

Kasvihuonetuotteiden ilmastovaikutuslaskenta

Loppuraportti

Heli Yrjänäinen, Frans Silvenius, Timo Kaukoranta, Juha Näkkilä,
Liisa Särkkä ja Eeva-Maria Tuhkanen



**Kasvihuonetuotteiden
ilmastovaikutuslaskenta**

Loppuraportti

**Heli Yrjänäinen, Frans Silvenius, Timo Kaukoranta,
Juha Näkkilä, Liisa Särkkä ja Eeva-Maria Tuhkanen**

ISBN 978-952-487-433-5 (painettu julkaisu)

ISBN 978-952-487-434-2 (verkkajulkaisu)

ISSN 1798-6419

www-osoite: <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti83.pdf>

Copyright: MTT

Kirjoittajat: Heli Yrjänäinen, Frans Silvenius, Timo Kaukoranta, Juha Näkkilä, Liisa Särkkä ja
Eeva-Maria Tuhkanen

Julkaisija ja kustantaja: MTT, 31600 Jokioinen

Julkaisuvuosi: 2013

Kannen kuva: Yrjö Tuunanen

Painopaikka: Juvenes Print – Suomen Yliopistopaino Oy

Kasvihuonetuotteiden ilmastovaikutuslaskenta

Yrjänäinen, Heli¹⁾, Silvenius, Frans¹⁾, Kaukoranta, Timo²⁾, Näkkilä, Juha³⁾, Särkkä, Liisa³⁾ & Tuhkanen, Eeva-Maria³⁾

¹⁾MTT Biotekniikka- ja elintarviketutkimus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

²⁾MTT Kasvintuotannon tutkimus, Puutarha, Tietotie, 31600 Jokioinen

³⁾MTT Kasvintuotannon tutkimus, Puutarha, Toivonlinnantie 518, 21500 Piikkiö
etunimi.sukunimi@mtt.fi

Tiivistelmä

Tämä raportti käsittää Greenhouse Carbon-tutkimusprojektissa tehtyjen ilmastovaikutuslaskentojen tulokset, joita on tehty viidelle kasvihuonetuotteelle. Tuotteet olivat tomaatti, kurkku, salaatti, pauliinabegonia ja tulppaani, ja tutkittuja kasvihuonetiloja oli yhteensä 16 siten, että salaatti-, tomaatti-, ja kurkkutiloja oli neljä, tulppaanitiloja kaksi ja kukkatiloja kaksi. Laskentojen pohjalta hankkeessa muodostettiin ilmastovaikutuslaskuri kasvihuonetilojen käyttöön. Laskuri on hankittavissa osoitteesta www.kauppuutarhaliitto.fi -> hiilijalanjälki.

Tutkittavista ympäristövaikutuksista tarkastelu rajattiin ilmastovaikutuksiin. Kasvihuonekaasuista laskentaan huomioitiin kolme merkittävintä, joita ovat hiilidioksidi, metaani sekä dityppioksidi. Tarkasteltavia toimintoja olivat taimikasvatus, kalkin, lannoitteiden ja torjunta-aineiden valmistus, kasvatusruukkujen valmistus ja loppukäyttö, hiilidioksidin lisäys, kastelu, valaistus, lämpöerhot ja jäähdytysjärjestelmät, sähkön ja lämmön kulutus ja tuotanto, kasvualustan tuotanto ja loppukäsittely, valmiiden tuotteiden pakkaus ja kuljetus, sekä jätehuolto ja kierrätys. Tutkimuksen ulkopuolelle rajattiin kaupan ja kuluttajan toiminnot ja jakelu, mikä oli ainoa merkittävä osuus, jossa tutkimus poikkesi suomalaisten elintarvikkeiden ilmastovaikutuslaskennan laskentasuosituksesta. Lisäksi infrastruktuurin valmistus ja ylläpito jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle.

Tarkasteltavat yritykset valittiin siten, että ne poikkesivat toisistaan jonkin verran energiankäyttöprofiililtaan ja viljelykuukausiltaan. Lisäksi laskettiin skenaarioita, joissa käytettiin tämän tutkimuksen keskimääräisiä energiankäyttömääriä ja eri energianlähteitä. Muutamista yrityksistä saatiin myös kuukausittaisia energiankäyttöarvoja, joiden avulla pystyttiin varioimaan karkeasti kasvihuonetuotannon vuodenaikaisvaihtelun merkittävyyttä tuotannon ilmastovaikutukseen.

Tutkimustulosten mukaan energiantuotannon päätöt ovat ylivoimaisesti suurin yksittäinen päästölähde kasvihuonetuotteiden ilmastovaikutuksia laskettaessa. Tutkituissa tomaattiyrityksissä kasvihuonekaasupäästöjen suurin aiheuttaja oli kaikissa tapauksissa lämmöntuotanto, jonka osuus oli 75–96 %. Kurkun osalta sähköenergian osuus oli suuremmasta valotustarpeesta johtuen suurempi kuin tomaatilla ja yhteensä energiantuotannosta aiheutui 75–96 prosenttia päästöistä sähkön- ja lämmöntuotannon osuuksien vaihdellessa yrityksestä riippuen. Salaatin kohdalla energiantuotannon osuus oli 52–95 % ja begonian osalta 70–78 %. Tulppaanien tuotannossa myös sipulin kasvatuksen ja varastoinnin osuus oli merkittävä.

Toinen merkittävä tutkimustulos oli se, että suomalaisten kasvihuonetuotteiden ilmastovaikutus vaihtelee tilakohtaisesti erittäin merkittävästi. Tomaatin tuotantoketjun ilmastovaikutus vaihteli pilot-tiloilla välillä 1360–3680 kgCO₂-ekvivalenttia/1000 kg tomaattia, kurkun 540–3260 kgCO₂-ekvivalenttia/1000 kg kurkkua ja salaatin 107–829 kgCO₂-ekv./1000 kpl ruukkusalaattia. Kukkatilojen osalta tulppaanitilojen osalta hajonta oli myös merkittävään 1474–3776 kg CO₂-ekv/1000 10 kpl:n tulppaaninippuja ja pauliinabegonian osalta 665–772 kg CO₂-ekv/1000 kpl begoniaruukkuja. Käytettäessä pelkästään uusiutuvaa energiaa tulokseksi saatiin 370 kgCO₂-ekv /t tomaattia, 335 kg CO₂-ekv kurkkua ja 59 kg/1000 kpl ruukkusalaattia. Tulppaanin ilmastovaikutus uusituvalla energialla ja keskimääräisellä energiankulutuksella oli 1632 kg CO₂-ekv/1000 10 kpl:n tulppaaninippuja ja pauliinabegonian 227 kg CO₂-ekv/1000 kpl begoniaruukkuja. Koska ilmastovaikutus vaihtelee tilakohtaisesti erittäin merkittävästi, on hankkeessa tuotettu ilmastovaikutuslaskuri viljelijöiden käyttöön erittäin tarpeellinen.

Vuodenaikaisvaihtelu kasvihuonetuotannossa on myös suurta ja tutkimuksessa havaittiin kesäkuukausien aikana tuotettujen kasvihuonetuotteiden ilmastovaikutuksen voivan olla jopa vain neljännes keskitalvella tuotettuihin kasvihuonetuotteisiin nähden, koska kesällä lämmitys- ja valotustarve ovat pienemmät.

Avainsanat:

Kasvihuone, ilmastovaikutus, ympäristövaikutukset, tomaatti, kurkku, salaatti, tulppaani, ruukkukasvi

Carbon footprint of calculation of Finnish greenhouse products?

Yrjänäinen, Heli¹⁾, Silvenius, Frans¹⁾, Kaukoranta, Timo²⁾, Näkkilä, Juha³⁾, Särkkä, Liisa³⁾ & Tuhkanen, Eeva-Maria³⁾

¹⁾MTT Biotechnology and Food Research, Latokartanonkaari 9, FI-00790 Helsinki

²⁾MTT Plant Production Research, Tietotie, FI-31600 Jokioinen

³⁾MTT Plant Production Research, Toivonlinnantie 518, FI-21500 Piikkiö

firstname.lastname@mtt.fi

Abstract

This report presents the results of climate impact calculations for five products produced in Finnish greenhouses: tomatoes, cucumbers, salad crops, tulips and Elatior begonias. The study employed 16 greenhouses for the investigation; two greenhouses each for the tulips and the begonias and four each for the tomatoes, cucumbers and salad crops. Based on these calculations a greenhouse gas calculator was developed for greenhouse cultivators. The calculator is available at internet in www.kauppapuutarhaliitto.fi -> hiilijalanjälki.

In terms of environmental impacts this study concentrated on the climate impacts of the investigated products, and the calculations were made for the most significant greenhouse gases: carbon dioxide, methane and nitrous oxide. The following processes were included in the system boundaries: plant growing, manufacturing of lime, fertilizers and pesticides, manufacturing and disposal of pots, carbon dioxide production, irrigation, lighting, thermal curtains and cooling systems, the production and use of electricity and heat energy, distribution of products by the growers, other transportation, end-of-life and recycling. Processes excluded from the study were: distribution by other actors, retail functions, the consumer stage, and maintenance and manufacturing of infrastructure. The study used MTT's calculation model for the climate impact of food products excluding distribution and retail processes.

The greenhouses selected for the study had some variation in their energy profiles and growing seasons. In addition, scenarios were created for different energy sources by using the average figures from this study. Monthly energy consumption values were also obtained from a number of the greenhouses and these were used to assess the variations in climate impact for different seasons.

According to the results of the study the use of energy is the most significant source of climate impact of greenhouse products. In the tomato farms the predominant source of greenhouse gas emissions was heat energy production, which was 75-96 % of the total emissions. With regard to cucumber growing more electricity is used than in tomato production because cucumber cultivation needs more light. In total, energy production was 75-96 % of the emissions but the proportion of heat energy and electricity varied between the greenhouses. The amount of energy used growing salad crops was 52-95 % and for begonias it was 70-78 %. In tulip production the growing and storage of the bulbs were also significant contributory factors.

Another notable result of the study was that the climate impact of the products grown in Finnish greenhouses varied significantly between the specific sites. In the pilot cases the variation between the tomato cultivation was 1360-3680 kgCO₂-equivalents per ton of tomatoes, for cucumber it was 540-3260 kgCO₂-eq/ton of cucumbers, and for salad crops 107-829 kg CO₂-eq/1000 units of salad plant. The climate impact of the product chain of tulips was 1474-3776 kgCO₂-eq/1000 10-pack of tulips and for begonias 665-772 kgCO₂-eq/1000 begonia pots. When only renewable energy was used the result for tomato production was 370 kgCO₂-eq/t of tomatoes, 335 kgCO₂-eq/ton of cucumbers and 59 kg/1000 units of salad plant. The climate impact of the tulip production chain produced by renewable energy was 1632 kg CO₂-eq/1000 pieces of 10-pack of tulips and for begonias 227 kgCO₂-eq/1000 pieces of begonia pots. Since the climate impact varies significantly between the greenhouse farms, the greenhouse gas calculator developed in this project will prove a very useful tool for cultivators.

The seasonal variation in greenhouse cultivation is also substantial and it was observed in the investigation that the climate impact of production in the summer months can be as little as one quarter of the climate impact of production in midwinter because the need for heating and lighting is significantly reduced during the summertime.

Keywords:

Greenhouse, environmental impacts, carbon footprint, tomato, cucumber, salad, tulip, pot plant

Alkusanat

Tämä raportti on Maa- ja metsätalousministeriön (MMM), Puutarhasäätiön ja Svenska lantbruksproducenternas centralförbundin (SLC) rahoittaman Greenhouse Carbon-Hiilijalanjälkilaskuri kasvihuonetuotannolle -hankkeen loppuraportti. Hankkeen tavoitteena oli todentaa tekijöitä, joista kasvihuonetuotannon ilmastovaikutukset muodostuvat, ja löytää keinoja ilmastovaikutusten pienentämiselle. Hankkeen tärkeänä tavoitteena oli myös laskuri, jolla voidaan mallintaa kasvihuonetuotteiden hiilijalanjälkiä. Laskuri on hankittavissa osoitteesta www.kauppapuutarhaliitto.fi. Hanke aloitettiin kesällä 2011 ja tämä loppuraportti sekä hankkeessa tehty ilmastovaikutuslaskuri julkaistaan tammikuussa 2013.

Hanketta varten perustettiin ohjausryhmä, jonka puheenjohtajana toimi Veli-Pekka Reskola Maa- ja metsätalousministeriöstä. Sihteerinä toimi Leena Ramstedt MTT:ltä ja jäsenenä Jyrki Jalkanen Kauppapuutarhaliitosta, Susanne West SL:stä sekä kasvihuoneviljelijät Jali Murto, Mikael Hoxell, Juha Oksanen ja Johanna Smith.

Tutkimuksen tiedonkeruun ja päästömallinnuksen tekivät tutkijat Heli Yrjänäinen ja Frans Silvenius. Kukkatilojen energiankulutuksessa mallintamisen suoritti lähtötietojen perusteella vanhempi tutkija Timo Kaukoranta ja tietoja tomaatin, kurkun ja salaatin eri kasviosien kuiva-aine-, hiili- ja typpipitoisuuksista toimittivat vanhempi tutkija Juha Näkkilä sekä erikoistutkija Liisa Särkkä ja tutkija Eeva-Maria Tuhkanen. Kaikki edellä mainitut tutkimuksen suorittajat ovat MTT:ltä.

Tutkimuksen suorittaminen edellytti tiedonkeruuta kasvihuoneviljelijöiltä, pakkausteollisuudesta, ruukkujen valmistajalta, kasvualustojen tuotannosta, taimikasvatuksesta, energiayhtiöistä ja muilta alan toimijoilta. Tutkimusryhmä kiittää kaikkia tutkimuksessa avustaneita henkilöitä, erityisesti pilot-tilojen viljelijöitä!

Helsingissä tammikuussa 2013

Tekijät

Sisällysluettelo

1 Johdanto.....	9
2 Aineisto ja menetelmät	10
2.1 Järjestelmärajaukset	10
2.2 Tutkimuksessa mukana olevat kasvihuoneet	12
2.2.1 Tomaatti	12
2.2.2 Kurkku	12
2.2.3 Salaatti.....	13
2.2.4 Tulppaani ja pauliinabegonia	14
2.3 Tuotantopanokset	14
2.3.1 Tiedon laatuvaatimukset	14
2.3.2 Energia	14
2.3.3 Hiilidioksidi	16
2.3.4 Siemenet, taimet ja sipulit.....	17
2.3.5 Kasvualusta	17
2.3.6 Lannoitteet	18
2.3.7 Pakkaukset	18
2.3.8 Jätteet	18
2.3.9 Kuljetukset ja siirrot.....	19
3 Tulokset ja tulosten tarkastelu	20
3.1 Tulokset.....	20
3.1.1 Tomaatti	21
3.1.2 Kurkku	23
3.1.3 Salaatti.....	26
3.1.4 Tulppaani ja kukkiva ruukkukasvi	28
3.2 Tulosten tarkastelu ja arviointi	31
3.2.1 Lähtötietojen arviointi	31
3.2.2 Tuotantotekijöiden vaikuttavuus.....	32
3.2.3 Kukkatuotteet	37
4 Yhteenveto ja johtopäätökset.....	39
Lähteet	42

1 Johdanto

Tutkimus tehtiin yhteistyössä 16 Kauppapuutarhaliiton ja SLC:n kasvihuoneyrityksen kanssa. Tutkimuksessa on mukana 5 eri kasvihuonetuotetta, joita ovat kurkku, tomaatti, salaatti, tulppaani ja pauliinabegonia. Vihannesten osalta yhteistyöyrityksiä on neljä kutakin tuotetta kohden. Kukkapuolella yhteistyöyrityksiä on kaksi kumpaakin kukkatuotetta kohden.

Tutkimus toteutettiin keräämällä tietoja yhteistyöyritysten tuotantopanoksista, päästötiedoista ja lopuksi muodostamalla laskuri ja mallintamalla sillä yhteistyöyrityksissä tutkittujen tuotteiden ilmastovaikutukset. Tutkimus aloitettiin keräämällä tuotantotietoja yhteistyöyrityksistä yritysvierailujen muodossa. Samalla koottiin tarvittavia päästötietoja kirjallisuudesta sekä tuotantopanoksien valmistajilta. Tämän jälkeen kerätyistä päästötiedoista koostettiin ilmastovaikutuslaskuri kasvihuonetuotteille. Tässä yhteydessä laskettiin myös ilmastovaikutukset yhteistyöyritysten tuotteille. Mallinnus tehtiin elinkaariarvioinnin periaatteilla hyödyntäen sekä MTT:n julkaisemaa ohjeistusta elintarvikkeiden ilmastovaikutuslaskentaan (Hartikainen ym. 2012) että ISO 14040-standardia. Laskentaan huomioitiin elinkaariarvioinnin periaatteiden mukaisesti lähtökohtaisesti koko tuotantoketju.

Luvussa 2.1 käydään läpi hankkeen järjestelmärajoja sekä huomioitujen ympäristövaikutusten että tutkittavien elinkaaren vaiheiden osalta. Luku 2.2 keskittyy tutkimuksen yhteistyöyritysten tietoihin, ja luku 2.3 tutkimuksessa käytettävien päästötietojen lähteisiin. Luvussa 3.1 kootaan tutkimuksessa saadut tulokset, joita sitten arvioidaan tarkemmin luvussa 3.2. Luvussa 4 tehdään yhteenveto tutkimuksen tuloksista, ja pohditaan tutkimuksessa saavutettuja johtopäätöksiä.

2 Aineisto ja menetelmät

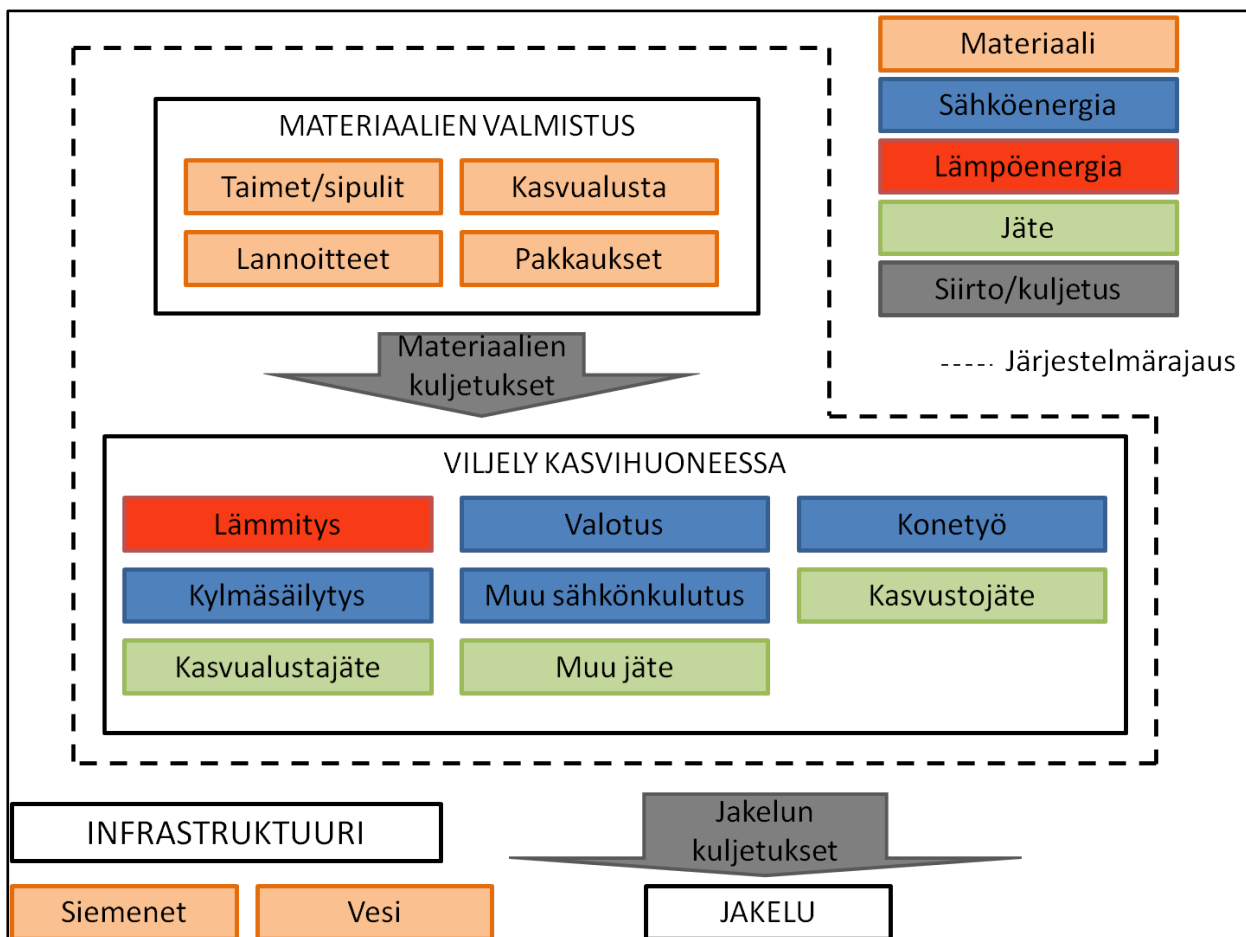
2.1 Järjestelmärajaukset

Tutkittavista ympäristövaikutuksista tarkastelu rajattiin ilmastovaikutuksiin. Kasvihuonekaasuista laskentaan huomioitiin kolme merkittävintä, joita ovat hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄) sekä dityppioksidi (N₂O). Tutkimuksen tulokset on ilmaistu tuotteen hiilijalanjälkenä, joka kuvastaa eri kasvihuonekaasujen yhteisvaikutusta, ja ilmaistaan hiilidioksidiekvivalenteina. Eri kasvihuonekaasut muunnetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi karakterisointikertoimella, joka ilmaisee kasvihuonekaasun ilmastovaikutuksen hiilidioksidin ilmastovaikutukseen verrattuna. Tutkimuksessa käytetyt karakterisointikertoimet on koottu taulukkoon 2.1

Taulukko 2.1. Kasvihuonekaasujen karakterisointikertoimet (Solomon ym. 2007).

Kasvihuonekaasu	Karakterisointikerroin
Hiilidioksidi	1
Metaani	25
Dityppioksidi	298

Mallinnettavien ympäristövaikutusten lisäksi tutkimuksessa on tehty rajausvalintoja liittyen elinkaaren vaiheisiin, jotka tutkimukseen on huomioidaan. Kuvassa 2.1 on kuvattu kasvihuoneviljelyn energia- ja materiaalivirtoja. Samoja rajauksia on käytetty sekä laskettaessa yhteistyöyritysten ilmastovaikutuksia, että hankkeessa julkaistavassa laskurissa.



Kuva 2.1. Kasvihuoneviljelyn energia- ja materiaalivirrat sekä järjestelmärajaus.

Kuva 2.1 on joiltain osin yleistetty, sillä eri kasvihuonetuotteiden tuotantojärjestelmissä on pieniä eroja. Esimerkiksi kukkivien ruukkukasvien tuotannossa ei käytetä kylmätiloja. Tuotekohtaiset erot ovat kuitenkin pieniä, ja kaikille tuotteille on käytetty pääasiassa samoja rajoituksia. Energiakomponenteista eli sähköstä ja lämmöstä laskentaan huomioidaan polttoaineen hankinta, energiantuotanto ja ostosähkön osalta myös sähkön jakelu häviö. Kaikista materiaaleista huomioidaan lähtökohtaisesti sekä kuljetukset että valmistus. Siemenet ja vesi rajattiin laskennan ulkopuolelle, sillä niiden vaikutus kokonaisilmastovaikutukseen todettiin merkityksettömäksi. Rajaus ei näin ollen vaikuta tuloksiin, mutta yksinkertaistaa laskuria. Näiden lisäksi tuotantotekijöistä jätetään huomioimatta infrastruktuuri sisältäen esimerkiksi koneet ja muun kaluston, rakennukset sekä tiet. Huomioitavan elinkaaren ulkopuolelle rajataan myös jakelu, kauppa ja kuluttaja. Tutkittava elinkaari päättyy siis tuotteen lähtiessä kasvihuoneelta. Koska kauppa- ja jakeluvaihe jäivät pois järjestelmänrajoituksista, eivät rajoitukset ole täysin MTT:n laskentaohjeistuksen (Hartikainen ym. 2012) mukaiset. Lisäksi tutkimussuunnitelman mukaisesti tutkimuksessa huomioitiin kompostoinnin päästöt myös niissä tapauksessa, joissa kompostimulta hyödynnetään toisessa tuotejärjestelmässä, joten laskenta poikkesi myös tältä osin kyseisestä laskentasuosituksista.

2.2 Tutkimuksessa mukana olevat kasvihuoneet

Tutkimukseen pyrittiin valitsemaan mahdollisimman edustava otos erityyppisiä kasvihuoneita koskien kutakin tarkasteltavaa tuotetta. Eroavaisuuksia haettiin etenkin energiantuotantoprofiileista, viljelyjaksoista sekä kasvihuoneiden koosta. Tässä luvussa kerrotaan tarkemmin mukana olevien yritysten tuotantotekijöitä kasvikohtaisesti. Kaikki yritysten tiedot on kerätty vuodelta 2011.

Tarkasteltavista tuotantotiedoista viljelypinta-ala tarkoittaa koko yrityksen viljelypinta-alaa. Sähkön kohdalla on ostosähköä käyttävien yritysten kohdalla listattu sähkötuote. Sähkötuotteita on yrityksillä tarjolla lähinnä kolmenlaista. Tavallisin näistä on perustuote, jonka tuotantoprofiili voi olla minkäläinen tahansa. Tämän lisäksi osa sähköyrityksistä tarjoaa yhtä tai kahta ympäristötuotetta, joita ovat carbon free ja vihreä sähkö. Carbon free-sähkötuotteet on tuotettu ilman fossiilisia polttoaineita, eli niiden tuotantoon on käytetty ainoastaan ydinvoimaa ja uusiutuvaa energiaa. Vihreä sähkö on pelkällä uusiutuvalla energialla tuotettua sähköä. Viljelypinta-ala ja satotaso saatiin tuotantoketjukohtaisena tietona viljelijöiltä elintarvikkeiden ilmastovaikutusten laskentasuosituksen mukaisesti.

2.2.1 Tomaatti

Taulukossa 2.2 on eriteltyä tutkimuksen tomaattiyrietysten tuotantotietoja.

Taulukko 2.2. Tomaattiyrietysten tuotantotietoja.

Tuotantotekijä	Yritys T1	Yritys T2	Yritys T3	Yritys T4
Viljelypinta-ala	yli 10000m ²	alle 10000m ²	alle 10000m ²	alle 10000m ²
Viljelykuukaudet	12	9	11	9,5
Seinämateriaali	lasi, akryyli	tunnelimuovi	muovi, akryylilasi, lasi	muovi
Kattomateriaali	lasi, akryyli	tunnelimuovi	muovi, lasi	muovi
Valotus	kyllä	ei	kyllä	ei
Lämpöverho	kyllä	ei	ei (akryylilasi)	ei
Kasvualusta	kivivilla	turve	kivivilla	kivivilla
Sähkötuote	carbonfree	perus	vihreä	vihreä
Lämmöntuotannon polttoaine	palaturve, puuhake, nestekaasu	raskas polttoöljy, puuhake	raskas polttoöljy	raskas polttoöljy
Lisätty hiilidioksidi	ei	kyllä	kyllä	kyllä

Yritys T1 ei käytä lisättyä hiilidioksidia, vaan ohjaa hiilidioksidin, joka syntyy tuotettaessa lämpöä nestekaasulla, kasvihuoneeseen. Kaikissa tarkasteltavissa yrityksissä viljellään ainoastaan tomaattia.

2.2.2 Kurkku

Taulukkoon 2.3 on eritelty tarkasteltavien kurkkuyrietysten tuotantotietoja.

Taulukko 2.3. Kurkkuyritysten tuotantotietoja.

Tuotantotekijä	Yritys K1	Yritys K2	Yritys K3	Yritys K4
Viljelypinta-ala	yli 10000m ²	alle 10000m ²	yli 10000m ²	alle 10000m ²
Viljelykuukaudet	12	11,5	11	7
Seinäateriaali	lasi	lasi	lasi, akryyli	muovi
Kattomateriaali	lasi	lasi	lasi	muovi
Valaistus	kyllä	kyllä	kyllä	ei
Lämpöverho	kyllä	ei	kyllä	ei
Kasvualusta	turve	kivivilla	kivivilla	kivivilla
Sähkötuote	perus	perus	carbon free	perus
Lämmöntuotannon polttoaine	nestekaasu	kevyt polttoöljy, palaturve, puuhake	palaturve, puuhake	kevyt ja raskas polttoöljy, nestekaasu
Lisätty hiilidioksidi	ei	kyllä	kyllä	ei

Yritys K1 ohjaa lämmöntuotannossa syntyvän hiilidioksidin kasvihuoneeseen. Kaikilla yrityksissä kasvatetaan ainoastaan kurkkua.

2.2.3 Salaatti

Tarkasteltava salaatti on yritysten S1 ja S2 kohdalla tavallinen ruukkusalaatti. Yrityksessä S3 on sekä ruukku- että jääsalaattituotantoa, ja tutkimuksessa tarkastellaan näitä molempia. Yrityksessä S4 on useampaa eri salaattituotetta, mutta noin puolet tuotannosta on jääsalaattia. Tarkastelu onkin yrityksessä S4 rajattu jääsalaatin tarkasteluun. Salaattirytysten tuotantotietoja on esitelty taulukossa 2.4.

Taulukko 2.4. Salaattirytysten tuotantotietoja.

Tuotantotekijä	Yritys S1 (ruukkusalaatti)	Yritys S2 (ruukkusalaatti)	Yritys S3 (ruukku- ja jääsalaatti)	Yritys S4 (jääsalaatti)
Viljelypinta-ala	alle 10000m ²	yli 10000m ²	yli 10000m ²	yli 10000m ²
Viljelykuukaudet	12	12	11,5	12
Seinäateriaali	polykarbonaatti	lasi, polykarbonaatti	lasi, muovi	polykarbonaatti
Kattomateriaali	polykarbonaatti	lasi, polykarbonaatti	lasi, muovi	polykarbonaatti, lasi
Valotus	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä
Lämpöverho	kyllä	kyllä 85%	lasihuoneissa kyllä, muovihuoneissa ei	kyllä
Kasvualusta	kivivilla	turve	turve	turve
Sähkötuote	perus	oma tuotanto: vesi	vihreä	perus
Lämmöntuotannon polttoaine	puuhake	maakaasu ja öljy	viljan sivutuote	kevyt ja raskas polttoöljy, nestekaasu, turve
Lisätty hiilidioksidi	ei	ei	kyllä	ei

Kaikissa muissa paitsi yrityksessä S1 viljellään salaatin lisäksi myös pieniä määriä yrtejä. Lämmöntuotannossa kaikissa yrityksissä käytetään pieniä määriä polttoöljyä lähinnä vara- ja käynnistyspoltoaineena. Yritykset S1, S2 ja S3 ohjaavat lämmöntuotannosta aiheutuvaa hiilidioksidia kasvihuoneeseen.

2.2.4 Tulppaani ja pauliinabegonia

Tutkimuksessa mukana olleissa kukkayrityksissä kaikissa viljeltiin useampaa kukkatuotetta. Yrityksissä Ku1 ja Ku2 tarkasteltiin tulppaania, ja yrityksissä Ku3 ja Ku4 pauliinabegoniaa. Kukkayritysten tietoja on kerätty taulukkoon 2.5.

Taulukko 2.5. Kukkayritysten tuotantotietoja.

Tuotantotekijä	Yritys Ku1	Yritys Ku2	Yritys Ku3	Yritys Ku4
Viljeltävä tuote	tulppaani	tulppaani	pauliina-begonia	pauliina-begonia
Viljelypinta-ala	yli 10000m ²	yli 10000m ²	yli 10000m ²	alle 10000m ²
Viljelykaudet	10,5	7	9	6,5
Seinäateriaali	poly-karbonaatti	½ lasi, ½ villa-elementti eristeenä	akryyli	poly-karbonaatti
Kattomateriaali	lasi	lasi	lasi	kalvo
Valotus	kyllä	ei	kyllä	kyllä
Lämpöverho	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä
Kasvualusta	vesi	turve	turve	turve
Sähkötuote	normaali	normaali	normaali	normaali
Lämmöntuotannon polttoaine	puuhake, turve, ruokohelpi	kivihiili	ostokauko-lämpö	kevyt polttoöljy, puuhake
Lisätty hiilidioksidi	ei	ei	ei	ei

Yrityksessä Ku1 sipulien kylmäkäsittely suoritetaan kasvihuoneessa, kun taas yrityksen Ku2 sipulit tulevat kylmäkäsittelyyn Hollannista. Ku2 valoja käytetään ainoastaan sen verran, mitä työskentelyyn tarvitaan.

2.3 Tuotantopanokset

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

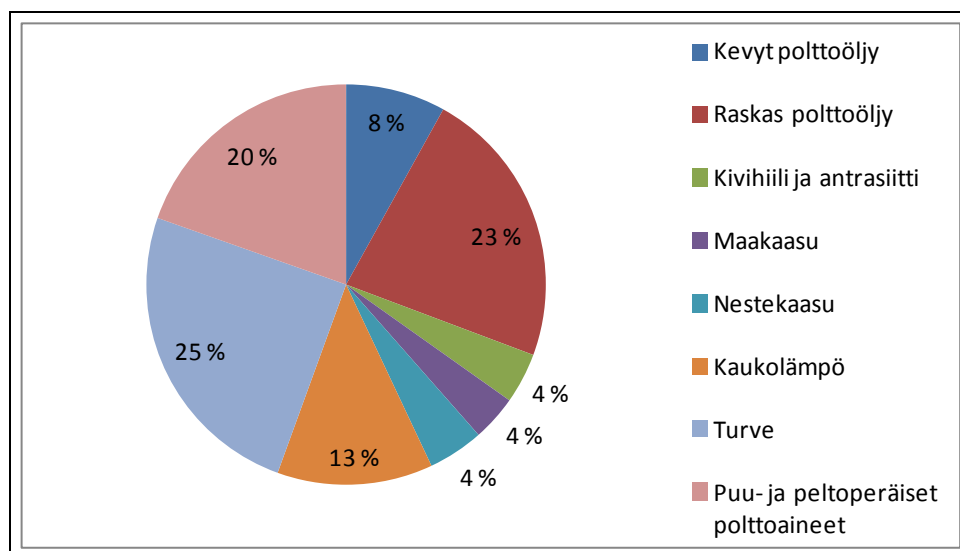
2.3.1 Tiedon laatuvaatimukset

Tiedon keruun 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 saatiin tuotantoketjukohtaista tietoa kasvihuoneyrityksiltä ja lannoitteiden tuotannon päästöistä taas saatiin tietoja valmistajalta.

2.3.2 Energia

Kasvihuoneissa käytetään sekä lämpö- että sähköenergiaa, joista saatiin tuotantoketjukohtaista tietoa elintarvikkeiden ilmastovaikutusten laskentasuosituksen laatuvaatimukset täyttäen tuotantoketjukohtaisena tietona tutkituilta yrityksiltä. Käytetty lämpöenergia on mahdollista ostaa

kaukolämpöverkosta, mutta useimmiten käytetään kasvihuoneyrityksen omassa polttolaitoksessa tuotettua lämpöenergiaa. Kasvihuoneiden lämpöenergian tuotannossa yleisimmin käytettäviä polttoaineita ovat öljy, turve ja hake. Myös hiili, maa- ja nestekaasu sekä erilaiset biopolttoaineet hakkeen lisäksi ovat Suomessa toisinaan käytettäviä lämpöenergian lähteitä. Sähköenergia puolestaan ostetaan useimmiten sähköverkosta, ja eri kasvihuoneyrittäjät käyttävät laajalti eri sähkönmyyjiä. Myös oman tuotantolaitoksen käyttö sähköenergian lähteenä on mahdollista, mutta omat sähköntuotantolaitokset ovat huomattavasti harvinaisempia kuin omat lämmöntuotantolaitokset. Kuvassa 2.2 on esitetty jakauma energian käytöstä yrityksissä, joissa on yli 1000 m² lämmitettävää pinta-alaa vuonna 2011. Erityisesti raskaan polttoöljyn (28 %) ja maakaasun osuudet (53 %) lämpöenergian tuotannosta laskivat aikavälillä 2008–2011 (Tike 2012).



Kuva 2.2. Suomalaisen kasvihuonetuotannon käyttämän lämpöenergian energianlähdejakauma.

Energiankäytön ilmastovaikutuksen mallintamisessa noudatettiin elintarvikkeiden tuotannon ilmastovaikutusten laskentasuosituksen ohjeistusta (Hartikainen ym. 2012). Yksinkertaistettuna energiankäytön päästöt laskettiin kulutetun energian ja päästökertoimen tulona, koskien sekä energialaitosta että erilaisten polttoaineiden tuotantoketjua. Sähkö- ja lämpöenergian päästökertoimet pyrittiin laskentaohjeistuksen mukaisesti määrittämään niin, että ne vastaavat mahdollisimman täsmällisesti todellisen käytetyn energian tuotannosta aiheutuvia päästöjä. Aiemmin etenkin sähkön kohdalla päästökertoimena käytettiin usein Suomen keskimääräisen energiantuotannon päästökertoimia. Täsmällisempi päästöjen mallintaminen vastaa kuitenkin enemmän uusimpia ISO-standardeja, ja tästä syystä myös tässä hankkeessa käytetään tarkemman mallinnuksen periaatteita.

Oman tuotannon eli yleensä lämpöenergian kohdalla päästökertoimet määriteltiin sen mukaan, mitä polttoainetta energiantuotantoon on käytetty. Kaikille yleisimmin käytetyille polttoaineille on määritely elinkaariset päästökertoimet elintarvikkeiden tuotannon ilmastovaikutusten laskentasuosituksen yhteydessä. Laskurin avulla lämmönkulutuksen aiheuttama ilmastovaikutus saadaan laskettua, kun tiedetään joko käytetty polttoainemäärä tai käytetty polttoaine ja tuotettu lämpöenergia.

Ostetun energian, eli yleensä sähköenergian kohdalla päästökertoimet saadaan laskettua sähkön myyjän julkaiseman tuotantoprofiilin ja ominaispäästön sekä laskentaohjeistuksen kerrointen avulla. Laskuri on toteutettu niin, että se laskee ostetun energian aiheuttaman ilmastovaikutuksen suoraan syöttämällä laskuriin edellä mainitut tiedot.

Omaa energiantuotantoa käytettäessä energiankulutus saadaan joko suoraan tuotantjärjestelmästä tai se voidaan laskea polttoainekulutuksesta. Ostoenergiaa käytettäessä energiankulutustiedot saadaan energianmyyjältä. Kasvihuoneissa, joissa tuotetaan vain yhtä tuotetta, saadaan energiankulutukset ja myös päästöt laskettua suoraan näiden tietojen avulla.

Yrityksissä, joissa tuotetaan useampaa tuotetta, on käytetty energia jaettava eli allokoitava. useammalle tuotteelle. Näin oli tässä tutkimuksessa kukkatilojen osalta. Tuotantjärjestelmän energiankulutuksen

määrittämiseen jouduttiin käyttämään tarkempia laskentamalleja. Näissä tapauksissa, joissa suora tuotteelle kohdennettavaa energiamäärää ei ole pystytty määrittämään, mallinettiin tuotekohtainen energiankulutus erikseen. Tätä varten laskurin yhteydessä on valmisteltu myös laskentatyökalu lämpö- ja sähköenergian kulutuksen jakamiseen eri tuotteille.

Oletuksena energiankulutuksen mallintamiselle oli, että yrityksestä tiedettiin lämmityspolttoaineen ja sähkön kokonaiskäyttö koko vuoden tai viljelyjakson aikana. Se pyrittiin jakamaan tarhan osastoille tai erillisille huoneille ja vuodenaajoille. Jakamista ei voitu tehdä absoluuttisen tarkasti kohtuullisella työpanoksella, mutta eri osastojen lämmitystä suhteessa toisiinsa ja vuodenaikaan pystyttiin arvioimaan likimääräisesti käyttäen säätötietoja, huoneiden säätötietoja ja lämpötiloja.

Arviointi tehtiin keskimääräinen kokonaislämmönsiirtokerroimen (K_{tot}) avulla, joka laskettiin vuotuisesta lämmityksestä sekä vuotuisesta huoneen sisälämpötilan ja ulkoilman lämpötilan erotuksesta. Se kuvasi kohtuullisesti lämmön menetystä kasvihuoneesta ulkoilmaan. Lisäksi huomioitiin se, että lämmitystarve ei kuitenkaan ole vuodenajoittain sama kuin K :n kuvaama lämmönmenetys katteen kautta, koska kevästä kesään aurinko korvaa lämmitystarvetta. Syksyllä lämmitystarve on ajoittain suurempi kuin K_{tot} :n perusteella laskettu, koska kosteuden poistamiseksi voidaan joutua tuulettamaan ja samaan aikaan lämmittämään. Talven tyyнинä pakkasjaksoina K_{tot} :n mukaan laskettu lämmönmenetys on yliarvioitua, koska tyyneellä säällä lämpöerhojen runsaan käytön aikana lämmönmenetys on pienempi.

Lämmityksen vuodenaikaista käyttöä voitiin tarkentaa käyttämällä lämmityspotkien ja huoneen sisäilman lämpötilan erotusta. Lämmönsiirtokerroin putkista ilmaan (K) arvioitiin suurin piirtein niin, että K :n ja putki-sisäilma-erotuksen mukaan päivittäin laskettu lämmitys summattuna yli vuoden vastaa suunnilleen vuoden aikana käytettyä lämmitystä osastoon. Osaston lämmitystä ei kuitenkaan yleensä mitata erikseen, joten osastojen vuotuinen lämmitys jaetaan käyttämällä kokonaislämmönsiirtokerrointa K_{tot} .

K sisältää putki-ilma-lämmönvaihdon tehokkuuden ja lämmitysveden virtauksen. Virtaus ei muutu päivästä toiseen. Putki-ilma-lämmönvaihto pysyy suurin piirtein samana niin kauan kuin ilman nopeus ei oleellisesti muutu.

Kun päivittäisiä tietoja kasvihuoneen ilmastomuuttujista ja putkilämpötiloista ei ollut, mallinnus suoritettiin seuraavanlaisesti: osastojen kosteuden säätötavoitteen ollessa samanlainen ja valotuksen suunnilleen samanlainen ja kasvustot suunnilleen samankokoisia (kaikki salaattia tai koristekasveja) osastojen suhteellinen lämmitystarve riippuu niiden lämpötilasta suhteessa ulkoilmaan ja osaston katemateriaalista. Tämän periaatteen mukaan pyrittiin tarkentamaan osastojen lämmitystä suhteessa toisiinsa ja vuodenaikaan.

Kasvihuoneen säätötavoitteet tiedettiin, joten päivälle voitiin arvioida kasvihuoneen lämpötilan vuorokautinen amplitudi ($T_{amp} = \max(3; 12/900 * MaxR)$), jossa $MaxR$ on vuorokauden säteilyn maksimiteho W/m^2 , sekä vuorokautinen kasvihuoneen minimi- (T_{min}) ja maksimilämpötila (T_{max}). Näistä laskettiin painotettu kasvihuoneen sisä- ja ulkolämpötilan vuorokautinen erotus ($N_o = \max(0; K * (0.5 * (T_{min} - T_{min,u}) + 0.4 * (T_{max} - T_{max,u}) + 0.1 * T_{amp}))$), jossa K oli osaston kokonaislämmönsiirtokerroin suhteessa muihin osastoihin, $T_{min,u}$ ja $T_{max,u}$ ulkoilman minimi- ja maksimilämpötilat. Osastojen vuorokautiset arvot summattiin yli osastojen ja viljelykauden N_{tot} . Näistä laskettiin osaston päivittäinen suhteellinen lämmitystarve ($N_r = N_o/N_{tot}$). Koko tarhan vuotuinen lämmitys ($kWh/osasto$) jaettiin päivittäin osastoille kertomalla viljelykauden aikana kulutettu lämmitysenergia N_r -arvoilla.

Lopputuloksena on karkea lämmityksen jako osastoille viljelykauden aikana.

Valotuksen asennusteho (W/m^2) tiedettiin, samoin valotuksen vuotuinen käyttöjakso. Valotuksen vuorokautinen käyttöaika (h) laskettiin päivän maksimaalisen kokonaissäteilyn (W/m^2), todellisen kokonaissäteilyn (W/m^2) ja toiminnan asetusrajan (ulkosäteilyn on/off-raja W/m^2) mukaan.

2.3.3 Hiilidioksidi

Hiilidioksidilannoituksella voidaan tehostaa niin kurkun, tomaatin, salaatin kuin kukkienkin kasvua, sillä ilman normaali hiilidioksidipitoisuus, 340 ppm, ei riitä tuottamaan parasta kasvutulosta. Optimaalinen hiilidioksidipitoisuus onkin kasvusta riippuen välillä 600–1000 ppm. Hiilidioksidin lisäyksellä on tomaattien, kurkun ja salaatin satoja saatu kasvatettua keskimäärin 25–30 %. (AGA 2012)

Hiilidioksidin valmistusmenetelmiä on erilaisia ja sitä saadaan sivutuotteena monien kemikaalien valmistusprosesseista. Hankala yksityiskohta on allokointi eli päästöjen jakaminen päätuotteen ja hiilidioksidin suhteen. Allokointi voidaan suorittaa usean fyysisen, taloudellisen tai muun tekijän suhteen muuttaen merkittävästi hiilidioksidin osuutta järjestelmän kokonaisilmastovaikutuksesta. Eroavaisuudet käytetyissä allokointimenetelmissä ovatkin yksi syy eri tutkimuksissa mallinnettujen hiilidioksidilannoitusten hiilijalanjälkien vaihteluvälille. Tässä tutkimuksessa sivutuotteena saatavalle hiilidioksidille ei allokoitu päästöjä päätuotteen valmistusprosessista. Vaihtelua aiheuttaa myös se, että hiilidioksidi voi olla nestemäisessä tai kaasumuodossa. Hiilidioksidin toimittajista nestemäisestä hiilidioksidista ilmastovaikutustietoja löytyi sekä Air Liquidilta että AGA:Ita. Kaasumuodossa olevasta hiilidioksidista tietoja oli vastaavasti AGA:lla ja tietokanta Econinventissä. Nestemäisen hiilidioksidin tuotannon ilmastovaikutus oli näissä tutkimuksissa huomattavasti pienempi kuin kaasuna olevan hiilidioksidin tuotannon ilmastovaikutus. Kuitenkin myös samassa faasissa olevasta hiilidioksidista tehdyissä tutkimuksissa oli eroja, sillä etenkin nestemäisen hiilidioksidin tuotannon ilmastovaikutus oli Econinventissä arvioitu huomattavasti suuremmaksi kuin AGA:n laskelmissa. Kasvihuoneissa käytetään kuitenkin yleensä kaasumuodossa olevaa hiilidioksidia. Tästä syystä tutkimuksessa päädyttiinkin käyttämään hiilidioksidille Air Liquidin ja AGA:n kaasumuodossa olevan hiilidioksidin tuotannon ilmastovaikutuksen keskiarvoa.

2.3.4 Siemenet, taimet ja sipulit

Lähes kaikki vihannesviljelyssä käytettävät siemenet tulevat Suomeen Alankomaista. Siementuotanto päätettiin kuitenkin rajata tutkimuksen ulkopuolelle sen vaikutuksen ollessa niin vähäinen suhteessa kokonaisilmastovaikutukseen, että elintarvikkeiden ilmastovaikutuksen laskentasuosituksen cut-off sääntö (Hartikainen ym. 2012) täyttyi.

Tomaatin ja kurkun siemenet voi itse kasvattaa taimiksi, mutta useimmiten taimet hankitaan taimikasvattajilta. Taimenkasvatuksen tuotantotiedot onkin hankittu yhdeltä Suomen suurimmista taimikasvattajista, ja niitä käytetään kaikkien yritysten tuotannon mallinnuksessa. Salaattiyrittäjät puolestaan kasvattavat yleensä salaattinsa itse siemenestä asti, joten nämä tuotantopanokset ovat suoraan mukana kasvihuoneyrityksen sisäisissä energia- ja materiaalivirroissa.

Tulppaanit ja kukkivat ruukkukasvit kasvatetaan Suomessa lähes yksinomaan Alankomaissa tuotetuista sipuleista ja siemenistä. Van der Putten & Wildschut (2012) ovat laskeneet eri kukkien sipulien tuotannon ilmastovaikutukselle, ja tässä tutkimuksessa käytetäänkin tämän julkaisun tuloksia tulppaanin sipuleille.

2.3.5 Kasvualusta

Suomen yleisimmät kasvihuoneissa käytetyt kasvualustat ovat turve ja kivivilja. Näiden lisäksi yhteistyöyrityksissä käytettiin myös vettä tulppaanin kasvualustana. Vaikka yhteistyöyrityksissä ei yhdessäkään hyödynnetty perliittiä tai vermikuliittia kasvualustana, lisätään ne laskuriin vaihtoehtoina kasvualustaksi.

Turpeen tuotannon ilmastovaikutustietoja on saatavissa useista eri elinkaaritutkimuksista. Tutkimuksessa valittiin käytettäväksi Suomen ympäristökeskuksen raportin (Myllymaa ym. 2008) tietoja kasvaturpeesta. Tutkimuksen turve on oletettu suomalaiseksi. Kivivillan hiilijalanjälkeä on selvitetty kivivillatuottaja Grodanilta, ja heiltä tietoja löytyikin kivivillasta tehdystä artikkelista (Kool & Blonk, 2011). Kivivillan hankinnan ilmastovaikutus on mallinnettu tähän artikkeliin perustuen, sillä muilta kivivillavalmistajilta tai muista lähteistä ei tietoja saatu. Kyseinen kivivillavalmistaja havaittiin myös yleisimmin käytetyksi ainakin yhteistyöyrityksissä. Grodanin kivivilla on kotoisin Alankomaista. Samassa tutkimuksessa oli mallinnettu myös Intiasta tuodun kookoskuidun tuotannon ilmastovaikutus, jota käytetään laskurissa kookoskuidun mallinnukseen. Perliitin ja vermikuliitin ympäristövaikutustietoja saatiin Nordisk Perlite & Vermipu Oy:ltä. Näissä laskennoissa perliitin on oletettu tulevan Tanskasta, vermikuliitin Venäjältä.

Kasvualustojen tuotannon ilmastovaikutuksiin on edellä lueteltujen tuotanto- ja hankintatietojen lisäksi sisällytetty myös kuljetukset Suomeen niille kasvualustoille, joita ei ole tuotettu Suomessa. Kuljetukset on mallinnettu käyttäen VTT:n LIPASTO-tietokantaa. Kasvualustojen kuljetukset kotimaassa lasketaan erikseen kuljetusten yhteydessä kasvihuoneen sijainnista riippuen.

2.3.6 Lannoitteet

Kasvihuoneissa käytetään useita erilaisia lannoitteita. NPK-lannoitteiden lisäksi kasvihuoneissa käytetään muun muassa kalkkisalpietaria, typpihappoa ja magnesiumnitraattia. Lannoitteiden valmistustietoja on kerätty etenkin Suomen suurimmilta lannoitevalmistajilta kuten Yaralta ja Kekkilältä. Muutamia lannoitetietoja on saatu myös Kemiralta. Kaikkia lannoitetietoja ei kuitenkaan saatu suomalaisista lähteistä. Näiltä osin tietoja täydennettiin sveitsiläisestä elinkaaritietokannasta Ecoinventistä. Kivennäislannoitteiden sisältämästä typestä 1 % arvioitiin vapautuvan ilmaan typpioksiduulina IPCC:n (2006) ohjeiden mukaan. Tiedon laatuvaatimuksissa täytyi lannoitteiden tuotannolle annetut vaatimukset elintarvikkeiden ilmastovaikutusten laskentasuosituksen osalta.

2.3.7 Pakkaukset

Tomaatit ja kurkut pakataan aaltopahvilaatikoihin, joiden painot ja kierrätyskuidun osuudet on kysytty pahvin valmistajalta. Aaltopahvin tuotantoketjun ilmastovaikutusten laskentaan on käytetty Oy Keskuslaboratorion (KCL) Suomen Aaltopahviihdistykselle tekemän elinkaariarvioinnin päästötietoja. Aaltopahvi on kuitenkin oletettu kierrätysaaltopahviksi, joten Aaltopahviihdistyksen tietoja on muokattu tämän mukaisesti. Kierrätyksen vaikutuksen mallintamisessa on käytetty ISO 14049-standardin avointa allokointimenettelyä. Avointa allokointia käytettiin, koska kierrätyksen jälkeen kuitujen ominaisuudet heikenevät ja niitä käytetään toisenlaisen tuotteen, eli hylsykartongin valmistukseen. Allokoinnissa on otettu huomioon myös tuotteiden taloudelliset arvot eli se, aaltopahvin taloudellinen arvo on hieman suurempi kuin hylsykartongin.

Salaatit ja kurkut pakataan muoviin. Ruukkusalaatissa käytetty muovipussi on polypropeenaa. Polypropeenin valmistuksen päästötiedot otettiin Plastics Europan tietokannasta ja itse pussin valmistustiedot suoraan valmistajilta. Kurkut pakataan myös muoviin, mutta tällöin käytettävä muovi on polyeteeniä (LDPE). Polyeteenin valmistustiedot on myöskin saatavilla Plastics Europan tietokannasta. Kurkun pakkauskelmun valmistustiedot saatiin myös suoraan valmistajilta. Muovipakkausten valmistuksesta saatiin tietoja seuraavilta yrityksiltä: Muovijaloste Oy, Pyroll Oy ja Ab Rani-Plast Oy. Lisäksi kasvihuonetuotannossa käytetään muoviruukkuja, joiden osalta saatiin tietoja Pöppelmannilta ja Hj Jousi Oy:ltä. Muoviruukkujen materiaali oli polypropeeni.

Pakkausten valmistamisen tiedot olivat siten tuotantoketjukohtaista tietoa tuotteiden valmistajalta ja pakkausmateriaalien valmistuksen tiedot tietokantatietoja, joten elintarvikkeiden ilmastovaikutuksen laskentasuosituksen laatuvaatimukset täytyivät pakkausten osalta. Allokoinnit useampaa erilaista pakkaustuotetta tuottavien yritysten osalta suoritettiin massa-allokointina.

2.3.8 Jätteet

Jätteiden mallintamisessa huomioidaan kurkun ja tomaatin tuotannossa syntyvä kasvijäte, jonka määrästä sekä kuiva-aine-, typpi- ja hiilipitoisuudesta saatiin laskelma perustuen MTT:n kasvihuonetutkijoiden tekemiin kokeisiin Piikkiössä ja Närpiössä, tomaatin osalta vuonna 1999 ja kurkun osalta vuonna 2006 ja salaatin kuiva-ainepitoisuuden osalta Oksasen puutarhassa Turussa tehtyihin kokeisiin 2011 ja 2012. Laskelmat tehtiin kurkun ja tomaatin osalta sekä luonnonvalo- että tekovalo- tuotannolle. Istutus kurkkukokeessa oli 9.5. ja tomaattikokeessa 25.2. Kompostoinnissa syntyy jonkin verran metaania ja typpioksiduulia, joiden määrän arvioimiseksi käytettiin typpioksiduulin osalta worst-case-skenaariota lähteestä Myllymaa ym. (2008), perustuen lähteisiin Easewaste (2007) ja Lehto (2005) ja metaanin osalta lähteeseen Myllymaa ym. (2008) perustuen edelleen lähteeseen Easewaste (2007). Laskelmissa oletettiin, että puolet kompostoitavan aineksen typestä vapautuu ja 5 % siitä on typpioksiduulia ja toisaalta, että 65 % hiilestä vapautuu ja siitä 3 % on metaania. Kaatopaikkajätteen osalta mallinnuksessa on käytetty IPCC:n (2006) laskentakaavoja kaatopaikkakäsittelyn metaanipäästöistä, jotka ottavat huomioon sen, että erilaisilla orgaanisilla jätteillä (kuitujäte, ruokajäte, puutarhajäte) on erilainen orgaanisen hiilen pitoisuus ja erilainen metaanintuottopotentiaali.

Jätteiden osalta ei huomioitu mahdollisia korvaavuuksia esim. jätteiden poltossa saatavasta energiasta tai kompostoinnista saatavan mullan hyötykäytöstä. Kompostoinnin päästöt huomioitiin myös, vaikka tuotokseksi saataisiin multaa toiseen tuotejärjestelmään, mikä poikkesi elintarvikkeiden ilmastovaikutusten laskentasuosituksesta.

2.3.9 Kuljetukset ja siirrot

Kasvihuonetuotteiden elinkaareissa kuljetuksia ja siirtoja tehdään useilla eri kulku- ja siirtovälineillä. Eri kulkuneuvojen päästöt mallinnetaan LIPASTO-tietokannan päästökertoimilla.

Osa kasvihuoneiden tuotantopanoksista kuljetetaan kasvihuoneille valmistajan toimesta, jolloin kasvihuoneyrittäjillä ei yleensä ole tarkkoja tietoja kuljetuksista. Tuotantopanosten lähtöpaikka ja kuljetusten kerrat yleensä tiedetään, mutta tuotantopanosten osuutta kuormasta ei välttämättä tunneta. Tästä syystä laskurin mallia on yksinkertaistettu niin, että sillä voidaan laskea arvio kuljetusten päästöistä tietämällä ainoastaan kuljetettavien tuotantopanosten massat ja kuljetusmatkat. Oletus on kuljetus kuorma-autolla, jonka kuorma on 70 % maksimipainosta. Haluttaessa laskuri mahdollistaa myös tarkemman tarkastelun.

Laskurissa kuljetuksista ja siirroista ohjeistetaan huomioimaan ainakin lannoitteiden, kasvualustojen ja pakkausten kuljetukset sekä muut selkeästi kasvihuoneen toimintaan liittyvät kuljetukset ja siirrot, kuten posti- ja pankkiasioilla käynnit sekä kasvihuoneella traktoreilla ja trukeilla tapahtuvat siirrot. Laskuri mahdollistaa myös muiden tuotantopanosten kuten taimien ja sipulien kuljetusten huomioimisen.

3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

3.1 Tulokset

Tässä luvussa käydään läpi tutkimuksessa lasketut tarkasteltujen kasvihuonetuotteiden yrityskohtaiset ilmastovaikutukset. Tuloksista esitellään kokonaisilmastovaikutukset sekä niiden jakautuminen tuotantoketjun vaiheisiin. Erikseen esitellään myös tuotannon energiankulutukset.

Yrityskohtaisten tulosten lisäksi tutkimuksessa mallinnettiin kolmea erilaista skenaariota, joilla pyritään kuvaamaan kasvihuonetuotannon hiilijalanjäljen vaihtelua käytetyistä energiantuotantomuodoista riippuen. Skenaariot on kuvattu taulukossa 3.1.

Taulukko 3.1. Tuotantoskenaarioiden lähtötiedot.

Tuotantotekijä	Skenaario 1: vihreä energiantuotanto	Skenaario 2: keskimääräinen energiantuotanto	Skenaario 3: öljy	Skenaario 4: turve
Lämmöntuotannon polttoaine	Hake	Keskimääräinen kasvihuoneiden lämmönhankinta (taulukko 4.1)	Öljy	Turve
Lämmönkulutus	Yritysten keskiarvokulutus	Yritysten keskiarvokulutus	Yritysten keskiarvokulutus	Yritysten keskiarvokulutus
Sähkön alkuperä	Suomessa keskimäärin myyty uusiutuvilla tuotantomuodoilla tuotettu	Suomessa keskimäärin myyty	Suomessa keskimäärin myyty	Suomessa keskimäärin myyty
Sähkönkulutus	Yritysten keskiarvokulutus	Yritysten keskiarvokulutus	Yritysten keskiarvokulutus	Yritysten keskiarvokulutus
Muut tuotantotekijät	Yritysten keskimääräinen	Yritysten keskimääräinen	Yritysten keskimääräinen	Yritysten keskimääräinen

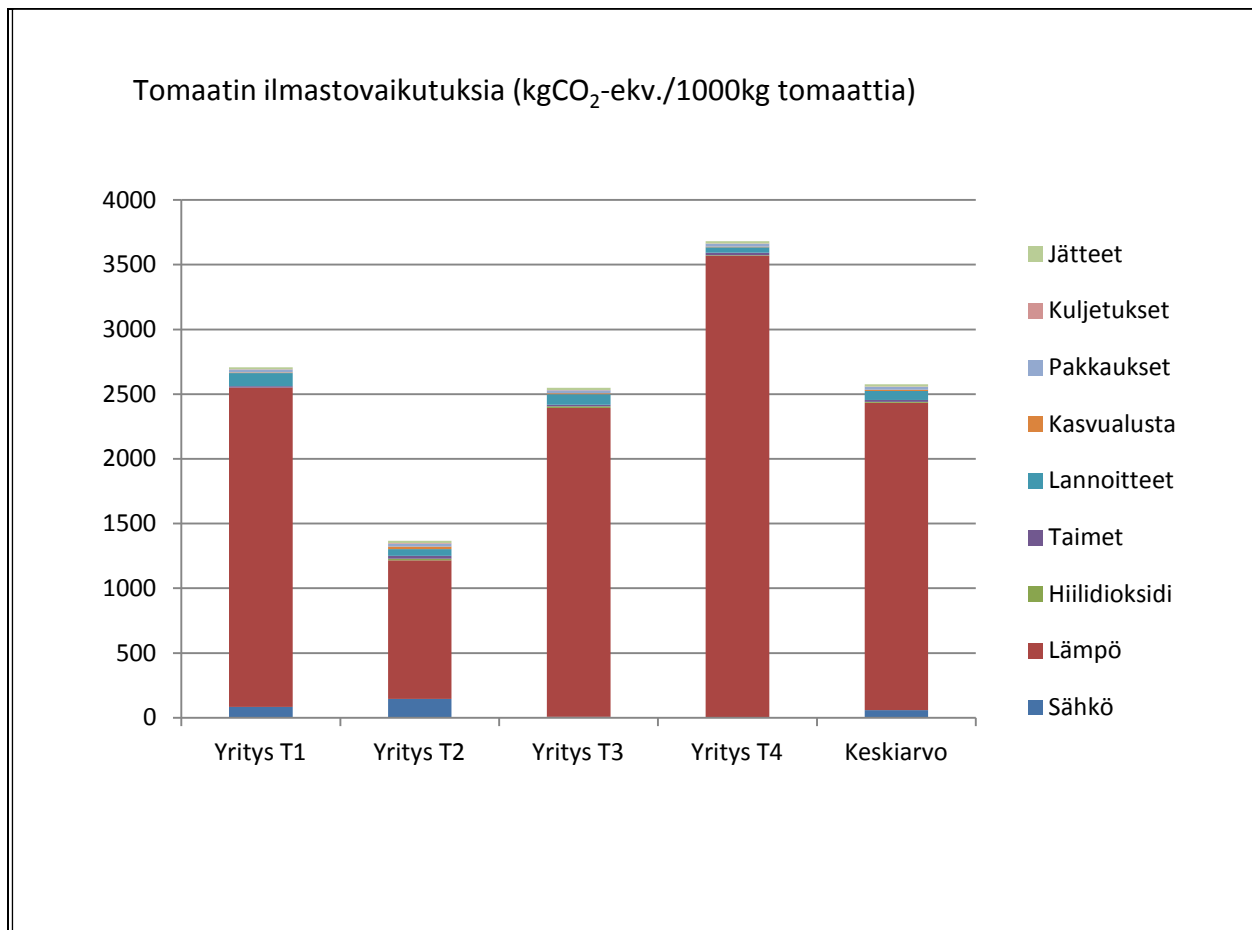
Skenaarioiden lämmön- ja sähkönkulutus ja muut tuotantotekijät on mallinnettu siis kunkin tuotteen kohdalla tarkasteltujen yritysten keskimääräisten tietojen mukaan. Tätä mallia on varioitu vaihtamalla oletuksia energian tuotantomuodoista pyrkien kuvaamaan tyypillisiä suomalaisen kasvihuonetuotannon ilmastovaikutusten ääripäitä. Näin tyypilliseen pienen ilmastovaikutuksen aiheuttavan tuotannon kuvaamiseen on valittu lämmöntuotantomuodoksi hake, joka on kasvihuoneiden yleisin käytetty uusiutuva polttoaine. Sähkö on oletettu Suomessa myydyksi keskimääräiseksi uusiutuvaksi sähköksi. Vastaavasti suurta ilmastovaikutusta on arvioitu kahdella eri skenaariolla. Erona näissä skenaarioissa on ainoastaan lämmönkulutuksen polttoaine, joka on toisessa skenaariossa öljy, toisessa turve. Myös nämä tarkastelut on valittu perustuen siihen, että molemmat näistä polttoaineista on Suomessa yleisesti käytettyjä kasvihuoneiden lämmöntuotannon polttoaineita. Sähkö on näissä skenaarioissa oletettu Suomessa keskimäärin myydyksi sähköksi.

Vaikka lisäskenaariot on valittu kuvaamaan Suomen kasvihuonetuotannon ilmastovaikutuksen tyypillisiä ääripäitä, voivat yritysten todelliset hiilijalanjäljet vaihdella näidenkin ääripäiden ulkopuolelle. Hiilijalanjälki voi olla pienen hiilijalanjäljen skenaariota pienempi, mikäli yrityksen energiakulutukset ovat tässä käytettyjä pienempiä. Vastaavasti ilmastovaikutus voi nousta tässä mallinnettuja suuria ilmastovaikutuksia isommaksi etenkin tapauksissa, joissa yrityksen energiankulutus on tässä mallinnettu

suurempi, tai sähkö on hankittu sähköyhtiöltä, jonka sähköntuotannosta aiheutuu Suomessa keskimäärin myytyä sähköä suurempi ilmastovaikutus.

3.1.1 Tomaatti

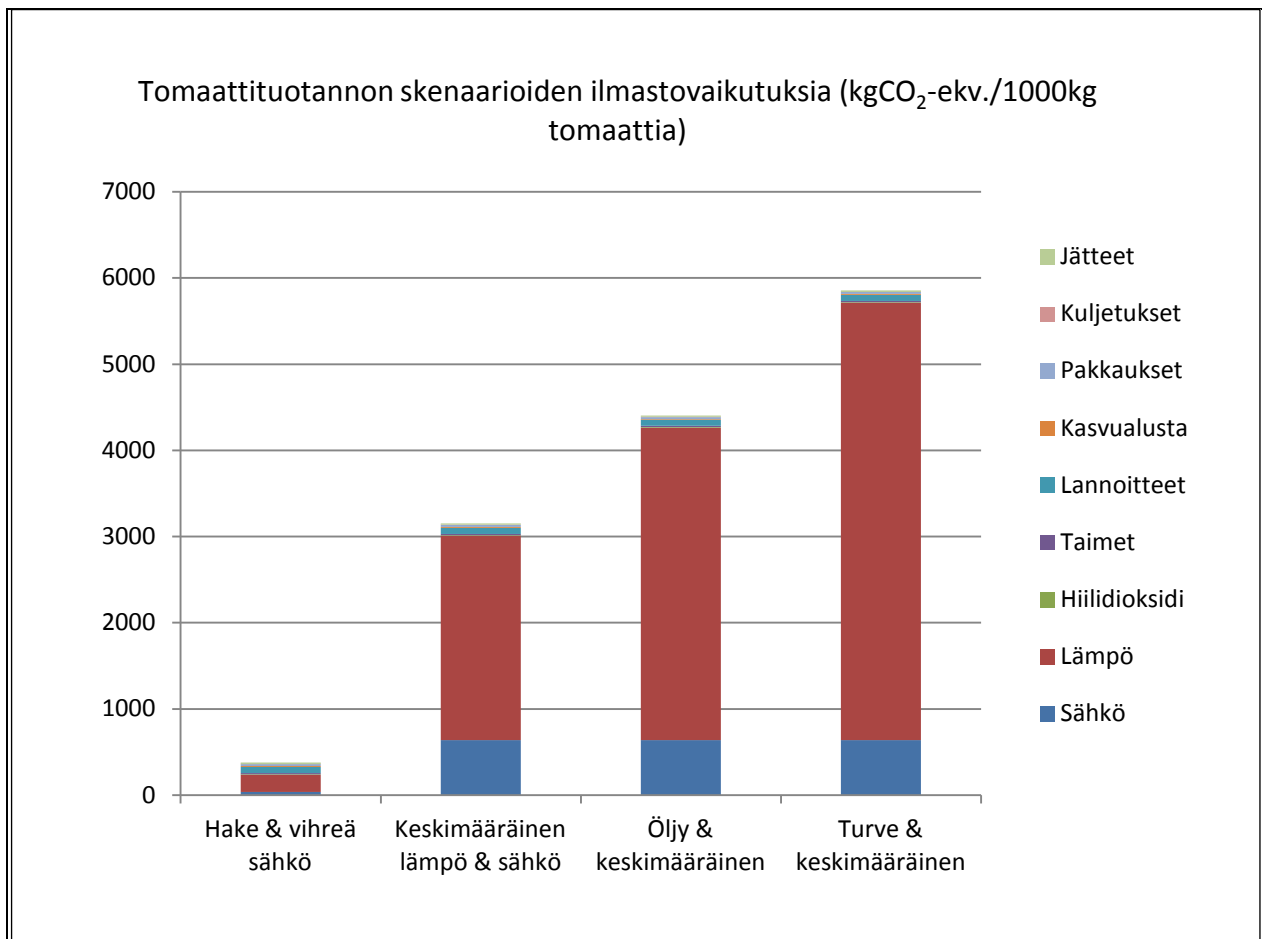
Tutkimuksessa mallinnetut kasvihuonetomaatin ilmastovaikutukset on koottu kuvaan 3.1.



Kuva 3.1. Kasvihuonetomaatin tuotantoketjun ilmastovaikutuksia.

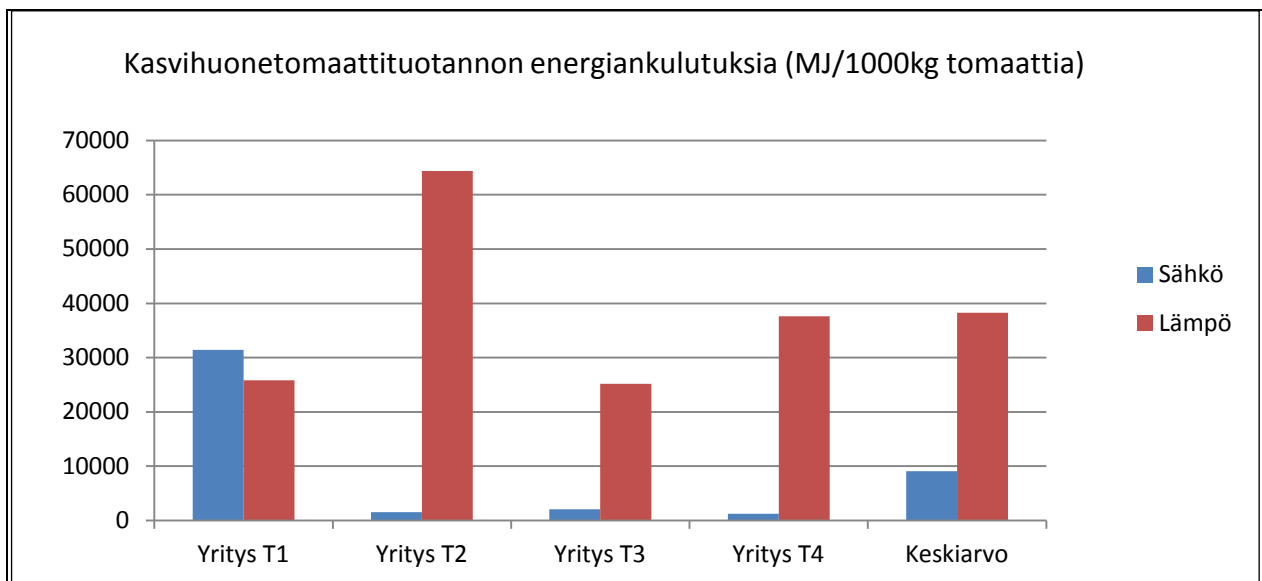
Kasvihuonetomaatin tuotantoketjulle lasketut ilmastovaikutukset vaihtelevat tarkastelluissa yrityksissä välillä 1360–3680 kgCO₂-ekvivalenttia/1000 kg tomaattia. Tutkituissa yrityksissä kasvihuonekaasupäästöjen suurin aiheuttaja on kaikissa tapauksissa lämmöntuotanto, jonka osuus oli yhteistyöyrityksissä 75–96 %. Tämän jälkeen suurimpia päästölähteitä ovat lannoitteet, ja yritysten T1 ja T2 kohdalla myös sähköenergian tuotanto. Myös lisäskenaarioissa lämmön osuus ilmastovaikutuksesta on tuotantopanoksista suurin. Keskimääräisellä sähköllä mallinnetuissa skenaarioissa sähkö nousee selkeästi toiseksi suurimmaksi ilmastovaikutuksen aiheuttajaksi. Muiden tuotantopanosten merkitys jää kaikissa tarkasteluissa vähäiseksi tai merkityksettömäksi lämmöntuotannon suuren osuuden vuoksi.

Kuvassa 3.2 on tarkasteltu taulukossa 3.1 määriteltyjen skenaarioiden ilmastovaikutuksia.



Kuva 3.2. Kasvihuonetomaattituotannon skenaarioiden ilmastovaikutuksia.

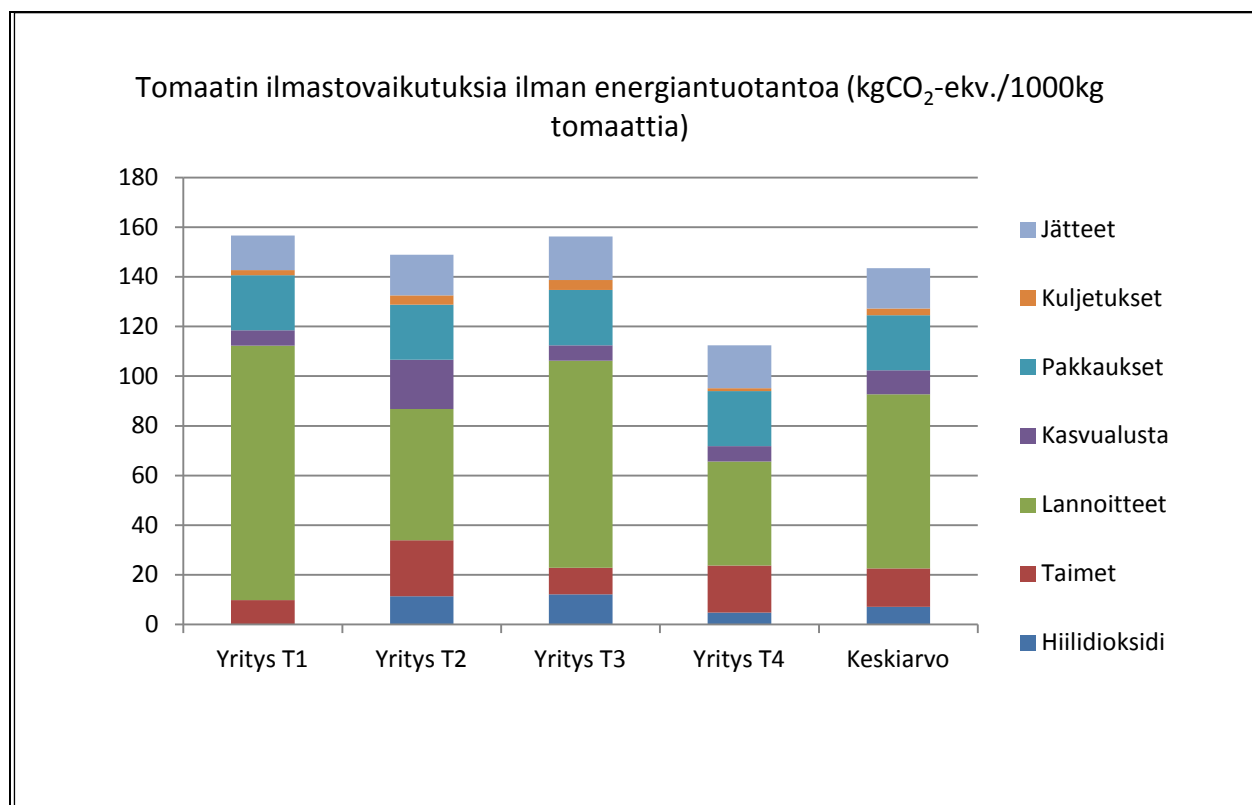
Skenaarioiden vaihteluväli on 370–5860 kgCO₂-ekv./1000 kg. Kuvassa 3.3 on tarkennettuna tomaattiyriytysten energiankulutuksia.



Kuva 3.3. Kasvihuonetomaattiyriytysten energiankulutuksia.

Yritystä T1 lukuun ottamatta kaikissa yrityksissä lämmönkulutus on merkittävästi suurempaa kuin sähkönkulutus. Lämmönkulutus on suurinta yrityksillä T2 ja T4. Hieman pienemmät lämmönkulutukset ovat yrityksillä T1 ja T3. Sähkönkulutus puolestaan on hyvin vähäistä yrityksillä T2, T3 ja T4. Yrityksen T1 sähkönkulutus on moninkertainen muihin yrityksiin verrattuna. Yritysten energian kokonaiskulutus vaihtelee välillä 27000–66000 MJ/1000 kg tomaattia.

Muiden tuotantotekijöiden kuin energian ilmastovaikutuksia on tarkasteltu kuvassa 3.4.



Kuva 3.4. Kasvihuonetomaatin tuotantoketjun ilmastovaikutuksia ilman energiantuotannon vaikutusta.

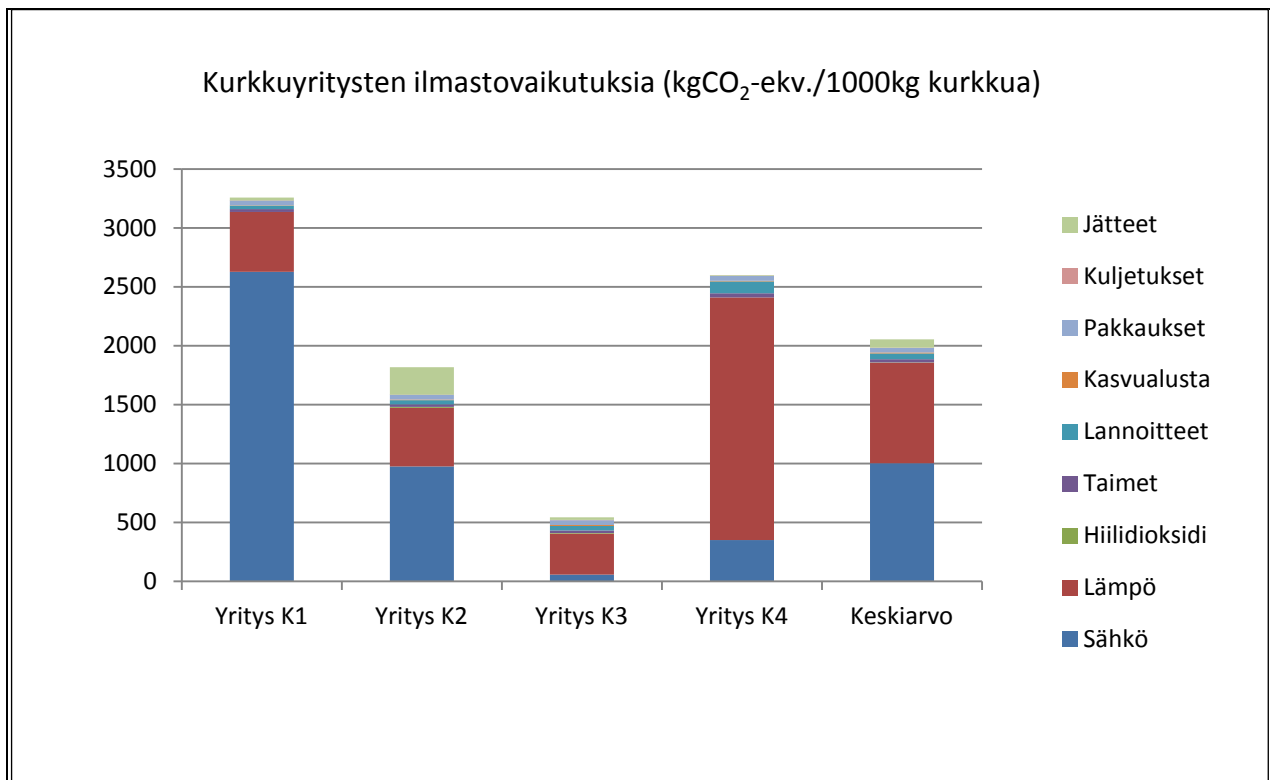
Muista tekijöistä kuin energiantuotannosta aiheutuva ilmastovaikutus vaihtelee tomaattirytyksissä välillä 110–160 kgCO₂-ekv./1000 kg tomaattia, joka tarkoittaa osuutena 5–26 prosenttia kokonaisilmastovaikutuksesta. Merkittävimpiä muista tekijöistä ovat lannoitteet, pakkaukset, taimet sekä jätteet. Hiilidioksidilannoituksen, materiaalien kuljetusten sekä kasvualustojen merkitys jää hyvin pieneksi.

Tomaattituotannossa hiilidioksidi on päästökomponenteista selkeästi suurin ilmastovaikutuksen aiheuttaja 95–99 prosentin osuudella kokonaisilmastovaikutuksesta. Dityppioksidi aiheuttaa 1–4 prosenttia ilmastovaikutuksesta metaanin osuuden jäädessä alle prosenttiin kaikissa tarkastelluissa yrityksissä.

Kuukausittaisia energiankulutuksia tarkasteltaessa havaittiin, että kesäkuukausien (kesä-, heinä-, elo-) lämpö- ja sähköenergiankulutus saattaa vähentyä jopa 70 % keskimääräiseen vuotuisen energiankulutukseen nähden, kun taas talvikuukausien (joulu-, tammi-, helmi-) energiankulutus voi olla 1,5-kertainen keskimääräiseen vuotuisen energiankulutukseen nähden.

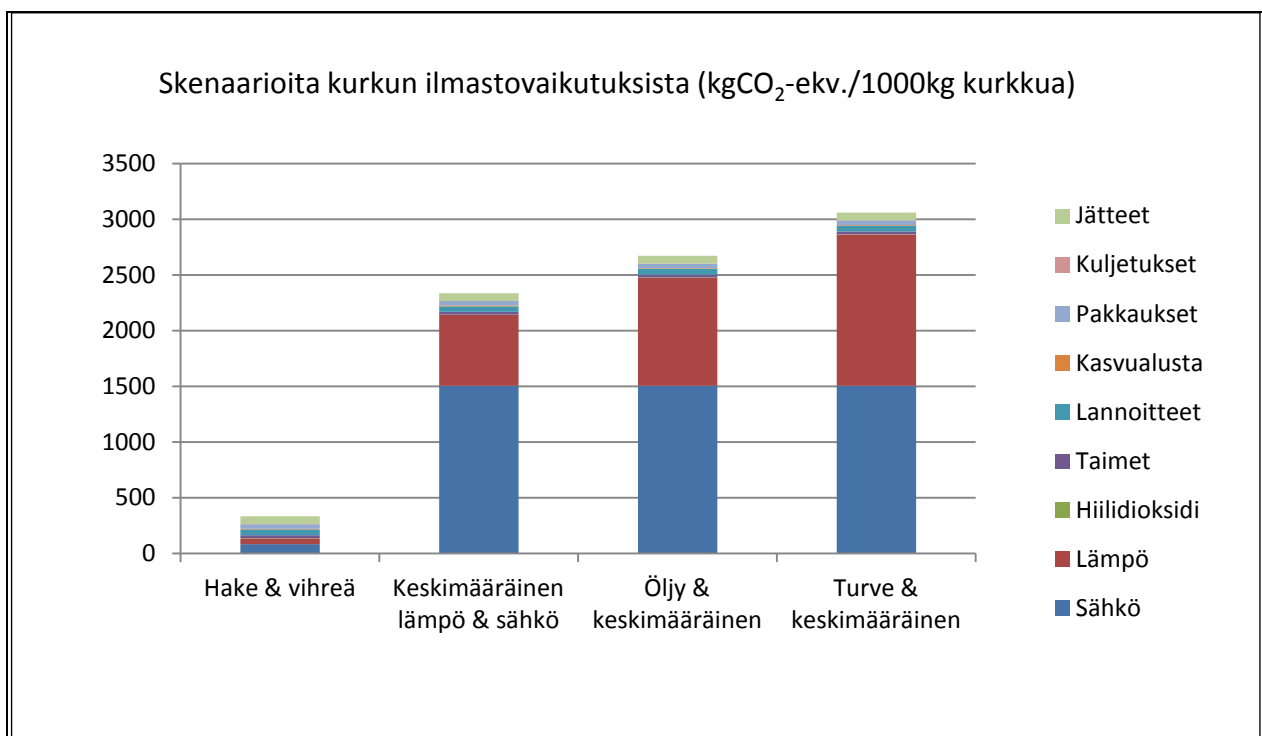
3.1.2 Kurkku

Kuvassa 3.5. on esitelty tutkimuksessa laskettuja kasvihuonekurkun ilmastovaikutuksia.



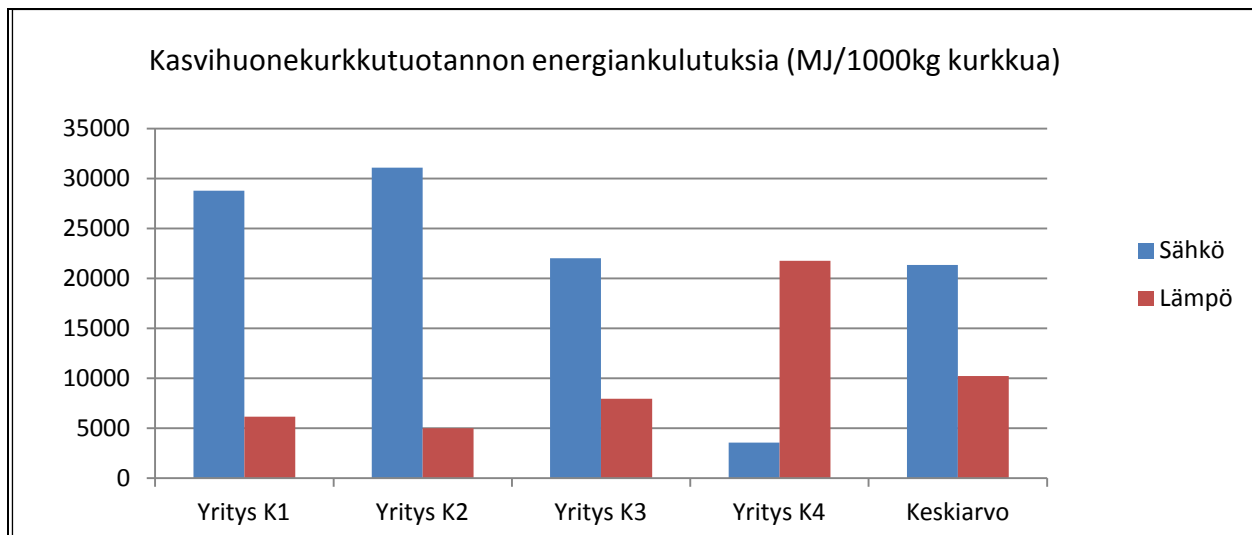
Kuva 3.5. Kasvihuonekurkkuyritysten ilmastovaikutuksia.

Kasvihuonekurkun tuotantoketjulle lasketut yritysکوhtaiset ilmastovaikutukset vaihtelevat välillä 540–3260 kgCO₂-ekvivalenttia/1000 kg kurkkua. Suurin kasvihuonekaasujen aiheuttaja on energiatuotanto 75–96 prosentin päästöosuudella sähkön- ja lämmöntuotannon osuuksien vaihdelta yrityksestä riippuen. Pieni osuus päästöistä aiheutuu myös lannoitteista ja etenkin yrityksen K2 kohdalla myös jätteistä. Muiden tuotantopanosten osuus jää hyvin pieneksi. Kuvaan 3.6 on laskettu taulukossa 3.1 esitellyille skenaarioille saatuja ilmastovaikutuksia.



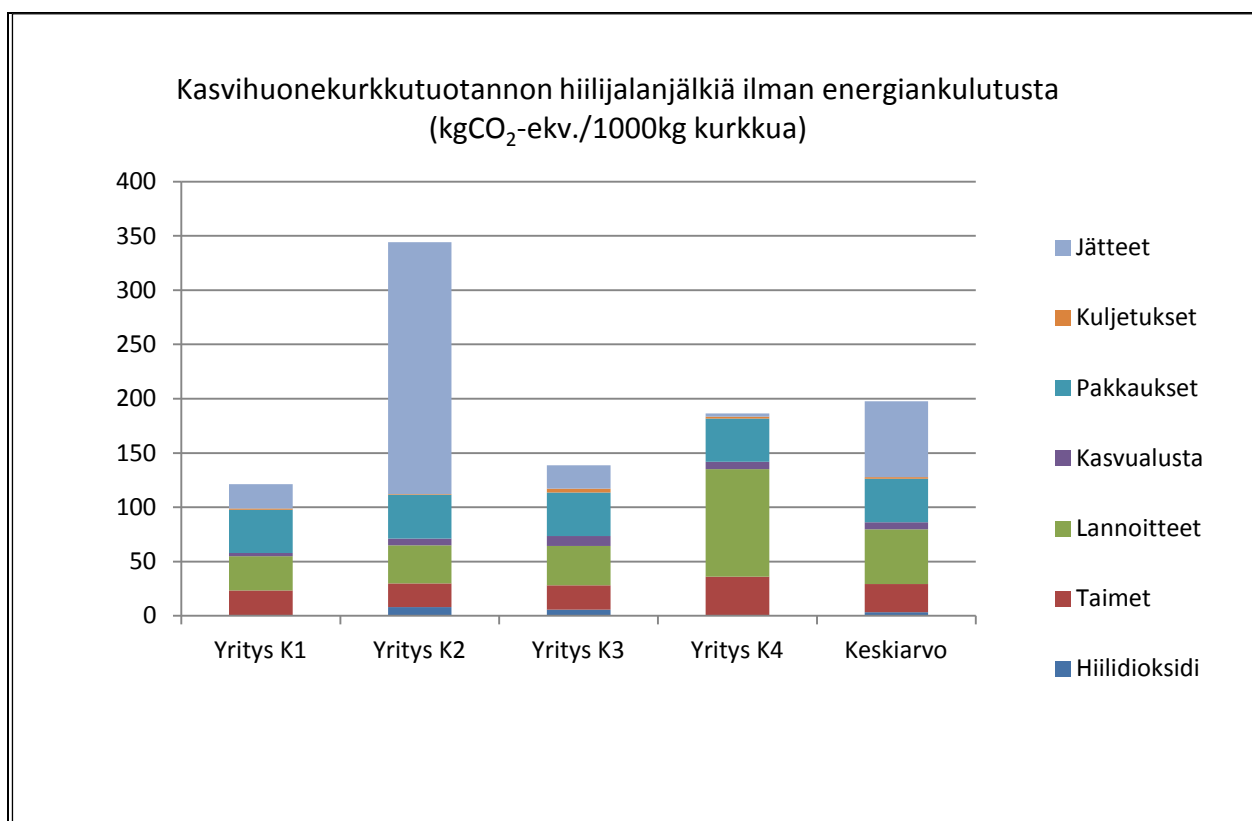
Kuva 3.6. Kasvihuonekurkkutuotannon skenaarioiden ilmastovaikutuksia.

Skenaarioiden ilmastovaikutukset vaihtelevat välillä 335–3060 kgCO₂-ekv./1000kg kurkkua. Turpeella ja keskimääräisellä sähköllä tehty skenaario jää hieman yrityksen K1 ilmastovaikutusta pienemmäksi, koska kyseisen yrityksen energiankulutus on keskimääräistä suurempaa ja myös tämän yrityksen käyttämän sähkön päästökerroin hieman Suomessa keskimäärin käytetyn sähkön päästökerrointa suurempi. Kuvaan 3.7 onkin koottu kurkkuyritysten sähkö- ja lämpöenergian kulutuksia sekä näistä lasketut keskiarvokulutukset, joilla skenaariot on siis mallinnettu.



Kuva 3.7. Kasvihuonekurkkuyritysten energiankulutuksia.

Kurkkuyrityksissä sähkönkulutus on selkeästi suurempaa kuin lämmönkulutus lukuun ottamatta yritystä K4. Vastaavasti yrityksessä K4 on kuitenkin selkeästi suurin lämmönkulutus. Energian kokonaiskulutus vaihtelee välillä 25000–36000 MJ/1000 kg kurkkua. Muita kuin energiasta aiheutuvia ilmastovaikutuksia on tarkasteltu kuvassa 3.8.



Kuva 3.8. Kasvihuonekurkkutuotannon ilmastovaikutuksia ilman energiankulutusta.

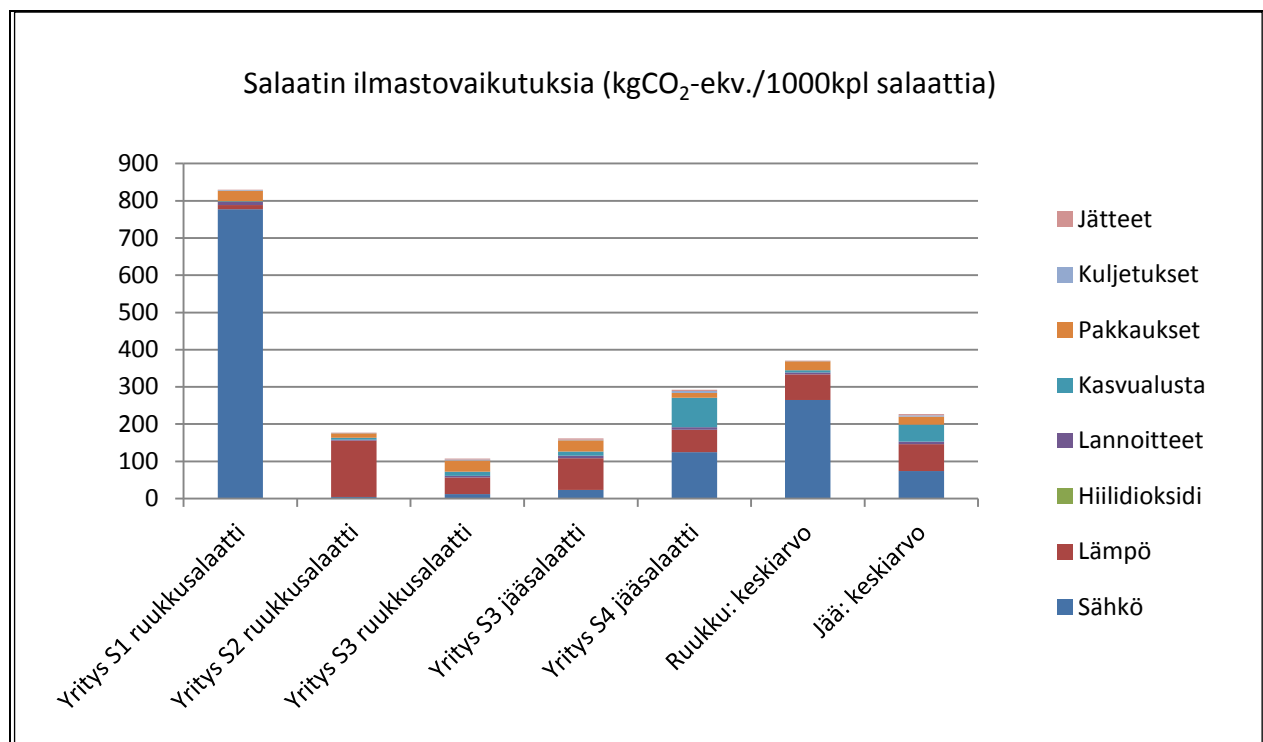
Muusta kuin energiantuotannosta johtuva ilmastovaikutus on kurkkuyrityksissä välillä 120–350 kgCO₂-ekv./1000 kg kurkkua. Näiden tuotantovaiheiden osuus kokonaisilmastovaikutuksesta on 5–26 prosenttia. Energiaan verrattuna osuus jää siis pieneksi. Näitä komponentteja verrattaessa merkittävimpiä ovat jätteet, lannoitteet, taimet ja pakkaukset, kun taas materiaalien kuljetusten, kasvualustojen valmistuksen ja lisätyn hiilidioksidin merkitys jää kaikkein vähäisimmäksi.

Päästökomponeenteista hiilidioksidilla on selvästi suurin merkitys ilmastovaikutuksesta sen osuuden ollessa 92–96 prosenttia yritysten ilmastovaikutuksista. Dityppioksidin osuus on 2–6 prosenttia. Metaanin osuus jää kahdessa yrityksessä alle prosentin, mutta on yhdessä yrityksistä jopa 6 prosenttia.

Kuukausittaisia energiankulutuksia tarkasteltaessa havaittiin myös kurkun osalta, että kesäkuukausien (kesä-, heinä-, elo-) lämpö- ja sähköenergiankulutus saattaa vähentyä jopa 70 % keskimääräiseen vuotuisen energiankulutukseen nähden, kun taas talvikuukausien (joulu-, tammi-, helmi-) energiankulutus voi olla 1,5-kertainen keskimääräiseen vuotuisen energiankulutukseen nähden

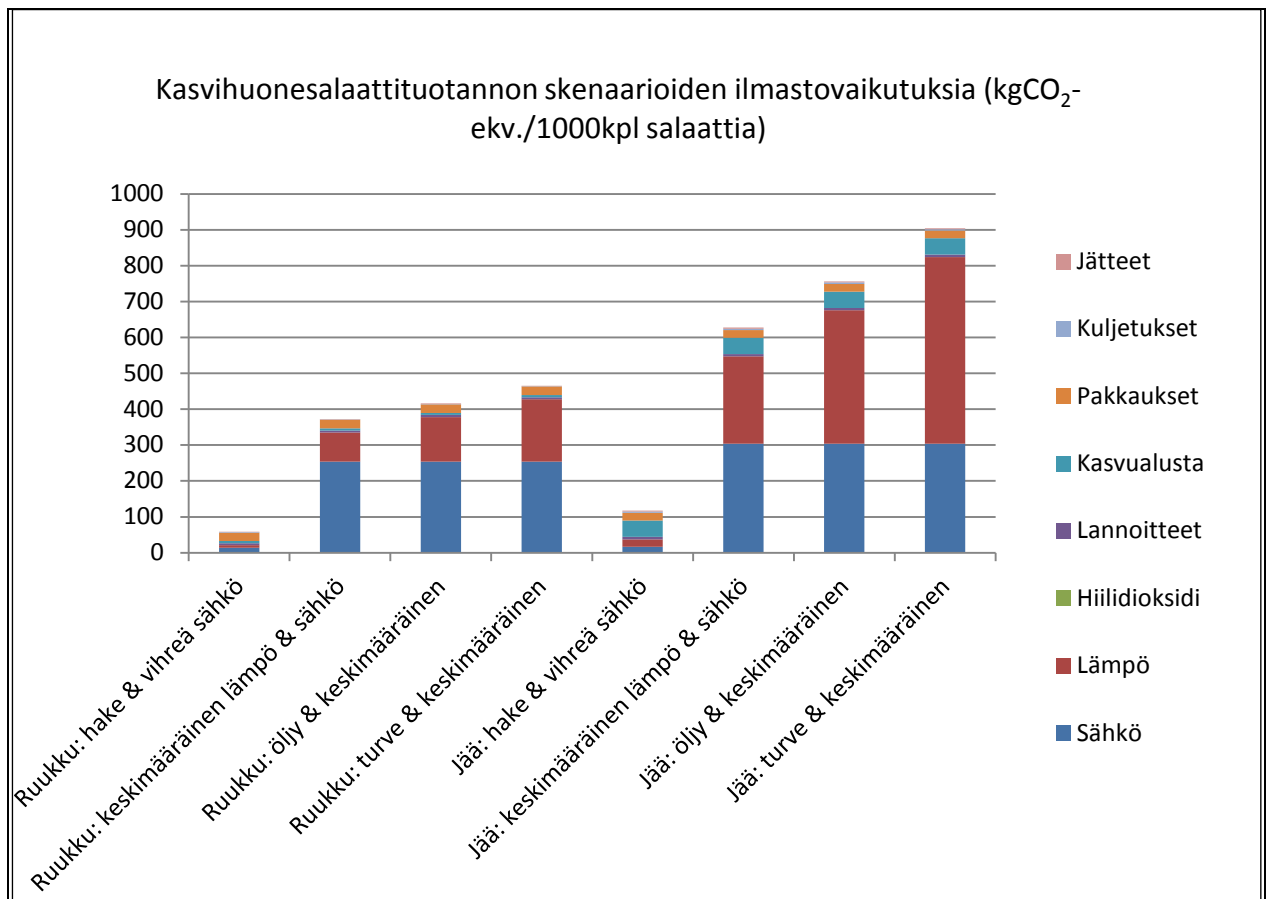
3.1.3 Salaatti

Salaatille mallinnettuja ilmastovaikutuksia tarkastellaan kuvassa 3.9.



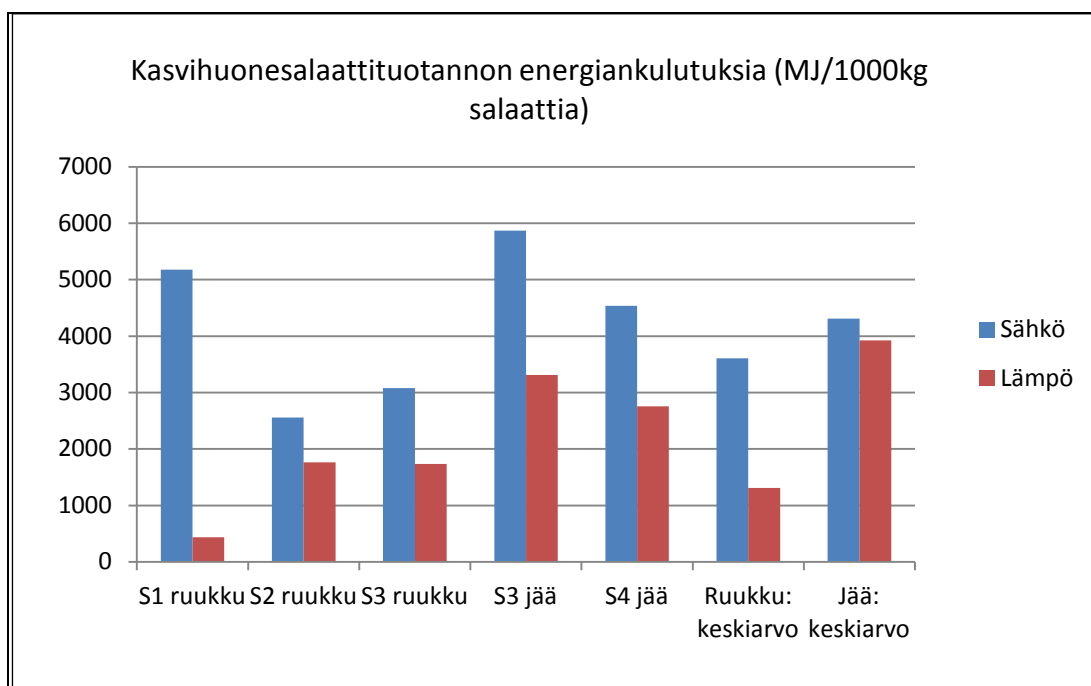
Kuva 3.9. Salaatin tuotannon ilmastovaikutuksia.

Kuvasta 3.9 havaitaan, että yritysten ilmastovaikutukset vaihtelevat välillä 107–828 kgCO₂-ekv./1000 kpl ruukkusalaattia tarkasteltaessa, ja välillä 160–290 kgCO₂-ekv./1000 kpl jääsalaatin kohdalla. Suurimmat ilmastovaikutusten aiheuttaja on myös salaatin kohdalla energiantuotanto, jonka osuus oli 52–95 %, vaikkakin yrityksen S3 tapauksessa myös pakkaukset nousevat hyvin merkitseviksi. Yritysten tulosten lisäksi myös salaatin kohdalla tehtiin skenaariotarkastelua taulukon 3.1 mukaisesti. Skenaarioiden ilmastovaikutukset on esitelty kuvassa 3.10



Kuva 3.10. Kasvihuonesalaattituotannon skenaarioiden hiilijalanjälkiä.

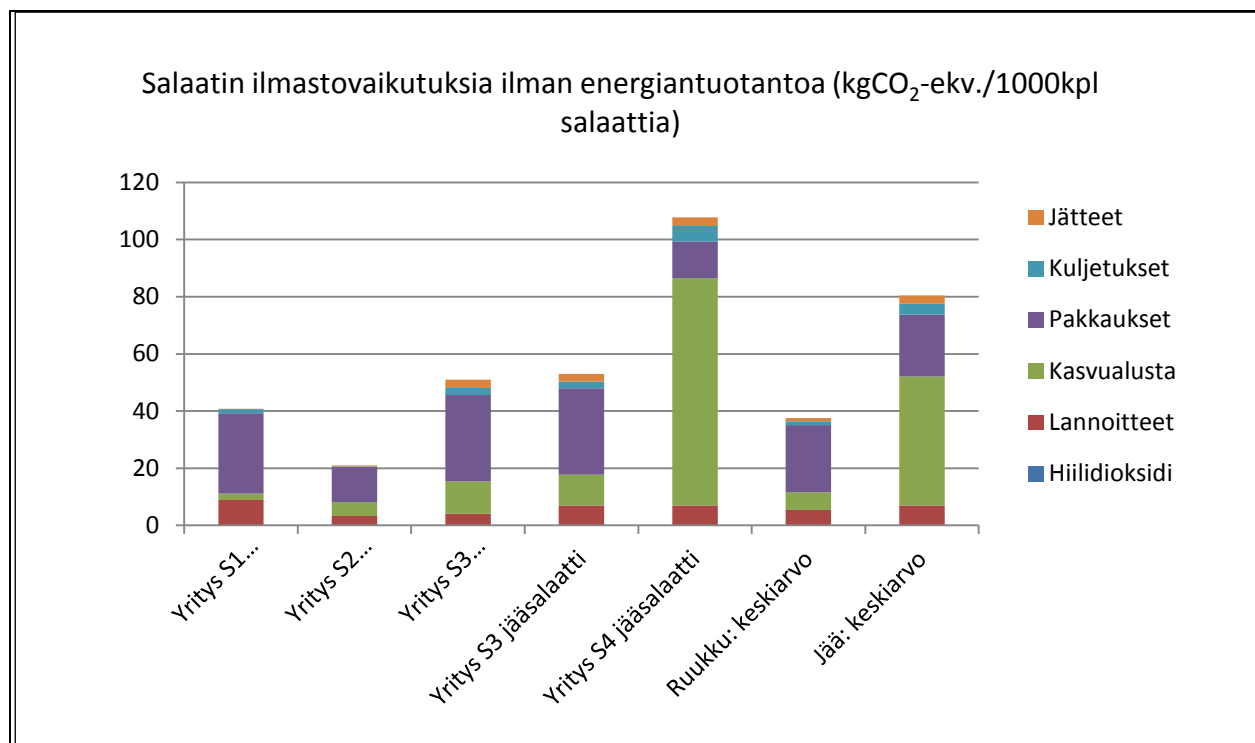
Skenaarioiden vaihtelu on välillä 58–470 kgCO₂-ekv./1000 kpl ruukkusalaatilla, ja jääsalaatilla 117–905 kgCO₂-ekv./1000kpl. Yritysten energiankulutuksia on tarkasteltu kuvassa 3.11.



Kuva 3.11. Salaattituotannon energiankulutuksia.

Yrityksen S1 sähkönkulutus on selkeästi suurempaa kuin muiden ruukkusalaattiyritysten. Vastaavasti yrityksen S1 lämmönkulutus on kuitenkin hieman pienempää. Jääsalaatti tarkasteltaessa yrityksessä S3 on sekä hieman suurempi lämmön- kuin sähkönkulutus. Kokonaisenergiankulutus vaihtelee ruukkusalaattiyrityksissä välillä 3850–5620 MJ/1000 kpl salaattia ja jääsalaatilla välillä 7300–9200 MJ/1000 kpl.

Energiaa lukuun ottamatta tuotantotekijöistä merkitsevimmäksi nousevat pakkaukset. Muita tuotantotekijöitä tarkastellaan kuvassa 3.12.



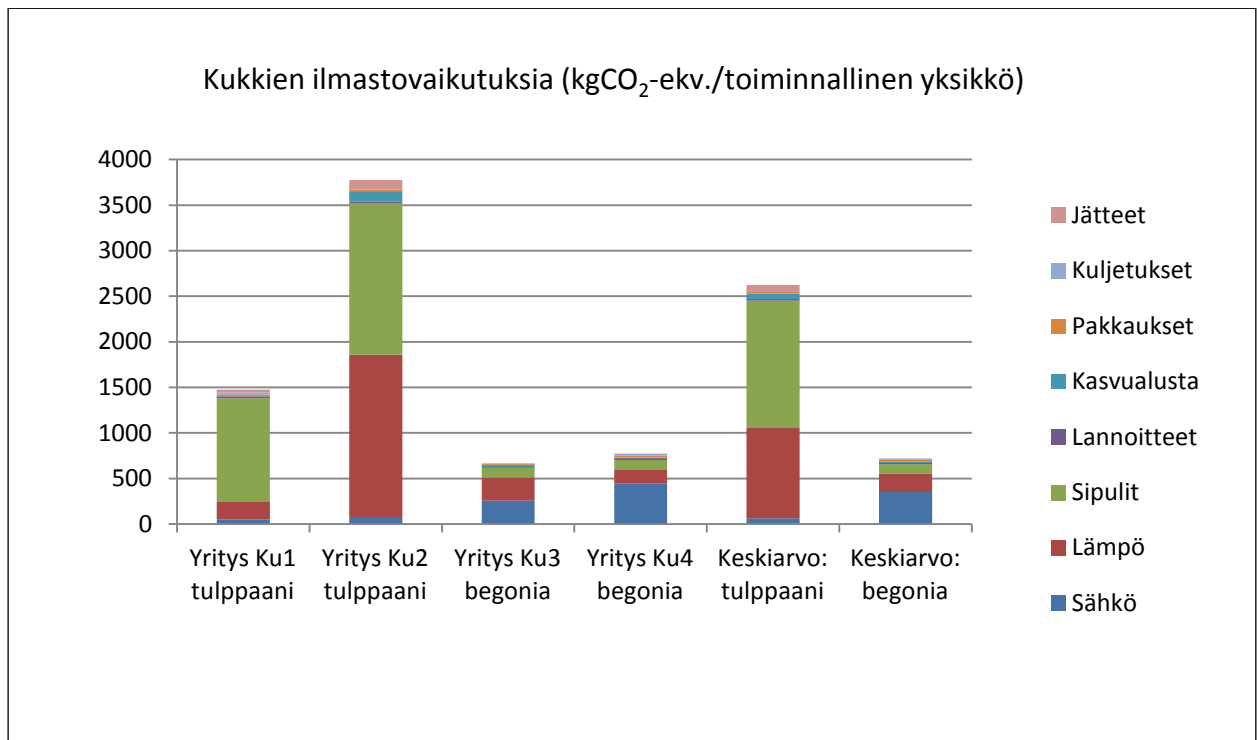
Kuva 3.12. Salaatin ilmastovaikutuksia ilman energiantuotantoa.

Muiden tuotantotekijöiden kuin energiantuotannon aiheuttaman ilmastovaikutuksen osuus on pienimmillään 5 prosenttia, mutta suurimmillaan jopa 48 prosenttia. Muista tuotantotekijöistä pakkaukset ovat selkeästi merkitsevin aiheuttaen joka yrityksessä yli puolet muiden tuotantotekijöiden ilmastovaikutuksesta.

3.1.4 Tulppaani ja kukkiva ruukkukasvi

Luvussa 3.1.4 tarkastellaan kukkayrityksille laskettuja ilmastovaikutuksia sekä näistä muodostettuja skenaarioita. Huomioitavaa kukkien tuloksia tarkasteltaessa on se, että kukkien toiminnalliset yksiköt on valittu tavallisimpien myyntiyksiköiden mukaan, ja ovat näin ollen tulppaanilla 1000 kymmenen kappaleen kimppeä, ja pauliinabegonialla 1000 kappaletta.

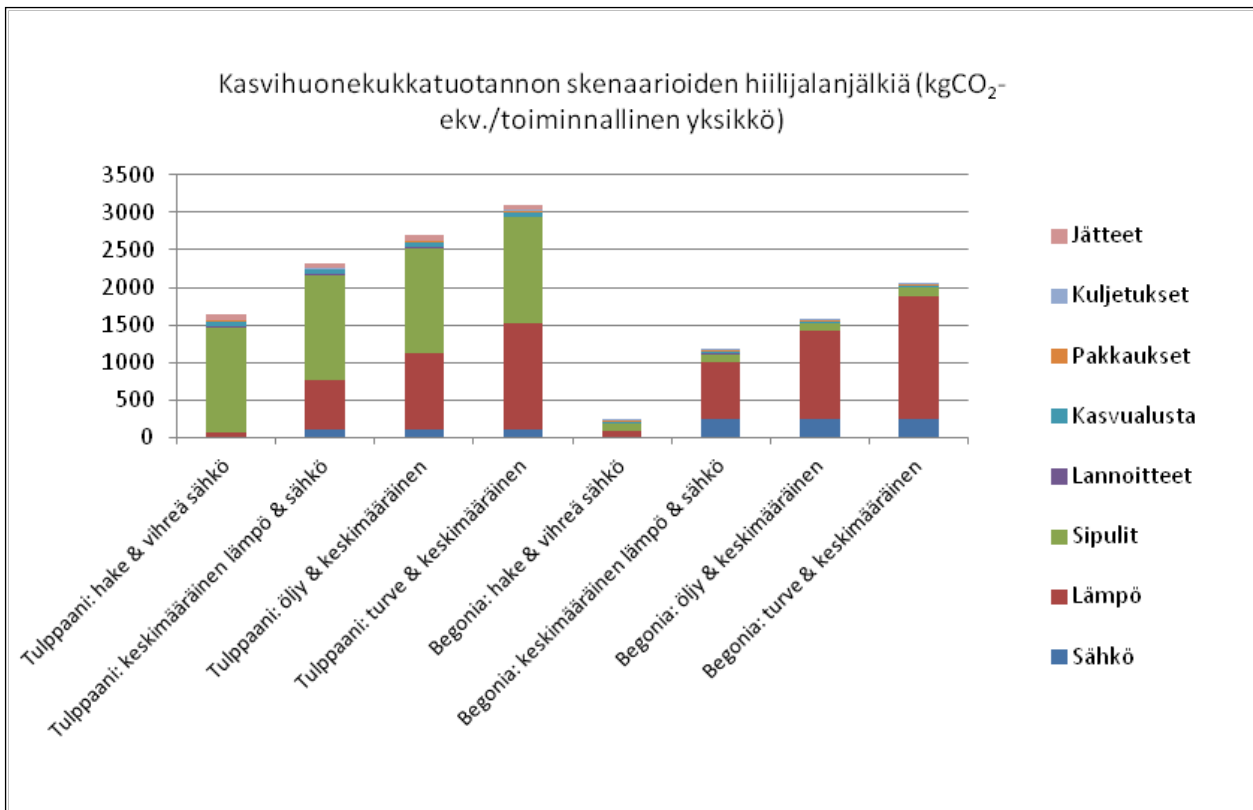
Kuvassa 3.13 on kuvattuna kukkayrityksille laskettuja ilmastovaikutuksia.



Kuva 3.13. Kasvihuonekasvatettujen kukkatuotteiden ilmastovaikutuksia.

Kuvasta 3.13 havaitaan, että yrityksille saadut ilmastovaikutukset ovat tulppaanilla välillä 1470–3780 kgCO₂-ekv./1000 kpl kymmenen tulppaanin kimppuja. Vastaavasti pauliinabegonian ilmastovaikutukset vaihtelevat välillä 665–775 kgCO₂-ekv./1000 kpl. Etenkin tulppaanilla sipulin kasvatuksen vaikutus nousee merkittäväksi tekijäksi energiantuotannon ohelle.

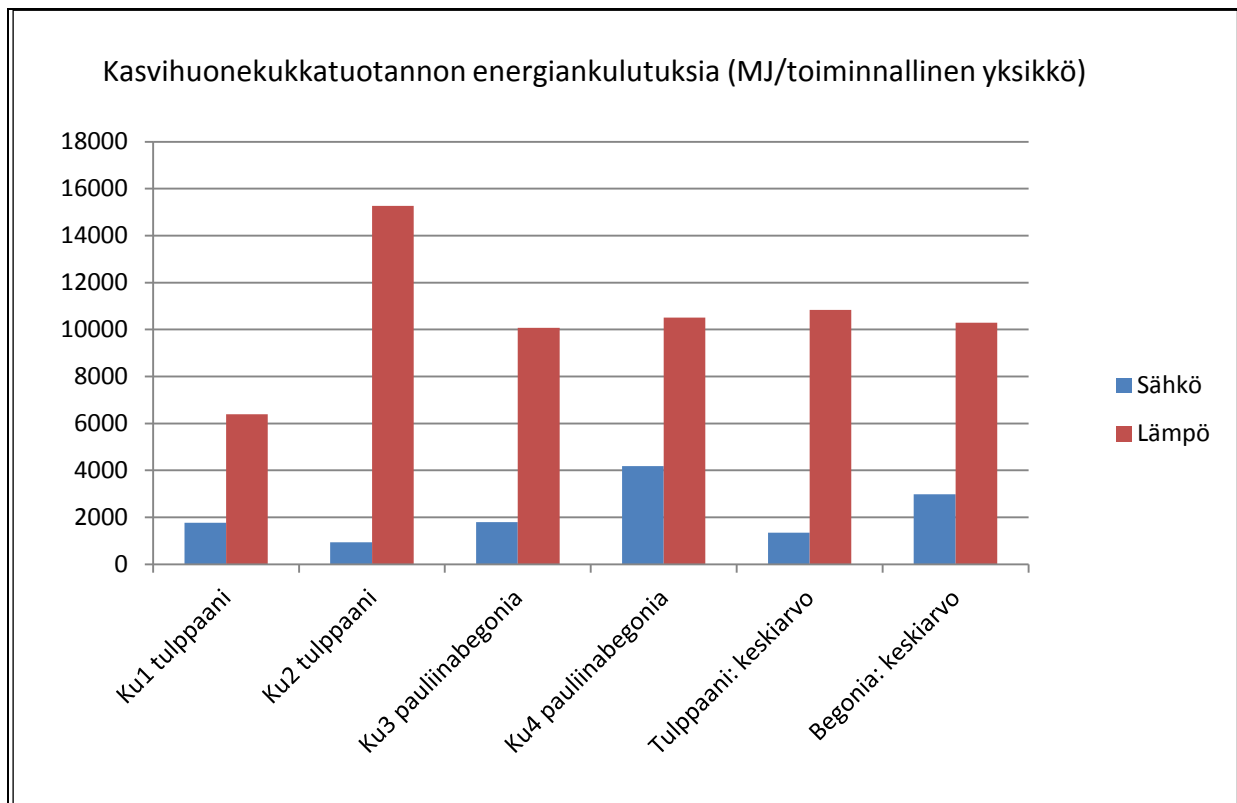
Myös kukkatuotannolle suoritettiin skenaariotarkastelu taulukon 3.1 skenaario-oletusten mukaisesti. Tulokset skenaariolaskennasta on esitelty kuvassa 3.14.



Kuva 3.14. Kukatuohteille muodostettujen skenaarioiden ilmastovaikutustarkastelua.

Skenaarioissa ilmastovaikutukset ovat tulppaanilla välillä 1630–3100 kgCO₂-ekv./1000 kpl 10 tulppaanin kimpua ja pauliinabegoniolla 240–2051 kgCO₂-ekv./1000 kpl.

Tarkastelua tehdessä on myös kukkien kohdalla olennaista huomioida yritysten energiankulutukset. Yritysten energiankulutukset on esitetty kuvassa 3.15.



Kuva 3.15. Kukkatuotteiden tuotannon energiankulutuksia..

Kokonaisenergiankulutus on tulppaanirytyksissä 8160–16200 MJ/1000 kpl kymmenen tulppaanin kimpua ja pauliinabegoniolla 14690–16662 MJ/1000 kpl.

3.2 Tulosten tarkastelu ja arviointi

Tuloksia arvioidaan sekä lähtötietojen arvioimisen kannalta että tarkastelemalla tulosten merkitystä. Lähtötiedoista tarkastellaan kerättyjä yritystietoja sekä käytettyjä päästötietoja tarkoituksena tuoda esiin kohdat, jotka voivat vaikuttaa saatujen tulosten laatuun. Tuloksia analysoidaan paikallistamalla syitä tutkimusten välisiin eroihin lähtökohtana niiden tekijöiden löytäminen, joilla voidaan vaikuttaa kasvihuonetuotteiden tuotantoketjun ilmastovaikutuksiin. Aluksi tuotantotekijöitä tarkastellaan yleisesti, jonka jälkeen siirrytään tuotekohtaisten tulosten tulkintaan. Vihannesten osalta tuloksia arvioidaan myös vertaamalla niitä aiemmin tehtyihin vastaaviin tutkimuksiin. Kukkien osalta vastaavaa vertailua ei voida tehdä, sillä kukkien ilmastovaikutustutkimuksia ei ole riittävästi saatavilla.

3.2.1 Lähtötietojen arviointi

Pääosa tutkittujen tuotteiden ympäristövaikutuksista aiheutui kasvihuoneessa käytetyn energian tuotannosta. Näin ollen suurimmat mahdolliset epävarmuudet tuloksissa ovat tutkimuksessa käytettyjen energiankulutuslukujen luotettavuudessa. Epävarmuustekijät ovat lähtötietojen osalta pieniä niissä tapauksissa, joissa kasvihuone tuottaa pelkästään tarkasteltavaa tuotetta. Tämä johtuu siitä, että näissä tapauksissa energiankulutustiedot saadaan lämmöstä suoraan polttoainekulutuksista ja sähköstä toimittajalta. Tällaisia yrityksiä ovat kaikki tomaatti- ja kurkkuryitykset, sekä salaattiryitys S1. Salaattiryityksessä S2 tuotetaan myös pieniä määriä yrtejä, mutta määrien ollessa pieniä vaikutus tulokseen ei ole merkittävä.

Muissa yrityksissä epävarmuustekijät ovat hieman suurempia johtuen siitä, että energiakulutus jakautumisesta useammalle tuotteelle joudutaan tekemään arvioita. Yrityksessä S3 tuotetaan sekä ruukku- että jääsalaattia, joten energiankulutuksen jakautuminen pitää arvioida näiden tuotteiden kesken. Tässä tapauksessa tuotanto-olosuhteet olivat kuitenkin samankaltaiset, ja tuotantoajat ja -pinta-alat tunnettuja. Näin jakaminen saatiin suoritettua ilman suuria epävarmuuksia.

Salaattiyrityksessä S4 ja kaikissa kukkayrityksissä tuotannossa oli useita tuotteita, ja energiankulutukset arvioitiin tutkimusryhmän toimesta yrityksestä saaduilla tiedoilla. Poikkeuksena tästä yritys Ku1, joka arvioi tuotteensa energiankulutuksen kokonaiskulutuksesta itse. Tutkimusryhmä kuitenkin totesi nämä arviot riittävän luotettaviksi. Tutkimusryhmän arvioissa saatua tarkkuutta on vaikea osoittaa yksittäiselle yritykselle, mutta vaihtelemalla arvioinnissa käytettyjä parametreja (yksinkertainen sensitiivisyysanalyysi) voi päätellä, että kuukausittainen vaihtelu voi olla luokkaa $\pm 15\%$. Virhe voi hetkittäin olla melkoisen suuri, mutta tavoite arvioida lämmityksestä johtuva ilmastovaikutus siedettävällä työmäärällä ei mahdollista parempaa arviointia. Tuloksia ei siis pidä käyttää tarkkoina arvoina, vaan suuruusluokka-arviona tuotannossa käytetyn lämmityksestä.

Lähtötiedoissa on epävarmuustekijöitä myös liittyen kompostointiin. Epävarmuustekijät koskevat sekä sitä, mille tuotteelle päästöt allokoitetaan ja että toisaalta myös päästömallinnukseen, mutta lopputuloksiin kompostoinnin päästöt eivät juuri vaikuttaneet. Esim. Boldrin ym. (2010) ja tässä tutkimuksessa käytetty Myllymaa ym. (2008) ilmoittavat kompostoinnin päästöille sangen suuren vaihteluvälin. Muiden epävarmuustekijöiden, kuten lannoitteiden tuotannon, kuljetusten tai pakkausten tuotannon epävarmuustekijöiden vaikutus oli pieni johtuen siitä, että pääasialliset ympäristövaikutukset olivat peräisin energiantuotannosta.

Kukkatuotteista tulppaanin sipuleilla havaittiin olevan merkittävä osuus ilmastovaikutuksesta. Tästä on kuitenkin todettava, että kukkien sipulitutkimuksia on tehty vain vähän. Laskennan pohjana käytetty tutkimus (van der Putten & Wildschut 2012) on luotettavan tahon tekemä, mutta vertailututkimusten puuttuessa sipulien tuotannon ilmastovaikutusten arviointiin jäi epävarmuutta.

3.2.2 Tuotantotekijöiden vaikuttavuus

Kuten edellä on mainittu, suurin vaikuttava tuotantotekijä on energiankulutus ja energian tuotantomuodot. Tästä selkeimmäksi vaikuttavaksi asiaksi voidaan todeta energian alkuperä. Pienimmät ilmastovaikutukset saadaan käyttämällä uusiutuvaa energiaa tai sähkön tapauksessa ydinenergiaa. Suurimmat ilmastovaikutukset ovat fossiilisilla polttoaineilla. Uusiutuvista energiamuodoista pienin ilmastovaikutus on vesivoimalla ja tuulivoimalla, joskin biopolttoaineiden ilmastovaikutukset ovat vain hieman suurempia. Fossiiliset polttoaineet ovat selkeästi eri suuruusluokassa, mutta myös fossiilisten polttoaineiden välillä on eroja: fossiilista polttoaineista maakaasulla, nestekaasulla ja öljyllä on hieman pienemmät ilmastovaikutukset kuin kivihiehellä ja turpeella.

Energiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä onkin vaikeampaa havaita tämän tutkimuksen perusteella. Tutkittavissa yrityksissä on useita energiankulutukseen vaikuttavia muuttuvia tuotantotekijöitä, jolloin yksittäisen tuotantotekijän vaikutusta energiankulutukseen on vaikeaa todeta. Valotuksen tiedetään lisäävän sähkönkulutusta ja vähentävän lämmönkulutusta, mutta yksiselitteistä vaikutusta energian kokonaiskulutukseen ei tässä tutkimuksessa havaittu.

Muiden tuotantotekijöiden vaikutus kokonaisilmastovaikutukseen on pienempi, mutta joitakin havaintoja näistä voidaan mainita lisäystä hiilidioksidista, lannoitteista, kasvualustoista, jätteistä sekä kuljetuksista.

Tuotteelle optimaalisen hiilidioksidipitoisuuden pitäminen kasvihuoneessa lyhentää kasvuaikaa ja näin parantaa viljelytulosta. Hiilidioksidin lisäystä ei kuitenkaan ole kannattavaa tehdä niin, että hiilidioksidia tuotetaan vain lisäävän hiilidioksidin saamiseksi. Lisättävä hiilidioksidi onkin kannattavinta hankkia joko oman energiantuotannon sivutuotteena ohjaamalla energiantuotannosta aiheutuva hiilidioksidi kasvihuoneeseen tai ostamalla hiilidioksidi yrityksestä, jolle hiilidioksidia on kertynyt toisen tuotteen sivutuotteena. Oman energiantuotannon yhteydessä syntyvä hiilidioksidi huomioidaan joka tapauksessa ilmastovaikutuksen laskentaan, mutta koska se syntyy joka tapauksessa energiantuotannon yhteydessä, on se kannattavampaa hyödyntää kuin tuottaa erikseen. Vastaavasti ostetun hiilidioksidin kasvihuonekaasupäästöistä suurin osa kohdennetaan hiilidioksidia myyvän yhtiön päätuotteelle, koska hiilidioksidi on syntynyt sivutuotteena. Tällaisissa tapauksissa myös ostetun hiilidioksidin päästökerroin on pieni.

Lannoituksessa ilmastovaikutukseen eniten vaikuttava tekijä on lannoitteen typpimäärä. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että typpilannoituksen vähentäminen olisi välttämättä kannattavaa, sillä kasvin saama typpi vaikuttaa sen kasvuun ja näin ollen satoon. Lannoitteiden osalta yrittäjien onkin kannattavinta tarkkailla annetun lannoiteseoksen vaikutusta satoon. Mikäli pienemmillä lannoituksen typpien määrillä

havaitaan pääsevän samaan satotasoon kuin korkeammilla typenmäärillä, on lannoitetyypen määrä suositeltavaa minimoida. Sama koskee toki muitakin lannoitekomponentteja kuin typpeä.

Kasvualustoista tarkasteltavissa yrityksissä oli käytössä vain turvetta ja kivivillaa. Merkittäviä eroja näistä aiheutuneissa ilmastovaikutuksissa ei ollut, mutta pieniä eroja kyllä. Tomaatin ja salaatin kohdalla kivivillaa käytettäessä kasvualustasta aiheutuva ilmastovaikutus oli pienempi. Vastaavasti kurkkuyrityksissä turpeella saavutettiin hieman pienempi ilmastovaikutus.

Kuljetuksissa merkittävin tekijä on kuljetusmatka. Kuljetusten päästöjen pienentämiseksi eri tuotantomateriaalien valmistajia kartoittaessa kannattaa huomioida tuotantolaitoksen sijainti. Toinen kuljetuksiin vaikuttava tekijä on kuljetusten tehokkuus, eli kuinka täydellä kuormalla kuljetuksia ajetaan. Kasvihuoneille tulevien materiaalien kuljetuksen hoitaa usein tuotetta toimittava yritys, jolloin kuljetusten tehokkuuteen on vaikeaa vaikuttaa. Tästä syystä tässäkin tutkimuksessa kuljetusten mallinuksissa käytettiin paljon oletusarvoja kuljetusten ajoneuvoista ja kuormien tehokkuudesta, eikä näin ollen eroavaisuuksia juurikaan havaittu muuta kuin kuljetusmatkoista johtuen.

Jätehuollon osalta ilmastovaikutukset olivat pääosin peräisin kompostoinnissa vapautuvista metaanista ja dityppioksidista. Kompostoinnin kaasujen mallintaminen tarkasti on haasteellista ja tässä käytettiin IPCC:n oletuspäästökertoimia, jotka saattavat olla liian korkeita johtuen siitä, että etenkin metaanipäästöt saattavat olla pienempiä johtuen siitä, että hapettomia olosuhteita syntyy todennäköisesti vähemmän kuin biojätteen kompostoinnissa keskimäärin. Muovijätteen osalta ilmastovaikutus vaihtelee, koska muovin poltossa vapautuva hiilidioksidi lasketaan fossiiliseksi kasvihuonekaasupäästökseksi. Tässä tutkimuksessa ei laskettu hyvityksiä, jotka saadaan, kun oletetaan, että kompostimulta korvaa turvetta tai muovin poltossa vapautuva energia jotain muuta lämpöenergianlähdettä. Kaiken kaikkiaan jätehuollon osuus oli yleensä tutkituilla tiloilla korkeintaan 4 % kokonaiskasvihuonekaasupäästöistä

Tomaatti

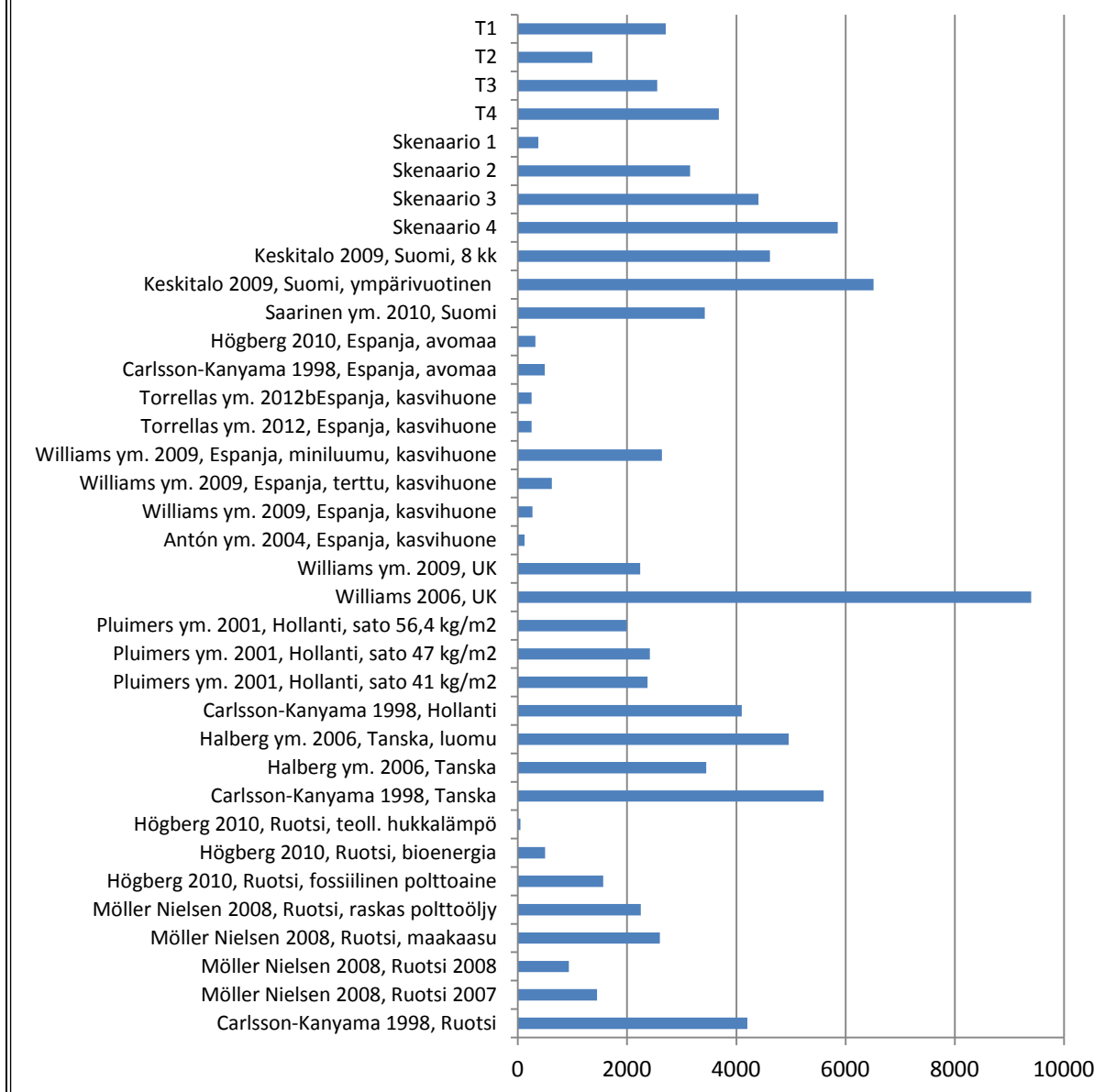
Tutkimuksessa tarkastelluissa yrityksissä lämmöntuotanto oli selkeästi suurin tekijä kasvihuonekaasupäästöjä tarkastellessa. Näihin päästöihin vaikuttaa sekä tuotannossa käytetyt polttoaineet että lämmönkulutus. Suurinta lämmönkulutus oli yrityksissä T2 ja T4, joissa ei käytetä valotusta. Tämä johtuu siitä, että valotus tuottaa valon lisäksi myös lämpöä, joten valotusta käyttävien yritysten lämmöntarve on pienempi. Eniten valotusta käyttävällä yrityksellä T1 on pienempi lämmönkulutus kuin yrityksillä T2 ja T4, mutta hieman suurempi kuin yrityksellä T3. Tämä silti, vaikka yritys T1 käyttää huomattavasti enemmän valotusta kuin yritys T3. Tämä saattaa johtua siitä, että yritys T3 pitää kuukauden viljelytaun talvella, jolloin lämmönkulutus on suurimmillaan. Lämmönkulutuserot valotusta käyttävien ja muiden välillä saattaisivat olla jopa suuremmat, mutta näistä yrityksistä yritykset T2 ja T4 pitävät talvikuukausina 2,5–5 kuukauden viljelytaun. Näin keskimääräinen lämmönkulutus laskee, sillä kylmimpinä talvikuukausina lämmityksenkulutus on korkeimmillaan.

Lämmityksestä aiheutuvat päästöt ovat kuitenkin pienimmät yrityksellä T2 johtuen siitä, että kyseinen yritys tuottaa noin puolet lämmöstään puuhakkeella. Loppu lämmöntuotannosta toteutetaan öljyllä. Muissa yrityksissä pääpolttoaineina ovat pelkästään fossiiliset polttoaineet. Yrityksen T1 lämmöntuotannon päästöjä kasvattaa muihin verrattuna vielä se, että heidän käyttämällään pääpolttoaine turpeella on suurempi päästökerroin kuin öljyllä, jota käytetään yritysten T3 ja T4 polttoaineena.

Sähkönkulutus on selkeästi suurinta yrityksessä T1. Syynä tähän on yrityksessä käytettävä runsas valotus. Muiden yritysten sähkönkulutukset ovat hyvin pieniä. Myös yritys T3 käyttää valotusta, mutta vain vähäisiä määriä. Nämä käyttömäärät heijastuvat suoraan myös sähkön pieniin osuuksiin kokonaisilmastovaikutuksessa. Pieneen osuuteen vaikuttaa myös se, että yritys T1 käyttää hiilineutraalia sähkötuotetta ja yritykset T3 ja T4 vihreää sähköä. Tästä syystä edes selkeästi eniten sähköä kuluttavalla yrityksellä T1 sähkön osuus hiilijalanjäljestä ei nouse merkittäväksi. Yrityksen T2 sähköstä aiheutuva hiilijalanjälki onkin vertailussa suurin, koska kyseinen yritys ei käytä ympäristösähkötuotetta.

Tässä tutkimuksessa saatuja tomaatin tuotantoketjun ilmastovaikutuksia voidaan arvioida myös tarkastelemalla, ovatko saadut tulokset linjassa aiemmin tehtyjen vastaavien tutkimusten kanssa. Kuvassa 3.16 on tarkasteltu tämän tutkimuksen tuloksia aiempiin tomaatin ilmastovaikutustutkimuksiin verrattuna.

Tomaatin hiilijalanjälkivertailu (kgCO₂-ekv./1000 kg tomaattia)



Kuva 3.16. Tomaatin tuotantoketjun ilmastovaikutuksia eri tutkimuksissa.

Kuvassa 3.16 tehdyssä vertailussa on lähinnä kasvihuonetomaatille tehtyjä tutkimuksia, mutta mukana on myös muutama avomaatomaattitutkimus. Vertailua tarkastellessa havaitaan, että aiemmissä tutkimuksissa tomaatin tuotantoketjun ilmastovaikutus on vaihdellut välillä 50–9400 kgCO₂-ekv./1000 kg tomaattia, kun tässä tutkimuksessa vaihteluväli on 370–5860 kgCO₂-ekv./1000 kg. Vertailtaessa on kuitenkin huomioitava, että kaikissa tutkimuksissa tomaatti on oletettu käytettävän tuotantomaassa. Tutkimuksiin ei ole siis huomioitu kuljetuksia ulkomaille, maan sisäisen jakelun huomioimisessakin on tutkimuskohtaisia eroja. Jos siis halutaan verrata Suomessa käytettyjä tomaatteja, pitäisi ulkomaisten tutkimusten tuloksiin lisätä myös Suomeen kuljetuksesta aiheutuva hiilijalanjälki, joka on esimerkiksi Espanjasta kuljetettuna suuruusluokaltaan 140–170 kgCO₂-ekv./1000 kg tomaattia ja varmistaa, että laskenta on suoritettu samoja metodeita käyttäen.

Joka tapauksessa tutkimusten vaihteluväli on suuri. Tämä johtuu ennen kaikkea siitä, että vertailussa olevissa tutkimuksissa on mukana hyvin erilaisia viljelyolosuhteita ja kasvihuoneiden energiantuotannossa on käytetty erilaisia tuotantomuotoja. Lisäksi eroavaisuudet laskentameteodeissa saattavat aiheuttaa huomattaviakin eroja tuloksiin, joten ilman taustatietojen ja laskentamenetelmien tarkastelua tulokset eivät välttämättä ole vertailukelpoisia. Kaikkiaan voidaan kuitenkin todeta, että

huomioiden tässä tutkimuksessa mukana olleiden yritysten tuotantotiedot, ovat tutkimuksen tulokset hyvin linjassa aiempien tutkimusten kanssa.

Kurkku

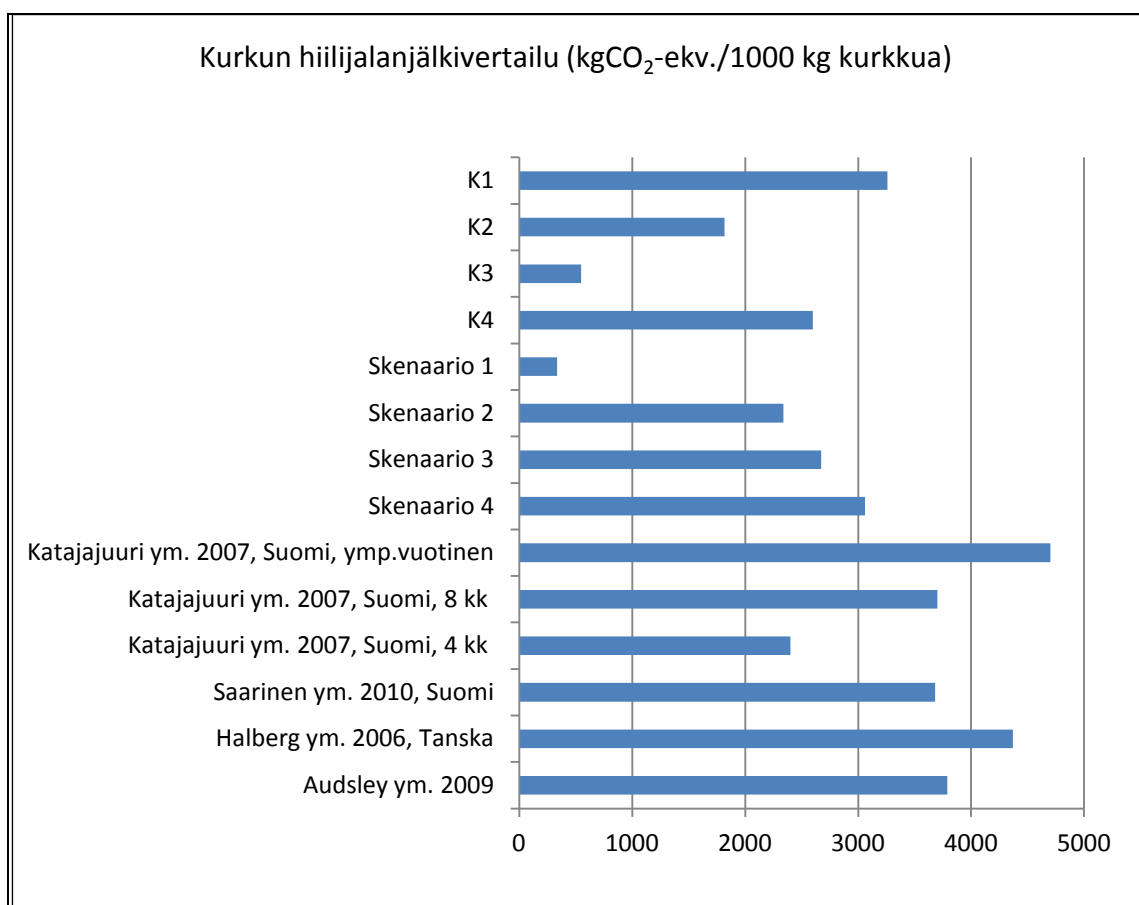
Kurkkuyrityksissä energiantuotanto nousi selkeästi suurimmaksi kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajaksi lämpö- ja sähköenergian osuuksien vaihdellessa yrityskohtaisesti. Energian osuus ilmastovaikutuksesta oli kurkkuyrityksissä 74–95 prosenttia. Yrityskohtaiset päästöt vaihtelivat kuitenkin paljon. Syitä tähän on useita, sillä yrityksissä on eroja sekä energiankulutuksissa että energiantuotantomuodoissa.

Yritysten energiankulutuksissa on selkein poikkeama yrityksen K4 kohdalla. Muissa yrityksissä sähkönkulutus on suurempaa kuin lämmönkulutus, mutta yrityksessä K4 lämpöä kuluu enemmän kuin sähköä. Tätä eroavaisuutta selittää etenkin se, että yrityksellä K4 ei ole valotusta. Sähkönkulutus pienenee, kun sähköä ei kulu valotukseen, mutta toisaalta valotuksesta saatavan lämmön puuttuessa lämpöä on tarve tuottaa enemmän. Tämän kanssa linjassa olivat myös yritysten K1, K2 ja K3 keskinäiset energiankulutukset. Eniten valotustehoa käyttävällä yrityksellä K2 oli suurin sähkönkulutus, mutta pienin lämmönkulutus. Toiseksi suurinta valotustehoa käyttävällä yrityksellä K1 oli toiseksi suurin sähkönkulutus ja toiseksi pienin lämmönkulutus. Näin siis valotusta käyttävistä yrityksistä pienintä valotustehoa käyttävällä yrityksellä oli näistä pienin sähkönkulutus, mutta suurin lämmönkulutus.

Lämmöntuotannosta aiheutuva ilmastovaikutus on suuruusluokaltaan samassa linjassa lämmönkulutuksen kanssa, sillä kaikissa yrityksissä pääpolttoaine oli fossiilinen. Pieniä eroavaisuuksia toki on, ja nämä ovatkin selitettävissä eri polttoaineiden erisuuruisilla päästökertoimilla.

Sähköenergiaa tarkastellessa voidaan todeta, että yrityksen K3 sähkönkulutuksesta johtuva ilmastovaikutus on selvästi pienin, vaikka sen sähkönkulutus on samaa suuruusluokkaa yritysten K1 ja K2 kanssa, ja selvästi suurempi kuin yrityksen K4 sähkönkulutus kurkkukiloa kohden. Tämä johtuu siitä, että yritys K3 käyttää ympäristösähkötuotetta muiden yritysten käyttäessä normaaleja sähkötuotteita.

Kuvassa 3.17 on koottuna vertailu kasvihuonekurkun ilmastovaikutustutkimuksista.



Kuva 3.17. Kasvihuonekurkun tuotantoketjun ilmastovaikutustutkimuksia.

Vertailusta huomataan, että aiemmissa tutkimuksissa kurkun tuotantoketjun ilmastovaikutus on vaihdellut välillä 2400–4700 kgCO₂-ekv./1000 kg kurkkua. Tässä tutkimuksessa vaihteluväli on 335–3260 kgCO₂-ekv./kg. Vanhojen tutkimusten vaihteluväli on huomattavasti pienempi kuin tomaattitutkimuksissa, mutta toisaalta kurkun tuotantoketjun ilmastovaikutustutkimuksia on vähemmän kuin tomaatin vastaavia tutkimuksia. Myös kurkkututkimuksissa tuote on oletettu käytettävän tuotantomaaissa, eli kuljetuksia ulkomaille ei ole huomioitu.

Tässä tutkimuksessa mallinnetut ilmastovaikutukset ovat pienempiä tai vaihteluvälin alemmassa päässä aiempiin tutkimuksiin verrattuna. Kuten tomaatin tapauksessa erot johtuvat lähinnä tutkittujen järjestelmien eroavaisuuksista etenkin energiantuotannon polttoaineissa. Lisäksi vanhoissa tutkimuksissa sähkö on mallinnettu kansallisen keskimääräisen sähkönhankinnan mukaan, kun tässä tutkimuksessa sähkö mallinnettiin ostetun sähkötuotteen hankintajakauman perusteella. Nämä seikat huomioiden tämän tutkimuksen tulokset ovat hyvin linjassa aiemmin tutkimusten kanssa.

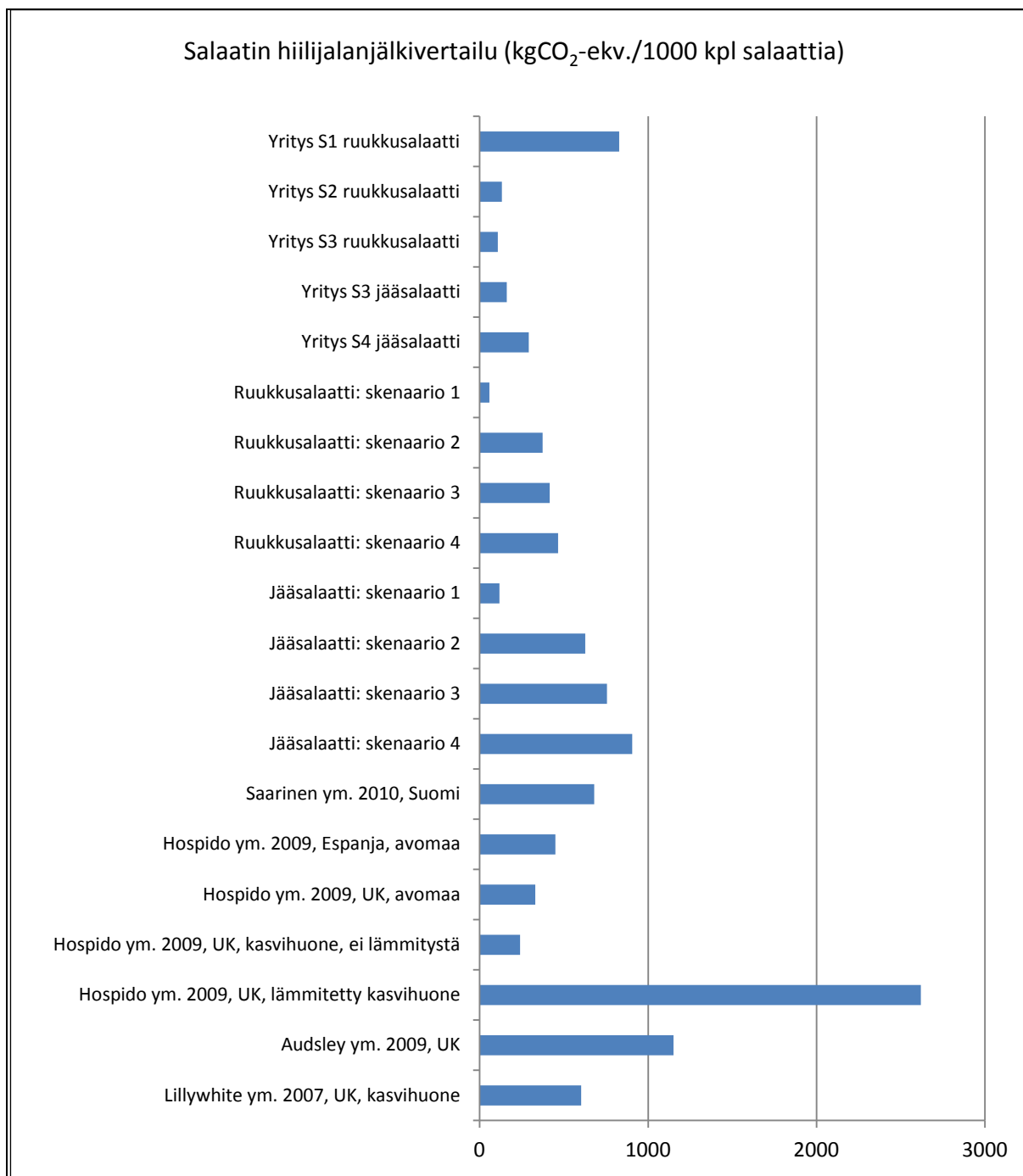
Salaatti

Ruukkusalaatille saadut yritysten ilmastovaikutukset sijoittuivat välille 107–828 kgCO₂-ekv./1000kpl salaattia ja jääsalaatille vastaavasti 160–292 kgCO₂-ekv./1000 kpl. Tuloksista nousee esiin kolme merkitsevää seikkaa, joista ensimmäinen on yrityksen S1 ilmastovaikutuksen nouseminen selvästi yli suurimman skenaarionkin ilmastovaikutuksen, joka on 435 kgCO₂-ekv./1000kpl salaattia. Tämä selittyy kuitenkin sekä yrityksen S1 suurella sähkönkulutuksella, että käytetyn sähkötuotteen ilmastovaikutuksella: yrityksen S1 ostamalla sähköllä on huomattavasti suurempi hiilijalanjälki kuin Suomessa keskimäärin kulutetulla sähköllä.

Toinen merkittävä seikka on energian osuuden selvä pienentyminen kokonaisilmastovaikutuksessa yrityksessä S3. Tämä johtuu siitä, että yrityksessä käytetään ympäristösähköä ja uusiutuvaa energiaa lämmöntuotannossa. Näin energiasta aiheutuva ilmastovaikutus jää niin pieneksi, että myös muut tekijät nousevat merkitseviksi. Ruukkusalaatilla pakkausten merkitys on muita tuotteita suurempi, koska salaatin pakkauksessa käytetään sekä suojapussia että kasvatusruukkaa.

Kolmas merkittävä havainto tuloksissa on se, että jääsalaatilla energiankulutus on suurempi kuin ruukkusalaatilla, ja näin esimerkiksi yrityksessä S3 tuotettu jääsalaatti aiheuttaa isommat ilmastovaikutukset kuin ruukkusalaatti, vaikka tuotannossa käytettävä energia on tuotettu samalla profiililla. Suurempi energiankulutus johtuu suoraan siitä, että jääsalaatin kasvatusaika on noin kaksinkertainen ruukkusalaattiin verrattuna.

Saatuja tuloksia on verrattu muihin salaatille tehtyihin tutkimuksiin kuvassa 3.18.



Kuva 3.18. Salaatin tuotantoketjun ilmastovaikutustutkimuksia.

Salaattivertailun ilmastovaikutukset vaihtelevat välillä 58–2550 kgCO₂-ekv./1000kpl salaattia. Vertailussa on kuitenkin huomioitava, että vertailussa on erilaisia salaatteja, eikä salaattilaatua ole tutkimuksissa selvennetty. Joka tapauksessa tämän tutkimuksen tulokset ovat selkeästi vertailun pienimpiä. Vertailuaineistoa on kuitenkin vähän, eikä verrattavana olevia salaattilaatuja tunneta.

3.2.3 Kukkatuotteet

Tulppaani yrityksistä havaitaan, että ero kahden tarkasteltavan yrityksen välillä on merkittävä. Syyt eroihin ovat sekä lämmönkulutuksessa, että lämmöntuotantomuodoissa. Yrityksen Ku1 lämmönkulutus on alle puolet yrityksen Ku2 lämmönkulutuksesta. Lisäksi yrityksessä Ku1 käytetään enimmäkseen biopolttoaineita lämmöntuotantoon, kun taas yrityksen Ku2 lämmöntuotannossa käytetään kivihiiltä. Yritysten eroavaisuus selittyy ainakin osittain sillä, että yrityksessä Ku2 ei ole käytössä valotusta, jolloin lämpöä tarvitaan enemmän. Tämä vaikuttaa toki myös siihen, että yrityksellä Ku2 on pienempi

sähkönkulutus. Kuitenkin yhteiskulutus on yrityksellä Ku2 merkittävästi suurempi lämmön osuuden ollessa energiankulutuksessa hallitseva.

Pauliinabegoniayrityksille Ku3 ja Ku4 laskennan tulokset olivat puolestaan hyvinkin samankaltaiset. Yrityksissä ei ollut suuria eroja energiankulutuksissa eikä -tuotantoprofiileissa. Suurin ero syntyi sähkökulutuksesta, joka oli yrityksellä Ku4 yritystä Ku3 suurempaa.

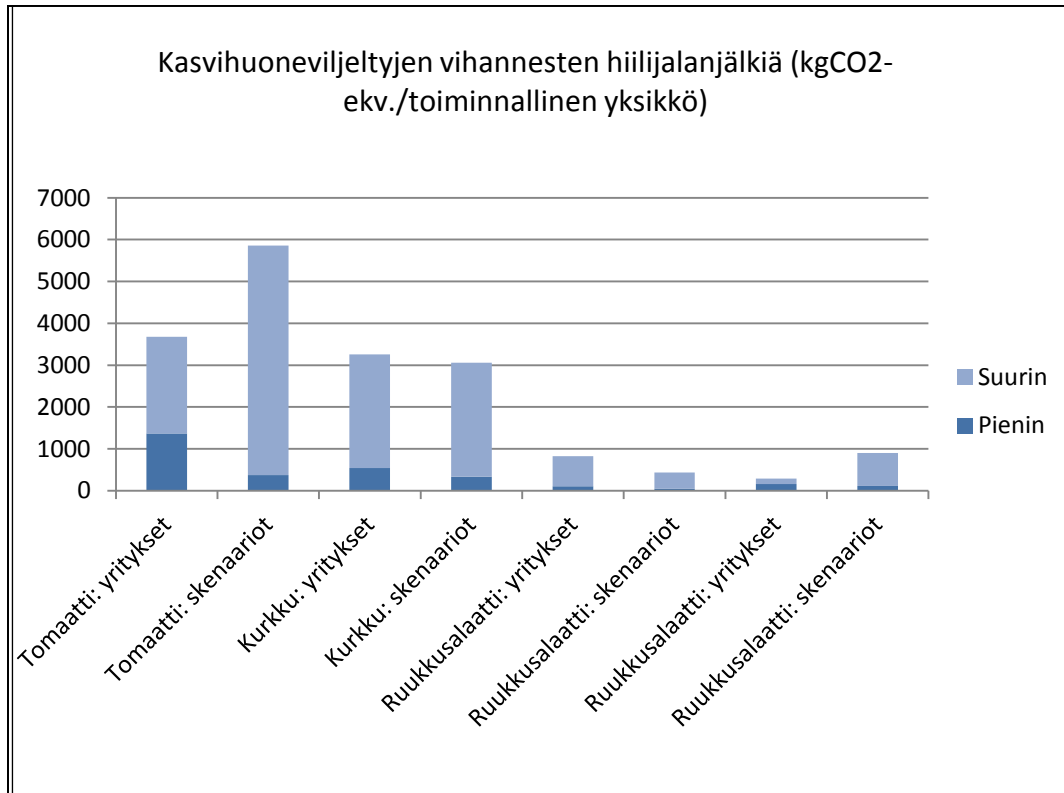
Molemmilla kukkatuotteilla energiaa tarkastellessa lämmönkulutus oli hallitsevampi kuin sähkökulutus. Kukkatuotteiden laskennassa on kuitenkin huomioitava jo aiemmin mainitut virhemarginaalit, jotka johtuvat energiankulutuksen mallintamiseen liittyvistä ongelmista.

Energian ohella etenkin tulppaaneilla sipuleiden osuus nousi hyvinkin merkittäväksi. Toki sipulien ja taimien tuotannossakin energialla on merkittävä osuus. Sipuli- ja taimituotannon ilmastovaikutuksesta noin puolet aiheutuukin tuotannossa käytetystä energiasta. Toiseksi merkittävin tekijä on materiaalit, kuten lannoitteet.

Kukkatuotteiden skenaariotarkastelussa havaitaan, että yrityksen Ku1 tulppaanien ilmastovaikutus jää jopa pienemmäksi kuin vihreän linjan skenaarion (skenaario 1) ilmastovaikutus. Tämä johtuu siitä, että skenaariot on mallinnettu keskimääräisillä energiankulutuksilla, joista tässä tapauksessa keskimääräinen lämmönkulutus oli merkittävästi isompi kuin yrityksen Ku1 lämmönkulutus. Yrityksen Ku1 ilmastovaikutus jää pieneksi myös johtuen biopolttoaineiden käytöstä lämmöntuotannossa.

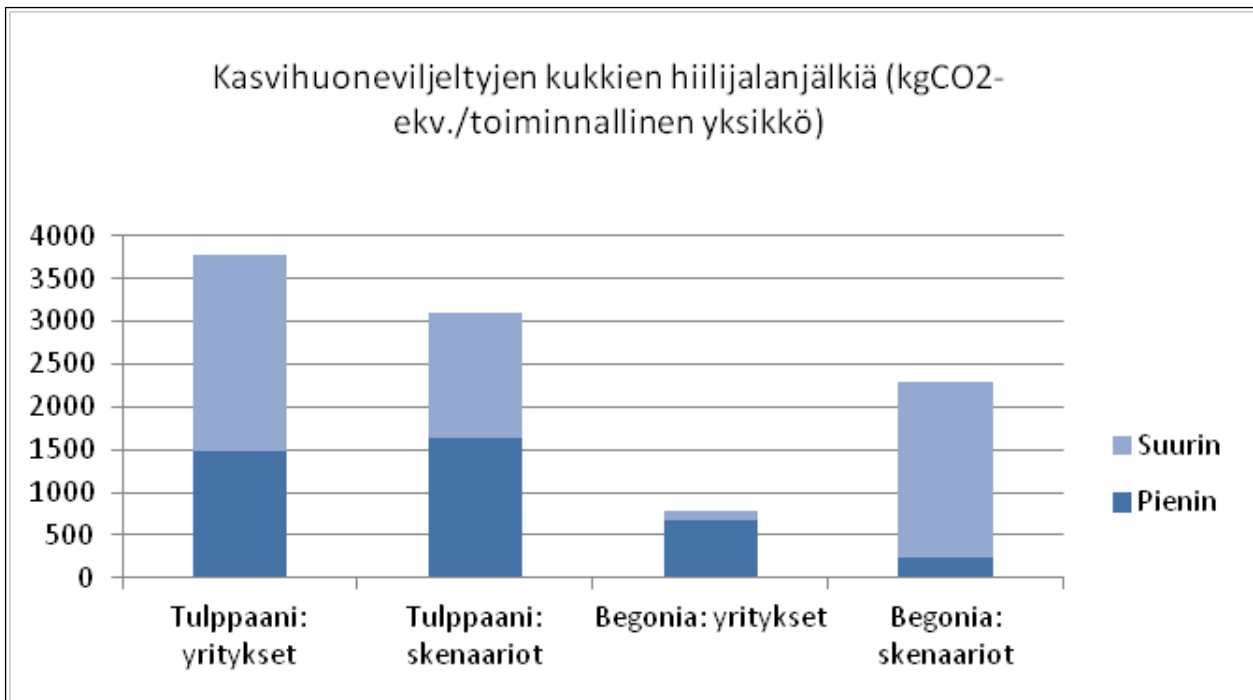
4 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tutkimuksessa muodostetut vihannesten ilmastovaikutukset vaihteluväleinen on koottu kuvaan 4.1.



Kuva 4.1. Tutkimuksen ilmastovaikutuksia vihannesten kasvihuonetuotannolle.

Toiminnallinen yksikkö on tomaatilla ja kurkulla 1000 kg tuotetta, ruukkusalaatilla 1000 kpl salaatteja. Verrattaessa näitä tuloksia aiemmin tehtyihin ilmastovaikutustutkimuksiin, voidaan todeta tulosten sijoittuvan normaaliin vaihteluväliin. Kukkatuotteiden ilmastovaikutukset on koottu kuvaan 4.2.



Kuva 4.2. Kukkatuotteiden ilmastovaikutuksia.

Kukkatuotteista tulppaanin toiminnallinen yksikkö on 1000 kappaletta kymmenen tulppaanin kimppeä ja pauliinabegoniolla 1000 kappaletta.

Suurin merkitys ilmastovaikutukseen on tuotannon energiankulutuksella ja etenkin energian tuotantotavalla. Yrityksissä ja skenaarioissa, joissa energiantuotanto on toteutettu käyttäen fossiilisia polttoaineita, tulokset ovat merkittävästi suurempia kuin uusiutuvaa energiaa käytettäessä. Fossiilisiin energialähteisiin pohjautuva tuotanto sijoittuu myös vertailussa suurimpiin ilmastovaikutuksiin, kun taas uusiutuviin energialähteisiin pohjautuva tuotanto aiheuttaa vertailun pienimmät ilmastovaikutukset.

Tässä tutkimuksessa pääasiallinen johtopäätös onkin, että kasvihuonetuotteiden tuotannon ilmastovaikutus riippuu eniten tuotannossa käytetyistä energialähteistä. Tutkimuksessa ei havaittu merkittäviä vaikutuksia ilmastovaikutukseen esimerkiksi kausi- ja ympärivuotisella tuotannolla, koska tuotantomäärään suhteutetuissa energiankulutusmäärissä ei löydetty suuria vaikutuksia sillä, oliko kyseessä kausituotanto vai ympärivuotinen tuotanto. Kuitenkin analysoitaessa lämmön- ja sähkönkulutuksen kuukausittaisia jakaumia saatiin arvioitua suuruusluokkatasolla, että kurkun ja tomaatin osalta sekä sähköenergiankulutus että lämpöenergian kulutus olivat kesä-elokuussa vain korkeintaan kolmannes keskimääräisestä sähköenergiankulutuksesta johtuen vähäisemmästä valotustarpeesta. Talvisaikaan kylmimmän ja pimeimmän vuosineljänneksen aikaan taas energiankulutus oli 1,5 kertaa suurempi kuin keskimäärin. Koska suurin osa ilmastovaikutuksesta on peräisin ilmastovaikutuksista, on kesäkaudella tuotettujen kasvihuonevihannesten ilmastovaikutus noin neljännes talvella tuotettujen vihannesten ilmastovaikutuksesta. Kaiken kaikkiaan eri tuotantotapojen vaikutusten mallinnus yritysten hiilijalanjälkiä vertaamalla on vaikeaa, sillä muuttuvia tekijöitä on eri yrityksiä verrattaessa aina useita. Kuukausittaisten energiankulutusten osalta vertailua on pidettävä suuntaa antavana, koska tietoja kuukausittaisista energiankulutuksista saatiin vain muutamalta yritykseltä.

Eri tuotantotekijöiden vaikutusta onkin helpompi mallintaa tarkastelemalla vain yhtä yritystä, koska tällöin yhden tuotantotekijän muuttumisen vaikutus on helpompi havaita. Tätä tutkimuksessa demonstroititiin skenaarioiden avulla. Skenaarioissa kaikki muut tekijät vakioitiin paitsi energiantuotannon polttoaineet. Tällä saatiin parhaiten havainnollistettua tärkeimmän tekijän, eli energian tuotantomuodon vaikutus kokonaisilmastovaikutukseen.

Yksi tutkimuksen tärkeimmistä tuloksista olikin ilmastovaikutuslaskuri, jolla yritykset voivat jatkossa mallintaa omaa ilmastovaikutustaan. Yritys voi laskurin avulla laskea oman ilmastovaikutuksensa, mutta myös mallintaa erilaisten valintojen vaikutusta omaan ilmastovaikutukseensa.

Tutkimusten tuloksia tarkastellessa on hyvä myös huomioida, että tutkimuksessa keskityttiin ainoastaan ilmastovaikutuksiin. Muita tutkittavia ympäristötekijöitä ovat myös esimerkiksi veden kulutus ja laajemmin ajateltuna energiankulutus. Vaikka ilmastovaikutusta saadaan pienennettyä valitsemalla uusiutuvia energiamuotoja, on huomioitavaa, että ostettaessa uusiutuvaa energiaa, poistuu kyseinen määrä uusiutuvaa energiaa muiden käytöstä, ja se on korvattava muulla tavalla tuotetulla energialla uusiutuvaa energiaa ollessa rajallisesti tarjolla. Laajasti vain uusiutuvan energian tuotannon lisääminen vähentää ilmastovaikutuksia. Kasvihuoneiden potentiaalisia keinoja oman uusiutuvan tuotannon lisäämiseen ovat etenkin biopolttoaineiden käytön lisäys lämmöntuotannossa ja uusien uusiutuvien sähköntuotantolaitosten, kuten aurinko- ja tuulivoimaloiden rakentaminen. Tämä ei kuitenkaan ole mahdollista ilman tukea ulkopuoliselta taholta, sillä nämä tuotantomuutokset vaativat usein suuria alkuinvestointeja.

- 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.
- Boldrin, A., Hartling, K. R., Laugen, M. & Christensen, T. H. 2010. Environmental inventory modelling of the use of compost and peat in growth media preparation. Resources, Conservation and Recycling 54 (2010) 1250–1260
- Carlsson-Kanyama, A. 1998. Food Consumption Patterns and Their Influence on Climate Change: Greenhouse Gas Emissions in the Life-Cycle of Tomatoes and Carrots Consumed in Sweden. *Ambio* 27: 528-534
- EASEWASTE 2007. Life cycle assessment modeling of solid waste systems.
- EASEWASTE modeling software. Landfill data from 6/2007.
- Halberg, N., Dalgaard, R. & Rasmussen, M. D. 2006. Miljøvurdering af konventionel og økologisk avl af grøntsager. Livscyklusvurdering af produktion i væksthuse og på friland: Tomater, agurker, løg, gulerødder. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 5. <http://www.lcafood.dk/>
- 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 .
- 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. *Int J Life Cycle Assess* (2009) 14: 381–391.
- Högberg, J. 2010. European Tomatoes. Comparing global warming potential, energy use and water consumption from growing tomatoes in Sweden, the Netherlands and the Canary Islands using life cycle assessment. MSc Thesis, 2010. SIK - Swedish Institute for Food and Biotechnology Sweden, Gothenburg.
- 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
- 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.
- 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. 2012. VTT. Saatavissa: www.lipasto.vtt.fi.
- Myllymaa, T., Moliis, K., Tohka, A., Rantanen, P., Ollikainen, M., Dahlbo, H. Jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28/2008. 82 s.
- Möller Nielsen, J., 2008. Energin & koldioxiden i svensk växthusodling 2008 - Tomat LCA. Cascada AB. Saatavissa: <http://www.cascadaab.se/publicationer.html>
- 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.
- Saarinen, M., Kurppa, S., Nissinen, A. & Mäkelä, J. 2011 (toim.). Aterioiden ja asumisen valinnat kulutuksen ympinnat kulutuksensentimessä. Suomen ympäristö 14. Helsinki 2011. Ympäristöministeriö. Saatavilla: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=127955&lan=fi>
- 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.
- Tike 2012. Puutarhatilastot 2011. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Helsinki 2012. Saatavissa: http://www.maataloustilastot.fi/sites/default/files/pure_2011_kansineen_ilman_leikk.varoja.pdf
- Torrellas, M., Antón, A., Montero, J.I., Baeza, E.J., López, J.C. & Pérez Parra, J.J. 2012. Life cycle assessment of tomato crop production in a Mediterranean multispan tunnel greenhouse. ISHS Acta Horticulturae 927: XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on Greenhouse 2010 and Soilless Cultivation.
- Torrellas, M., Antón, A., López, J.C., Baeza, E. J., Pérez Parra, J., Muñoz, P. & Montero, J. I. 2012b. 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

MTT TEKEE TIETEESTÄ ELINVOIMAA

MTT RAPORTTI₈₃

www.mtt.fi/julkaisut

MTT Raportti -verkojulkaisusarjassa julkaistaan maatalous- ja elintarviketutkimusta sekä maatalouden ympäristötutkimusta käsitteleviä tutkimusraportteja. Lukijoille tarjotaan tietoa MTT:n kaikilta tutkimusaloilta eli biologiasta, teknologiasta ja taloudesta.

MTT, 31600 Jokioinen.

Puh. 029 5300 700, sähköposti julkaisut@mtt.fi

