aineistosta poistettiin erikoistomaatin viljelijät, jäljelle jäi 54 tilaa ja 36,3 % tuotannosta. Ympärivuotista viljelyä oli vuonna 2017 viljelypinta-alasta 73 %, kun osuus vuonna 2006 oli 69 %. Aineiston kurkkutiloista 19 oli kausiviljelyä ja 15 ympärivuotista viljelyä, tomaattitiloista 34 oli kausiviljelyä ja 20 ympärivuotista viljelyä ja ruukkusalaattitiloista kolme kausiviljelyä ja 14 ympärivuotista viljelyä. Vuoden 2004 aineistossa tomaatilla 122 tilaa oli kausiviljelyä ja 110 tilaa ympärivuotista viljelyä, kurkulla 54 tilaa oli kausiviljelyä ja 53 ympärivuotista viljelyä salaatilla kaksi tilaa oli kausiviljelyä ja 12 ympärivuotista viljelyä. Prosentuaaliset osuudet kausi- ja ympärivuotisessa viljelyssä on esitetty taulukossa 24. Aineiston perusteella näyttäisi siltä, että kausiviljelyn osuus on aineistossa suurempi kuin suomalaisessa kasvihuonetuotannossa keskimäärin.

Taulukko 3. Vuosittaiset energiankulutusmäärät kWh/m² tomaatin, kurkun ja ruukkusalaatin viljelyssä sekä kasviuonealalla keskimäärin.

	Sähkö, kWh/m ²		Lämpö, kWh/m ²	
	2004	2017	2004	2017
tomaatti	94	146	438	433
Kurkku	172	784	321	276
Ruukkusalaatti	495	562	336	526
Koko toimiala	78	171	283	265

Taulukko 4. Ympärivuotisen viljelyn osuus tutkituilla tiloilla tomaatin, kurkun ja ruukkusalaatin viljelypinta-alasta vuosina 2004 ja 2017.

	Ympärivuotisessa viljelyssä, %			
	2004, tutkitut tilat	2004, koko maa	2017	2017, koko maa
tomaatti	56	13	44	34
Kurkku	63	27	54	45
Ruukkusalaatti	81		96	
Koko toimiala	69		73	

Kasviuoneyritysten tähän tutkimukseen käytetty keskimääräinen pinta-ala oli Luonnonvarakeskuksen tilastojen mukaan lähes kaksinkertaistunut tomaatilla ja kurkulla, mutta salaattilla pysynyt ennallaan (Taulukko 5).

Taulukko 5. Kasviuoneyritysten keskimääräinen pinta-ala tutkituilla tiloilla tomaatilla, ruukkusalaatilla ja kurkulla vuosina 2004 ja 2017, m²

	Viljelypinta-ala m ² 2004	Viljelypinta-ala m ² 2017
Tomaatti	2941	5157
Kurkku	2991	5769
Ruukkusalaatti	6933	6731

Keskimääräinen satotaso tomaatilla ja kurkulla suhteessa neliöpinta-alaan oli selvästi noussut, mutta salaattilla pysynyt suurin piirtein ennallaan (Taulukko 6). Tomaatin satotaso oli noussut 33 % ja kurkun yli kaksinkertaistuneet. Sadot voivat Luonnonvarakeskuksen Piikkiössä tekemien kasvatuskokeiden mukaan ympärivuoteisessa Hightech-viljelyssä olla Suomessa merkittävästikin suurempia kuin mitä tässä havaittiin, kurkulle 220 kg/m²,^{ia} tomaatille 110 kg/m².

Tomaatin satotasoksi Espanjassa on ilmoitettu 8,45 kg/m², mikä on selvästi vähemmän kuin Suomessa (Hortoinfo 2019). FAO:n mukaan kurkun keskimääräinen satotaso oli Euroopassa vuonna 2017 5,45 kg/m², Espanjassa 8,45 kg/m² ja Hollannissa 68,97 kg/m² (Horti Daily 2019)

Taulukko 6. Kasvihuoneyritysten keskimääräinen vuosittainen sato tomaatilla, ruukkusalaatilla ja kurkulla vuosina 2004 ja 2017, kg/m²

	2014	2017
tomaatti	33	44
Kurkku	44	103
Ruukkusalaatti	50	50

Suhteessa tuotantomääriin sähkönkulutus on noussut ja lämmönkulutus laskenut kaikilla paitsi salaatilla (Taulukko 7)

Taulukossa 7 on kuvattu viljeltävien kasvien energainkulutuksia satotasoon nähden ja Taulukossa 8 tämän tutkimuksen kasvien koko tuotannossa kulutetun energian määrää vuosina 2004 ja 2017. Satotason kasvu näkyy taulukossa 7 etenkin kurkun, mutta myös tomaatin osalta verrattaessa taulukkoon 3. Taulukkoon 9 on koottu kokonaissadot kurkusta, tomaatista ja ruukkusalaatista vuosina 2004 ja 2017.

Taulukko 7. Energiankulutus kWh/kg tomaatin, kurkun ja ruukkusalaatin viljelyssä sekä kasvihuonealalla keskimäärin tutkimukseen valittujen tilojen perusteella.

	Sähkö, kWh/kg		Lämpö, kWh/kg	
	2004	2017	2004	2017
tomaatti	2,89	3,32	13,24	9,84
Kurkku	3,91	7,64	7,52	2,73
Ruukkusalaatti	9,90	13,89	6,72	13

Taulukko 8. Kokonaisenergiankulutus GWh tomaatin, kurkun ja ruukkusalaatin viljelyssä sekä kasvihuonealalla keskimäärin tutkimukseen valittujen tilojen perusteella.

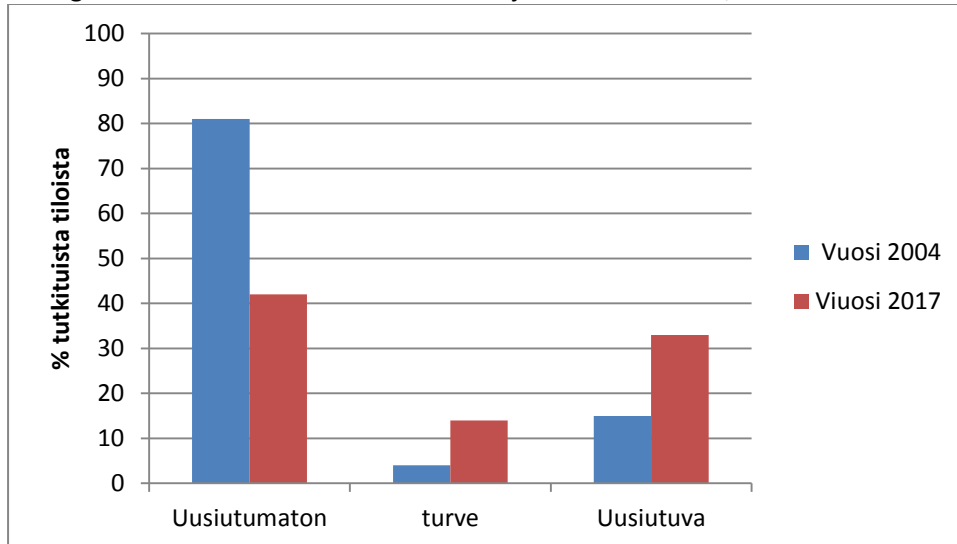
	Sähkö, GWh		Lämpö, GWh	
	2004	2017	2004	2017
tomaatti	100	129	458	384
Kurkku	135	298	233	114
Ruukkusalaatti	84	149	57	139

Taulukko 9. Tuotantomäärät tomaatin, kurkun ja ruukkusalaatin viljelyssä vuosina 2004 ja 2017 Salaatin tiedot on otettu tilastoista kappalemäärän perusteella ja kappaleen painoksi on arvioitu 150 grammaa

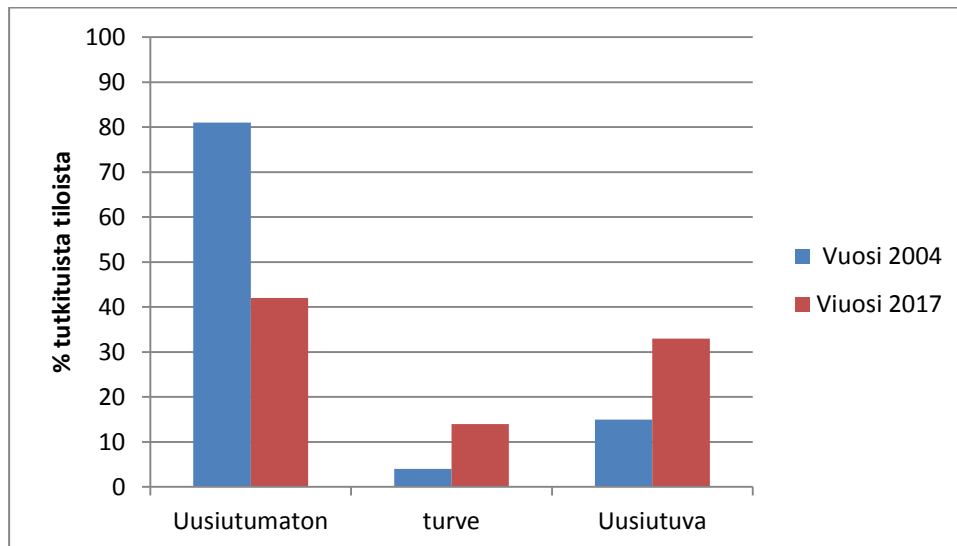
	2004	2017
tomaatti, t	34 600	39 300
Kurkku, t	31 000	42 800
Ruukkusalaatti, t	8 490	11 600

Energiatilaston aineisto muutettiin käytetyiksi energioiksi tilavuus- ja massayksiköistä käyttämällä raportin Alakangas ym. (2016) muuntokertoimia. Arviot turpeen noston kasvihuonekaasupäästöistä saatiin lähteistä Seppälä et al. (2010) ja Pohjala (2014). Muun energian tuotantoketjujen osalta lähteenä oli Ecoinvent-tietokanta sekä Luonnonvarakeskuksen omat, mm. VTT:n Lipasto-tietokantaan perustuvat arviot. Kotimaisen sähkön tuotantoketjun ilmastovaikutus arvioitiin pienentyneen suhteessa kulutettuun kilowattituntimäärään kolmanneksella tarkasteluajanjakson aikana.

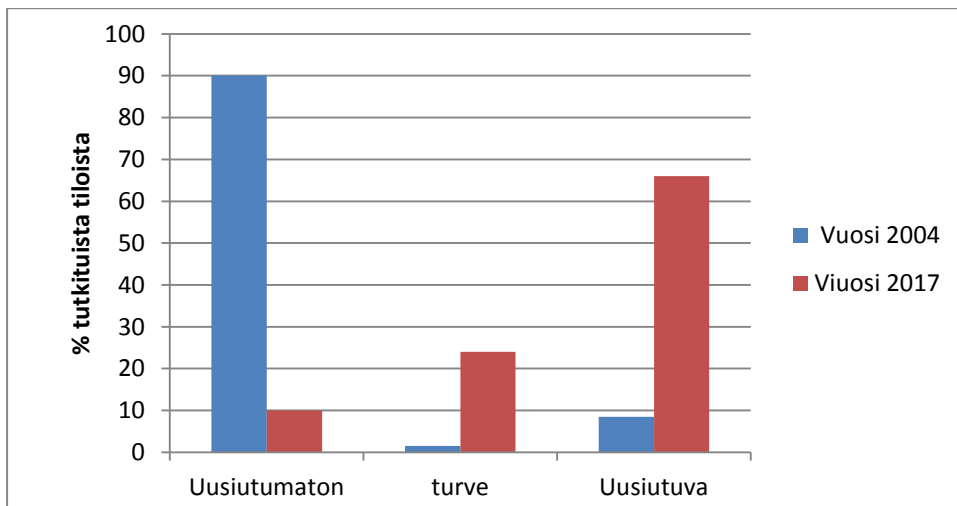
Uusiutuvan energian osuus on tutkituilla kasvilajeilla lisääntynyt selvästi vuoden 2004 tilanteeseen nähden. Tomaatin osalta uusiutuvan energian osuus oli noin kaksinkertainen (kuva 2), kurkulla yli kaksinkertainen (kuva 3) ja ruukkusalaatilla yli seitsemänkertainen (kuva 4). Myös turpeen osuus oli lisääntynyt, tomaatilla 50 %, kurkulla yli kolminkertaistunut ja salaatilla 16-kertaistunut. Uusiutumattoman energian osuus oli kurkulla edelleen 42 % ja tomaatilla 21 %, mutta ruukkusalaatilla vain 10 %



Kuva 2. . Tomaatin tuotannon lämpöenergianlähteiden osuus energiantuotannosta tutkituilla tiloilla, %.



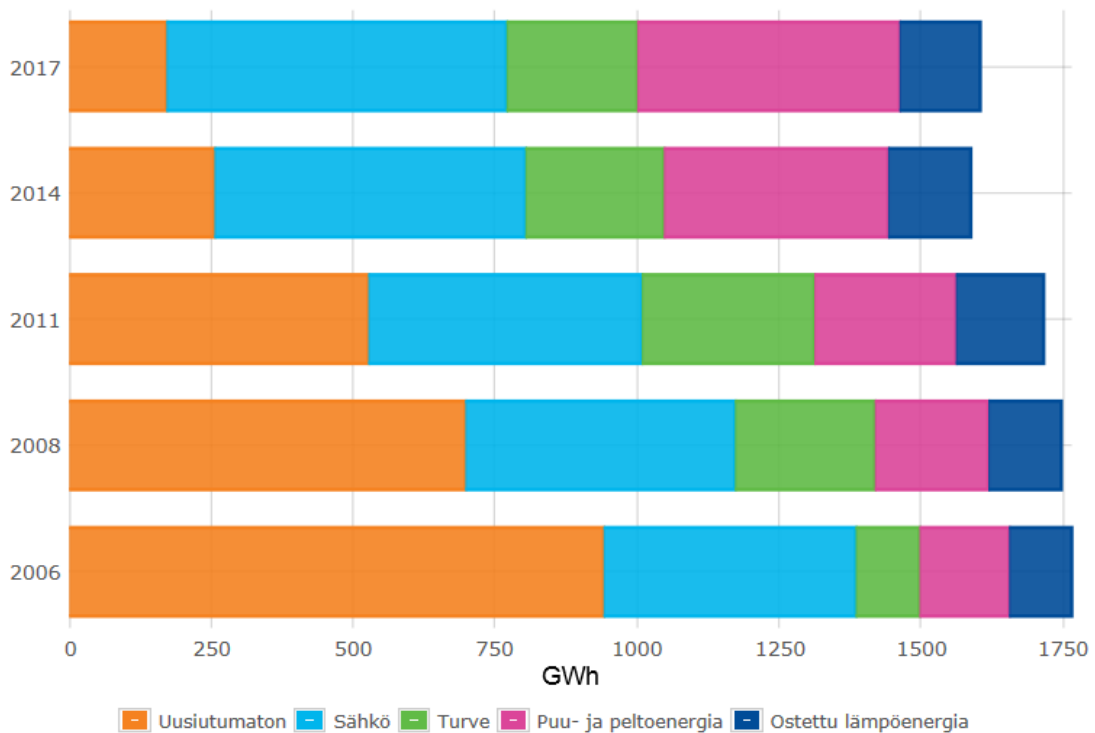
Kuva 3. Kurkun tuotannon lämpöenergianlähteiden osuus energiantuotannosta tutkituilla tiloilla, %.



Kuva 4. Ruukkusalaatin tuotannon lämpöenergianlähteiden osuus energiantuotannosta tutkituilla tiloilla, %

Kuvassa 5 on nähtävissä viimeaikainen kehitys kasvihuoneyritysten energiankulutuksen jakaumasta ja määrästä. Uusiutumattomien lämpöenergianlähteiden osuus on vähentynyt selvästi ja uusiutuvan lisääntynyt, mutta toisaalta turpeen ja sähköenergian kulutus on lisääntynyt.

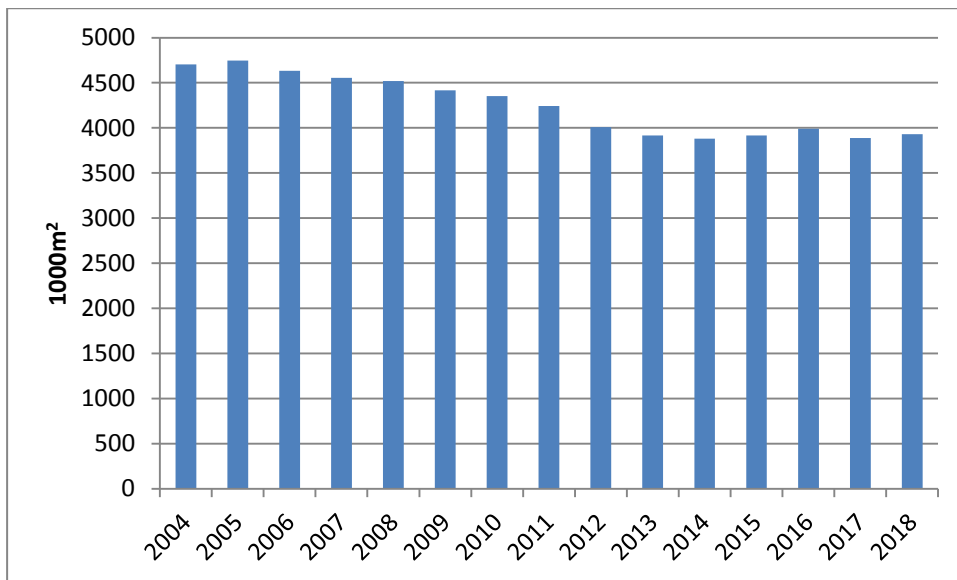
Kasvihuoneyritysten energiankulutus 2017



Lähde: SVT: Luonnonvarakeskus, Puutarhatilastot.

Kuva 5 Kasvihuoneyritysten energiankulutus 2006-2017. Uusiutumaton energia kuvaa tässä fossiilista energiaa. Sähköenergiaa ei ole laskettu primaarienergiana.

Tarkasteluajanjakson alkuaikana kasvihuonetuotannon pinta-ala on hitaasti pienentynyt, mutta tämän vuosikymmenen aikana pysynyt suurin piirtein ennallaan (Kuva 6). Vuoteen 2004 nähden vuoden 2017 kokonaispinta-ala oli 17 % pienempi, kokonaistuotantomäärän ollen nyt noin 24 % suurempi kuin 2004.



Kuva 6. Suomalaisen kasvihuonetuotannon pinta-alat 2004-2018.

2.1.3 Hiilidioksidi

Hiilidioksidin tuotannon ilmastovaikutus ja sen käyttömäärä kasvihuoneviljelyssä saatiin AGA:lta ja sen käyttömäärä jaoteltuna viljelykasveittain tehtiin Timo Kaukorannan mallinnukseen perustuen. Käyttömäärät olivat jonkin verran pienemmät kuin Greenhouse Carbonissa (Yrjänäinen ym. 2013) arvioitiin. Teollisuuden hiilidioksidin osuus arvioitiin olevan 52 % Kauppapuutarhaliiton kyselyyn perustuen.

2.1.4 Siemenet, taimet ja sipulit

Siementen tuotanto jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle ja taimista käytettiin käyttömäärän sekä tuotannon osalta Greenhouse Carbonin tietoja (Yrjänäinen ym. 2013), koska uudempia tietoja ei saatu. Tutkimusryhmä piti kuitenkin mahdollisena, että uusiutuvan energian osuus olisi lisääntynyt myös taimikasvatuksessa.

2.1.5 Kasvualusta

Tässä tutkimuksessa arvioitiin asiantuntija-arvioihin perustuen että koko kasvihuonetuotannon (kaikki vihannekset ja koristekasvit) käyttämä turvemäärä on noin 170 000 – 200 000 m³. Tomaatilla ja kurkulla käytetyn kasvualustan määrä on luokkaa 40 000 m³, josta on kivivillaa noin 70% ja turvetta 30%. Nämä on laskettu Kauppapuutarhaliitossa vuoden 2017 tukipinta-alojen, taimitiheyden, istutuskertojen ja viljelylevyjen sekä taimikuutioiden mittojen mukaan. Kokonaisarvion koko kasvihuonetuotannosta on tehnyt Kekkilän Kari Silokangas.

Turpeen tuotannon ilmastovaikutustiedot perustuivat laajaan selvitykseen, josta selvisi kasvuturpeen kuiva-ainemäärä, kg/m³, suon kasvihuonekaasutase käytön ja ennallistamisen aikana verrattuna suon normaaliin kasvihuonekaasujen vaihtoon, turpeen noston polttoaineenkulutus ja turpeen hajoaminen loppukäytössä. Koko turpeen hiilimäärä arvioitiin hajoavaksi ja tämä päästö laskettiin fossiiliseksi hiilidioksidiksi. Turpeen nosto oletettiin tapahtuvan karulta metsäojitetulta suolta, josta 1/3 metsitetään, 1/3 soistetaan ja 1/3 käytetään peltoviljelyssä.

Kivivillan hiilijalanjälki perustui edelleen artikkeliin (Kool & Blonk, 2011). Kivivilla oletettiin olevan peräisin Alankomaista. Kasvualustojen kuljetukset on mallinnettu käyttäen VTT:n LIPASTO-tietokantaa. Kasvualustojen kuljetukset kotimaassa lasketaan erikseen kuljetusten yhteydessä kasvihuoneen sijainnista riippuen.

2.1.6 Lannoitteet

Kasvihuoneissa käytetään useita erilaisia lannoitteita, joista tässä laskettiin mukaan NPK-lannoitteiden osuus. Kauppapuutarhaliitolta saatiin arvio kullekin kasvilajille neliömetrikohtaisille käytömmääräksi kaliumia, typpeä ja fosforia (Taulukko 10). Nämä suhteutettiin tiedossa oleviin ilmastovaikutuslaskelmiin parhaiten sopivista NPK-lannoitteista siten, että loppumäärä fosforia ja kaliumia laskettiin kalium- ja fosforilannoitteiden ilmastovaikutustietoihin perustuen.

Taulukko 10. Kasvihuonevihannesten lannoitteiden käyttö Kauppapuutarhaliiton arvion mukaan.

	Typpi, t	Fosfori, t	Kalium, t
Tomaatti	320	64	481
Kurkku	200	35	260
Ruukkusalaatti	20	7	45

Typpilannoituksen osalta huomioitiin suorat ja epäsuorat N₂O-päästöt. Suorat päästöt oletettiin olevan 1 % lisäystä tpeestä (IPCC 2006), kun taas huuhtoumista haihtuva dityppioksidi arvioitiin merkityksettömäksi. Myös epäsuorat ammoniakkin ja typen oksidien haihduntaan liittyvät N₂O-päästöt olivat erittäin pienet, mutta huomioitiin laskelmissa.

2.1.7 Pakkaukset

Viljelyssä käytettävien pakkausmuovien määrät saatiin Kauppapuutarhaliitosta (Remes 2018). Tästä saatiin tiedot ruukkumuovien ja muovipussien käyttömääristä ruukkusalaattiviljelyssä sekä myös kurkkumuovien käyttö. Ruukkumuovit ja ruukkusalaattien pakkaukseen käytettävät muovipussit olivat polypropeenia ja kurkkukalvot polyeteeniä. Päästökertoimina polypropeeni ja -eteenigranulaattien kasvihuonekaasuille ja vedenkäytölle käytettiin Euroopan muovintuottajajärjestön APME:n päästökertoimia ja muovien karakterisointikertoimille vesijalanjäkilaskennassa Euroopan keskimääräisiä karakterisointikertoimia.

2.1.8 Jätteet

Jätteiden mallintamisessa huomioitiin kurkun ja tomaatin tuotannossa syntyvä kasvijäte, jonka määrän arvioitiin olevan sama kuin Greenhouse Carbon-projektissa (Yrjänäinen ym. 2013). Kompostoinnin päästöistä oletettiin, että puolet kompostoitavan aineksen tpeestä vapautuu ja 1 % siitä on typpioksiduulia ja toisaalta, että 65 % hiilestä vapautuu ja siitä 3 % on metaania.

Muovijätteiden osalta huomioitiin hyvitykset jätteiden poltossa saatavasta energiasta PEF-ohjeistuksen mukaisesti siten, että hyötysuhde ja saannot vastasivat Vantaan Energian lämpövoimalaitoksen massa- ja energiataseita. Muovien osalta päästöt oletettiin syntyvän muovin sisältämän hiilen palamisesta hiilidioksidiksi.

2.1.9 Kuljetukset ja siirrot

Kulkuneuvojen päästöt mallinnettiin VTT:n ylläpitämän LIPASTO-tietokannan päästökertoimilla, lukuun ottamatta joitakin laivakuljetuksia, joihin käytettiin Ecoinvent-tietokantaa. LIPASTOn tietokanta-arvoihin lisättiin polttoaineiden valmistuksen päästöt.

3. Tutkimustulokset

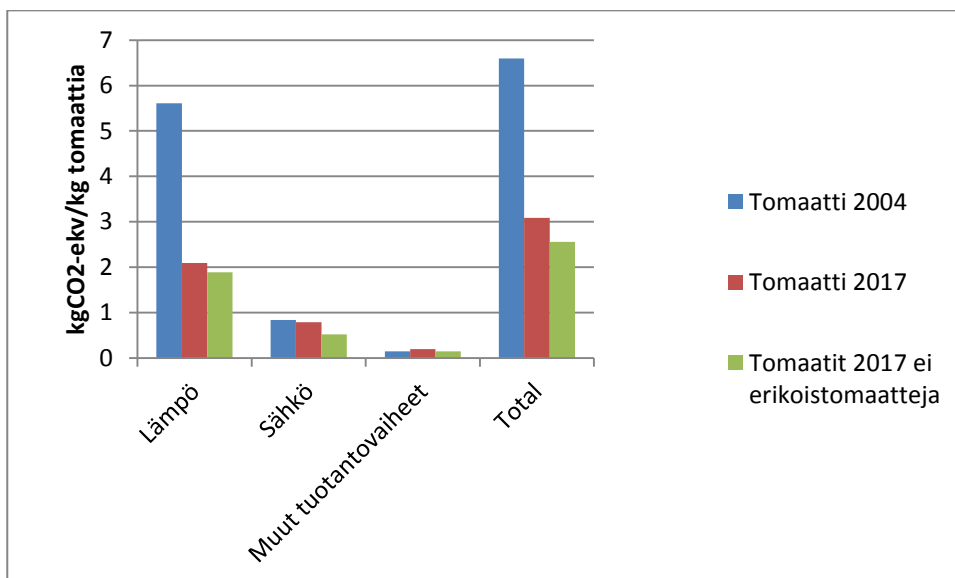
3.1. Tomaatti

Tutkimuksessa mallinnetut kasvihuonetomaatin ilmastovaikutukset on koottu kuvaan 7. Vuoden 2017 keskimääräinen tomaatin ilmastovaikutus oli 3,0 kgCO₂-ekv/kg ja erikoistomaattien osuus vähennettynä 2,6 kgCO₂-ekv/kg. Suhteessa vuoden 2004 arvoon ilmastovaikutus väheni 61 % tavanomaisten tomaattien osalta. Lämmön osuus pieneni 66 % ja sähkön 38 %.

Sähköntuotannon osuus ilmastovaikutuksesta oli 20 %, turpeen 38 % ja muiden fossiilisen 30 % tavanomaisten tomaattien tuotannolle. Muiden kuin energian osuus jäi kuuteen prosenttiin.

Syitä tapahtuneisiin muutoksiin olivat satotason nousu ja muutokset energiantuotantoprofiilissa koskien niin sähkö- kuin lämpöenergiaakin. Sähköenergian osuus laski näistä syistä, vaikka käytetty sähkön määrä neliometriä kohden kasvoikin tarkasteluajanjakson aikana. Lämmön osalta taas turpeen ja uusiutuvien osuus tuotantoprofiilissa oli laskenut lähes puoleen ja lämmön ominaisenergiankulutus laskenut 26 % suhteessa tuotettuun tomaattimäärään.

Vihreän sähkön osuudeksi on laskettu tässä tutkimuksessa 26 % perustuen yhden tuottajaosuuskunnan ilmoitukseen vihreän sähkön käytöstä. Mikäli tähän tutkimukseen olisi saatu aineisto kaikesta suomalaisesta tuotannossa käytetystä vihreästä sähköstä, olisi ilmastovaikutus todennäköisesti alhaisempi.



Kuva 7. Suomessa tuotetun kasvihuonetomaatin tuotantoketjun ilmastovaikutuksia kgCO₂-ekv/kg tomaatteja.

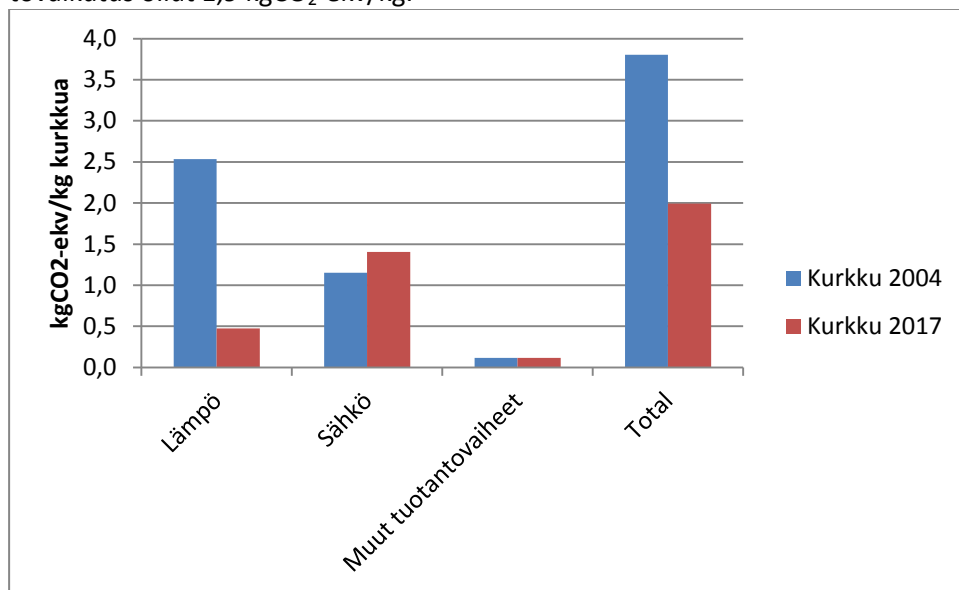
3.2. Kurkku

Kuvassa 8 on tarkasteltu kurkun tuotannon ilmastovaikutuksia. Ilmastovaikutus vuonna 2017 oli 2,0 kgCO₂-ekv/kg ja vuonna 2004 3,7 kgCO₂-ekv/kg. Koko tuotantoketjussa ilmastovaikutus oli laskenut 48 %, lämmön osalta 81 % ja sähkön osuus oli lisääntynyt 22 % (Kuva 4).

Sähköntuotannon osuus oli 71 %, turpeen 7,2 % ja muiden fossiilisten 16 %. Muun tuotantoketjun kuin energioiden osuus oli 5 %.

Kurkun kohdalla tärkeimpiä muutoksia oli satotason kasvu ja sitä kautta pienempi lämpöenergiakulutus suhteessa tuotemäärään, kuten myös muutokset energiantuotantoprofiilissa. Suurin osa ilmastovaikutuksesta oli peräisin sähköntuotannosta ja sähkönkulutus viljeltyyn pinta-alaan nähden olikin yli nelinkertaistunut. Tähän tutkimukseen saatiin yhdeltä tuottajalta tiedot vihreän sähkön käytöstä, josta saatiin vihreän sähkön osuudeksi 14,2 % sähkönkulutuksesta. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan ollut

mahdollista kerätä tietoa kaikesta vihreän sähkön osuudesta. Jos tutkimukseen olisi saatu sisällytettyä kaikki vihreän sähkön osuus, olisi sekä sähköntuotannon osuus että kurkun tuotannon kokonaisilmastovaikutus ollut alhaisempi. Jonkin verran epävarmuustekijöitä aiheutti myös yksi suuri kurkkutila, jonka energainkulutusluvut perustuivat mallinnukseen. Mikäli tämä yritys olisi jätetty pois, olisi kurkun ilmastovaikutus ollut 1,9 kgCO₂-ekv/kg.



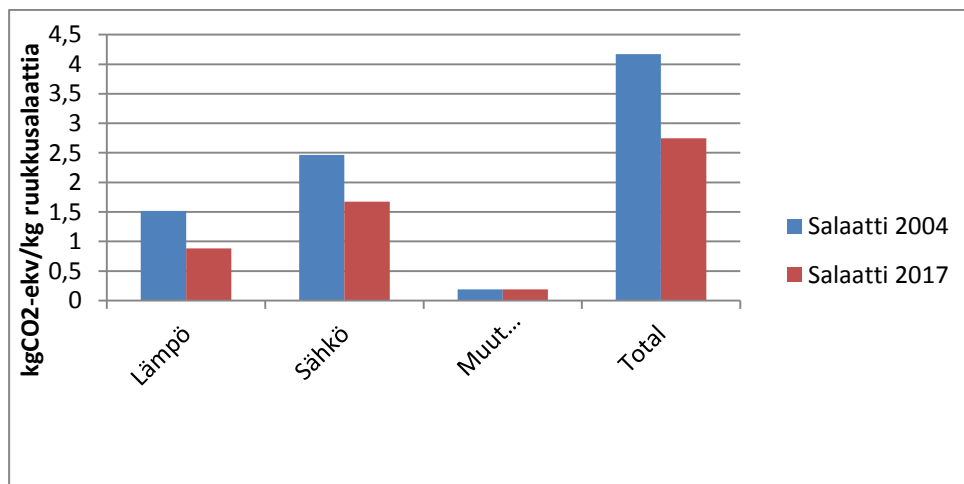
Kuva 8. Suomessa tuotetun kasvihuonekurkun tuotannon skenaarioiden ilmastovaikutukset 2004 ja 2017.

3.3. Ruukkusalaatti

Suomessa kasvihuoneessa tuotetun ruukkusalaatin ilmastovaikutus oli 2,7 kgCO₂-ekv/kg. Suhteessa vuoden 2004 tilanteeseen ilmastovaikutus oli pienentynyt 35 %, lämmön 42 % ja sähkön 32 % (Kuva 9).

Ilmastovaikutuksesta sähkön osuus oli 61 %, turpeen 23 % ja muun fossiilisen 8 %. Muiden tuotantoketjun vaiheiden osuus oli 6 %.

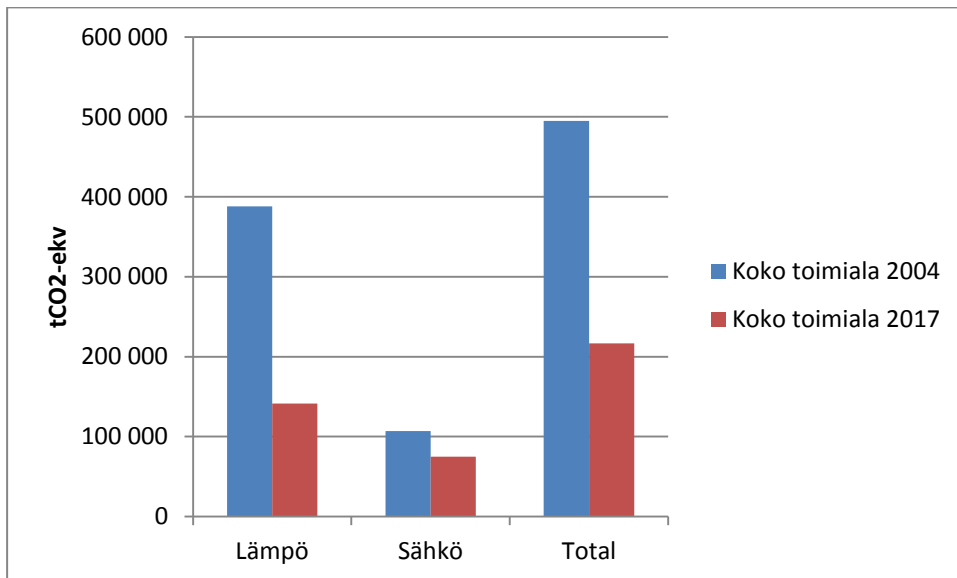
Lämmön osuuden muutos selittyy energiaprofiilin muutoksella: uusiutuvan osuus kasvoi tarkasteluvälillä 8,5 %:sta 61 %:in ja uusiutumattoman osuuden osuus väheni 90 %:sta 12 prosenttiin. Kuitenkin turpeen osuus lisääntyi 1,5 %:sta 27 %:in. Energian ominaiskulutus kasvoi sekä lämmön että sähkön osalta 30 %. Huomattavaa on muihin tarkasteluissa oleviin kasveihin nähden sähköntuotannon suuri osuus ilmastovaikutuksesta. Sähkön osuus pieneni kuitenkin suhteessa vuoden 2004 tilanteeseen johtuen siitä, että kolmen merkittävän ruukkusalaattiyrityksen käyttämä vihreä sähkö huomioitiin laskelmissa.



Kuva 9. Keskimääräisen kotimaisen ruukkusalaatin tuotantoketjun ilmastovaikutus 2004 ja 2017.

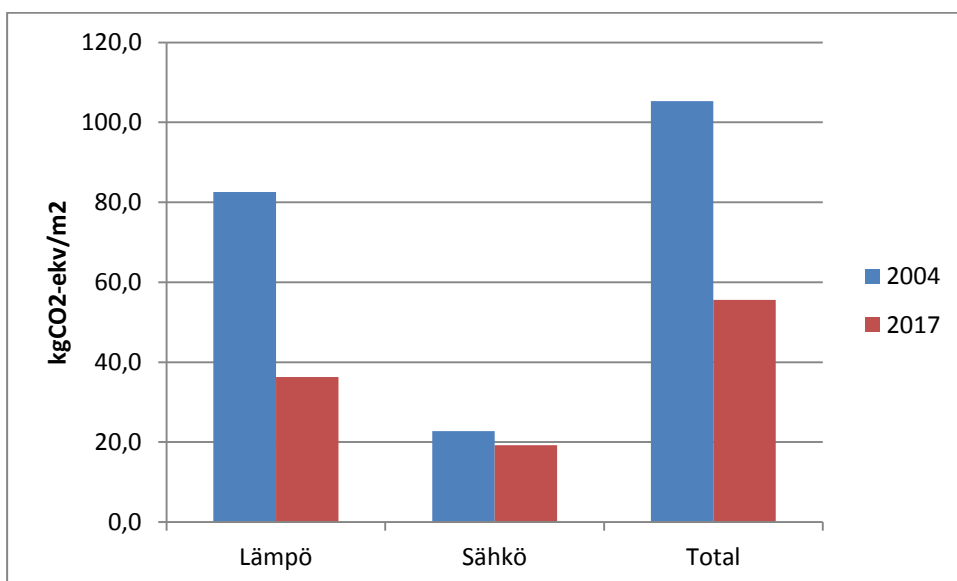
3.4. Koko toimiala

Koko toimialan yhteenlaskettu ilmastovaikutus mukaan lukien myös koristekasvit oli vuonna 2017 216 000 tonnia CO₂-ekv ja vuonna 2004 495 000 tonnia CO₂-ekv (Kuva 10). Ilmastovaikutus laski 56 %, lämmön osuus 63 % ja sähkön osuus 30 %. Vuoden 2017 osalta kasvihuonealan osuus valtakunnan kokonaispäästöistä oli puoli prosenttia ja maatalouden kokonaispäästöistä neljä prosenttia (Tilastokeskus 2018).



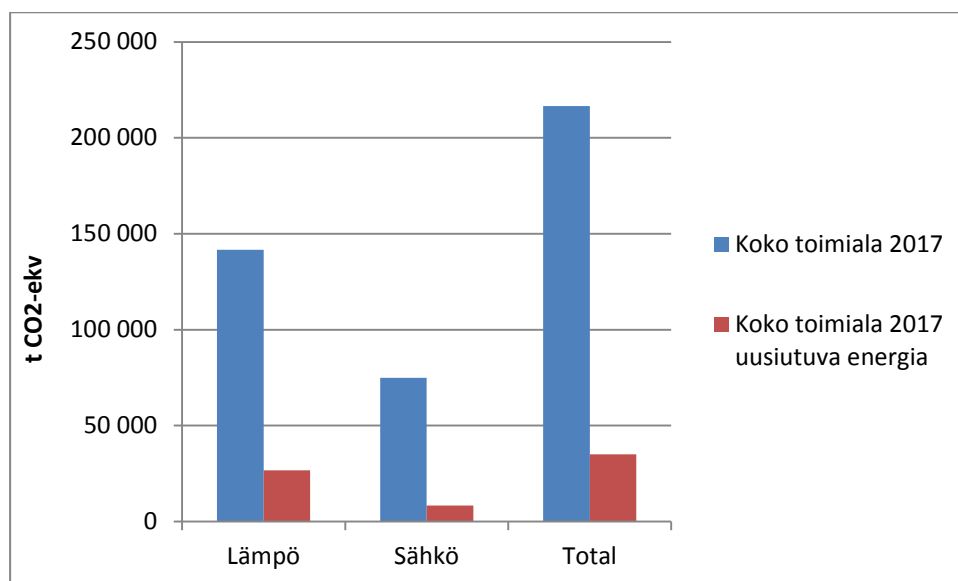
Kuva 10. Koko suomalaisen kasvihuonetuotannon ilmastovaikutus vuosina 2004 ja 2017, t CO₂-ekv.

Kuvassa 11 on laskettu koko kasvihuonetuotannon ilmastovaikutus viljeltyjä neliömetrejä kohden suhteutettuna, joka oli 55,6 kg CO₂-ekv/m². Lämmöntuotannon osuus on tässä tarkastelussa laskenut 56 %, mutta sähkön vain 15 %. Yhteensä kasvihuonetuotannon ilmastovaikutus suhteessa viljeltyyn neliömetrimäärään on laskenut 47 %.



Kuva 11. Koko suomalaisen kasvihuonetuotannon ilmastovaikutus suhteutettuna viljelypinta-alaan vähennyspotentiaali 2004 ja 2017

Laskettaessa päästövähennysmahdollisuuksia uusiutuvaan energiaan siirtyminen vähentäisi päästöjä kaikkein eniten. Siirtyminen uusiutuvaan sähköön vähentäisi sähköntuotannon kasvihuonekaasupäästöjä 89 % ja edelleen käytössä olevasta turpeesta ja muista uusiutumattomista polttoaineista hakkeeseen siirtyminen lämmöntuotannon päästöjä 81 %. Koko tuotantoalalle päästövähennys olisi 84% (Kuva 12).



Kuva 12. Koko suomalaisen kasvihuonetuotannon päästövähennyspotentiaali uusiutuvaan energiaan siirtymisellä 2017, t CO₂-ekv.

3.5. Vesijalanjälki

Kurkun vesijalanjäljeksi muodostui tässä tarkastelussa AWARE-menetelmällä laskettuna kotimaiselle kurkulle 19,4 l/kg, tomaatille 34,7 l/kg ja salaatile 36 l/kg. Vesijalanjälki oli kurkulla ja tomaatille lähes sataprosenttisesti peräisin kastelusta, mutta salaatilla muovin osuus oli 8 %. Tämä johtui siitä, että muovin osuus salaatin tuotantoketjussa oli suuri ja karakterisointikertoimena käytetty yleiseurooppalainen karakterisointikerroin oli 11-kertainen suomalaiseen karakterisointikerroimeen nähden.

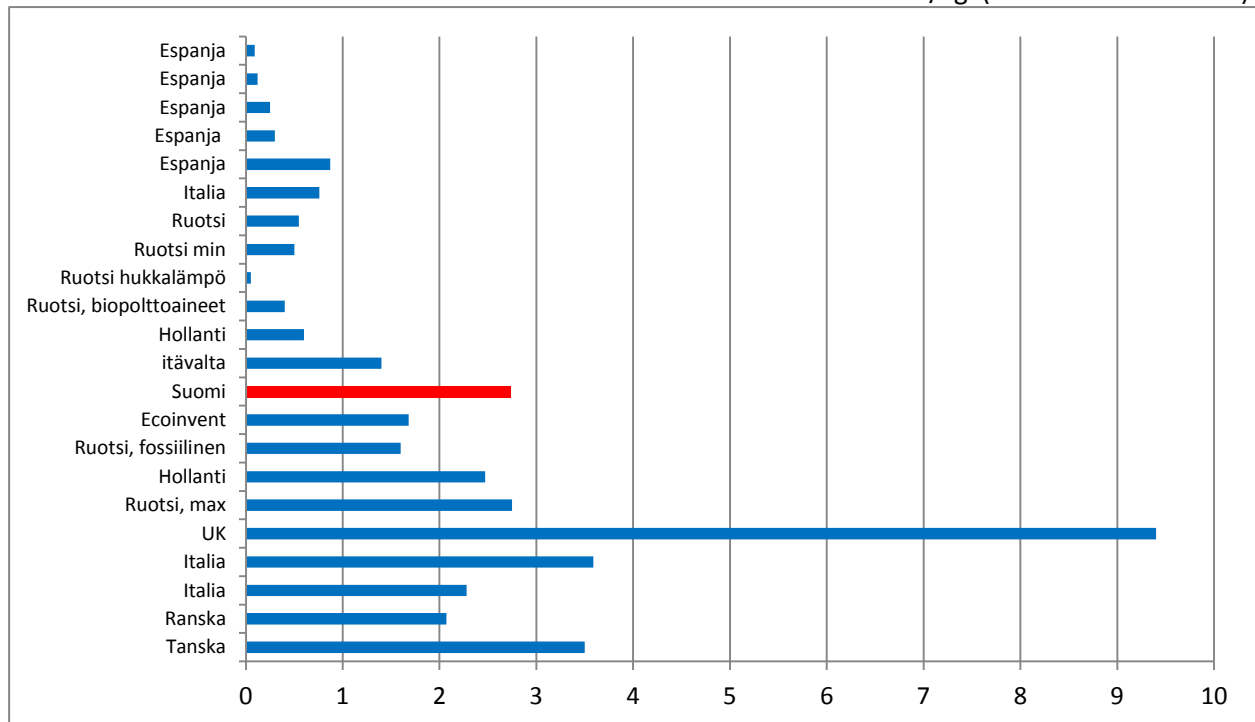
3.6. Vertailua muihin tutkimuksiin

Tutkimuksia tomaatin ilmastovaikutuksista on tehty varsin runsaasti. Huomattavaa että erilaiset rajaukset ja laskentamenetelmät eri tutkimuksissa saat mahdollisesti tavat vaikuttaa vertailukelpoisuuteen (Kuva 13). Kasvihuonetuotannossa vaihteluväli oli pääasiassa 1,6-9,4 kgCO₂-ekv/kg, joten tämän tutkimuksen arvo edusti jokseenkin tyypillistä tuotantoa ilmastovaikutuksen suhteen (mm. Boulard et al. 2011, Audsley et al. 2009, Mogensen et al. 2009, Pluimers et al. 2001, Theurl et al. 2014, Almeida et al. 2014). Huomattavaa on kuitenkin että Iso-Britannian luku 9,4 kgCO₂-ekv/kg on todennäköisesti laskettu eri menetelmällä ja muut pohjoismaiset tutkimukset eivät perustu ympärivuotiseen viljelyyn, eli eivät siten ole täysin vertailukelpoisia tämän tutkimuksen kanssa. Ilman lämpöenergiaa kasvatettu espanjalainen (Anton et al. 2004, Torrellas et al. 2012), italialainen ja iranilainen (Zarei et al. 2017) tomaatti sekä uusiutuvilla sekä luomutuotannolla kasvihuonetuotannossa tuotettu ruotsalainen tomaatti (Bosoma et al. 2018) olivat välillä 0,15-0,5 kgCO₂-ekv/kg, mutta Italiasta ja Espanjasta on ilmoitettu myös arvoja välillä 0,75-0,9 kgCO₂-ekv/kg (Theurl et al. 2014). Huomattavaa on, että Greenhouse Carbonissa laskettu skenaario kokonaan uusiutuvilla energialla tuotetulla kotimaiselle tomaatille oli 0,38 kgCO₂-ekv/kg (Yrjänäinen ym. 2013). Veden kulutukseksi Pohjois-Italiassa Almeida et al. (2014) ilmoittavat 122,6 l/kg, josta viljelyn osuus on 31 l/kg tomaatteja. Kun tämän kertoo italian AWARE-karakterisointikerroimella, saadaan tulokseksi 1023 l/kg.

Kurkun osalta vertailuaineistoa oli niukasti, sveitsiläiselle kurkulle Ecoinventistä ilmoitetaan arvo 2,1 kgCO₂-ekv/kg (Stoessel et al. 2012), mikä oli lähes sama kuin Suomessa, mutta Iranissa viljelty kurkku sai yhden tutkimuksen mukaan tuloksen 0,07 kgCO₂-ekv/kg (Zarei et al. 2017) ja toisessa tutkimuksessa 0,25 kgCO₂-ekv/kg (Khosnevisnan et al. 2014). Stoessel et al. (2012) ilmoittavat lisäksi espanjalaiselle kurkulle tuloksen 0,3 kgCO₂-ekv/kg ja ilman lämmitystä kasvaneelle sveitsiläiselle kurkulle 0,2 kgCO₂-ekv/kg.

Salaatin osalta löytyi aineistoa salaatin kausiviljelystä Sveitsissä, jossa talvikautena ilmastovaikutus oli enimmillään 7 kgCO₂-ekv/kg, mutta kesäkautena 0,18 kgCO₂-ekv/kg Stoessel et al. (2012):n mukaan. Vastaavasti Hospido et al. (2009) saivat tulokseksi talvikauden ilmastovaikutukseksi Britanniassa 1,5-3,7 kgCO₂-ekv/kg ja kesäkaudeksi 0,4-0,5 kgCO₂-ekv/kg. Avomaantuotannossa päästään hyvin alhaiseen ilmastovaikutukseen Espanjassa ja Kreikassa Bartzas et al. (2015):n mukaan jopa tasoon 0,2 kgCO₂-ekv/kg.

Vesijalanjäljeksi italialaiselle tomaatille Almeida et al. (2014) ilmoittavat kasvihuonetuotannossa 122 l/kg, mikä on kolme ja puoli kertaa enemmän kuin tässä tutkimuksessa. Viljelyn osuus on 31,6 l/kg, kun taas tässä tutkimuksessa se oli 19,6 l/kg. Espanjasta on myös ilmoitettu kasvihuoneessa tuotetulle tomaatille veden kulutukselle arvo 40 l/kg (Reina-Sanchez et al. 2005). Käytettäessä AWARE-menetelmän karakterisointikertoimia espanjalaisen tomaatin vesijalanjälki on siis noin 91 kertaa korkeampi kuin Suomessa. Ruotsalaisessa luomutuotannossa kasteluveden määrä oli 12 l/kg (Bosoma et al. 2018).



Kuva 13. Tomaatin ilmastovaikutuksista muista tutkimuksista, kgCO₂-ekv/kg.

4. Johtopäätökset

Tutkimuksessa laskettiin ilmastovaikutus kotimaisissa kasvihuoneissa tuotetuille kurkulle, tomaatille ja salaatile. Tomaatin ilmastovaikutukselle saatiin tulos 2,6 kgCO₂-ekv/kg, kun erikoistomaattien osuus poistettiin, kurkulle 2,0 kgCO₂-ekv/kg ja salaatile 2,7 kgCO₂-ekv/kg. Kaikkien tuotteiden ilmastovaikutukset olivat alentuneet vuoteen 2004 nähden merkittävästi, tomaatin 61 %, kurkun 45 % ja salaatin 18 % johtuen pääosin lämmityspolttoaineiden muuttamisesta fossiilisista uusiutuviin. Salaatin pienempi muutos johtui sähköntuotannon suuremmasta osuudesta viljelyssä kuin tomaatilla ja kurkulla, mutta toisaalta myös sähköntuotannon osuus laski johtuen kolmen merkittävän ruokusalaattitilan käyttämän vihreän sähkön huomioimisesta. Sähköntuotannon osuus ilmastovaikutuksesta jopa nousi hieman kurkun osalta. Huomattavaa on kuitenkin, että vain osa kasvihuonetilojen käyttämästä vihreästä sähköstä pystyttiin huomioimaan tässä tutkimuksessa. Tarkempi selvitys vihreän sähkön osuudessa suomalaisen kasvihuonetuotannon sähkön käytöstä olisi vaatinut laajempaa tutkimusta kasvihuonetiloille ja siihen ei

tässä tutkimuksessa ollut mahdollisuuksia. Todelliset kattavat sähköprofiilit ja niihin kuuluvat vihreän sähkön sopimukset mahdollisesti laskisivat hiilijalanjälkeä.

Koko tuotantoalan ilmastovaikutus oli 216 000 t CO₂-ekv, ja vuodesta 2004 ilmastovaikutus oli laskenut 56 %. Viljelyneliömetreihin suhteutettuna ilmastovaikutus oli koko toimialalla 55,6 kgCO₂-ekv/m². Suurin ilmastovaikutus kasvihuonetuotannon energiankäytöstä vuonna 2017 aiheutui turpeen ja sähkön käytöstä: turpeen osuus oli 39 % ja sähkön 35 %. Uusiutumattoman energiain osuus oli 24 %, kun se vuoden 2004 tilanteessa oli 67 %. Pääpaino alan kasvihuonekaasupäästölähteistä on siis siirtynyt öljypohjaisten polttoaineiden käytöstä turpeeseen ja sähköntuotantoon.

Laskettaessa päästövähennysmahdollisuuksia uusiutuvaan energiaan siirtyminen vähentäisi päästöjä koko toimialalle kaikkein eniten. Siirtyminen uusiutuvaan sähköön vähentäisi sähköntuotannon kasvihuonekaasupäästöjä 89 % ja hakkeeseen siirtyminen lämmöntuotannon päästöjä 81 %. Koko toimialalle päästövähennys olisi 84 %. Sen sijaan muiden tuotantovaiheiden kuin energian osuus ilmastovaikutuksesta oli pieni. Kuitenkin näilläkin tekijöillä saattaa olla merkitystä ilmastovaikutukseen, sillä jotkut muissa tuotantovaiheissa tehdyt ratkaisut saattava lisätä satotasoja ja pienentää sitä kautta ilmastovaikutusta. Tämän tutkimuksen pääpaino oli kuitenkin energiankulutuksen ilmastovaikutusten selvittämisessä ja muiden viljelytoimenpiteiden vaikutus jäi jatkotutkimuksiin.

Viitteet

- Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT technology 258.
- Almeida, J., Achten, W. M. J., Verbist, B., Reindert, F. H., Schrevens, E. & Muys, B. 2014. Carbon and Water Footprints and Energy Use of Greenhouse Tomato Production in Northern Italy. *Journal of Industrial Ecology* 18(6):898-908
- Antón, M. A., Castells, F., Montero, J. I. & Muñoz, P. 2004. Most significant substances of LCA to Mediterranean Greenhouse Horticulture. Teoksessa: Halberg, N. (toim.) *Life Cycle Assessment in the Agri-food sector. Proceedings from the 4th International Conference, October 6-8, 2003, Bygholm, Denmark: 199-204.*
- AGA. 2012. Hiilidioksidilannoitus. Saatavissa: http://www.aga.fi/international/web/lg/fi/like35agafi.nsf/docbyalias/sol_co2_fertil
- Audsley, E., Brander, M., Chatterton, J., Murphy-Bokern, D., Webster, C. & Williams, A. 2009. How low can we go? An assessment of greenhouse gas emissions from the UK food system and the scope to reduce them by 2050. WWF-UK.
- Barzas, G., Zaharaki, D. & Komnitsas K. 2015. Life cycle assessment of open field and greenhouse Life cycle assessment of open field and greenhouse. *Agriculture* 2 (2015) 191-207.
- Bosoma, T., Gebresenbet, G. 2018 Life cycle analysis of organic tomato production and supply in Sweden
- Boulard, Raeppe, Brun, Lecompte, Hayer, Carmassi, Gaillard 2011. Environmental impact of greenhouse tomato production in France. *Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 2011, 31 (4), pp.757-777.*
- European Commission 2012. Product Environmental Footprint (PEF) Guide. European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability 17.7.2012.
- Hartikainen, H., Katajajuuri, J. -M., Pulkkinen, H., Saarinen, M., Silvenius, F., Usva, K. & Yrjänäinen, H. 2012. Suositus elintarvikkeiden ilmastovaikutusten arvioimiseksi elinkaariarvioinnilla. Veriso 1. MTT, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Vastuullinen ruokaketju – hyvinvoiva kuluttaja, Helsinki 7.11.2012, 37s. Saatavissa: https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/hankkeet/foodprint/laskentasuositus/Suositus_071112_Final.pdf.
- Hortoinfo 2019. <https://www.hortoinfo.es/index.php/8033-prod-pep-ue-080419>, vierailut 29.4.2019.
- Horti daily 2019. <https://www.hortidaily.com/article/9091950/the-netherlands-produces-716-21-more-cucumbers-per-square-meter-than-spain/>
- Hospido, A., Mila I Canals, L., McLaren, S., Truninger, M., Edwards-Jones, G. & Clift, R. 2009. The role of seasonality in lettuce consumption: a case study of environmental and social aspects. *International Journal of Life Cycle Assessment* (2009) 14: 381–391.
- IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006), Volume 5:Waste, Chapters 2-4, Saatavissa: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>

- IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006), Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapters 11 Chapter 11: N₂O Emissions from Managed Soils, and CO₂ Emissions from Lime and Urea Application, Saatavilla: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf
- [ISO] International Organization for Standardization. 2006a. ISO 14040: Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. Geneva (CH): ISO. 20 p.
- [ISO] International Organization for Standardization (2006b) ISO14044: Environmental management – Life Cycle assessment. – Requirements and guidelines. Geneva (CH): ISO. .46pp.
- Katajajuuri, J.-M., Mikkola, A., Näkkilä, J. & Voutilainen, P. 2007. Environmental impacts of Finnish greenhouse cucumber production systems
- Keskitalo, A. 2009. Environmental Impacts of Conventionally and Year-round produced greenhouse Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Production Chain in Finland. Master's thesis, University of Helsinki.
- Khoshnevisan, B. Rafiee, S. Omid, M. Mousazadeh, H. Clark, S. 2014. Environmental impact assessment of tomato and cucumber cultivation in greenhouses using life cycle assessment and adaptive neuro-fuzzy inference system. *Journal of Cleaner Production* 73(pp. 183-1922014)
- Kool, A. & Blonk, H. 2011. An LCA of stone wool and coco substrate as growing media in the Netherlands. Blonk Milieu Advies BV, The Netherlands.
- Lehto, T. 2005. Biojätteiden kierrätys ja ravinteiden virrat paikallisessa ruokajärjestelmässä. Etelä-Savon ympäristökeskuksen moniste 64. Mikkeli.
- LIPASTO. 2019. VTT. Saatavissa: www.lipasto.vtt.fi.
- Luke 2019. Puutarhatilastot 2017. Luonnonvarakeskus, tilastopalvelut. Helsinki 2019. Saatavissa: <https://stat.luke.fi/puutarhatilastot>
- Mogensen, L., Hermansen, J.E., Halberg, N., Dalgaard, R., Vis, J.C., Smith, B. G. Life cycle assessment across the food supply chain. Cheryl J. Baldwin (Ed.), *Sustainability in the Food Industry*, IFT Press. Wiley-Blackwell (2009), pp. 115-144
- Pluimers, J. C., Bakker, E. J., Challa, H., Hordijk, L. & Kroeze, C. 2001. Environmental systems analysis of Dutch tomato cultivation under glass III: Analysis at the national scale. Teoksessa: Pluimers, J. 2001. An environmental systems analysis of greenhouse horticulture in the Netherlands –the tomato case. Tohtorin väitöskirja. Wageningen. Netherlands.
- Pohjala, M. 2014. Mikä on energia- ja kasvuturpeen elinkaaren ympäristövaikutus.? Pro gradu tutkielma, Helsingin yliopisto
- Reina-Sánchez, A., Romero-Aranda, R., & J. Cuartero, J. 2005. Plant water uptake and water use efficiency of greenhouse tomato cultivars irrigated with saline water. *Agric. Water Manag.*, 78 (2005), pp. 54-66
- Saarinen, M., Kurppa, S., Nissinen, A. & Mäkelä, J. 2011 (toim.). Aterioiden ja asumisen valinnat kulutuksen ympäristövaikutuksen ytimessä. Suomen ympäristö 14. Helsinki 2011. Ympäristöministeriö. Saatavilla: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=127955&lan=fi>
- Seppälä, J., Grönroos, J., Koskela, S., Holma, A., Leskinen, P. & Liski, P. 2010. Climate impacts of peat fuel utilization chains – a critical review of the Finnish and Swedish life cycle assessments .*The Finnish environment* 16/2010. Suomen ympäristökeskus

- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Alley, R.B., Berntsen, T., Bindoff, N.L., Chen, Z., Chidthaisong, A., Gregory, J.M., Hegerl, G.C., Heimann, M., Hewitson, B., Hoskins, B.J., Joos, F., Jouzel, J., Kattsov, V., Lohmann, U., Matsuno, T., Molina, M., Nicholls, N., Overpeck, J., Raga, G., Ramaswamy, V., Ren, J., Rusticucci, M., Somerville, R., Stocker, T.F., Whetton, P., Wood, R.A. ja Wratt, D. 2007. Technical Summary. Teoksessa: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. s. 19-91.
- Stoessel, F., Juraske, R., Pfister, S., Hellweg, S. 2012. Life Cycle Inventory and Carbon and Water Footprint of Fruits and Vegetables: Application to a Swiss Retailer. *Environmental Science & Technology* 6(46) 3253-3262.
- Theurl, M. C., Haberl, H. H., Erb, K-H. & Linderthal, T. Contrasted Greenhouse gas Emissions from local versus long-range tomato production. *Agronomy for sustainable Development* 34(3) 593-602.
- Tilastokeskus 2018. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2017.
https://tilastokeskus.fi/til/khki/2017/khki_2017_2018-05-24_kat_001_fi.html. Päivitetty 24.5.2018.
- Torrellas, M., Antón, A., López, J.C., Baeza, E. J., Pérez Parra, J., Muñoz, P. & Montero, J. I. 2012. LCA of a tomato crop in a multi-tunnel greenhouse in Almeria. *Int J Life Cycle Assess*
- van der Putten, K. & Wildschut, J. 2012. Carbon Footprint bolbloemen. Praktijkonde Williams AG, Audsley E, Sandars DL (2006) Determining the environmental costs and resources use in the production of agricultural and horticultural commodities. Main Report. Defra Research Project ISO205. Cranfield University and Defra, Bedford.
 Available at: <http://www.defra.gov.uk>
- Yrjänäinen, H., Silvenius, F., Kaukoranta, T., Näkkilä, J., Särkkä, ., Tuhkanen, E.-M., 2013. Kasvihuonetuotteiden ilmastovaikutuslaskenta : loppuraportti. MTT Raportti 83: 43 s.
- Zarei, M. J., Kazerni M. & Marzhan, A. 2017. Life cycle environmental impacts of cucumber and tomato production in open-field and greenhouse. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* xxx(2017) xxx-

