



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 126/2023

Puutarhatuotannon uusien menetelmien elinkaariset ympäristövaikutukset

Avomaalta tunneliin, kasvihuoneesta vertikaaliin

Katri Joensuu, Titta Kotilainen, Marja Rantanen, Kati Rikala,
Kati Räsänen, Frans Silvenius ja Kirsi Usva

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 126/2023

Puutarhatuotannon uusien menetelmien elinkaariset ympäristövaikutukset

Avomaalta tunneliin, kasvihuoneesta vertikaaliin

**Katri Joensuu, Titta Kotilainen, Marja Rantanen, Kati Rikala,
Kati Räsänen, Frans Silvenius ja Kirsi Usva**



Maa- ja metsätalousministeriö

Viittausohje:

Joensuu, K., Kotilainen, T., Rantanen, M., Rikala, K., Räsänen, K., Silvenius, F. & Usva, K. 2023. Puutarhatuotannon uusien menetelmien elinkaariset ympäristövaikutukset : Avomaalta tunneliin, kasvihuoneesta vertikaaliin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 126/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 68 s.



ISBN 978-952-380-864-5 (Painettu)

ISBN 978-952-380-865-2 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-865-2>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Katri Joensuu, Titta Kotilainen, Marja Rantanen, Kati Rikala, Kati Räsänen, Frans Silvenius ja Kirsi Usva

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2023

Julkaisuvuosi: 2023

Kannen kuvat: Marja Rantanen, Katri Joensuu, Kati Rikala ja Kati Räsänen / Luke

Tiivistelmä

Katri Joensuu¹, Titta Kotilainen², Marja Rantanen³, Kati Rikala⁴, Kati Räsänen³, Frans Silvenius⁵ ja Kirsi Usva⁶

¹ Spinverse Oy, Keilasatama 5, 02150 Espoo.

² Luonnonvarakeskus, Itäinen Pitkäkatu 4 A, 20520 Turku

³ Luonnonvarakeskus, Survontie 9 40500, Jyväskylä

⁴ Luonnonvarakeskus, Manamansalontie 90 C, 88300 Paltamo

⁵ Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

⁶ Luonnonvarakeskus, Tietotie 4, 31600 Jokioinen

Kannattavan puutarhatuotannon edellytyksenä on kehittyvä viljelytekniikka. Marjoja viljellään entistä enemmän tunneleissa avomaatuotannon lisäksi. Vertikaaliviljely voi tulevaisuudessa täydentää kasvihuonetuotantoa, vaikka se kaupallisessa mittakaavassa onkin vielä harvinaista. Uusien tuotantotapojen kohdalla on tarpeen tarkastella myös niiden ympäristövaikutuksia. Elinkaaristen ympäristövaikutusten tarkastelu auttaa tunnistamaan ne tuotantoketjun osat, joihin vaikuttamalla voidaan edistää puutarhatuotannon kestävyyttä.

PuutarhaLCA-hankkeen tavoitteena oli arvioida puutarhatuotannon ympäristövaikutuksia marjanviljelyn siirtyessä avomaalta tunneliin sekä ruukkuvihannesten siirtyessä kasvihuonetuotannosta vertikaaliviljelyyn. Ympäristövaikutusten arviointiin käytettiin standardeihin perustuvaa elinkaariarviointia (LCA, Life Cycle Assessment). Hankkeessa tehtiin vertailevat elinkaariarvioinnit i) mansikalle ja vadelmalle avoma- ja tunnelituotannossa sekä ii) ruukkusalaa-tille sekä ruukkuyrtille vertikaali- ja kasvihuonetuotannossa ns. skenaariotarkastelulla. Arviointi tehtiin kahdeksassa vaikutusluokassa: 1) ilmastonmuutosvaikutus (hiilijalanjälki), 2) rehevöittävä vaikutus, 3) ekotoksinen vaikutus, 4) energiankulutus, 5) uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö, 6) maankäyttö, 7) ravinnejalanjälki, ja 8) vesiniukkuusvaikutus. Lisäksi arvioitiin hävikin määrä. Arvioinnin lähtötiedot kerättiin suomalaisilta tiloilta. Ympäristövaikutukset kohdennettiin tuotetulle satokilolle (toiminnallinen yksikkö eli FU (functional unit) 1 kg tuotetta). Marjojen ja ruukkusalaa- ja -yrttien ympäristövaikutuksia ei ole arvioitu aiemmin Suomessa yhtä laajasti ja tilatietoihin perustuen. Kansainvälisestikin tuotantotapoja vertailevia tutkimuksia on tehty vain vähän.

Tulosten perusteella tuotantopanosten osuus ympäristövaikutuksista on suuri. Tämä heijastuu moneen vaikutusluokkaan. Marjojen sekä ruukkusalaa- ja -yrttituotannon vaatima kastelu Suomessa aiheuttaa hyvin pienen osuuden vesiniukkuusvaikutuksesta. Myös katettujen viljelytekniikoiden vaatima tuotantovaiheen maapinta-ala on vain pieni osa maankäytön vaikutuksesta. Marjanviljelyssä avoma- ja tunnelituotannon erot olivat pieniä monessa ympäristövaikutusluokassa. Siirtyminen avomaalta tunneliin pienentää kuitenkin tuotannossa käytettyjen kemiallisten kasvinsuojeluaineiden käyttöä, maankäyttöä ja hävikkiä. Lisäksi vadelmalla rehevöittävä vaikutus pienenee. Salaatin ja yrttien vertikaaliviljely mahdollistaa monien ympäristövaikutusten pienentämisen verrattuna kasvihuoneviljelyyn. Edellytyksenä tälle ovat kuitenkin

energiankäytön optimointi ja uusiutuvien energianlähteiden käyttö. Tuotantomuotoja vertailtaessa on huomioitava, että myös kasvihuoneviljelyn ympäristövaikutuksia voidaan selvästi pienentää siirtymällä uusiutuvan energian käyttöön ja pienentämällä kokonaisenergiankulutusta esimerkiksi käyttämällä LED-valaisimia. Erityisesti hyvä satotaso ja tuotantopanosten käytön tehostaminen pienentävät puutarhatuotannon ympäristövaikutuksia kaikissa tuotantomuodoissa.

Asiasanat: avomaatuotanto, tunneliviljely, kasvihuonetuotanto, vertikaaliviljely, mansikka, vadelma, ruukkusalaatti, ruukkuyrtti, elinkaariarviointi (LCA)

Sisällys

1. Johdanto	7
1.1. Kasvien tuotantomenetelmät.....	8
1.1.1. Marjojen tuotantotavat.....	8
1.1.2. Ruukkusalaatin ja -yrttien tuotantotavat	9
2. Aineisto ja menetelmät	11
2.1. Työn kulku ja lähtötiedot.....	11
2.1.1. Marjanviljelyn lähtötiedot.....	14
2.1.2. Ruukkusalaatin ja -yrtin tuotannon lähtötiedot.....	17
2.1.3. Kuljetusten lähtötiedot	20
2.2. Ympäristövaikutusten arviointi.....	20
2.2.1. Ilmastomuutosvaikutus	21
2.2.2. Rehevöittävä vaikutus	21
2.2.3. Ekotoksinen vaikutus	22
2.2.4. Resurssienkäyttö: Energian ja uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö	24
2.2.5. Maankäyttö.....	24
2.2.6. Ravinnejalanjälki	24
2.2.7. Vesiniukkuusvaikutus	26
2.2.8. Hävikin määrä	26
3. Tulokset.....	27
3.1. Marjantuotannon ympäristövaikutukset	27
3.1.1. Ilmastomuutos- ja rehevöittävät vaikutukset.....	27
3.1.2. Ekotoksinen vaikutus	28
3.1.3. Resurssienkäyttö: Energian ja uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö	29
3.1.4. Maankäyttö.....	30
3.1.5. Ravinnejalanjälki	31
3.1.6. Vesiniukkuusvaikutus	33
3.1.7. Hävikin määrä	33
3.2. Ruukkusalaatin ja -yrtin tuotannon ympäristövaikutukset.....	34
3.2.1. Ilmastomuutos- ja rehevöittävät vaikutukset.....	34
3.2.2. Ekotoksinen vaikutus	35
3.2.3. Resurssienkäyttö: Energian ja uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö	36
3.2.4. Maankäyttö.....	38
3.2.5. Ravinnejalanjälki	39
3.2.6. Vesiniukkuusvaikutukset	40

3.2.7. Hävikin määrä.....	41
4. Tulosten tarkastelu	42
4.1. Ilmastonmuutos- ja rehevöittävä vaikutus.....	42
4.1.1. Marjantuotanto.....	42
1.1.3. Ruukkusalaatin ja -yrtin tuotanto	45
4.2. Ekotoksinen vaikutus.....	47
4.3. Resurssienkäyttö: Energian- ja uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö.....	47
4.4. Maankäyttö.....	48
4.5. Ravinnejalanjälki.....	48
4.6. Vesiniukkuusvaikutus.....	49
4.7. Hävikin määrä	51
4.8. Yhteenveto marjojen ympäristövaikutuksista.....	52
4.9. Yhteenveto ruukkusalaatin ja -yrtin tuotannon ympäristövaikutuksista.....	53
4.10. Jatkotutkimustarpeet	55
5. Yhteenveto.....	56
Viitteet.....	59
Liitteet	66

1. Johdanto

Puutarhakasvien tuotantomenetelmät uudistuvat (Kuva 1). Marjoja viljellään entistä enemmän tunneleissa avomaatuotannon rinnalla. Vertikaaliviljely voi tulevaisuudessa täydentää kasvi-huonetuotantoa, vaikka se kaupallisessa mittakaavassa onkin vielä harvinaista.

Avomaatuotannossa auringon valo ja sade ovat hyödynnettävissä ilmaiseksi, eikä tuuletustarvetta ole. Toisaalta haasteina ovat vaihtelevat sääolosuhteet ja kasvintuhoojat. Vedenkulutus on suurta, lannoitteiden käytöstä aiheutuu ravinnehuuhtoumia ja kasvinsuojelussa joudutaan usein käyttämään kemiallisia torjunta-aineita. Kemiallisten kasvinsuojeluaineiden kulkeutumisesta kohdekasvien ulkopuolelle voi aiheutua haittoja ympäristölle ja sen eliöstölle.

Katettujen tuotantomuotojen (tunneli-, kasvihuone- ja vertikaalituotanto) etuja ovat mahdollisuus hallita kasvatusolosuhteita ja pitkä kasvukausi avomaantuotantoon verrattuna. Mitä suojatumpaan kasvatustilaan mennään, sitä intensiivisempää ja hallitumpaa tuotanto on. Veden ja lannoitteiden käyttöä voidaan ohjata avomaata tarkemmin. Korkeampi viljelyhygieniä yhdessä biologisen torjunnan kanssa vähentävät kemiallisen torjunnan tarvetta. Lisäksi automaation ja teknologian hyödyntäminen ovat avomaata helpommin toteutettavissa. Tehokas tuotanto kasvattaa kuitenkin energian kulutusta. Lisäksi rakennusten ja teknisten panostusten kulut voivat olla suuria. Niin viljelystä kuin tuotantopanosten valmistuksestakin aiheutuu ympäristövaikutuksia.

PuutarhaLCA-hankkeen tavoitteena oli arvioida puutarhatuotannon ympäristövaikutuksia marjanviljelyn siirtyessä avomaalta tunneliin sekä ruukkuvihannesten siirtyessä kasvihuone-tuotannosta vertikaaliviljelyyn. Hankkeessa arvioitiin ensimmäistä kertaa suomalaisen mansikan ja vadelman sekä ruukkusalaatin ja -yrttien tuotannon ympäristövaikutuksia tilatietoihin perustuen huomioiden samanaikaisesti useita ympäristövaikutusluokkia. Kansainvälisestäkin vastaavia tutkimuksia on raportoitu vain vähän. Ympäristövaikutusten arviointiin käytettiin standardeihin (mm. ISO 14040- ja ISO 14044) perustuvaa elinkaariarviointia (LCA, Life Cycle Assessment). Elinkaariarviointi on toistaiseksi paras käytettävissä oleva menetelmä ympäristöhaittojen ja -hyötyjen numeeriseen arviointiin tuotteen koko elinkaaren ajalta. Menetelmän avulla voidaan tunnistaa tuotantoketjun eri vaiheista muodostuvat ympäristövaikutukset ja pyrkiä tehokkaasti kohdistetuilla toimilla vähentämään niitä. Tuotantotapojen elinkaarien ympäristövaikutusten tiedostaminen ja tunnistaminen on tärkeä askel puutarhatuotannon kestävyden edistämiseksi.

Hankkeessa tehtiin vertailevat elinkaariarvioinnit i) mansikalle ja vadelmalle avomaa- ja tunnelituotannossa sekä ii) ruukkusalaatille sekä ruukkuyrtille (timjami) vertikaali- ja kasvihuone-tuotannossa ns. skenaariotarkastelulla. Arviointi tehtiin kahdeksassa vaikutusluokassa: 1) ilmastomuutosvaikutus (hiilijalanjälki), 2) rehevöittävä vaikutus, 3) ekotoksinen vaikutus, 4) energiankulutus, 5) uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö, 6) maankäyttö, 7) ravinnepalanjälki ja 8) vesiniukkuusvaikutus. Lisäksi arvioitiin hävikin määrä. Arvioinnin lähtötiedot kerättiin suomalaisilta tiloilta. Ympäristövaikutukset kohdennettiin tuotetulle satokilolalle (toiminnallinen yksikkö eli FU (functional unit) 1 kg tuotetta).

Luonnonvarakeskus (Luke) vastasi tiedonkeruun suunnittelusta, tietojen pohjalta tehtävistä ympäristövaikutusten laskennoista ja raportoinneista. Kainuun ammattiopisto (KAO) osallistui vertikaalirakenteiden tietojen keräämiseen sekä hankkeen tuloksista tehdyn oppimateriaalin

tuottamiseen. Hankkeeseen osallistuivat sidosryhminä Kauppapuutarhaliitto ja Hedelmän- ja Marjaviljelijäin liitto. Hanketta rahoitti Maa- ja metsätalousministeriö Makera ja se toteutettiin ajalla 1.3.2020-30.6.2023.



Kuva 1. Uusi viljelyteknologia parantaa viljelyn ennakoitavuutta ja nostaa satotasojä, mutta lisää tuotantopanosten käyttöä. Kuvat Kati Rikala, Kati Räsänen/ Luke.

1.1. Kasvien tuotantomenetelmät

1.1.1. Marjojen tuotantotavat

Mansikka on Suomen tärkein viljelty marja. Joka kolmas suomalainen puutarhatila viljelee mansikkaa. Vuonna 2022 Suomen marjasadosta mansikan osuus oli 80 % (Luonnonvarakeskus 2023a). Pääosa mansikasta (4 144 ha) viljellään avomaalla. Vadelman tuotantopinta-ala on ollut laskusuunnassa useamman vuoden ollen 341 ha vuonna 2022. Tunnelituotantopinta-ala on kasvanut viime vuosina. Mansikkaa viljeltiin tunneleissa 71 ha ja vadelmaa 38 ha:n alalla vuonna 2022. Etenkin vadelmalla tunnelituotannon merkitys on suuri, sillä vadelman satokiloista tuotetaan jo 70 % tunneleissa.

Avomaan mansikkaa ja vadelmaa viljellään monivuotisinä kasvustoina. Mansikka istutetaan muovilla katettuun harjuun ja riviväliin kylvetään nurmea tai se pidetään paljaana. Viljanviljelyalueilla vaihtoehtoisena katteena voidaan käyttää olkea. Mansikan talvisuojaukseen käytetään etenkin rannikkoseuduilla harsoja. Harsoja käytetään myös sadon aikaistamiseksi. Sekä mansikka että vadelma hyötyvät kasvukauden aikaisesta kastelusta, joten kasvustoilla käytetään yleisesti tihkukastelulannoituksen mahdollistavia kastelujärjestelmiä. Marjakasvit eivät vaadi runsasta lannoitusta, mutta tihkukastelujärjestelmä mahdollistaa myös kasvuvaiheen tarpeen mukaisen lannoituksen kasvukauden aikana. Tavanomaisilla tiloilla käytetään kemiallista kasvinsuojelua tarpeen mukaan.

Tunneliviljely on yksivuotista tuotantoa. Satoa samana vuonna tuottavat satotaimet istutetaan ruukkuihin tai kasvualustalaatikoihin. Kasvualustana käytetään turvetta, turve-sammalseosta tai kookoskuitua. Suomessa tunnelituotannossa maapohjaan istuttaminen on harvinaista. Tunneliviljely edellyttää kastelujärjestelmän käyttöä. Mansikalla tunnelissa voidaan kasvattaa kaksi kasvustoa kasvukaudessa. Kasvinsuojelu tunneleissa perustuu ennakointiin, lajikevalintaan, istutusten ajoitukseen ja biologiseen torjuntaan. Tunnelituotannossa sadot ovat moninkertaisia avomaatuotantoon verrattuna.

Marjantuotannossa tunneliviljely on yleistynyt nopeasti. Vadelmasadosta suurin osa tuotetaan jo tunnelissa (Luonnonvarakeskus, 2023a). Tunneliviljelyssä viljelypanosten käyttö tehostuu ja pienemmältä pinta-alalta saadaan suurempi sato. Talvenkestävyydestä riippumaton lajikevalinta jatkaa satokautta varhaiskeväästä syksyyn ja mahdollistaa tarkennetun sadonajoituksen. Lisäksi katettu tunneli suojaa marjanlaatua sään vaihteluilta ja vähentää satoa pilaavan harmaahomeen esiintymistä merkittävästi. Poimintaan tarvittavan työvoiman määrä myös vähenee, sillä poimintapinta-alat pienenevät, poimintalogistiikka tehostuu ja korotetut pöydät parantavat ergonomiaa. Lisäksi tunneliviljely mahdollistaa biologisen torjunnan tehokkaamman käytön. Vuosittain uusittava kasvusto ja suljettu kasvualusta (altaat, ruukut, säkit) vähentävät maalevintäisten tautien merkitystä avomaaviljelyyn verrattuna.

Tunnelituotannossa on kuitenkin myös haasteensa. Tehokas viljelytapa vaatii paljon tuotanto-panoksia. Pienillä olosuhteen muutoksilla voi olla suuri vaikutus satotasoon ja kasvien hyvinvointiin. Tunnelin sisällä ilmankosteus nousee helposti, mikä edistää härmän esiintymistä ja aiheuttaa tuuletustarvetta. Myös lämpötila nousee toisinaan liian korkeaksi, mikä vaikuttaa kasvien ja marjanlaadun lisäksi myös työntekijöiden hyvinvointiin. Rajoitetussa kasvualustassa kastelusta ja tasapainoisesta lannoituksesta on huolehdittava päivittäin. Ennakoiva, biologisiin torjuntaeliöihin perustuva kasvinsuojelu vaatii päivittäistä kasvinsuojelutarkkailua. Luonnonpölyttäjiä ja tarhamehiläisten on vaikea löytää tunneliin sisälle ja tämän vuoksi pölytys usein varmistetaan ostokimalaisten avulla.

1.1.2. Ruukkusalaatin ja -yrttien tuotantotavat

Ruukkusalaatteja ja -yrttejä viljellään Suomessa kasvihuoneissa sekä pienimuotoisemmin nykyään myös vertikaaliviljelyssä ympärivuotisesti, eikä niitä juurikaan tuoda Suomeen. Salaattien vuosituotantomäärä oli lähes 62 miljoonaa ruukkua vuonna 2022 (Luonnonvarakeskus 2023a). Yrttien osalta tilastoja kerätään vain kolmesta suosituimmasta lajista, persiljasta, tillistä ja basilikasta. Niiden vuosituotantomäärä vuonna 2022 oli noin 20 miljoonaa ruukkua. Salaatin ja yrttien yhteen laskettu kasvihuonetuotantoala oli samaisena vuonna 26 ha (Luonnonvarakeskus 2023a). Salaattia, tilliä ja persiljaa viljellään jonkin verran myös avomaalla. Tilastointitapa ei ole suoraan vertailukelpoinen kasvihuonetuotannon kanssa, koska tuotantomäärät tilastoidaan kiloittain, eikä ruukuittain. Muita suosittuja yrttejä ovat timjami, korianteri, minttu, ruohosipuli ja herneenverso (Kauppapuutarhaliitto 2023).

Salaatti ja yrtit kasvatetaan niin kasvihuoneissa kuin vertikaaliviljelyjärjestelmässä kouruissa kiertävässä ravinneliuksessa ja lisävalotuksen avulla. Vertikaaliviljelyssä luonnonvaloa ei kuitenkaan yleensä hyödynnetä lainkaan, vaan kasvatusympäristö on suojattu sääolosuhteiden vaikutuksilta ja kasvien tarvitsema valo tuotetaan kokonaisuudessaan LED-valaisimien avulla.

Vertikaaliviljelyn etuna on kokonaan suljettu ja kontrolloitu kasvatustila, joka ei ole suorassa kosketuksessa ulkoilman tai auringonvalon kanssa. Vertikaaliviljelyssä lämpötilaa ei säädetä

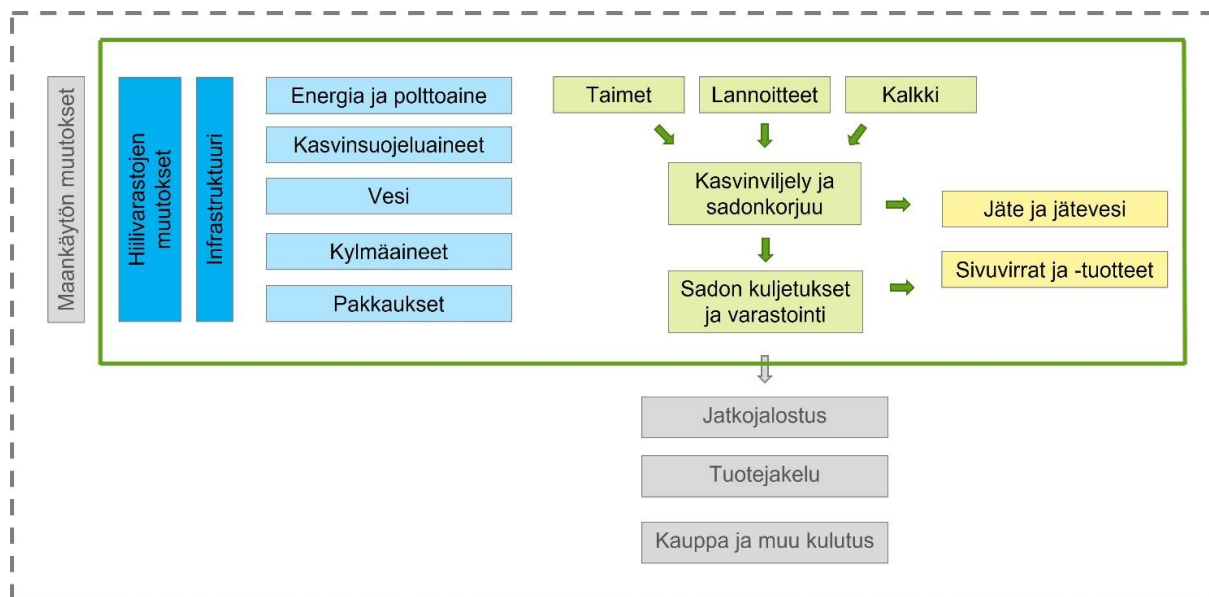
tuuletuksen avulla, vaan ilmastointi hoidetaan koneellisesti. Lämpötila ja valotus voidaan säätää kasvin tarpeiden mukaan ympäri vuoden. Tuholaisten hallinta on vertikaaliviljelmällä helpompaa kuin kasvihuoneessa, koska tuholaisten ei kulkeudu tuuletuksen kautta sisään yhtä helposti kuin kasvihuoneessa. Myös hiilidioksidilannoitus voidaan hyödyntää tarkasti kasvien käyttöön, sillä sitä ei karkaa tuuletuksen yhteydessä ulos. Suljetun tilan haittana on kuitenkin, että koneellinen ilmastointi ja keinotekoinen valotus kuluttavat tällä hetkellä hyvin paljon energiaa. Lisäksi suljetun kasvatustilan ilmankosteuden hallinta on haastavaa, sillä ilmankosteus riippuu suoraan kasvien haihduttavasta lehtipinta-alasta, joka muuttuu jatkuvasti kasvien kasvaessa. Korkea energiankulutus nostaa tuotannon kustannuksia ja laskee viljelyn kannattavuutta.

2. Aineisto ja menetelmät

2.1. Työn kulku ja lähtötiedot

Ympäristövaikutusten arviointiin käytettiin elinkaariarviointia (LCA, Life Cycle Assessment) standardeihin (mm. ISO 14040- ja ISO 14044) perustuen. Ympäristövaikutuslaskenta tehtiin kotimaiselle mansikalle ja vadelmalle avomaa- ja tunnelituotannossa sekä ruukkusalaatille sekä valitulle ruukkuyrtille vertikaali- ja kasvihuonetuotannossa ns. skenaariotarkastelulla. Tietoja kerättiin suomalaisilta viljelijöiltä excel-pohjaisilla tiedonkeruulomakkeilla. Luken asiantuntijat valmistelivat kyselylomakkeet, ohjasivat rekrytoidut viljelijät tiedonkeruuseen, viljelijät kokosivat oman tilansa tiedot lomakkeisiin ja Luken asiantuntijat laskivat tulokset. Viljelijätietojen lisäksi Luken asiantuntijat keräsivät tietoja myös muista lähteistä. Tiedonkeruu kasveittain on kuvattu tarkemmin seuraavissa alakappaleissa.

Tuotannon viljelytiedot kerättiin ympäristövaikutuslaskennassa käytettyjen menetelmien tarpeiden mukaisesti. Laskennassa huomioitiin viljelypanosten tuotanto, niiden käyttö tilalla sekä tuotteen pakkaaminen ja kylmävarastointi. Lisäksi huomioitiin jätteenkäsittely. Elinkaarinen tarkastelu päättyi ns. tilan portille, joten jatkojalostus, kauppa ja kuluttaja rajattiin laskennan ulkopuolelle (Kuva 2). Työntekijöiden asumisen ja työmatkojen tiedot kysyttiin täydentävänä, vapaaehtoisena tietona, mutta ne rajattiin laskennan ulkopuolelle. Osa lähtötiedoista kerättiin lohkoktasolla ja osa tilatasolla (Taulukko 1). Tuotantoketjun vaiheet ryhmiteltiin taulukon 2 mukaisesti.



Kuva 2. PuutarhaLCA-hankkeen laskennassa käytetty järjestelmärajaus. Laatikot kuvaavat tuotannon vaiheisiin liittyviä prosesseja: Vihreät kasvintuotantoa, sadonkorjuuseen liittyviä kuljetuksia ja varastointia tilalla, siniset järjestelmään kuuluvia osia ja keltaiset niistä poistuvia osia. Tutkimuksessa ei huomioitu tuotteiden jatkojalostusta, tuotejakelua ja sen jälkeisiä järjestelmiä, jotka kuvassa jäävät vihreän kehyksen ulkopuolelle.

Taulukko 1. Tuotteiden lähtötietojen keruussa ja ympäristövaikutusten laskennassa huomioitavat syötteen.

Marjat	Salaatti ja yrtit
<p>Tiedot tiloittain Energiankäyttö ja konetyöt tuotannossa Kylmäaineiden käyttö varastoinnissa Jäte ja jätevesi Pakkaukset (valmiin tuotteen pakkaaminen)</p> <p>Tiedot lohkoittain Kasvit ja viljelykausi Sato Viljelytapa, maaperä tai kasvualusta Lannoitus ja kalkitus Veden käyttö Kasvinsuojeluaineiden käyttö Rakenteet ja maanpeitteet ym.</p> <p>Täydentävät tiedot, vapaaehtoinen Kausityövoiman matkustus Kausityövoimaan liittyvä energia- ja sähkönkäyttö majoituksessa</p>	<p>Tiedot tiloittain Energiankäyttö ja konetyöt tuotannossa Kylmäaineiden käyttö varastoinnissa Jäte ja jätevesi Pakkaukset (valmiin tuotteen pakkaaminen)</p> <p>Tiedot osastoittain Kasvit ja viljelykausi Sato Viljelytapa ja kasvualusta Lannoitus ja kalkitus Veden käyttö Kasvinsuojeluaineiden käyttö Rakenteet ym.</p>

Taulukko 2. Tuotteiden lähtötietojen keruussa ja ympäristövaikutusten laskennassa huomioitavat syötteen. Jakoa käytetään myös tuloskuvaajissa.

Ryhmä	Panostenkäyttö ja muut tuotantoketjun vaiheet
Viljelypanokset	Lisäysmateriaali: mansikan- ja vadelmantaimet, salaatin- ja yrtinsiemenet
	Lannoitteet: N, P & K
	Kasvualustat: Turve-sammal, turve, kookoskuitu ja kivivilla
	Vesijohtovesi
	CO ₂ -lannoitus
	Kalkitusaineet
	Kasvinsuojeluaineet
	Kylmäaineet
Suorat vaikutukset tilalla	Maapinta-alan käyttö
	Kasteluvesi omasta kaivosta tai pintavesistä
	Lannoitteiden käytöstä ja kasvintähteiden hajoamisesta aiheutuvat kasvi-huonekaasupäästöt ja ravinnehuuhtouma
Pakkaukset	PET ja PP rasiat, aaltopahvilaatikat, muovipussit
Energian suora käyttö	Sähkö
	Lämpö (kevyt ja raskas polttoöljy, hake, maakaasu, turve)
	Muu energiankäyttö: kevyt polttoöljy
	Työkoneiden käyttö viljelytoimenpiteisiin
	Tilan sisäiset kuljetukset
Kuljetukset ja jätteenkäsittely	Viljelypanosten kuljetus tilalle
	Jätteiden kuljetus
	Biojätteen kompostointi tilalla
	Ongelmajätteen käsittely
Rakenteet ja muut materiaalit	Muovipohjaiset materiaalit: maanpeitekatteet, harso, tunnelin katemuovi, kasteluletkut, ruukut
	Tunnelirakenteet, -pöydät ja tunnelien kastelujärjestelmä
	Kasvihuone- ja vertikaalirakenteet, valaisimet, viljelykourut ja sähköjohdot

2.1.1. Marjanviljelyn lähtötiedot

Viljelyn lähtötiedot kerättiin viideltä suomalaiselta marjatilalta (Taulukko 3). Avomaamansikan laskenta perustui neljän ja avomaavadelman, tunnelimansikan ja tunnelivadelman laskenta kolmen tilan tietoihin. Lähtötiedot kerättiin usealta vuodelta.

Taulukko 3. Marjanviljelyn kokonaispinta-alat ja lähtötietojen tiedonkeruuvuodet hankkeessa mukana olevilla tiloilla.

	Mansikka avomaa	Mansikka tunneli	Vadelma avomaa	Vadelma tunneli	Tiedot vuosilta
Viljelypinta-ala yhteensä, ha	28,2	3,9	3,6	0,68	
Tila 2	x	x	x	x	2020–21
Tila 3	x	x	x	x	2018–21
Tila 4				x	2018–21
Tila 5	x	x			2018–21
Tila 6	x		x		2017–20

Marjanviljelyn osalta laskennassa käytettyjen tietojen tilakeskiarvoista lasketut vaihteluvälit on esitetty taulukossa 4 hehtaarisatojen, viljelypanosten, energiankäytön ja työkoneiden käytön sekä muovipohjaisten materiaalien ja rakenteiden osalta. Tilojen hehtaarisadot vaihtelivat sekä mansikalla että vadelmalla huomattavasti niin viljelyvuosien kuin tilojenkin välillä. Suurimmat sadot olivat sekä tunneli- että avomaaviljelyssä moninkertaiset pienimpiin satoihin nähden lukuun ottamatta tunnelissa viljeltyä vadelmaa, jossa ero suurimman ja pienimmän sadon välillä oli 1,5-kertainen. Erityisen suuri hajonta oli avomaavadelman sadoissa.

Viljelypanosten, energian, rakenteiden ja muiden materiaalien valmistusprosesseihin liittyvät taustatiedot saatiin pääosin Ecoinvent 3-tietokannasta (Wernet ym. 2016). Tarkemmin tietolähteet on esitetty liitteessä 1. Työkoneiden keskimääräinen polttoaineenkulutus eri viljelytoimissa perustui tietokantoihin ja kirjallisuuslähteisiin: äestys, kasvinsuojeluineruisutus, kyntö, lannoitteenlevitys (Mikkola & Ahokas 2009); maanpeitekatteenlevitys, istutus maanpeitekatteeseen, maanpeitekatteen poisto, kastelu traktoripumpulla (KTBL 2018), työkoneiden käytön keskimääräiset päästöt (Lipasto-tietokanta, VTT Teknologian tutkimuskeskus Oy 2017). Maanmuokkauksia (kyntö, äestys) tehtiin tyypillisesti kerran viljelykierron aikana.

Syötteistä taimien määrä vaihteli siten, että maksimimäärä taimia hehtaarilla oli kaksinkertainen minimimäärään nähden (Taulukko 4). Lannoitemäärät olivat hehtaaria kohden suuremmat tunneliviljelyssä, mikä selittyy suuremmalla hehtaarikohtaisella taimimäärällä. Kalkitus sekä kasteluveden käyttömäärät vaihtelivat paljon. Sähkön hehtaarikohtaisissa käyttömäärissä ja tunnelikasvatuksessa käytetyn kasvualustan hehtaarikohtaisissa käyttömäärissä oli myös suurta vaihtelua (Taulukko 4).

Taulukko 4. Marjanviljelyn lähtötiedot, hehtaarisatojen ja viljelypanostenkäytön vaihteluvälit (vaihteluvälit laskettu tilojen keskiarvoista).

	Mansikka avomaa	Mansikka tunneli, ruukku	Vadelma avomaa	Vadelma tunneli, ruukku
Sato, kg/ha, keskiarvo	4 400	41 200	2 600	27 300
Sato, kg/ha, vaihteluväli	2 600–8 200	28 000–70 000	400–4 600	20 000–35 000
Taimien määrä, kpl/ha	22 400–40 800	44 100–105 000	3 400–6 700	7 100–15 000
Taimien alkuperä	Saksa/Hollanti/ Suomi	Hollanti	Suomi	Hollanti
Viljelykierron pituus, vuosi*	4–5	1	10–15	1
Typeä, kg/ha/vuosi	13–28	99–212	4–44	95–216
Fosforia, kg/ha/vuosi	6–16	22–92	4–18	57–150
Kalkitus, kg/ha/vuosi	0–900	–	0–400	–
Kasteluvesi, m ³ /ha/vuosi	0–600	900–5 200	0–400	300–5 200
Kasteluveden alkuperä	Järvi-/ oma kaivo-/ vesijohtovesi	Järvi-/ vesijohtovesi	Järvivesi	Järvi-/ vesijohtovesi
Kasvualustan tyyppi	–	Turve–sammal/ kookoskuitu/turve	–	Turve–sammal
Kasvualustan määrä, kg/ha/vuosi	–	1 400–17 500	–	1 700–17 300
Muovien käyttö yhteensä**, kg/ha/vuosi	40–330	370–1 290	7–60	290–930
Nurmen leikkuu, kertaa/vuosi	2–6	0–2	0–2	0–6
Lannoitteen levitys	1–2 kertaa/vuosi	Kasteluveden mukana	1 kerta/vuosi	Kasteluveden mukana
Sähkö, kWh/ha/vuosi	170–5 170	3 440–15 240	190–1 840	920–8 870
Kevyt polttoöljy***, kWh/ha/vuosi	0–120	0–640	0–80	0–590
Pakkaukset, muovi, kg/ha/vuosi	0–170	150–1 490	50–190	60–1 490
Pakkaukset, aaltopahvi, kg/ha/vuosi	70–380	0–1 230	10–170	30–1 500
Kasvinsuojeluaineiden käyttö/ kasvukausi				
Ruiskutukset per lohko	6,9		1,9	
Tehoaineet (kpl)	28		6	
Tehoaineiden määrä (kg/ ha)	1,7		0,8	

*Ei sisällä välikasveja

**Maanpeitekatteet, harso, tunnelin katemuovi, kasteluletkut, ruukut

***Muuhun kuin peltokonetöihin: veden pumppaus, lämmitys

Kasvinsuojeluaineet

Marjatiloilta kerättiin kasvinsuojeluaineiden käyttötiedot, jotka sisälsivät kasvinsuojeluaineen kaupanimen, käyttömäärän (kg/lohko), lohkon pinta-alan (ha) ja ruiskutusajankohdan. Valmistetiedot muutettiin tehoainetiedoiksi käyttäen Suomen Turvallisuus ja kemikaaliviraston (TUKES) kemikaalitietokantaa (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto, 2022). Kasvinsuojeluaineiden ruiskutuskerrat kasvukaudessa laskettiin tilakohtaisesti yhden tehoaineen käyttönä. Siten kahden tehoaineen tankkiseos laskettiin kahdeksi ruiskutuskerraksi (Taulukko 5). Tehoaineiden lukumäärä ja tehoaineiden käyttö (kg/ha) kasvukaudessa laskettiin koko aineistossa. Biologisten valmisteiden ja rikkilannoitteen, jota käytettiin kasvinsuojelussa kasvitautilien torjuntaan,

tarkkaa käyttöä ei laskettu. Myöskään viherkesannon kasvinsuojeluaineiden ruiskutuksia ei huomioitu.

Yksi marjatila ilmoitti, ettei käytä ollenkaan kemiallisia kasvinsuojeluaineita. Tunneliviljelyssä kaikki tilat käyttivät biologista torjuntaa. Lisäksi yksi tila käytti kemiallista torjuntaa tunnelimansikalla. Avomaalla mansikkaa ruiskutettiin ja sillä käytettiin enemmän (kg/ha) kasvinsuojeluaineita kuin vadelmalla. Neljällä mansikkatilalla käytettiin yhteensä 28 eri tehoainetta ja 34 erilaista kasvinsuojeluainevalmistetta avomaalla koko tutkimusaikana. Vastaavasti vadelmalla käytettiin avomaalla kuutta eri tehoainetta ja viittä eri valmistetta. Koko aineistossa avomamansikalla käytettiin määrällisesti (kg/ha) eniten kasvitautiaineita (63 %), rikkakasviaineita (26 %) ja vähiten tuhoeläinaineita (11 %). Myös avomaan vadelmalla kasvitautiaineita käytettiin määrällisesti (kg/ha) eniten (90,5 %) ja tuhoeläinten torjunta-aineita käytettiin vain n. 9,5 % kaikista aineista, mutta rikkakasviaineita vadelmalla ei käytetty lainkaan. Yhdellä tilalla käytettiin mansikalla rypsiöljyä sisältävää valmistetta tunnelituotannossa n. 14,5 kg/ha/kasvukausi ja avomaalla, n. 2,1 kg/ha.

Taulukko 5. Kemiallisten kasvinsuojeluaineiden ruiskutuskerrat kasvukaudessa per tila (yksi ruiskutuskerta kuvaa yhden tehoaineen käyttömäärää), tehoaineiden lukumäärä koko aineistossa ja tehoaineiden käyttö (kg/ha) kasvukaudessa koko aineistossa. Mukana ei ole rypsi- ja rypsiöljyä sisältäviä tehoaineita. Lisäksi yhdellä tilalla käytettiin kemiallisia kasvinsuojeluaineita tunnelimansikalla. Vadelmalla ei käytetty tunnelissa kemiallisia kasvinsuojeluaineita.

	Ruiskutusten määrä per lohko (kpl/kasvukausi)	Tehoaineiden määrä (kpl)	Tehoaineiden käyttö per kasvukausi (kg/ha), keskiarvo
Mansikka avomaa	6,9	28	1,7
Vadelma avomaa	1,9	6	0,8

Suomen tilastojen mukaan vuonna 2013 mansikalla käytettiin 2,65 kg/ha ja 2018 2,83 kg/ha tehoaineita kasvukaudessa (Luonnonvarakeskus 2023b). Tämän tutkimuksen aineistossa tehoaineiden käyttö oli keskimäärin vähäisempää (1,8 kg/ha) verrattuna Suomen keskiarvokäyttöön.

Rakenteet

Marjanviljelyssä muovipohjaiset materiaalit (maanpeitekatteet, kasvuharsot ja ruukut) oli valmistettu polypropeenista tai polyeteenistä (Liite 1). Avomaalla tärkeimmät rakenteet liittyivät kastelujärjestelmään. Tunneliviljelyssä tunnelimuovin lisäksi tunnelirakenteet ja viljelypöydät sisälsivät terästä. Laskennassa huomioitiin eri materiaalien käyttöä.

2.1.2. Ruukkusalaatin ja -yrtin tuotannon lähtötiedot

Vertikaaliviljelyn osalta neliösatoihin ja viljelypanosten käyttöön liittyvät lähtötiedot kerättiin yhdeltä tilalta, joka tuotti timjamia (ruukkuyrtti), babyleaf-salaattia ja jääsalaattia (salaatit) (Taulukko 6). Tiedot koskevat vuosia 2018–2020.

Kasvihuone- ja vertikaalituotannossa käytetään energiaa, joka koostuu lämpö- ja sähköenergiasta. Sähköenergiaa käytetään valaistukseen, konetyöhön (mm. pöytien liikutteluun) ja kylmävarastointiin. Valaistuksen käyttämä sähköenergia lämmittää tuotantotiloja, mikä vaikuttaa käytettävän lämpöenergian määrään. Lämpöenergiaa käytetään tuotantotilojen lämmitykseen ja sitä voidaan tuottaa fossiilisilla tai uusiutuvilla polttoaineilla (esim. puu- ja peltopohjaiset polttoaineet).

Vertikaalituotannossa käytetty energia mallinettiin tilan lähtötietoihin perustuen ruukkuyrtille ja -salaateille, jotka tuotettiin uusiutuvalla sähköenergialla ja lämpö otettiin talteen (1). Lisäksi vertikaaliviljelylle tehtiin kolme muuta sähköenergiaa ja lämmön talteenottoa koskevaa skenaariota: 2) uusiutuva sähköenergia ilman lämmön talteenottoa, 3) Suomessa kulutettu keskimääräinen sähköenergia lämmön talteenotolla ja 4) Suomessa kulutettu keskimääräinen sähköenergia ilman lämmön talteenottoa. Talteen otetun lämpöenergian oletettiin korvaavan sähkölämmitystä, jossa on käytetty Suomessa kulutettua keskimääräistä sähköenergiaa. Kasvihuonetuotannon viljelytiedot pohjautuvat aiempaan LCA-arviointiin (Silvenius ym. 2019). Neljän aiemman skenaarion lisäksi kasvihuonetuotannon skenaariot 5 ja 6 muodostettiin Silvenius ym. (2019) keräämien viljelytietojen lisäksi seuraavin oletuksin: 5) viljelyssä käytettäisiin Suomessa kulutettua keskimääräistä sähköenergiaa ja kasvihuonetuotannon käyttämää keskimääräistä lämpöä sekä 6) viljelyssä käytettäisiin Suomessa kulutettua keskimääräistä uusiutuvaa sähköenergiaa ja lämmöntuottoon haketta. Ravinnejalanjäljen osalta skenaariotarkasteluja ei tehty.

Ruukkusalaatin ja -yrtin tuotannon lähtötiedot on esitelty satotasojen ja tuotantopanosten käytön osalta taulukossa 6. Satotaso ruukkuina suhteessa viljelypinta-alaan oli ruukkusalaateilla vertikaaliviljelyssä selvästi suurempi kuin kasvihuoneviljelyssä. Ruukkuyrtillä ero vertikaaliviljelyn eduksi oli tätäkin suurempi. Lannoitemäärä ruukkusalaatin vertikaali- ja kasvihuoneviljelyssä oli samalla tasolla, mutta kasvualustan määrä suhteessa viljelypinta-alaan oli suurempi vertikaali- kuin kasvihuoneviljelyssä. Ruukkuyrtillä käytettiin ruukkusalaatteja enemmän kasvualustaa vertikaalituotannossa. Hiilidioksidilannoitus suhteessa viljelypinta-alaan oli vertikaaliviljelyssä huomattavasti pienempi kuin kasvihuoneviljelyssä. Sähkönkulutus suhteessa viljelypinta-alaan on ruukkusalaatilla vertikaaliviljelyssä suurempi kuin kasvihuoneviljelyssä ja ruukkuyrtillä pienempi kuin ruukkusalaatilla vertikaalituotannossa. Sähkönkulutus pinta-alaan nähden on kuitenkin vertikaaliviljelyssä pienempi kuin kasvihuoneviljelyssä, kun lämmöntalteenotto huomioidaan.

Kasvinsuojeluaineet

Vertikaali- ja kasvihuoneviljelyssä käytettiin vain biologista kasvinsuojelua, joten kemiallisten kasvinsuojeluaineiden aiheuttamia ekotoksisia vaikutuksia ei syntynyt. Luken sisäisen asian tuntija-arvion mukaan Suomessa salaatin ja yrttien kasvihuone- ja vertikaalituotannossa ei käytetä kemiallisia kasvinsuojeluaineita.

Rakenteet

Viljelijätietojen lisäksi lisätietoja kerättiin Kainuun ammattiopiston (KAO) Seppälän vertikaalipuutarhan rakenteista. Luke teki yhteistyötä myös Kauppapuutarhaliiton kanssa kasvihuone- tuotannon rakennetietojen keräämiseksi. Erilaisten materiaalien määriä ja tarkempia laskentaan vaadittavia tietoja kerättiin myös kirjallisuudesta ja tuotevalmistajilta sekä Ecoinvent 3-tietokannasta (Wernet ym. 2016) (Liite 2). Kasvihuone- ja vertikaalituotannon rakenteet sisälsivät runkorakenteita ja perustuksia, osastokehikkorakenteita, sähköjohtoja, salaattikouruja ja valaisimia, jonka lisäksi vertikaalituotannon rakenteita olivat seinä- ja kattopaneelit (Liite 2).

Valotustehon kasvihuoneissa (suurpainenatriumvalaisimet) oletettiin olevan 100 W/m^2 ja yhden valaisimen tehon 400 W (Anderson 2010). Vertikaalissa valotusteho (LED-valaisimet) oli 65 W/m^2 (tilalta saatu tieto). Lasikatteen määrä per neliometri kasvihuoneessa vastaa suuruusluokaltaan kirjallisuustietoja (Zabeltitz 2010, Antón ym. 2012) samoin kuin muiden rakenteiden määrä (Antón ym. 2012). Kirjallisuustietojen sovellettavuus Suomen olosuhteisiin tarkistettiin teräsrunkorakenteiden, kasvihuoneen lasikatteen ja valaisimien painojen osalta kasvihuonerakenteita ja -tarvikkeita myyvältä tukkuyritykseltä (Helle Oy, Jesse Helle, 13.9.2021).

Taulukko 6. Ruukkuyrtin ja -salaattien viljelyn lähtötiedot, satotasot ja viljelypanosten käyttö. Vertikaaliviljelyn lähtötiedot kerättiin ruukkuyrtin sekä kahden ruukkusalaatin viljelystä. Kasvihuonetuotetun ruukkusalaatin lähtötiedot pohjautuvat aiempaan tutkimukseen (Silvenius ym. 2019).

	Vertikaali			Kasvihuone
	Timjami	Babyleaf-salaatti	Jääsalaatti	Ruukkusalaatti
Osastojen tai tilojen määrä (kpl)	1	3	4	15*
Osastojen yhteispinta-ala (m ²)	550	1650	2200	6731*
Sato, kpl ruukkuja/m ² /vuosi	889	1500	550	333
Yhden tuotteen paino, g, syötävä kasvin osa	25	20	120	150
Siementen määrä, kpl/ruukku	30	1	1	1**
Typeä, kg/ m ² /vuosi	0,05	0,05	0,05	0,06
Fosforia, kg/ m ² /vuosi	0,01	0,01	0,01	0,03
Kasvualustan tyyppi	Turve-sammal	Turve-sammal	Turve-sammal	Turve ja kivillä
Kasvualustaa, kg/m ² /vuosi	11	18	7	3
Kasteluvesi, litraa/m ² /vuosi	2489	3360	1584	1100
Kasteluveden alkuperä	Oma kaivo 30 % ja vesijohtovesi 70 %	Oma kaivo 30 % ja vesijohtovesi 70 %	Oma kaivo 30 % ja vesijohtovesi 70 %	Vesijohtovesi
Hiilidioksidilannoitus, kg/m ² /vuosi	6,5	6,5	6,5	23
Ruukut, kg/m ² /vuosi***	0,14	0,24	0,09	1,0
Pakkaus, muovipussi, kg/m ² /vuosi	1,8	3,0	1,1	0,7
Pakkaus, pahvilaatikko, kg/m ² /vuosi	19	31	11	7
Kylmäaine, g/m ² /vuosi	1	1	3	2
Biojäte, oma kompostointi, kg/m ² /vuosi	0,1	0,1	0,3	-
Ongelmajäte, g/m ² /vuosi	0,2	0,3	0,6	-
Lämpöenergia, kWh/m ² /vuosi	-	-	636	310
Lämpöenergianlähde	-	-	Hake	Skenaariot: 100 % hake TAI 67 % hake, 33 % muu uusiutumaton
Hukkalämpö	Hyödynnetty		Hyödynnetty	Ei hyödynnetty
Lämmön talteenotto, kWh/m ² /vuosi	161	217	478	-
Nettosähkökulutus, kWh/m ² /vuosi****	60	81	178	656
				551

*Tiedot Silvenius ym. 2019

**Oletus: sama kuin vertikaalissa, tietoa ei kerätty aiemmassa hankkeessa

*** Vertikaalissa paperipohjaiset ruukut, kasvihuoneviljelyssä muoviruukut

****Skenaariot: 100 % uusiutuvat lähteet TAI 31 % uusiutuvat lähteet ja ydinvoima + 69 % Suomen keskimääräinen sähkö

Skenaariotarkastelu

Ruukkusalaatin osalta haluttiin selvittää myös, millaisia vaikutuksia erilaisilla energiankäyttöön liittyvillä ratkaisuilla olisi. Siksi vertikaalisalaatin viljelylle muodostettiin viljelijätietojen lisäksi kolme muuta ja kasvihuonesalaatin viljelylle kaksi eri skenaariota:

- Ruukkusalaatti vertikaaliviljelyssä-skenaario
 - Sähkö uusiutuvista lähteistä
 - Hukkalämpö otettu talteen ja hyödynnetty (tiedot perustuvat viljelijätietoon) (1)
 - Hukkalämpöä ei hyödynnetty (2)
 - Sähkön tuotantoprofiili sama kuin keskimääräisessä suomalaisessa kasvihuonesalaatin tuotannossa
 - Hukkalämpö otettu talteen ja hyödynnetty (3)
 - Hukkalämpöä ei hyödynnetty (4)
- Ruukkusalaatti kasvihuoneviljelyssä-skenaario
 - Sähkön ja lämmön tuotantoprofiili sama kuin keskimääräisessä suomalaisessa kasvihuonesalaatin tuotannossa (5)
 - Sähkö ja lämpö uusiutuvista lähteistä (6)

2.1.3. Kuljetusten lähtötiedot

Viljelypanosten ja rakenteiden kuljetusmatkojen arviointia varten käytetyt oletukset on esitetty liitteessä 3. Keski-Euroopan maista viljelypanosten kuljetus oletettiin tehtävän rekalla Saksan Rostockiin ja edelleen laivalla Turkuun. Suomen sisäiset kuljetukset oletettiin tehtävän rekalla. Tilan sisäisiin kuljetuksiin marjatiloihin käytettiin pakettiautoa, henkilöautoa, kuorma-autoa, minibussia, linja-autoa, mönkijää ja/tai traktoria. Jätteiden kuljetukset oletettiin tehtävän jäteautolla (kuljetusmatka 20 km) ja rekalla (kuljetusmatka 50 km). Kuljetuksen aiheuttamat vaikutukset arvioitiin Lipasto-tietokannan taustatietojen avulla (VTT Teknologian tutkimuskeskus Oy 2017).

2.2. Ympäristövaikutusten arviointi

Ympäristövaikutusten arvioinnissa käytettiin elinkaariarvioinnin standardeja mm. ISO 14040- ja ISO 14044 (ISO 2014). Lisäksi tiloilta pyydettiin arvio tuotannossa syntyvästä hävikistä. Ilmastomuutosvaikutuksen, muun ketjun kuin alkutuotannon kasvinsuojeluaineiden käytön ekotoksisten vaikutusten, uusiutumattomien raaka-aineiden käytön ja vesiniukkuusvaikutuksen laskenta tehtiin SimaPro-laskentaohjelmalla (PRé Sustainability, Alankomaat) käyttäen Euroopan komission laatimia PEF (product environmental footprint) -yleisohjeistuksia, joissa vaikutusarviointimenetelmänä oli EF 3.0 (Fazio ym. 2018, Taulukko 7). Vaikutusluokkien tarkempi kuvaus on esitetty alla olevissa kappaleissa. Toiminnalliseksi yksiköksi (FU, functional unit) valittiin sadon määrä (1 kg tuotetta).

Taulukko 7. Ympäristövaikutusten laskentaan ja hävikin arviointiin käytetyt menetelmät.

Vaikutusluokka	Laskentamenetelmä
Ilmastonmuutos (hiilijalanjälki, CO ₂ -ekvivalentti)	EF 3.0: Climate Change (Fazio ym. 2018)
Rehevöittävä vaikutus (PO ₄ -ekvivalentti)	Rehevöittävä vaikutus (Heijungs ym. 1992, Seppälä ym. 2004)
Ekotoksinen vaikutus (CTU eli comparative toxic unit)	Usetox™ 2.12 (Rosenbaum ym. 2008), EF 3.0 Ecotoxicity, freshwater (Fazio ym. 2018)
Kumulatiivinen energiankulutus (MJ)	Cumulative Energy Demand, V1.11 (Single issue) (Hischier ym. 2010)
Uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö (MJ & kg Sb-ekvivalentti)	EF 3.0: Resource use, fossils & Resource use, minerals and metals (Fazio ym. 2018)
Maankäyttö (m ² a)	Selected LCI results, V1.05 (Single issue): Land occupation, m ² a (Hischier ym. 2010)
Ravinnejalanjälki (ravinteiden käyttö- ja hyödyntämisprosentti)	Ravinnejalanjälki-menetelmä (Ypyä ym. 2015)
Vesiniukkuusvaikutus (m ³ -ekvivalentti)	EF 3.0: Relative Available WAter REmaining (AWARE) (Boulay ym. 2018)
Hävikin määrä (%)	Korjaamatta jäänyt sato, viljelijän oma arvio

2.2.1. Ilmastonmuutosvaikutus

Hiilijalanjälki on yksittäisen henkilön, tapahtuman, organisaation, palvelun, paikan tai tuotteen aiheuttama kasvihuonekaasujen kokonaispäästö hiilidioksidiekvivalenteina (CO₂-ekv.). Hiilijalanjälkilaskenta perustuu elinkaariarviointiin (Life Cycle Assessment, LCA), joka on vakiintunut, systemaattinen ja laajalti hyväksytty menetelmä ympäristövaikutusten arviointiin. Elinkaariarvioinnin pääperiaatteiden mukaan hiilijalanjälkilaskennassa otetaan huomioon muodostuvat kasvihuonekaasupäästöt jokaisesta elinkaaren vaiheesta – kehdosta hautaan. Kansainväliset standardit ISO 14040 ja 14044 ohjaavat elinkaariarviointia. Tuotteiden hiilijalanjälkilaskennalle on myös oma, laskentaa tarkemmin määrittelevä standardi (ISO 14067).

Maaperään liittyviin päästöihin kuuluu pellonraivauksesta johtuva orgaanisen aineksen hajoaminen vuosittain ja lisäksi pellon kasvintähteiden orgaanisen aineksen hajoaminen, jolloin syntyy kasvihuonekaasupäästöjä. Orgaanista ainesta kertyy maaperään vuosittain, mikä puolestaan sitoo hiiltä. Tässä työssä kasvihuonekaasulaskentaan sisällytettiin maan orgaanisen aineksen hajoamisen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt peltomaasta. Kivennäismailla vapautuvan hiilidioksidipäästön määränä käytettiin 807 kg CO₂/ha/vuosi (220 kg C/ha/vuosi) (Heikkinen ym. 2013). Orgaanisia maita ei tämän työn aineistoon sisällytetty. Maankäytönmuutoksen kasvihuonekaasupäästöjä ei huomioitu, koska pellot olivat olleet viljelykäytössä yli 20 vuotta (BSI 2008). Tulokset on esitetty yksikössä CO₂-ekv.

2.2.2. Rehevöittävä vaikutus

Rehevöitymisellä viitataan typen ja fosforin kertymistä vesistöön ihmistoiminnan seurauksena. Rehevöityminen on paikallinen ympäristöhaitta, joka vaivaa etenkin matalia, taajama- ja/tai viljelyaluilla sijaitsevia järviä. Pohjan hapettomuus voi käynnistää sisäisen kuormituksen, mikä tarkoittaa pohjasedimenttiin sitoutuneiden ravinteiden uudelleen vapautumista veteen. Tärkeimmät vesistöjä rehevöittävät päästöt ovat typpi (N), fosfori (P), ammoniakki (NH₃) ja typen oksidit (NO_x).

Tässä tutkimuksessa huomioitiin ravinnepäästöt yhdistämällä typpi- ja fosforipäästöt fosfaattiekvivalenteiksi (PO_4 -ekv.) (Heijungs ym. 1992). Laskennassa on huomioitu myös ravinteiden kulkeutumisessa tapahtuvat häviöt käyttämällä kulkeutumiskertoimia sekä niiden käyttökelpoisuus leville ja muulle kasvustolle käyttämällä vaikutuskertoimia (Seppälä ym. 2004). Peltoviljelyn huuhtouman laskennassa käytettiin maalajikohtaisia huuhtoutumiskertoimia. Typpi-huuhtouma laskettiin typpitaseen ja fosforihuuhtouma maaperän fosforipitoisuuteen (P-luku) pohjautuen. Myös eroosiossa vesistöihin päätyvä partikkeleihin sisältyvä fosfori huomioitiin (Saarinen ym. 2014). Tulokset esitettiin yksikössä PO_4 -ekv.

2.2.3. Ekotoksinen vaikutus

Ekotoksikologia on tieteenala, joka tutkii haitta-aineiden vaikutuksia populaatioihin, yhteisöihin ja ekosysteemeihin. Ekotoksikologiassa huomioidaan aineen joutuminen ympäristöön (kulkeutuminen, muuntuminen, kertyminen), sen mahdollinen biosaatavuus ja lopulta vaikutukset eliöissä. Ekotoksisuus kuvaa haitta-aineiden vaikutuksia paikalliseen ympäristöön eli tarkemmin kulkeutumista ympäristössä (kasvi, maaperä, vesistö, ilma) ja niiden haitallisia vaikutuksia paikalliseen eliöstöön. Haitta-aineita voivat olla esim. kasvintuotannossa käytetyt kasvinsuojeluaineet. Elinkaariarvioinnin (LCA) ympäristövaikutuslaskennassa haitta-aineiden ekotoksiset vaikutukset yhteismitallistetaan vaikutuskertoimien avulla, jolloin saadaan niiden potentiaaliset ekotoksiset vaikutukset. Menetelmän avulla eri aineiden haitallisuutta voidaan vertailla toisiinsa esim. ainekohtaisesti, ryhmäkohtaisesti ja ajassa.

Muun ketjun kuin kasvinsuojeluaineiden käytön aiheuttama ekotoksinen vaikutus

Tässä työssä ekotoksiset vaikutukset laskettiin tuotantoketjun eri vaiheille Ecoinvent-tietokantatietoihin pohjautuen pois lukien tilalla tapahtuva kasvinsuojeluaineiden käyttö. Laskennassa käytettiin Usetox 2.12 menetelmää (Rosenbaum ym. 2008) SimaPro -ohjelmistolla. Tulokset on esitetty yksikössä CTU_e (comparative toxic unit_{ekotoksisuus}).

Kasvinsuojeluaineiden käytön aiheuttama ekotoksinen vaikutus

Avomaamarjoilla käytettyjen kasvinsuojeluaineiden tehoaineiden aiheuttamat ekotoksiset vaikutukset laskettiin Usetox 2.12-työkalulla (Rosenbaum ym. 2008). Kasvinsuojeluaineiden aiheuttamia vaikutustuloksia ei voida verrata ketjun muun osan vaikutustuloksiin menetelmällisten erojen takia. Tehoaineiden päästöjen mallinnukseen käytettiin PestLCI Consensus V.1.0-mallia (Dijkman ym. 2012, Fantke ym. 2017) käyttäen 'Initial (primary) distribution'-valintaa (Gentil ym. 2020). Lisäksi molempien kohdalla kasvin kasvuaste ja ruiskutusmenetelmä mallinnettiin kahdella eri skenaariolla. Mallissa käytetyt parametrit on ilmoitettu taulukossa 8. PestLCI-laskentamallia ei voi soveltaa katettuihin tuotantomuotoihin ml. tunneliviljely, joten mallinnus tehtiin vain marjojen avomaatuotannolle.

Taulukko 8. PestLCI Consensus V.1.0-mallin syötteet. Suluissa oleva mallinnus tarkoittaa skenaariota, kun päästö oli toista vaihtoehtoa pienempi.

Parametri	Valittu parametri	Lähde
Kasvi	Vadelma: Marjat Mansikka: Juuret, mukulat ja sipulit*	
Kasvi ja sen kasvuaste ruiskutus-hetkellä	Vadelma: Herukat II, (Herukat III) Mansikka: Perunat II, (Perunat III)*	
Ruiskutusmenetelmä	Vadelma: Ilmapuhallussumutin tai käsikäyttöinen reppuruisku Mansikka: Perinteinen puomiruisku	Aineisto
Tuulikulkeuma	Vadelma: Tuulikulkeuma 50 %, (Tuulikulkeuma 75 %) Mansikka: Tuulikulkeuma 50 %, (Tuulikulkeuma 75 %)	
Tehoaineen määrä (kg/ha)	**	Aineisto
Suojakaistan sijainti peltoon nähden	Kyllä, ekosfäärissä: puskurivyöhyke pellon ulkopuolella	
Suojakaistan leveys (m)	3	Vesistön ja pellon välillä on oltava min. 3 m suojakaista (Ruokavirasto, 2022, Tukes 2023).
Jos puskurivyöhyke on olemassa, puskurivyöhykkeen lehtiin kertynyt torjunta-ainefraktio (-)	0,4	Mallin oletusarvo
Peltolohkon leveys (m)		Aineisto
Peltolohkon pituus (m)		Aineisto

*Mallinnuksessa käytettiin perunaa, koska Suomessa mansikkakasvustot ruiskutetaan pääosin puomiruiskulla, jota käytetyssä Usetox-mallissa ei voi valita marjakasveille. **Rypsiöljyä ei käytetty mallinnuksessa.

Tehoaineet, joita ei ollut valittavissa Usetox-mallista suoraan (n=10), etsittiin tiedot kirjallisuudesta (esim. University of Hertfordshire 2023a) ja lisättiin ne laskentaohjelmaan. Rypsiöljyä ei huomioitu laskennassa, koska rypsi- ja rapsiöljyä ei voi mallintaa tällä hetkellä Usetox:lla niiden äärimmäisten ominaisuuksien mm. rasvaliukoisuuden (puhdas öljy) ja lyhyen puoliintumisajan vuoksi. Toisaalta rypsiöljy on vähemmän haitallinen kuin moni muu tehoaine aiheuttaen akuuttia toksisuutta monille eliöille vasta suurilla pitoisuuksilla. Rypsi- ja rapsiöljy eivät ole mm. genotoksisia, karsinogeenisiä, aiheuta haittaa lisääntymiselle tai ärsytä ihoa tai silmiä (DT₅₀=1 vrk) (University of Hertfordshire 2023b). Mallinnuksessa käytettiin Pohjois-Euroopan ja Pohjois-Kanadan maantieteellisiä kertoimia. Usetox-mallin tulokset yhdistettiin vastaaviin PestLCA-mallin tuottamiin tehoaineiden päästöihin (Gentil ym. 2020). Skenaariotarkastelun perusteella valittiin pahimman päästökenaarion avulla saatu tulos. Lopulliset tulokset on esitetty yksikössä CTU_e (comparative toxic unit_{ekotoksisuus}).

Vertikaaliviljelyssä käytettiin vain biologista kasvinsuojelua, joten kemiallisten kasvinsuojelua-aineiden aiheuttamia ekotoksisia vaikutuksia ei syntynyt.

2.2.4. Resurssienkäyttö: Energian ja uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö

Elinkaari-inventaariossa kartoitettiin materiaali- ja energiavirtoja, joista tässä huomioitiin kokonaisenergia, fossiilinen energia ja primääristen mineraalien ja metallien käyttö. Energiankulutuksen ja fossiilisten energian käytön yksikkönä käytettiin MJ. Resurssien mineraalien ja metallien käytön yksikkönä käytettiin mg Sb-ekv. Sekä energiankulutuksen että mineraalien ja metallien käyttö laskettiin tuotteiden koko elinkaaren ajalta.

Elinkaarinen energiankulutus arvioitiin laskemalla tuotantoketjun kumulatiivinen energiankulutus Simapro-ohjelmalla Cumulative Energy Demand (V1.11)-menetelmään ja alempiin lämpöarvoihin perustuen (Hischier ym. 2010). Menetelmässä huomioidaan kaikki energiankulutus sekä uusiutumattomista että uusiutuvista lähteistä (Taulukko 9). Laskenta tehtiin SimaPro-ohjelmalla.

Uusiutumattomien raaka-aineiden kulutus arvioitiin kahdella EF-menetelmään (3.0) sisältyvällä indikaattorilla: fossiilisten polttoaineraaka-aineiden käyttö (MJ) ja mineraali- ja metalliraaka-aineiden käyttö (mg Sb-ekv.) van Oers ym. (2002) tietoihin perustuen. Indikaattorit kuvaavat abioottisten resurssien ehtymistä käytön seurauksena. Laskenta perustuu kunkin raaka-aineen käyttö-saatavuussuhteeseen.

Taulukko 9. Kumulatiivisen energiankäytön laskennassa huomioidut energianlähteet.

	Alaryhmä	Energianlähteet
Uusiutumattomat lähteet	Fossiiliset lähteet	Kivihiili, ligniitti, raakaöljy, maakaasu, hiilikaivosten poistokaasu, turve
	Ydinvoima	Uraani
Uusiutuvat lähteet	Biomassa	Puu, maatalousbiomassa (esim. olki)
	Muu uusiutuva	Tuulivoima, aurinkovoima, maalämpö, vesivoima

2.2.5. Maankäyttö

Maankäytössä laskettiin suoran maankäytön eli viljelypinta-alan lisäksi myös koko elinkaareen materiaali- ja energiavirtoihin liittyvä maankäyttö. Maankäytön yksikkönä käytettiin vuosi neliömetri (m²a). Elinkaarinen kokonismaankäyttö arvioitiin Ecoinvent-tietokannan kertoimilla Hischier ym. (2010)-työhön perustuen (Selected LCI results V1.05). Menetelmä huomioi kaiken maankäytön kumulatiivisesti koko tuotantoketjun ajalta vuosikohtaisesti. Laskenta tehtiin SimaPro-ohjelmalla.

2.2.6. Ravinnejalanjälki

Ravinnejalanjälki mittaa erilaisten tuotanto- ja kulutusketjujen ravinteiden käytön tehokkuutta (Ypyä ym. 2015). Sillä tarkastellaan, kuinka paljon ketju ottaa käyttöön ravinnetta, miten paljon ravinteesta neitseellistä verrattuna kierrätettyyn, ja kuinka paljon käyttöönotetusta ravinnemäärästä saadaan hyötykäyttöön joko tuotteeseen tai tuotteeseen ja sivutuotteisiin yhteensä. Samalla tunnistetaan myös ketjun ravinnevuotokohdat: hukatut ravinteet voivat olla ravinnehaihtumia (esim. lannoituksen levityksestä johtuvat haihtuvat typen yhdisteet), huuhtoutumia tai ravinteita, jotka päätyvät jätteenä muuhun kuin ravinnehyötykäyttöön. Näiden luokitusten avulla lasketaan ravinnejalanjälki tarkasteltua toiminnallista yksikköä kohden: *"Tuotetta varten otetaan käyttöön x kg ravinnetta (tyyppiä tai fosforia), josta hyödynnettiin tuotteessa y % ja kaikki hyötykäyttö huomioon ottaen z %."*

Käyttöön otetuilla ravinteilla tarkoitetaan kaikkia elintarvikeketjun hyödyntämiä ravinteita koko sen elinkaaren aikana. Käyttöön otetuista ravinteista lasketaan erikseen myös neitseellisten ja kierrätysravinteiden osuudet. Neitseellisillä ravinteilla tarkoitetaan ravinteita, jotka ensimmäisen kerran muunnetaan reaktiiviseen muotoon luonnosta otettuina. Neitseellisiä ravinteita ovat väkilannoitteiden ja muiden materiaalipanosten sisältämät ravinteet, panosten valmistuksessa menetetyt ravinteet sekä energiapanosten ja työkonneissa ja kuljetuksissa käytettyjen polttoaineiden sisältämät ravinteet.

Kierrätysravinteilla tarkoitetaan ravinteita, jotka on jo aiemmin otettu ihmisen toimesta käyttöön jotakin aikaisempaa tarkoitusta varten, ja joita käytetään aikaisemmista hyödyntämisketjuista käyttöön otettuina kierrätettynä ravinteena. Kierrätysravinteita ovat mm. kylvösiementen ja taimien ja eläinten lannan sisältämät ravinteet. Ravinnejalanjälkimenetelmän tarkempi kuvaus löytyy julkaisusta Ypyä ym. (2015).

Ravinnejalanjäljen arvioinnissa inventoitiin tuotantopanosten, viljelyn ja satotuotteen ravinteet. Lisäsmateriaalin (taimien ja kylvösiementen) sisältämät ravinnemäärät laskettiin taulukon 10. koottujen tietojen avulla. Lannoitteiden tuotannossa tapahtuvat ja työkonneiden käytöstä aiheutuvat ravinnehäviöt ja arvioitiin Ypyä ym. (2015) kuvauksen mukaan.

Viljelypanosten tuotannon aikana tapahtuva ravinteiden käyttö ja ravinnehäviöt arvioitiin kulkekin prosessille käytettyjen Ecoinvent-tietokantatietojen perusteella (Wernet ym. 2016). Mikäli käyttöön otettujen ravinteiden ja ravinteiden häviöiden määrä poikkesivat toisistaan, niiden määrä arvioitiin suuremman arvion mukaiseksi. Ravinnejalanjälkitulos ilmoitettiin ravinteiden (typen ja fosforin määrä) käyttö (kg)- ja hyödyntämisprosentteina (%). Ravinneresurssin käytön kannalta on sitä parempi, mitä vähemmän ravinteita tuotannossa on otettu käyttöön, mitä enemmän käyttöön otetuista ravinteista on kierrätysravinteita ja mitä enemmän niitä hyötykäytetään tuotannon jälkeen.

Taulukko 10. Taimien ja kylvösiementen sisältämien ravinnemäärien laskentaan käytetyt tiedot.

		Lähde
Mansikantaimi		
typpipitoisuus (kuivapainosta)	0,9 %	Keutgen & Pawelzik (2009)
fosforipitoisuus (kuivapainosta)	0,3 %	Keutgen & Pawelzik (2009)
kuiva-ainepitoisuus	34 %	Arvobio-hanke, mansikan rönsyt
taimien paino, kg/kpl, A+	31	Leena Vuorinen, Luke 26.5.2021
taimien paino, kg/kpl, A++	53	Leena Vuorinen, Luke 26.5.2021
taimien paino, kg/kpl, tray	16	oletus: puolet A+-taimen painosta
Vadelmantaimi		
typpipitoisuus (tuorepainosta)	0,5 %	Wood ym. (1962)
fosforipitoisuus (tuorepainosta)	0,1 %	Wood ym. (1962)
taimien paino, kg/kpl	31	oletus: sama kuin mansikan A+-taimella
Ruukkusalaatti ja -yrtti		
typpipitoisuus (kuivapainosta)	3,4 %	Mavi Ravinnetaseohje (2008), oletus: sama kuin timotein siemen
fosforipitoisuus (kuivapainosta)	0,3 %	Mavi Ravinnetaseohje (2008), oletus: sama kuin timotein siemen
kuiva-ainepitoisuus	86 %	Mavi Ravinnetaseohje (2008), oletus: sama kuin timotein siemen
siementen paino, g/kpl, salaatti	0,0011	https://greenharvest.com.au/SeedOrganic/SeedsPerGram.html
siementen paino, g/kpl, timjami	0,0002	https://greenharvest.com.au/SeedOrganic/SeedsPerGram.html

2.2.7. Vesiniukkuusvaikutus

Tuotteiden vesiniukkuusvaikutuksen arviointi tehtiin elinkaariarvioinnin mukaiseen vesijalanjäljen arviointiin (ISO 2014) perustuen. Vesiniukkuudella viitataan alueelliseen makean veden määrälliseen runsauteen tai sen puutteeseen. Vesiniukkuus alueella johtuu ihmisen vedenkulutuksesta suhteessa vesiresurssien määrään ja tarpeeseen.

Vesiniukkuuden arvioinnissa inventoidaan aluksi vedenkulutus tuotantoketjussa. Vedenkulutuksella tarkoitetaan veden käyttöä, jossa vettä otetaan käyttöön ihmisen toimesta, mutta ei palauteta samalle valuma-alueelle. Veden kulutusta voi olla veden sitoutuminen tuotteeseen, haihtuminen ja transpiraatio, tai veden johtaminen eri valuma-alueelle tai mereen (ISO 2014). Esimerkiksi puutarhatuotannossa kasteluveden käyttö on kokonaisuudessaan määritelmän mukaista veden kulutusta, mutta kasvien käyttämää maahan satanutta vettä avomaantuotannossa ei lasketa mukaan, koska tämä veden käyttö ei perustu ihmisen veden käyttöön.

Tässä työssä vesiniukkuusvaikutus arvioitiin AWARE-menetelmällä (Boulay ym. 2018). Vedenkulutus tuotantoketjussa suhteutetaan vedenkäyttöpaikan alueelliseen vesiniukkuuteen AWARE-menetelmän mukaisesti. Käytännössä tuotteen vesiniukkuusvaikutukseen vaikuttaa voimakkaasti tuotantopaikka, koska tietyn suuruinen vedenkulutus vesiniukalla alueella nostaa tuotteen vesiniukkuusvaikutuksen korkeammaksi kuin alueella, jossa vedenkulutus on vähäisempää vesiresursseihin nähden. Vesiniukkuusvaikutuksen yksikkönä käytettiin m³-ekv.

2.2.8. Hävikin määrä

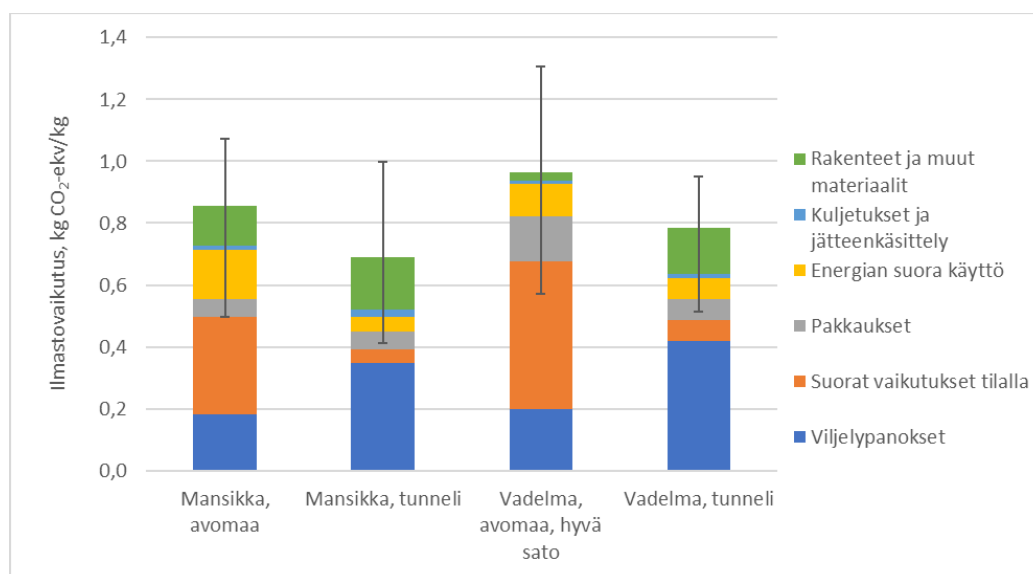
Hävikillä tarkoitetaan tässä hankkeessa pellolle, tunneleihin, kerrosviljelmälle ja kasvihuoneeseen korjaamatta jäävää satoa. Satoa voi jäädä korjaamatta mm. sääolosuhteista tai kasvi-taudeista johtuen. Hävikkiarviot perustuvat viljelijöiden omiin arvioihin ja tulokset ilmoitettiin % koko sadosta. Marjatilojen hävikkitiedot kerättiin vuosilta 2020 ja 2021. Kasvihuoneviljelyä koskeva aineisto (Silvenius ym. 2019) ei sisältänyt hävikkitietoa, joten kasvihuoneessa muodostuva hävikki perustuu Koivisto ym. (2018) opinnäytetyöhön.

3. Tulokset

3.1. Marjantuotannon ympäristövaikutukset

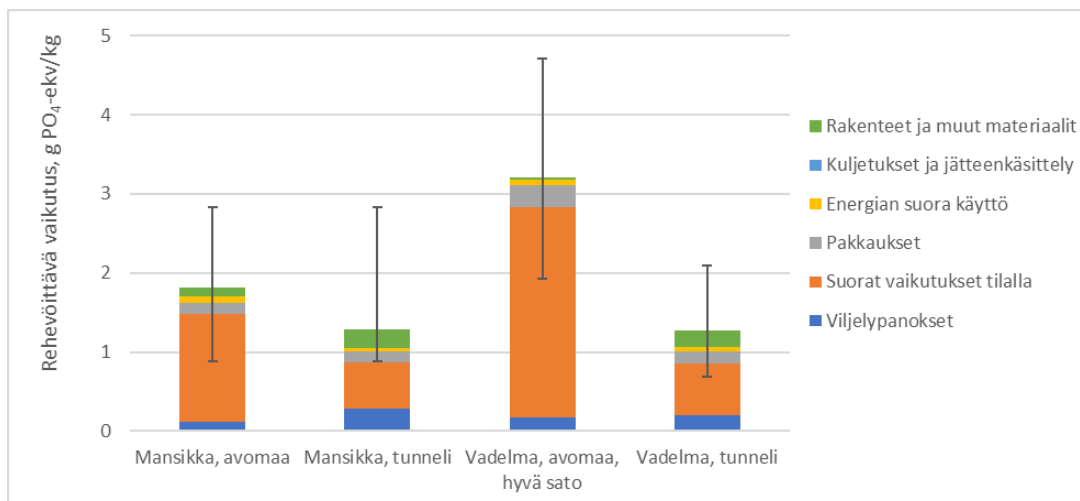
3.1.1. Ilmastonmuutos- ja rehevöittävät vaikutukset

Tuotantotapa vaikutti vain vähän ilmastonmuutosvaikutukseen. Tunneliviljelyssä mansikan ilmastonmuutosvaikutus oli 0,7 (vaihteluväli 0,4–1,0) ja vadelman 0,8 (vaihteluväli 0,5–1,0) kg CO₂-ekv./kg (Kuva 3). Avomaaviljelyssä ilmastonmuutosvaikutus oli tunnelituotantoa hieman suurempi: mansikalla 0,9 (vaihteluväli 0,5–1,1) ja vadelmalla 1,0 (vaihteluväli 0,6–1,3) kg CO₂-ekv./kg, kun vadelman sato ylitti 1,5 t/ha. Toisaalta avomaavadelman heikko sato (<1 t/ha) kolminkertaisti ilmastonmuutosvaikutuksen. Sekä tilojen että viljelyvuosien välillä oli vaihtelua. Avomaan tuotannossa suurin osa vaikutuksista aiheutui suorista tilalla tapahtuvista vaikutuksista, jotka johtuvat mm. kalkituksen ja lannoitusaineiden sekä työkoneiden käytöstä. Tunneliviljelyssä suurin osa ilmastonmuutosvaikutuksesta aiheutuu viljelypanosten tuotannosta. Viljelypanoksiin kuuluvat kalkin ja keinolannoitteiden tuotanto, taimikasvatus ja tunnelituotannon kasvualustan tuotantoketju.



Kuva 3. Marjanviljelyn ilmastonmuutosvaikutus. Avomaantulokset koskevat viljelyä kivennäismaalla. Pystyjanat kuvaavat tilojen ja viljelyvuosien välistä vaihtelua. Avomaan vadelman osalta huomioitu viljelyvuodet, jolloin sato ylitti 1,5 t/ha.

Mansikalla tuotantotapojen välillä ei ollut suurta eroa rehevöittävässä vaikutuksessa, joka oli avomaalla 1,8 (vaihteluväli 0,9–2,8) ja tunnelituotannossa 1,3 (vaihteluväli 0,9–2,8) g PO₄-ekv./kg (Kuva 4). Avomaan vadelmalla vaikutus oli kuitenkin huomattavasti tunnelituotantoa suurempi, 3,2 vaihteluväli (1,9–4,7) g PO₄-ekv./kg hyvinä satovuosina. Sadon jäädessä alle tonniin hehtaarilta rehevöittävä vaikutus oli kuitenkin huomattavan suuri 11 g PO₄-ekv./kg. Tilojen ja viljelyvuosien välinen vaihtelu oli suurta: mansikalla 0,9–2,8 ja vadelmalla 0,7–2,1 g PO₄-ekv./kg. Marjojen ja rehevöittävät päästöt aiheutuivat molemmissa tuotantomuodoissa pääosin tilalla tapahtuvista suorista ravinnehuhtoumista, jotka johtuvat pääosin lannoituksen käytöstä aiheutuvista huuhtoumista ja rehevöittävästä päästöistä.

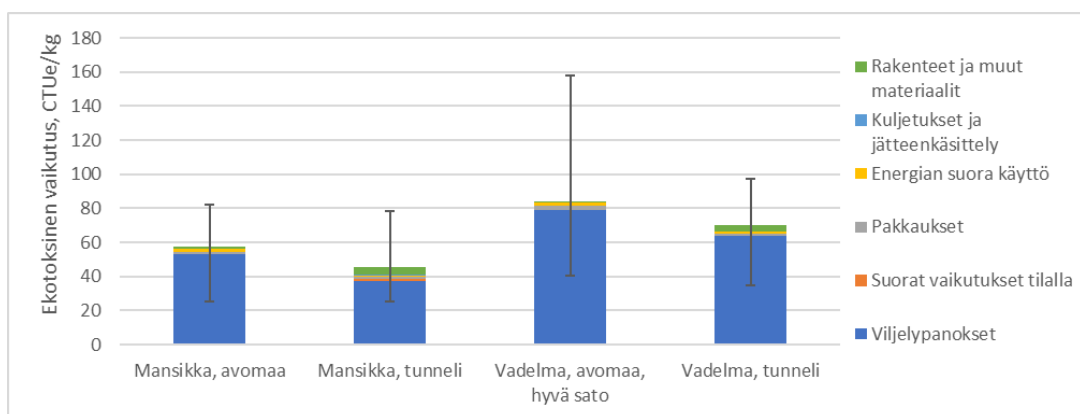


Kuva 4. Marjanviljelyn rehevöittävä vaikutus. Pystyjanat kuvaavat tilojen ja viljelyvuosien välistä vaihtelua. Avomaan vadelman osalta huomioitu viljelyvuodet, jolloin sato ylitti 1,5 t/ha.

3.1.2. Ekotoksinen vaikutus

Muun ketjun kuin kasvinsuojeluaineiden käytön aiheuttama ekotoksinen vaikutus

Marjojen tuotantoketjun elinkaariset ekotoksiset vaikutukset olivat yhteensä mansikka avomaalla 57,8 (vaihteluväli 25,1–82,1) CTUe/kg ja tunnelissa 45,3 (vaihteluväli 25,1–78,4) CTUe/kg. Vadelmalla vaikutukset olivat mansikkaa suuremmat: avomaalla 83,7 (vaihteluväli 40,4–157,7) CTUe/kg ja tunnelissa 70,2 (vaihteluväli 34,5–97,3) CTUe/kg. Tuotantoketjun elinkaariset vaikutukset aiheutuivat lähes kokonaan viljelypanosten tuotannosta, pääosin kaliumlannoitteen valmistuksesta (Kuva 5). Nämä ekotoksiset vaikutukset tapahtuvat tilan ulkopuolella, ja päästöt kohdistuvat maihin, joissa raaka-aineen tuotanto ja prosessointi tapahtuu.



Kuva 5. Ekotoksinen vaikutus (muun ketjun kuin kasvinsuojeluaineiden käytön aiheuttama ekotoksinen vaikutus) avomaa- ja tunnelituotannon marjanviljelyssä. Pystyjanat kuvaavat tilojen ja viljelyvuosien välistä vaihtelua. Avomaan vadelman osalta huomioitu viljelyvuodet, jolloin sato ylitti 1,5 t/ha.

Kasvinsuojeluaineiden käytön aiheuttama ekotoksinen vaikutus

Kasvinsuojeluaineruiskutuksesta aiheutuvia ekotoksisten vaikutusten tuloksia ei voi verrata tuotantoketjun muihin vaiheisiin, esim. kasvinsuojeluaineiden valmistukseen, menetelmällisten

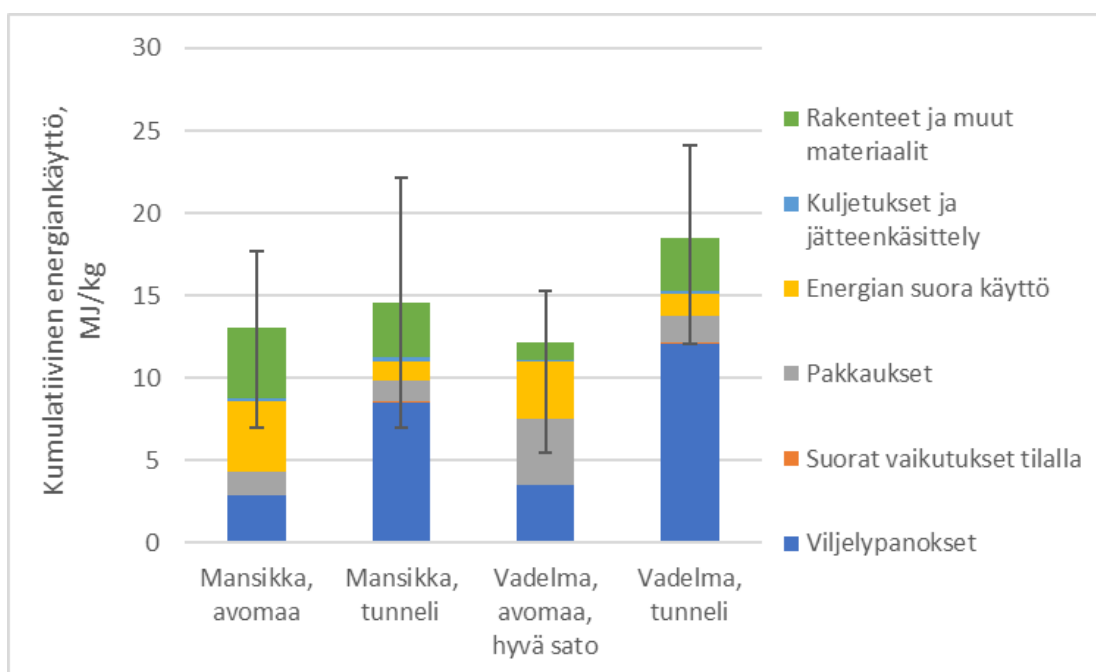
erojen vuoksi. Toisin kuin tuotantopanosten valmistus, kasvinsuojeluaineiden käytön ekotoksiset vaikutukset kohdentuvat suoraan tilan tai sen lähialueen ympäristöön.

Molemmilla marjoilla käytettiin määrällisesti (kg/ha) eniten kasvitautiaineita, jotka myös aiheuttivat suurimman ekotoksisen vaikutuksen. Mansikalla kasvitautiaineiden osuus oli 57 % ja vadelmalla 71 %. Tuhoeläinaineet aiheuttivat mansikalla 13 % kokonaispäästöstä ja vadelmalla 29 %. Mansikan rikkakasviaineet aiheuttivat kolmanneksen päästöstä. Vadelmalla ei käytetty rikkakasviaineita.

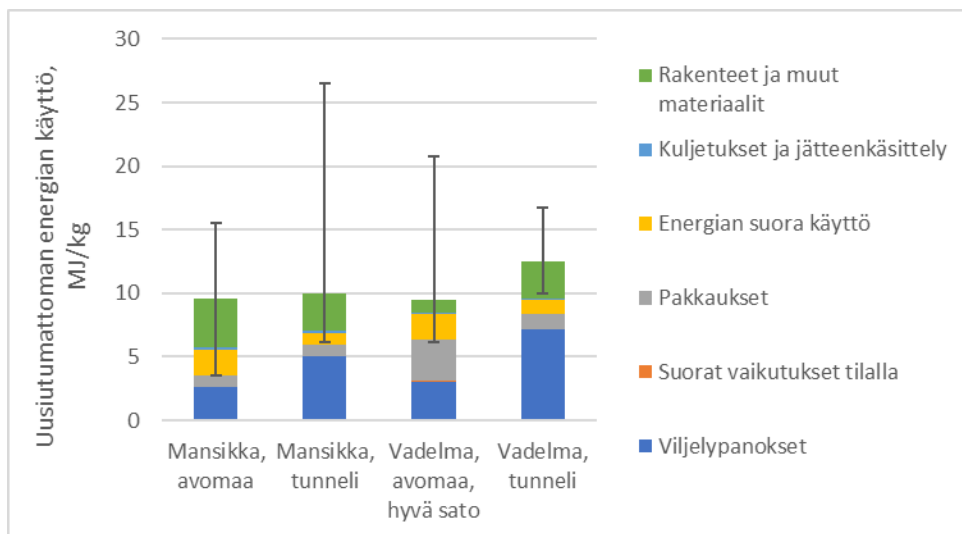
Kasvinsuojeluaineruiskutuksista aiheutuvat ekotoksiset vaikutukset suhteutettuna satoon olivat avomaan mansikalla 0,4 CTU_e/kg. Tilojen ja vuosien väliset erot olivat suhteellisen suuria, 0,0–1,8 CTU_e/kg. Avomaan vadelmalla ekotoksinen vaikutus oli mansikkaan verrattuna suhteellisen pieni, 0,01 CTU_e/kg hyvinä satovuosina, mutta heikompina satovuosina n. 2,5 CTU_e/kg. Menetelmää ei voi soveltaa katettuihin tuotantomuotoihin ml. tunneliviljelyyn.

3.1.3. Resurssienkäyttö: Energian ja uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö

Kumulatiivinen kokonais- (avomaalla 12–13 MJ/kg ja tunnelissa 15–19 MJ/kg) ja uusiutumattoman energian käyttö (avomaalla 9–10 MJ/kg ja tunnelissa 10–12 MJ/kg) eivät selkeästi eronneet tutkittujen marjakasvien ja tuotantomuotojen välillä (Kuvat 6–7), koska tilojen ja viljelyvuosien välinen vaihtelu oli varsin huomattavaa. Tunneliviljelyssä viljelypanokset, energian suora käyttö sekä rakenteiden ja muiden materiaalien (sis. katemuovit, harsot, ruukut, kasteluletkut ym.) tuotanto aiheuttivat suurimman osan energiankäytöstä. Viljelypanoksiin kuuluvat kalkin ja keinolannoitteiden tuotanto sekä taimikasvatus ja tunnelituotannon kasvualustan tuotantoketju.

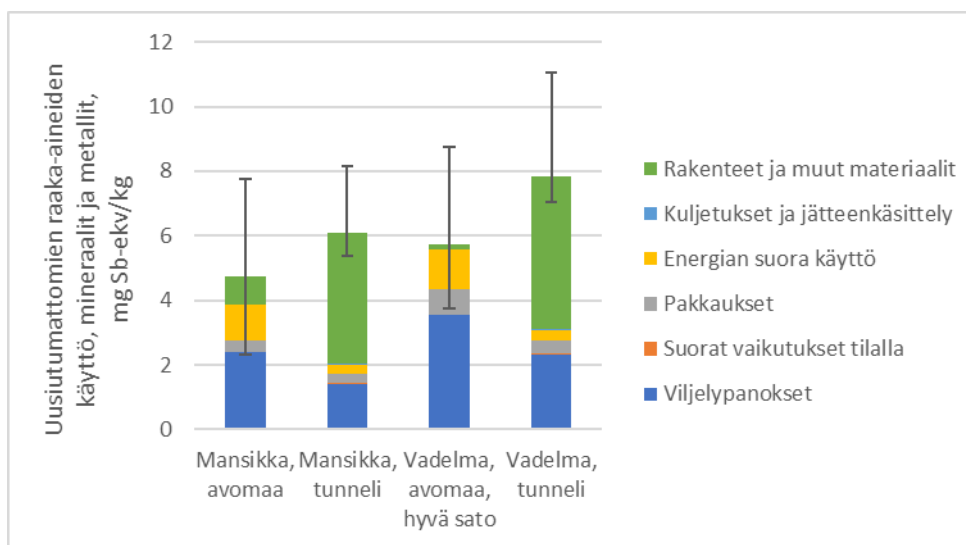


Kuva 6. Kumulatiivinen energiankäyttö marjanviljelyssä. Pystyjanat kuvaavat tilojen ja viljelyvuosien välistä vaihtelua. Avomaan vadelman osalta huomioitu viljelyvuodet, jolloin sato ylitti 1,5 t/ha. Heikoimpina satovuosina avomaan vadelman tulos oli jopa 32 MJ/kg.



Kuva 7. Uusiutumattoman energian käyttö marjanviljelyssä. Pystyjanat kuvaavat tilojen ja viljelyvuosien välistä vaihtelua. Avomaan vadelman osalta huomioitu viljelyvuodet, jolloin sato ylitti 1,5 t/ha. Heikoimpina satovuosina avomaan vadelman tulos noin 20 MJ/kg.

Mineraalien ja metallien käytön osalta tuloskeskiarvot olivat tunneliviljelyssä (6,1–7,8 mg Sb-ekv./kg) hieman suuremmat kuin avomaalla (4,8–5,7 mg Sb-ekv./kg), mutta huomioitaessa tilojen ja vuosien välinen suuri vaihtelu, eroa ei käytännössä ollut (Kuva 8). Suurin osa mineraalien ja metallien käytöstä aiheutui avomaan marjoilla viljelypanosten valmistuksesta ja tunnelimarjoilla rakenteiden ja muiden materiaalien valmistuksesta.

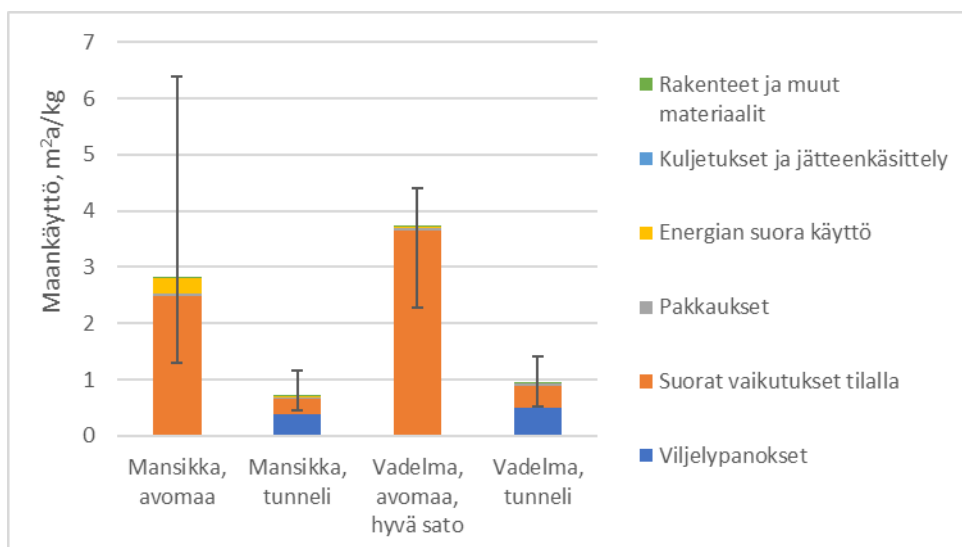


Kuva 8. Uusiutumattoman raaka-aineiden käyttö marjanviljelyssä, mineraalit ja metallit. Heikompi satovuosina avomaan vadelman tulos n. 14 mg Sb-ekv./kg. Pystyjanat kuvaavat tilojen ja viljelyvuosien välistä vaihtelua. Avomaan vadelman osalta huomioitu viljelyvuodet, jolloin sato ylitti 1,5 t/ha.

3.1.4. Maankäyttö

Tunneliviljelyn vaatima maapinta-ala (mansikalla 0,7 ja vadelmalla 1,0 m²a/kg) oli huomattavasti avomaata pienempi (mansikka: 2,8 ja vadelma: 3,7 m²a/kg) (Kuva 9). Avomaan viljelyssä maankäyttö myös vaihteli tilojen ja vuosien välillä enemmän kuin tunneliviljelyssä.

Avomaanviljelyssä ylivoimaisesti suurin osa maankäytöstä aiheutui viljelyn vaatimasta suorasta maankäytöstä tilalla (suorat vaikutukset tilalla), mutta tunneliviljelyssä viljelypanosten tuotannolla oli hieman suurempi vaikutus kuin suoralla maankäytöllä. Viljelypanoksiin kuuluvat kalkin ja keinolannoitteiden tuotanto sekä taimikasvatus ja tunnelituotannon kasvualustan tuotantoketju.



Kuva 9. Maapinta-alan käyttö marjanviljelyssä. Pystyjanat kuvaavat tilojen ja viljelyvuosien välistä vaihtelua. Avomaan vadelman osalta huomioitu viljelyvuodet, jolloin sato ylitti 1,5 t/ha. Heikoimpina satovuosina avomaan vadelman tulos n. 18 m²a/kg.

3.1.5. Ravinnejalanjälki

Ravinnejalanjälki mittaa erilaisten tuotanto- ja kulutusketjujen ravinteiden käytön tehokkuutta (Ypyä ym. 2015). Tehokkaassa ravinneresurssin käytössä tuotanto sitoo vähän ravinteita, käytönotetut ravinteet ovat kierrätysravinteita ja ravinteet pystytään hyötykäyttämään tuotannon jälkeen. Hyötykäytetyillä ravinteilla tarkoitetaan hyötykäyttöastetta suhteutettuna vain päätuotteiden sisältämiin ravinteisiin ja hyötykäyttöastetta huomioiden myös muiden hyötykäyttöön päätyvien jakeiden sisältämät ravinteet. Nämä molemmat huomioitiin tässä työssä.

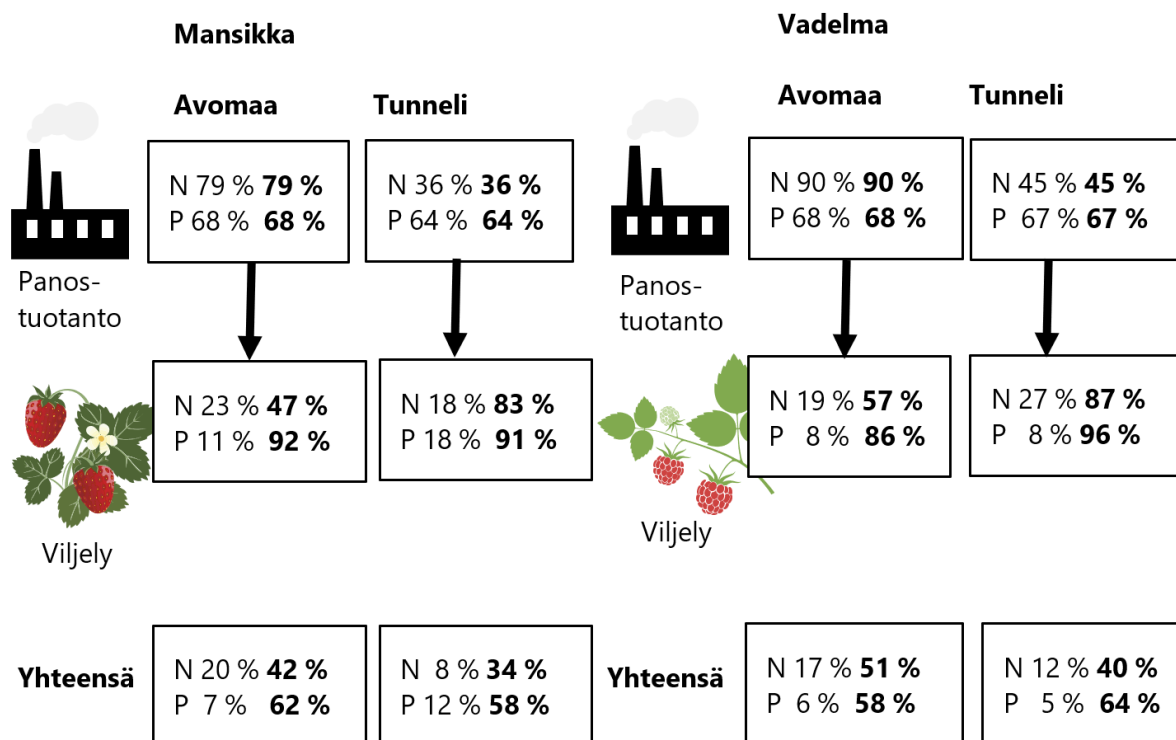
Marjanviljelyssä otettiin käyttöön 6–14 kg typpeä, kun tuotettiin 1 000 kg marjoja. Tästä määrästä 98–100 % oli neitseellisiä ravinteita. Suurin osa neitseellisestä typestä otettiin käyttöön panostuotantovaiheessa ilman typpenä typpilannoitetta valmistettaessa. Suurin osa kierrätetystä typestä tuli ketjuun kasvintuotantovaiheessa taimien mukana. Kun huomioitiin vain ketjun päätuote (marjat), saatiin ketjun hyötykäyttöasteeksi typen osalta 8–20 % (kun marjoihin sitoutunut typpimäärä, 1–2 kg/1000 kg jaettiin ketjun käyttöön ottamalla kokonaistypmäärällä, 6–14 kg/1000 kg). Kun otettiin huomioon myös ravinteiden muut hyötykäyttöön päätyvät jakeet (ravinteet peltomaahan tai kompostiin kasvialustan ja kasvintähteiden mukana, osittain seuraavien kasvien käytettävissä), saatiin typen kokonaiskäyttöasteeksi 34–51 % (Taulukko 11).

Fosforia otettiin käyttöön 4–7 kg, kun tuotettiin 1 000 kg marjoja. Tästä määrästä 99–100 % oli neitseellisiä ravinteita. Samoin kuin typen kohdalla, suurin osa neitseellisestä fosforista tuli ketjuun lannoitteen mukana. Suurin osa kierrätetystä fosforista tuli ketjuun kasvintuotantovaiheessa taimien mukana. Kun huomioitiin vain ketjun päätuote (marjat), saatiin ketjun

hyötykäyttöasteeksi fosforin osalta 5–12 % (kun marjoihin sitoutunut fosforimäärä, 0,2–0,3 kg/1000 kg jaettiin ketjun käyttöön ottamalla kokonaisfosforimäärällä 4–7 kg/1000 kg). Kun otettiin huomioon myös ravinteiden muut hyötykäyttöön päätyvät jakeet (ravinteet pelto- maahan tai kompostiin kasvualustan ja kasvintähteiden mukana, osittain seuraavien kasvien käytettävissä), saatiin fosforin kokonaiskäyttöasteeksi 58–64 % (kun laskettiin yhteen marjoi- hin sitoutunut fosforimäärä, 0,2–0,3 kg/1000 kg ja muuhun hyötykäyttöön menevä fosfori- määrä, 1–4 kg/1000 kg, ja jaettiin summa ketjun käyttöön ottamalla kokonaisfosforimäärällä 4–7 kg) (Kuva 10, Taulukko 11).

Taulukko 11. Käyttöön otettujen ravinteiden määrä ja kierrätysravinteiden osuus marjanvilje- lyssä.

		Mansikka		Vadelma	
		Avomaa	Tunneli	Avomaa	Tunneli
Käyttöön otetut ravinteet	kg N /1000 kg lopputuotetta	6	11	11	14
	kg P /1000 kg lopputuotetta	4	2	7	5
Kierrätysravinteiden osuus	N %	2,0 %	0,9 %	0,2 %	0,5 %
	P %	0,8 %	1,1 %	0,1 %	0,2 %

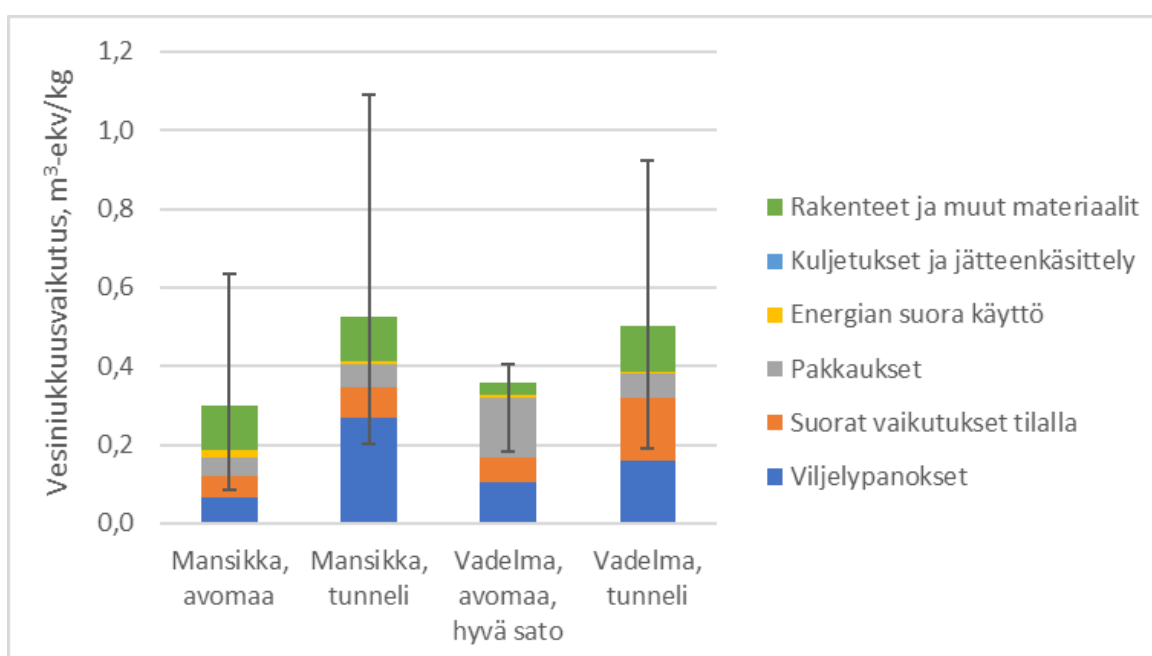


Kuva 10. Ravinteiden hyötykäyttöasteet marjanviljelyssä. Vaaleammalla fontilla hyötykäyttö- aste suhteutettuna vain päätuotteeseen, tummemmalla fontilla huomioitu myös muut hyöty- käyttöön päätyvät jakeet. Panostuotannossa ei muodostu sivutuotteita, joten sen takia hyöty- käyttöaste on sama molemmissa tilanteissa. Ravinneresurssin käytön kannalta on sitä parempi, mitä vähemmän ravinteita tuotannossa on otettu käyttöön, mitä enemmän käyttöön otetuista ravinteista on kierrätysravinteita ja mitä enemmän niitä hyötykäytetään tuotannon jälkeen.

3.1.6. Vesiniukkuusvaikutus

Vesiniukkuusvaikutus oli avomaamarjoilla pienempi kuin tunnelissa. Se oli mansikalla avomaalla 0,3 ja tunnelissa 0,5 m³-ekv./kg sekä vadelmalla avomaalla 0,4 ja tunnelissa 0,5 m³-ekv./kg (Kuva 11). Tilojen ja viljelyvuosien välinen vaihtelu oli suhteellisen suurta, avomaalla: 0,1–0,6 m³-ekv./kg ja tunnelissa: 0,2–1,1 m³-ekv./kg.

Tilan kasteluveden käyttö kuului suoriin vaikutuksiin tilalla-luokkaan. Kasteluveden vaikutus koko ketjun vesiniukkuusvaikutukseen oli vähäistä: avomaamansikalla 18 % ja -vadelmalla 17 %, kun taas tunnelimansikalla 15 % ja -vadelmalla 32 %. Epäsuorat vaikutukset eli muu kuin tilalla suoraan tapahtuva vedenkäyttö oli merkittävin vesiniukkuuden aiheuttaja mansikanviljelyssä ja vadelmalla avomaalla. Marjakasvista ja tuotantotavasta riippuen suurin vesiniukkuuden aiheuttaja oli joko viljelypanosten tai rakenteiden ja muiden materiaalien tai pakkausten tuotanto. Muut kuin suorat vaikutukset tilalla tapahtuvat tilan ulkopuolella ja ovat riippuvaisia vesivaroista maissa, joissa raaka-aineen ja niiden prosessointi tapahtuu.



Kuva 11. Vesiniukkuusvaikutus marjanviljelyssä. Pystyjanat kuvaavat tilojen ja viljelyvuosien välistä vaihtelua. Avomaan vadelman osalta huomioitu viljelyvuodet, jolloin sato ylitti 1,5 t/ha. Heikoimpina satovuosina avomaan vadelman tulos n. 0,6 m³-ekv./kg.

3.1.7. Hävikin määrä

Viljelijät arvioivat itse hävikkinsä määrän, minkä he kokivat haastavana. Hävikkitietoja arvoitiin kahdelta kasvukaudelta 2020 ja 2021. Hävikin määrä oli vähäisempää tunnelituotannossa (keskiarvovaihtelu mansikalla: 0–8 %, vadelmalla: 1 %) kuin avomaan tuotannossa (keskiarvovaihtelu mansikalla: 15–19 %, vadelmalla: 3–10 %). Tilojen ja vuosien välillä on kuitenkin huomattavaa vaihtelua (Taulukko 12).

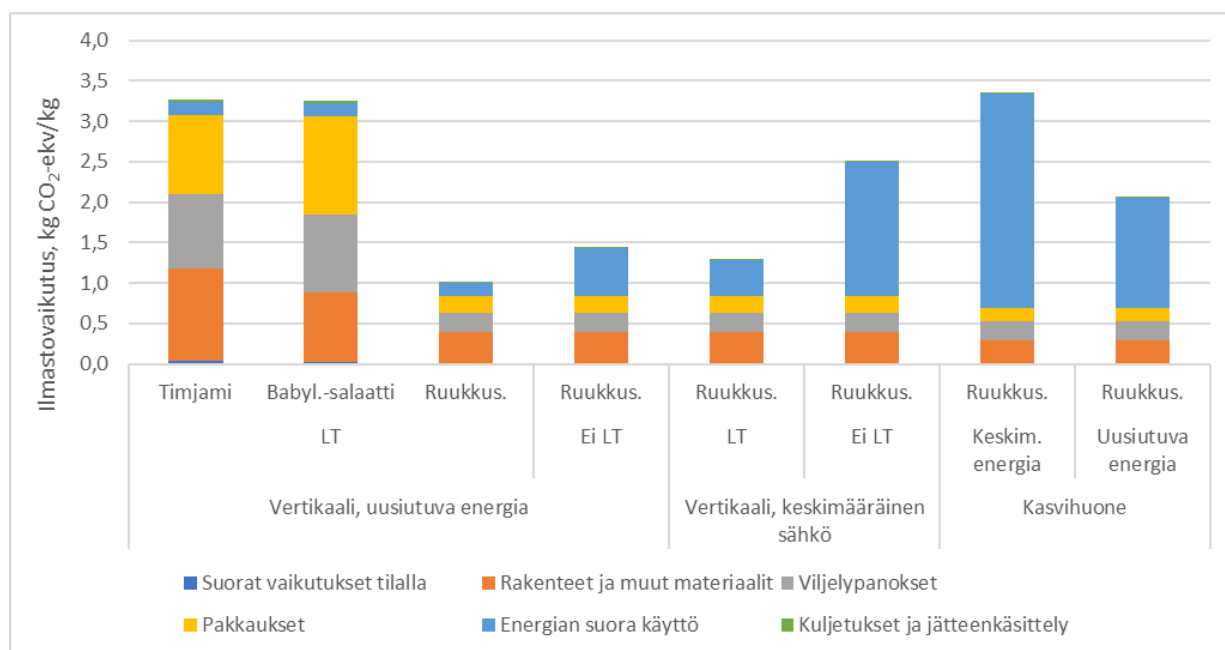
Taulukko 12. Hävikkiarviot kasveittain ja tuotantotavoittain. Hävikkitietoja arvoitiin vuosilta 2020–2021.

	Mansikka avomaa		Mansikka tunneli		Vadelma avomaa		Vadelma tunneli	
	ka	vaihteluväli	ka	vaihteluväli	ka	vaihteluväli	ka	vaihteluväli
2021	15 %	6–21 %	8 %	2–13 %	3 %	1–4 %	1 %	0–3 %
2020	19 %	5–33 %	0 %	0–1 %	10 %	1–20 %	1 %	0–1 %

3.2. Ruukkusalaatin ja -yrtin tuotannon ympäristövaikutukset

3.2.1. Ilmastonmuutos- ja rehevöittävät vaikutukset

Ilmastonmuutosvaikutus oli tarkastelluista kasveista ja skenaarioista pienin (1 kg CO₂-ekv./kg) vertikaaliviljelyllä ruukkusalaatilla, kun hukkalämpö otettiin talteen ja viljelyssä käytettiin uusiutuvaa energiaa (Kuva 12). Kun ruukkusalaatin vertikaaliviljelyssä käytettiin keskimääräistä sähköä ilman hukkalämmön talteenottoa, ilmastonmuutosvaikutus oli huomattavasti korkeampi 2,5 kg CO₂-ekv./kg. Kasvihuonesalaatilla ilmastonmuutosvaikutus oli 3,4 kg CO₂-ekv./kg, kun käytettiin Suomen keskimääräisen sähköntuotannon päästökertoimia. Se oli sitä alhaisempi 2,1 kg CO₂-ekv./kg, kun käytettiin uusiutuvaa energiaa. Vertikaaliviljelyillä timjamilla ja babyleaf-salaatilla ilmastonmuutosvaikutus oli suurin: molemmilla se oli n. 3,3 kg CO₂-ekv./kg.

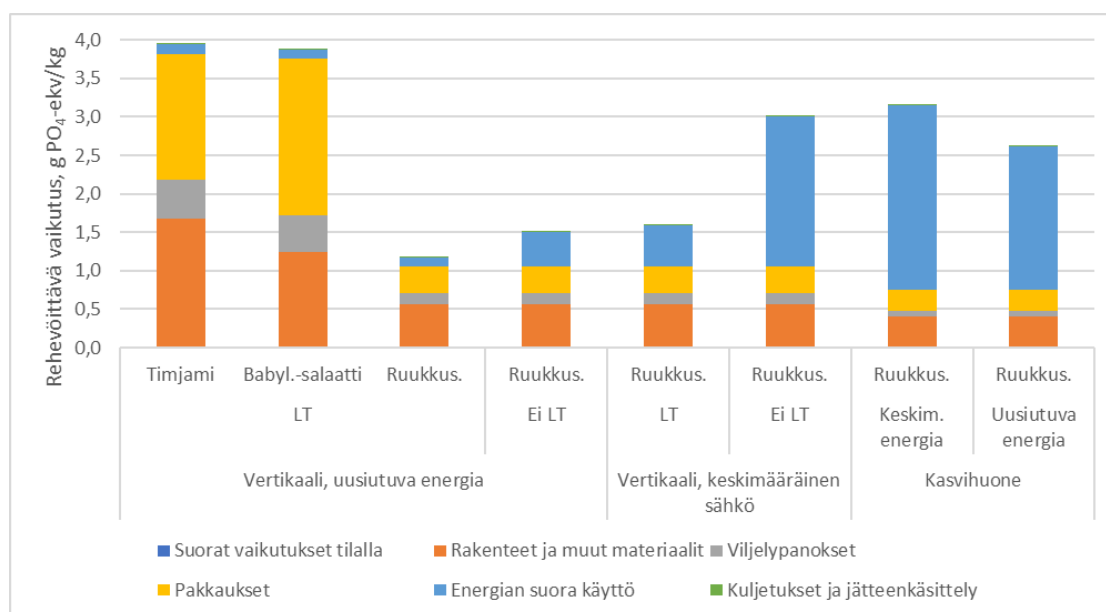


Kuva 12. Salaatin- ja yrtinviljelyn ilmastonmuutosvaikutus. Ruukkus. = ruukkusalaatti, LT = lämmön talteenotto, ei LT = ei lämmön talteenottoa. Kolme vasenta pylvästä (ruukkuyrtti ja salaatti lämmön talteenotolla) perustuvat tässä työssä mukana olleen viljelijän tietoihin (ei skenaario). Muut ovat skenaariotuloksia.

Muut rehevöittävä vaikutus oli pienin vertikaaliviljelyllä salaatilla (1,2 g PO₄-ekv./kg), kun lämpö otettiin talteen ja käytettiin uusiutuvaa energiaa. Keskimääräistä energiaa käytettäessä sekä vertikaali- että kasvihuonesalaatin rehevöittävä vaikutus oli 3 g PO₄-ekv./kg, ja

uusiutuvalla energialla tuotettu kasvihuonesalaatti 2,6 g PO₄-ekv./kg. Vertikaaliviljelyllä timjamilla ja babyleaf-salaatilla lähes 4 g PO₄-ekv./kg (Kuva 13).

Vertikaaliviljelyssä suurin osa ilmastonmuutos- ja rehevöittävästä vaikutuksesta aiheutui viljelypanosten, rakenteiden ja pakkausten valmistuksesta, mutta kasvihuoneviljelyssä energiantuotannosta. Vertikaaliviljelyssä energian osuus korostuu, jos käytetään fossiilista energiaa (skenaario: keskimääräisen energian käyttö). Panoksiin kuuluvat kalkin, keinolannoitteiden ja siementen tuotanto sekä kasvualustan tuotantoketju. Viljelyn suoriin vaikutuksiin kuuluvat kalkitusaineen ja lannoituksen käytön päästöt. Ilmastonmuutosvaikutuksessa ne ovat vertikaaliviljelyssä hyvin pienet, koska niiden käyttö suhteessa satomäärään on vähäistä. Kun taas rehevöittävässä vaikutuksessa viljelyn suoriin vaikutuksiin kuuluvat lannoituksen käytöstä aiheutuvat huuhtoumat ja rehevöittävät päästöt ja vertikaaliviljelyssä nämä päästöt ovat hyvin pienet suljetun kierron ansiosta. Pakkausten päästöjen osuus on yrttien viljelyssä suuri, koska pakkauksen paino suhteessa kyseisten tuotteiden painosta on suuri.



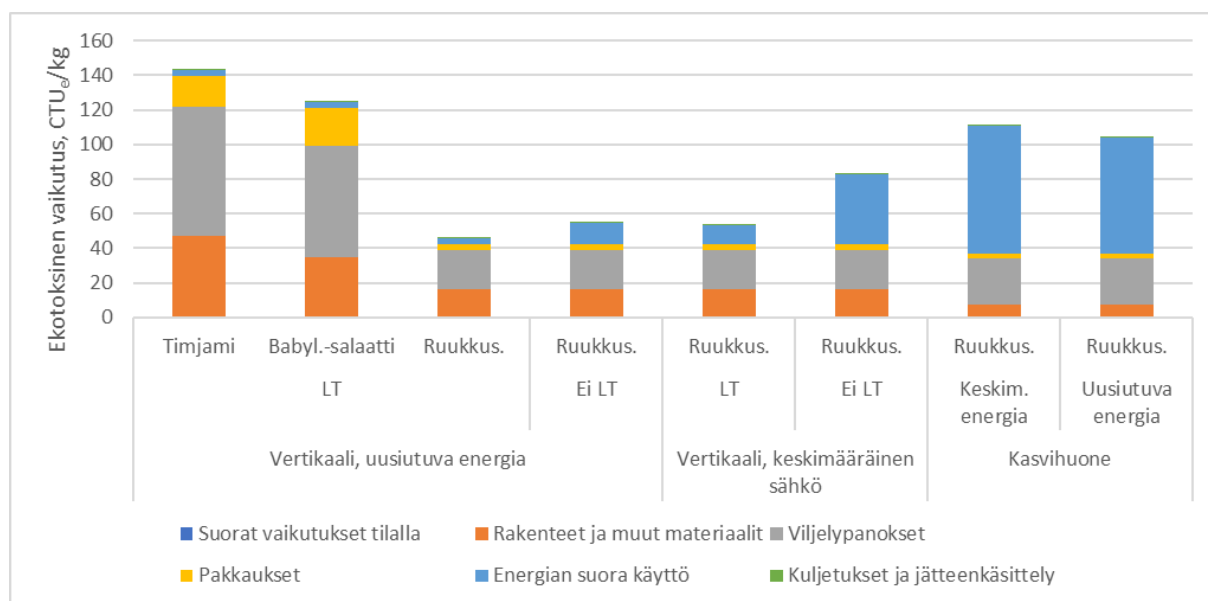
Kuva 13. Salaatin- ja yrtinviljelyn rehevöittävä vaikutus. Ruukkus. = ruukkusalaatti, LT = lämmön talteenotto, ei LT = ei lämmön talteenottoa. Kolme vasenta pylvästä (ruukkuyrtti ja salaattit lämmön talteenotolla) perustuvat tässä työssä mukana olleen viljelijän tietoihin (ei skenaario). Muut ovat skenaariotuloksia.

3.2.2. Ekotoksinen vaikutus

Vertikaali- ja kasvihuoneviljelyllä ei käytetty kemiallisia kasvinsuojeluaineita ja siten niiden aiheuttamia ekotoksisia vaikutuksia ei syntynyt.

Tuotantoketjun elinkaarin ekotoksinen vaikutus oli suurin vertikaaliviljelyllä timjamilla (143 CTUe/kg) ja babyleaf-salaatilla (124 CTUe/kg), ja pienintä vertikaaliviljelyllä salaatilla, kun hukkalämpö otettiin talteen ja viljelyssä käytettiin uusiutuvaa energiaa (46 CTUe/kg) (Kuva 14). Muissa vertikaaliviljelyskenaarioissa ekotoksinen vaikutus oli 54–83 CTUe/kg ja kasvihuonesalaatilla 104–111 CTUe/kg. Kasvihuoneviljelyssä suurin osa ekotoksisesta vaikutuksesta johtui energiantuotannosta. Vertikaaliviljelyllä timjamilla ja babyleaf-salaatilla sekä ruukkusalaatilla suurin osa päästöistä oli pääosin seurausta viljelypanosten (kaliumlannoite) tuotannosta, kun hukkalämpö otettiin talteen ja/tai viljelyssä käytettiin uusiutuvaa energiaa. Panoksiin kuuluvat

kalkin, keinolannoitteiden ja siementen tuotanto sekä kasvualustan tuotantoketju. Muut kuin suorat vaikutukset tilalla tapahtuvat tilan ulkopuolella ja päästöt kohdistuvat niihin maihin, joissa raaka-aineen tuotanto ja prosessointi tapahtuu.

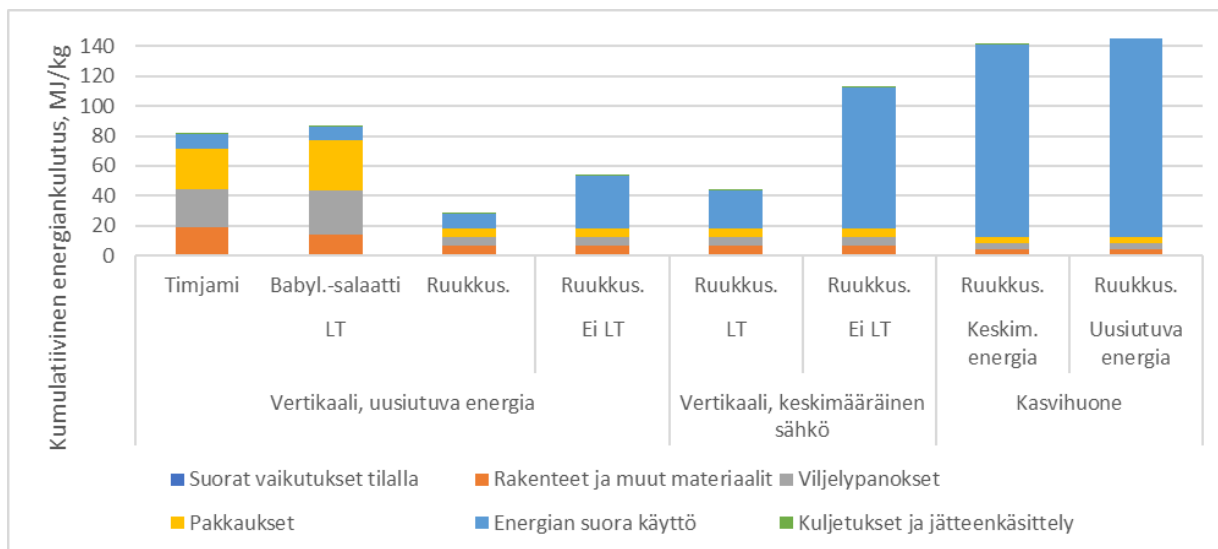


Kuva 14. Salaatin- ja yrtinviljelyn ekotoksinen vaikutus. Ruukkus. = ruukkusalaatti, LT = lämmön talteenotto, ei LT = ei lämmön talteenottoa. Kolme vasenta pylvästä (ruukkuyrtti ja salaatit lämmön talteenotolla) perustuvat tässä työssä mukana olleen viljelijän tietoihin (ei skenaario). Muut ovat skenaariotuloksia.

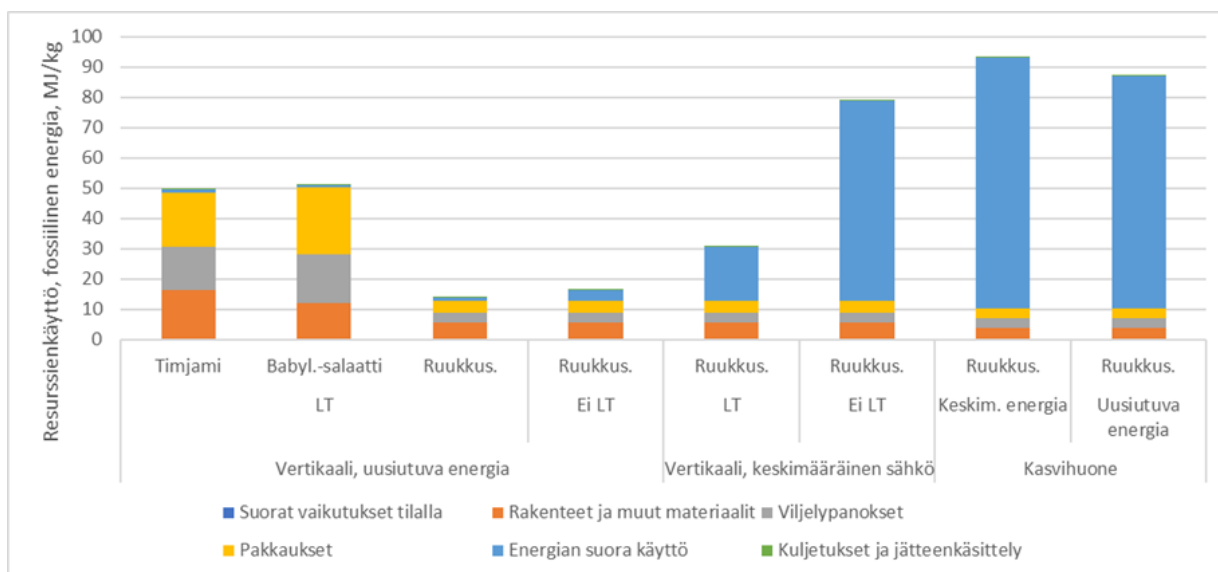
3.2.3. Resurssienkäyttö: Energian ja uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö

Kokonais- ja uusiutumattoman energian käyttö oli suurinta kasvihuonesalaatilla (141–146 MJ/kg) ja yrteillä 82–87 MJ/kg, ja pienintä vertikaaliviljelyllä salaatilla (28 MJ/kg), kun hukkalämpö otettiin talteen ja viljelyssä käytettiin uusiutuvaa energiaa (Kuvat 15 ja 16). Kasvihuoneviljelyssä suurin osa energiankäytöstä johtui energiantuotannosta, ja vertikaaliviljelyillä timjamilla ja babyleaf-salaatilla pääosin viljelypanosten ja pakkausten tuotannosta. Panoksiin kuuluvat kalkin, keinolannoitteiden ja siementen tuotanto sekä kasvualustan tuotantoketju. Pakkausten päästöjen osuus on suuri ruukkuyrteillä, koska pakkauksen osuus kyseisten tuotteiden painosta on suuri.

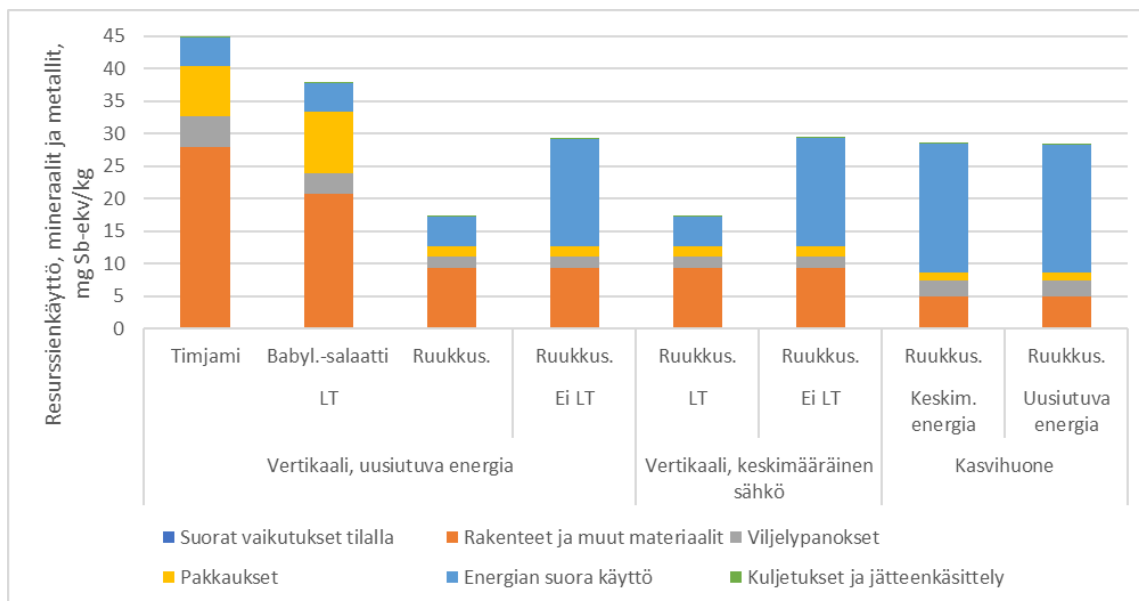
Mineraalien ja metallien käyttö oli suurinta vertikaaliviljelyillä timjamilla ja babyleaf-salaatilla (38–45 mg Sb-ekv./kg, Kuva 17). Suurin osa vaikutuksesta aiheutui vertikaaliviljelyssä rakenteiden tuotannosta, mutta kasvihuoneviljelyssä energiantuotannosta.



Kuva 15. Salaatin- ja yrtinviljelyn kumulatiivinen energiankäyttö. Ruukkus. = ruukkusalaatti, LT = lämmön talteenotto, ei LT = ei lämmön talteenottoa. Kolme vasenta pylvästä (ruukkuyrtti ja salaatti lämmön talteenotolla) perustuvat tässä työssä mukana olleen viljelijän tietoihin (ei skenaario). Muut ovat skenaariotuloksia.



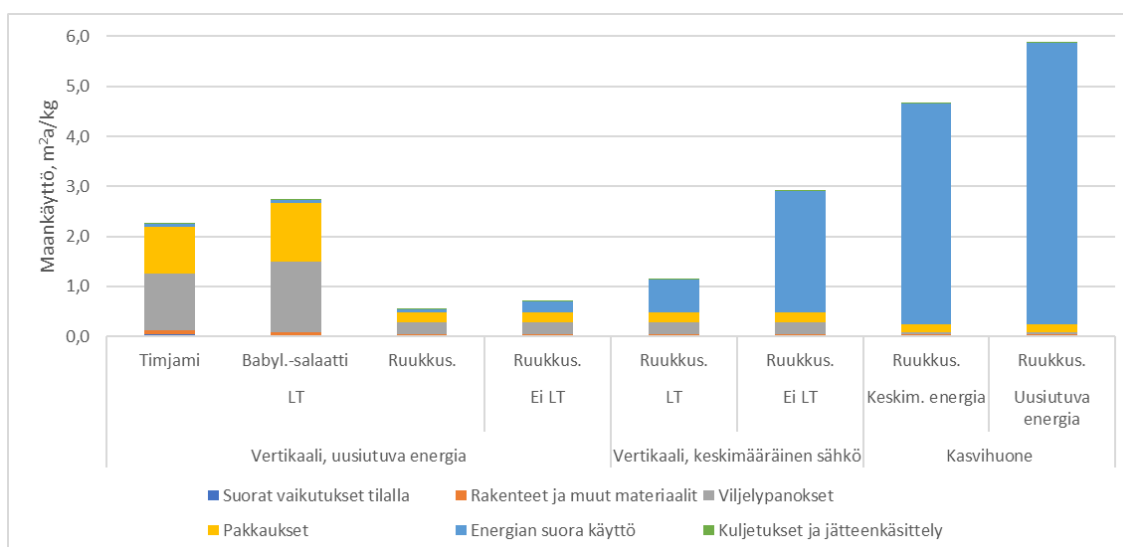
Kuva 16. Salaatin- ja yrtinviljelyn fossiilisen energian käyttö. Ruukkus. = ruukkusalaatti, LT = lämmön talteenotto, ei LT = ei lämmön talteenottoa. Kolme vasenta pylvästä (ruukkuyrtti ja salaatti lämmön talteenotolla) perustuvat tässä työssä mukana olleen viljelijän tietoihin (ei skenaario). Muut ovat skenaariotuloksia.



Kuva 17. Salaatin- ja yrtinviljelyn mineraalien ja metallien käyttö. Ruukkus. = ruukkusalaatti, LT = lämmön talteenotto, ei LT = ei lämmön talteenottoa. Kolme vasenta pylvästä (ruukkuyrtti ja salaattit lämmön talteenotolla) perustuvat tässä työssä mukana olleen viljelijän tietoihin (ei skenaario). Muut ovat skenaariotuloksia.

3.2.4. Maankäyttö

Kasvihuonesalaatin viljely vaatii enemmän maapinta-alaa ($47\text{--}5,9 \text{ m}^2/\text{kg}$) kuin vertikaaliviljeltyt kasvit riippuen energianlähteestä (Kuva 18). Suurin osa maankäytön vaikutuksesta tuli energiantuotannosta, erityisesti lämmitykseen käytetyn hakkeen tuotannosta. Vertikaaliviljelyssä maankäyttö tapahtui pääosin viljelypanosten ja -pakkausten tuotannossa. Panoksiin kuuluvat kalkin, keinolannoitteiden ja siementen tuotanto sekä kasvialustan tuotantoketju. Viljelyn suoriin vaikutuksiin tilalla kuuluu tuotannon vaatima maapinta-ala. Viljelyn suora maapinta-alan käyttö oli kasvihuonesalaatilla vain $0,3\text{--}0,4 \%$ ja vertikaalikasveilla $0,5\text{--}2,8 \%$.



Kuva 18. Salaatin- ja yrtinviljelyn maankäyttö. Ruukkus. = ruukkusalaatti, LT = lämmön talteenotto, ei LT = ei lämmön talteenottoa. Kolme vasenta pylvästä (ruukkuyrtti ja salaattit lämmön talteenotolla) perustuvat tässä työssä mukana olleen viljelijän tietoihin (ei skenaario). Muut ovat skenaariotuloksia.

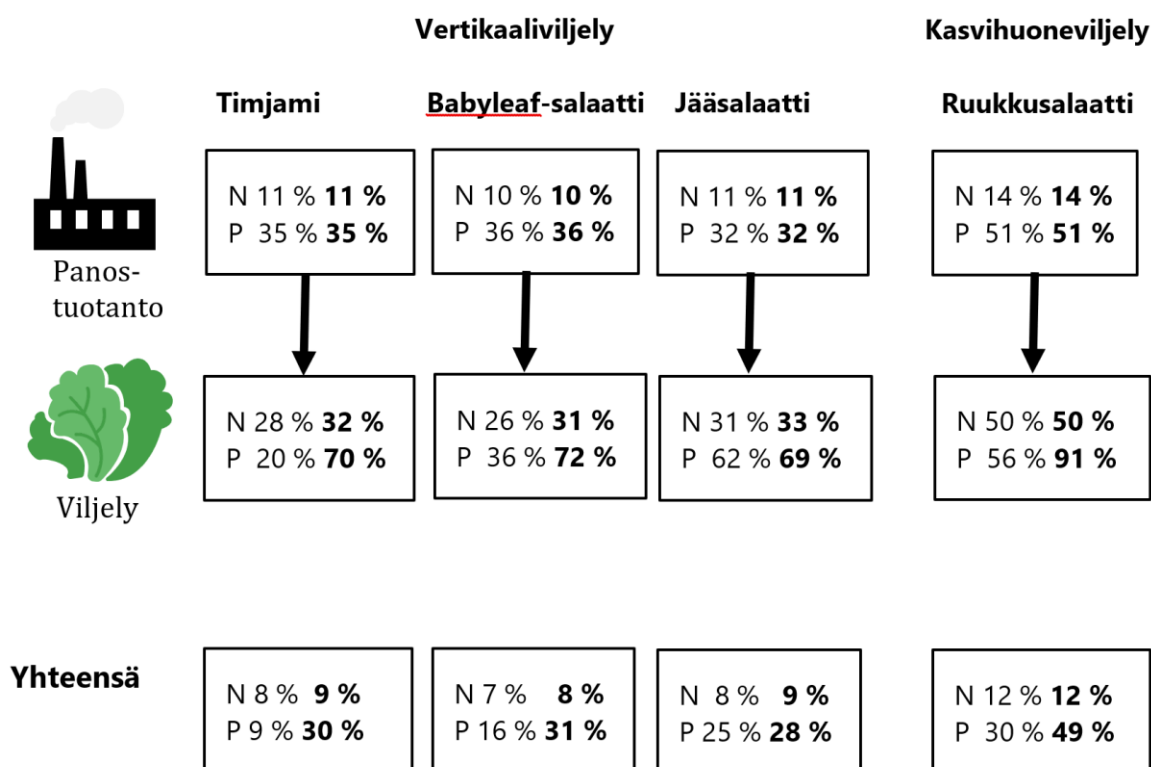
3.2.5. Ravinnejalanjälki

Salaatin ja yrtinviljelyssä otettiin käyttöön 10–34 kg typpeä, kun tuotettiin 1 000 kg satoa. Tästä määrästä lähes 100 % oli neitseellisiä ravinteita. Suurin osa neitseellisestä typestä otettiin käyttöön panostuotantovaiheessa ilman typpenä typpilannoitetta valmistettaessa. Kierrätettyä typpeä tuli ketjuun kasvintuotantovaiheessa siementen mukana. Kun huomioitiin vain ketjun päätuote (salaatti- tai yrttisato), saatiin ketjun hyötykäyttöasteeksi typen osalta 7–12 % (kun satoon sitoutunut typpimäärä, 1–3 kg/1000 kg jaettiin ketjun käyttöön ottamalla kokonaistyppimäärällä 10–34 kg/1000 kg). Kun otettiin huomioon myös ravinteiden muut hyötykäyttöön päätyvät jakeet (ravinteet peltomaahan tai kompostiin kasvualustan ja kasvintähtien mukana, osittain seuraavien kasvien käytettävissä), saatiin typen kokonaiskäyttöasteeksi 8–12 % (kun laskettiin yhteen satoon sitoutunut typpimäärä, 1–3 kg/1000 kg ja muuhun hyötykäyttöön menevä typpimäärä, 0,02–0,4 kg/1000 kg, ja jaettiin summa ketjun käyttöön ottamalla kokonaistyppimäärällä 10–34 kg/1000 kg (Kuva 19, Taulukko 13).

Fosforia otettiin käyttöön 1–3 kg, kun tuotettiin 1 000 kg salaattia tai yrttejä. Tästä määrästä lähes 100 % oli neitseellisiä ravinteita. Samoin kuin typen kohdalla, suurin osa neitseellisestä fosforista tuli ketjuun lannoitteen mukana ja kierrätetystä fosforista siementen mukana. Kun huomioitiin vain ketjun päätuote (salaatti- tai yrttisato), saatiin ketjun hyötykäyttöasteeksi fosforin osalta 9–30 % (kun salaatti- tai yrttisatoon sitoutunut fosforimäärä, 0,2–0,4 kg/1000 kg jaettiin ketjun käyttöön ottamalla kokonaisfosforimäärällä, 1–3/1000 kg). Kun otettiin huomioon myös ravinteiden muut hyötykäyttöön päätyvät jakeet (ravinteet peltomaahan tai kompostiin kasvualustan ja kasvintähtien mukana, osittain seuraavien kasvien käytettävissä), saatiin fosforin kokonaiskäyttöasteeksi 28–49 % (kun laskettiin yhteen satoon sitoutunut fosforimäärä, 0,2–0,4 kg/1 000 kg ja muuhun hyötykäyttöön menevä fosforimäärä, 0,02–0,6 kg/1000 kg, ja jaettiin summa ketjun käyttöön ottamalla kokonaisfosforimäärällä, 1–3 kg/1000 kg (Kuva 19, Taulukko 13).

Taulukko 13. Käyttöön otettujen ravinteiden määrä ja kierrätysravinteiden osuus salaattien ja -yrtinviljelyssä. Vertikaaliviljelyn tulokset perustuvat tässä työssä mukana olleen viljelijän tietoihin. Kasvihuonetuotannon viljelytiedot pohjautuvat aiempaan LCA-arviointiin (Silvenius ym. 2019).

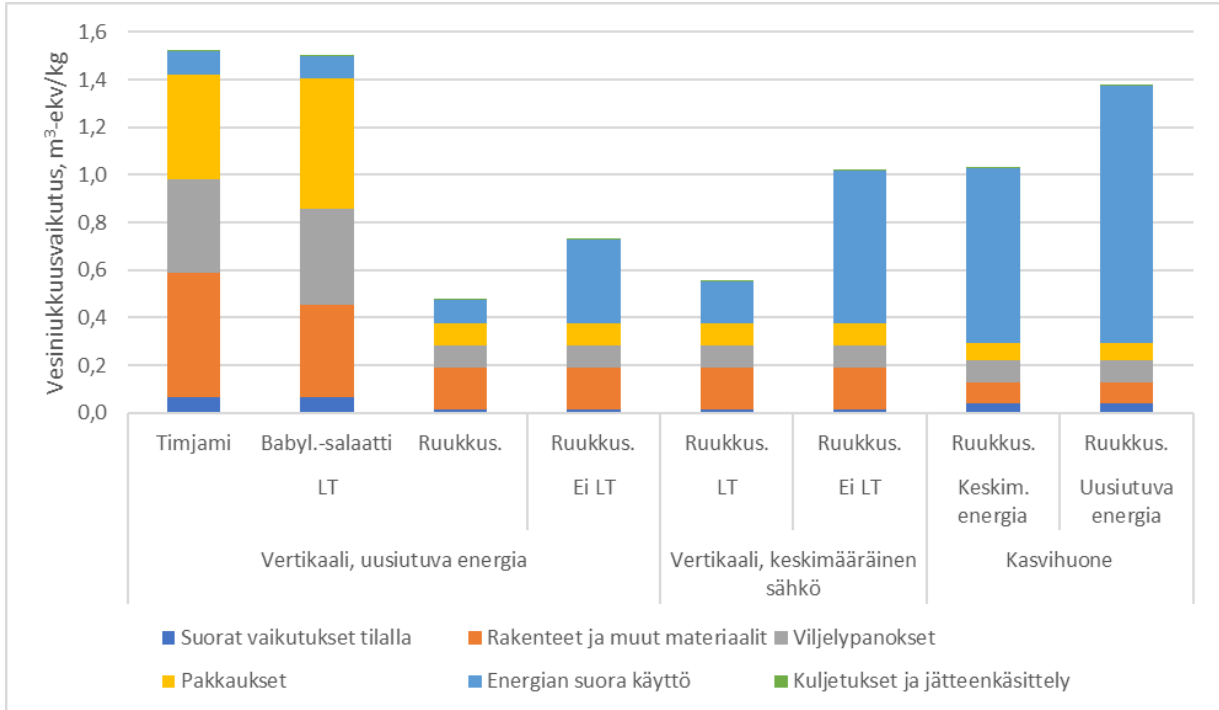
		Vertikaaliviljely		Kasvihuoneviljely	
		Timjami	Babyleaf-salaatti	Jää-salaatti	Ruukkusa-laatti
Käyttöön otetut ravinteet	kg N/1 000 kg lopputuotetta	34	31	11	10
	Kg P/1 000 kg lopputuotetta	3	3	1	1
Kierrätysravinteiden osuus	N, %	0,018 %	0,005 %	0,003 %	0,004 %
	P, %	0,020 %	0,006 %	0,003 %	0,002 %



Kuva 19. Ravinteiden hyötykäyttöasteet salaatin- ja yrtinviljelyssä. Vaaleammalla fontilla hyötykäyttöaste suhteutettuna vain päätuotteeseen, tummemmalla fontilla huomioitu myös muut hyötykäyttöön päätyvät jakeet. Panostuotannossa ei muodostu sivutuotteita, joten sen takia hyötykäyttöaste on sama molemmissa tilanteissa. Ravinneresurssin käytön kannalta on sitä parempi, mitä vähemmän ravinteita tuotannossa on otettu käyttöön, mitä enemmän käyttöön otetuista ravinteista on kierrätysravinteita ja mitä enemmän niitä hyötykäytetään tuotannon jälkeen.

3.2.6. Vesiniukkuusvaikutukset

Vesiniukkuusvaikutus oli suurin vertikaaliviljelyllä timjamilla ja babyleaf-salaatilla, yhteensä 1,5 m³-ekv./kg, ja pienin vertikaaliviljelyllä ruukkusalaatilla, kun hukkalämpö otettiin talteen ja viljelyssä käytettiin uusiutuvaa energiaa, 0,5 m³-ekv./kg. Vertikaaliviljelyssä suurin osa vesiniukkuusvaikutuksesta aiheutui viljelypanosten, rakenteiden ja pakkausten tuotannosta, mutta kasvihuoneviljelyssä energiantuotannosta. Muu vedenkäyttö kuin suora vedenkäyttö tilalla on riippuvaista vesivaroista maissa, joissa raaka-aineen ja niiden prosessointi tapahtuu. Viljelyn suoriin vaikutuksiin kuuluu tilan kasteluveden käyttö. Kasteluveden osuus vesiniukkuusvaikutuksesta oli kasvihuonesalaatilla pientä: vain 3–4 %, vertikaalisalaatilla 1,4–3,0 %, ja timjamilla ja babyleaf-salaatilla 4,3 % (Kuva 20).



Kuva 20. Salaatin- ja yrtinviljelyn vesiniukkuusvaikutus. Ruukkus. = ruukkusalaatti, LT = lämmön talteenotto, ei LT = ei lämmön talteenottoa. Kolme vasenta pylvästä (ruukkuyrtti ja salaattit lämmön talteenotolla) perustuvat tässä työssä mukana olleen viljelijän tietoihin (ei skenaario). Muut ovat skenaariotuloksia.

3.2.7. Hävikin määrä

Ruukkusalaatilla ja -yrtillä vertikaalissa hävikki oli n. 10 %. Kasvihuonesalaatilla hävikkiä arvioitiin muodostuvan vertikaalituotantoa enemmän, 24 % (kts. myös 2.2.8. Hävikin määrä).

4. Tulosten tarkastelu

4.1. Ilmastonmuutos- ja rehevöittävä vaikutus

4.1.1. Marjantuotanto

Marjojen eri tuotantomuotojen välillä ei ollut suurta eroa ilmastonmuutosvaikutuksessa. Mansikan ja vadelman tuotannon aiheuttama ilmastonmuutosvaikutus oli myös samalla tasolla. Avomaan mansikan ilmastonmuutosvaikutuksen keskiarvo oli hieman tunnelimansikkaa suurempi (0,86 vrt. 0,69 kg CO₂-ekv./kg). Toisaalta molemmilla tilojen ja vuosien välinen vaihtelu ylitti 0,5 kg CO₂-ekv./kg, joten vaihtelu huomioiden tuotantomuotojen välillä ei ollut eroa. Myös vadelman avomaatuotannon ilmastonmuutosvaikutuksen keskiarvo oli hieman tunnelia suurempi (0,96 vrt. 0,78 kg CO₂-ekv./kg) hyvinä satovuosina. Heikompina satovuosina avomaavadelman satotason jäädessä alle tonniin hehtaarilta päästö oli yli nelinkertainen, 3,25 kg CO₂-ekv./kg. Avomaan vadelman suurempi ilmastonmuutosvaikutus suhteessa satokiloihin selittyi mansikkaa heikommalla satotasolla (Taulukko 14, lähtötiedot Taulukko 4).

Ilmastonmuutos- ja rehevöittävä vaikutus vaihtelivat viljelyvuosien välillä melko paljon. Esimerkiksi avomaan mansikan viljelyssä vaikutukset olivat vuonna 2019 kokonaiskeskiarvoon verrattuna yli 20 % pienemmät, mutta vuonna 2021 noin 9 % suuremmat. Myös muiden vaikutusluokkien osalta tulokset vaihtelivat saman suuntaisesti. Osittain vuosikohtaisia eroja selittää sadon määrän vaihtelu. Vuonna 2019, jolloin ilmastonmuutos- ja rehevöittävä vaikutus olivat pienimmillään, hehtaarisato oli lähes 30 % suurempi kuin koko hankkeen aineistosta laskettu satotason kokonaiskeskiarvo (4 446 kg/ha).

Kansainväliset tutkimustulokset mansikantuotannon ympäristövaikutuksista vaihtelevat suhteellisen paljon, sillä avomaatuotannon on raportoitu aiheuttavan 0,06–2,99 kg CO₂-ekv./kg ja tunnelituotannon 0,01–1,27 kg CO₂-ekv./kg ilmastonmuutosvaikutuksen (Taulukko 14). Suomessa ilmastonmuutosvaikutus on aiemmissa tutkimuksissa vaihdellut välillä 0,27–0,47 kg CO₂-ekv./kg (Silvenius ym. 2015, Saarinen ym. 2012). Lukujen suora vertailu ei kuitenkaan ole mahdollista johtuen erilaisista rajauksista ja päästökertoimista. Pakkaukset ja maaperän hiilipäästöt sekä osa rakenteista puuttuivat näiden aikaisempien tutkimusten rajauksista ja mm. lannoitteiden valmistuksen päästökertoimet olivat näissä tutkimuksissa erilaiset. Vadelman viljelyn ympäristövaikutuksia on arvioitu vain neljässä aiemmassa tutkimuksessa. Näissä avomaan vadelman ilmastonmuutosvaikutukseksi on saatu 0,36–0,84 kg CO₂-ekv./kg ja tunnelivadelman 0,32–7,40 kg CO₂-ekv./kg. Tässä tutkimuksessa lasketut marjojen ilmastonmuutosvaikutustulokset osuvat aiemmissa tutkimuksissa esitettyjen arvioiden vaihteluvälille muuten paitsi avomaan vadelman osalta (Taulukko 14).

Tulosten suhteellisen suuri vaihtelu todennäköisesti johtuu ainakin osittain eroista laskennassa käytetyissä oletuksissa ja rajauksissa. Osassa tutkimuksia ei esimerkiksi ollut selvää, oliko esim. viljelystä aiheutuvat suorat N₂O-päästöt huomioitu (Girgenti ym. 2013, 2014, Khoshnevisan ym. 2014, Peano ym. 2015). Myös eri päästölähteiden osuudet ilmastonmuutosvaikutuksesta vaihtelivat tutkimusten välillä suhteellisen paljon (Taulukko 14). Esimerkiksi avomaan mansikalla Gunady ym. (2012) ilmoittivat suurimmaksi päästölähteeksi suoran energiankäytön, Peano ym. (2015) ja Tabatabaie ja Murthy (2016) rakenteet ja muut materiaalit

(kuten katemuovit yms.), ja Valiante ym. (2019) muut päästölähteet, joihin sisältyvät viljelypajon tuotanto ja tilalla tapahtuvat suorat päästöt.

Lisäksi näyttää siltä, että esimerkiksi peltomaan orgaanisen aineksen hajoamisesta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä ei ole huomioitu aiemmissa tutkimuksissa, joten niitä ei voi suoraan verrata tämän tutkimuksen tuloksiin. Ilman peltomaan hiilidioksidipäästöjä avomaan mansikan ilmastonmuutosvaikutus olisi ollut noin 20 % pienempi.

Tässä tutkimuksessa rakenteiden ja muiden materiaalien (sis. mm. katemuovit, harsot, kasteluletkut ja ruukut) osuus kokonaisilmastonmuutosvaikutuksesta oli pienin avomaan vadelmalla, 2 %, ja suurin tunnelimansikalla, 25 %. Molemmilla marjakasveilla osuus oli suurempi tunneli- kuin avomaanviljelyssä. Tunnelirakenteita ei ole kuitenkaan kaikissa LCA-tutkimuksissa aiemmin huomioitu. Jatkotutkimuksissa onkin tärkeää sisällyttää myös tunnelirakenteet ympäristövaikutuslaskentaan.

Tunnelituotannon rehevöittävä vaikutus oli molemmilla marjoilla keskimäärin sama:

1,3g PO₄-ekv./kg. Mansikalla eri tuotantomuotojen välillä ei ollut suurta eroa. Avomaan mansikan rehevöittävä vaikutuksen keskiarvo oli hieman tunnelimansikkaa suurempi (1,8 vrt. 1,3 kg PO₄-ekv./kg). Kuitenkin tilojen ja vuosien välinen vaihtelu oli suurta, joten vaihtelu huomioiden selkeää eroa ei ollut eri tuotantomuotojen välillä. Vadelmalla rehevöittävät päästöt olivat suuremmat avomaalla kuin tunnelissa (3,2 vs. 1,3 g PO₄-ekv./kg).

Marjanviljelyn rehevöittävä vaikutusta on aiemmin arvioitu samaa menetelmää käyttäen vain yksittäisissä tutkimuksissa (Taulukko 14). Aiemmat tulokset olivat pitkälti samaa suuruusluokkaa tässä tutkimuksessa laskettujen tulosten kanssa. Tämän tutkimuksen rehevöitymispotentialin keskiarvo sijoittui aikaisempien tutkimusten väliin ollen suurempi kuin Silvenius ym. (2015) ja pienempi kuin Saarinen ym. (2012). Kun otetaan huomioon viljelyvuosien välinen vaihtelu, olivat tämän tutkimuksen alhaisemmat arvot pienemmät kuin Silvenius ym. (2015) ja korkeimmat arvot suuremmat kuin Saarinen ym. (2012).

Taulukko 14. Mansikan- ja vadelmanviljelyn ympäristövaikutusten vertailu aiempiin tutkimuksiin, huomioitu vain tuotantoketjun alkutuotantovaihe, avomaa ja tunneli, per kg sadon tuorepainoa.

Lähde	Maa ja tunnelityyppi	Sato, t/ha/vuosi	Ilmastomuutosvaikutus, kg CO ₂ -ekv./kg	Osuus ilmastovaikutuksesta, %			Rehevöittävä vaikutus, g PO ₄ -ekv./kg	Energiankäyttö, MJ/kg	Uusiutumattoman energian käyttö, MJ/kg	Maankäyttö, m ² /a/kg	Resurssienkäyttö, mg Sb-ekv./kg
				Energiankäyttö	Rakenteet ja muut materiaalit	Muu					
Mansikka, avomaa											
Tämä tutkimus	Suomi	4	0,86	4	15	80	1,8	13	10	2,8	4,8
Audsley ym. (2010)	Britannia	14	0,84	-	-	-					
Bell ym. (2018)	USA	-	0,63	18	48	34		12			
Gunady ym. (2012)	Australia	-	2,24	71	-	29					
Khoshnevisan ym. (2013)	Iran	5	0,59	20	-	80	380				3 260
Khoshnevisan ym. (2014)	Iran	5	0,15	19	10	71		6			
Peano ym. (2015)	Italia	-	0,49		85	15			14		
Romero-Gómez & Suárez-Rey (2020)	Espanja	13	0,83	-	-	100					
Saarinen ym. (2012)	Suomi	3	0,47	-	-	-	3	3		3	
Silvenius ym. (2015) tila 1	Suomi	7,7	0,27	39	32	29	1				
Silveius ym. (2015) tila 2	Suomi	4,7	0,27	26	55	19	0,9				
Soode-Schimonsky ym. (2017)	Viro	5	0,81	-	-	-					
Soode-Schimonsky ym. (2017)	Saksa	22	0,28	-	-	-					
Soode ym. (2015)	Saksa	-	0,06	-	-	-					
Stoessel ym. (2012)	Sveitsi	25	0,30	-	-	-					
Tabatabaie & Murthy (2016)	USA	74	2,99	24	67	10			8		
Valiante ym. (2019)	Italia	39	0,21	-	7	93					8
Venkat (2012)	USA	49	0,34	-	-	-					
Warner ym. (2010)	Britannia	-	0,30	5	40	55					
Mansikka, tunneli											
Tämä tutkimus	Makrotunneli, ruukku	41	0,69	6	25	69	1,3	15	10	0,7	6,1
Ecoinvent 3	Espanja, makrotunneli	45	0,35	2	64	34					
Ecoinvent 3	USA, makrotunneli	56	0,41	24	43	33					
Frankowska ym. (2019)	Britannia	-	0,92	-	-	-		17		0,25	
Girgenti ym. (2014)	Italia	-	0,01		25	75			0,02		
Ilari ym. (2021)	Italia, makrotunneli	55	0,78	19	16	65	1		4		2
Lillywhite ym. (2007)	Britannia, maapohja	17	1,87	-	-	-				0,6	
Soode-Schimonsky ym. (2017)	Saksa, ruukku	75	0,44								
Romero-Gómez & Suárez-Rey (2020)	Espanja, maapohja	50	0,19		13	87					
Romero-Gómez & Suárez-Rey (2020)	Espanja, ruukku	60	0,10		16	84					
Valiante ym. (2019)	Sveitsi, maapohja	25	1,87		4	96					59
Warner ym. (2010)	Britannia	-	0,41	2	50	48					
Vadelma, avomaa											
Tämä tutkimus*	Suomi	3	0,96	4	2	94	3,2	12	9	3,7	5,7
Peano ym. (2015)	Italia		0,36		43	57			8,34		
Audsley ym. (2010)	Britannia	5	0,84								
Vadelma, tunneli											
Tämä tutkimus	Suomi	27	0,78	8	19	73	1,3	19	12	1,0	7,8
Girgenti ym. (2013)	Italia	12	0,32		21	79			6,93		
Foster ym. (2014)	Espanja	8	7,30				5			1	1 000
Foster ym. (2014)	Britannia	12	7,40				4			1	4 000

*Huomioitu kaikki satovuodet

4.1.2. Ruukkusalaatin ja -yrtin tuotanto

Kasvihuonesalaatin tuotannon ympäristövaikutuksia, lähinnä ilmastonmuutosvaikutusta ja resurssien käyttöä (energia, maapinta-ala ja vesi), on tutkittu useissa aiemmissä kansainvälisissä tutkimuksissa, myös Suomessa (Taulukko 16). Myös vertikaalisalaatin tuotantoa on tutkittu useassa tutkimuksessa, mutta yrteistä vain basilikan osalta on julkaistu vertikaalituotannon ympäristövaikutuksiin liittyviä tuloksia. Vertikaaliviljelyn osalta suurin osa tutkimuksista perustuu kirjallisuustietoon tai mallinnukseen, ja vain muutamassa on käytetty käytännön viljelystä kerättyä lähtötietoa. Kasvihuoneessa viljeltyjen yrttien osalta aiempia tutkimustuloksia ei ole julkaistu.

Tässä hankkeessa lasketut tulokset ovat linjassa kansainvälisten tutkimusten kanssa ilmastonmuutosvaikutuksen osalta. Kirjallisuuden mukaan salaatinviljely lämmitetyissä kasvihuoneissa aiheuttaa suuremmat kasvihuonekaasupäästöt kuin viljely lämmittämättömissä huoneissa, ja suurin osa päästöistä aiheutui suorasta energiankäytöstä tilalla. Vertikaaliviljelyn salaatin on muutamassa tutkimuksessa ilmoitettu pienempiä ilmastovaikutusarvioita (0,1–0,4 kg CO₂-ekv./kg, Kikuchi ym. 2018, Hallikainen 2019, Avgoustaki & Xydis 2020, Li ym. 2020) kuin tässä tutkimuksessa (n. 1–2,5 kg CO₂-ekv./kg), mutta toisaalta myös huomattavasti suurempia arvioita on esitetty, 6–32 kg CO₂-ekv./kg (Shiina ym. 2011, Hallikainen 2019, Wildeman 2020, Blom ym. 2022).

Vertikaalituotannon ilmastonmuutosvaikutuksesta suoran energiankäytön osuus oli pienempi kuin aiemmissä tutkimuksissa, joissa se on ollut jopa lähes 100 %. Vertailututkimuksista vain Kikuchi ym. (2018), Blom ym. (2022) ja Wildeman (2020) sisällyttivät vertikaalituotantoyksikön rakenteet laskentaan. He ilmoittivat rakenteiden osuudeksi ilmastonmuutosvaikutuksesta vain alle 1 %, mikä on paljon pienempi kuin tässä tutkimuksessa (16–39 %). Rakenteiden vähäistä osuutta selittää niille arvioitu käyttöikä ja tuotannon mittakaava. Wildeman (2020) käytti rakenteille jopa 60 vuoden käyttöikää verrattuna tämän tutkimuksen 25 vuoteen.

Toisaalta Kikuchin ym. (2018) tutkimuksessa käyttöikä oli vain 15 vuotta, mutta samalla salaatin neliösato oli kolminkertainen tähän tutkimukseen verrattuna. Blomin ym. (2022) tutkimuksessa käyttöikä oli vain 8–10 vuotta, mutta vertikaalituotantoyksikkö oletettiin yhdistettävän jo olemassa olevan rakennuksen rakenteisiin, jonka takia laskennasta jätettiin pois suuri osa rakenteiden valmistuksesta. Myös tuotannon mittakaava vaikuttaa rakenteiden osuuteen ympäristövaikutuksista. Vertikaaliviljelyssä rakenteet on tässä tutkimuksessa laskettu suhteellisen pienen viljelypinta-alan tuotannolle, joten ympäristövaikutukset saattavat olla tässä työssä yliarvioitu. Lisäksi teräksen sijaan rakenteissa voidaan käyttää alumiinia, jolloin rakenteet ovat kevyempiä, mikä saattaa pienentää ympäristövaikutuksia.

Rakenteet tulisi kuitenkin jatkossakin huomioida puutarhatuotannon ympäristövaikutuslaskennoissa, koska niiden osuus vertikaalituotannon ilmastonmuutosvaikutuksesta voi olla suuri, kuten tämän tutkimuksen tulokset osoittavat.

Salaatinviljelyn rehevöittävä vaikutus oli hieman suurempi verrattuna aiempiin tutkimuksiin. Suuri osa varsinkin kasvihuonesalaatin rehevöittävästä vaikutuksesta aiheutui energiankäytöstä, joten erot käytetyn energian lähteissä voivat ainakin osittain selittää eroa aiempiin tutkimuksiin. Salaatin vertikaaliviljelyn rehevöittävä vaikutusta on aiemmin arvioinut vain Wildeman (2020) käyttäen kuitenkin eri menetelmää. Basilikan vertikaaliviljelylle on laskettu Ruotsissa kaksi toisistaan poikkeavaa tulosta, 0,7 ja 12,5 g PO₄-ekv./kg, ja tässä tutkimuksessa timjamille laskettu tulos, 4,0 g PO₄-ekv./kg, osuu tälle välille.

Taulukko 15. Ruukkusalaatin ja -yrtinviljelyn ympäristövaikutusten vertailu aiempiin tutkimuksiin. Tutkimuksista huomioitu vain tuotantoketjun alkutuotantovaihe, kasvihuoneessa ja vertikaaliviljelyllä tuotettuna. Tulosten yksikkö on per kg sadon tuorepainoa.

Lähde	Maa ja kasvihuoneyyppi	Lähtötiedot kerätty käytännön viljelystä	Sato, t/ha/vuosi	Ilmastonmuutosvaikutus, kg CO ₂ -ekv./kg	Osuus ilmastonmuutosvaikutuksesta, %			Rehevoittävä vaikutus, g PO ₄ -ekv./kg	Resurssienkäyttö, suora			Resurssienkäyttö, elinkaarinen		
					Energiankäyttö	Rakenteet ja muut materiaalit	Muu		Energia, MJ/kg	Maankäyttö, m ² /kg	Vesi, litraa/kg	Energia, MJ/kg	Maankäyttö, m ² /kg	Vesi, litraa/kg
Kasvihuoneviljely, ruukkusalaatti														
Tämä tutkimus	Suomi, lämmitetty		500	2,1–3,4	69–81	9–14	10–16	2,7–3,2	129–133	0,02	30	141–146	4,7–5,9	
Avgoustaki & Xydis (2020)	Ei eritelty	-	410	0,35	-	-	-	-	432	0,02	20			
Bartzas ym. (2015)	Espanja, ei lämmitetty	x	23	0,23	28	15	57	1,0				3		
Bartzas ym. (2015)	Italia, ei lämmitetty	x	27	0,21	34	13	53	0,9				3		
Blom ym. (2022)	Hollanti	x	291–530	0,62–1,3	21–72	6–16	18–65							
Graamans ym. (2018)	Ruotsi, Hollanti, Arabiemiraatit	-	-	-	-	-	-	-	110–163		1–20			
Hospido ym. (2009)	UK, lämmitetty	X	48–68	2,55	97	< 0,5	3						0,05	40
Li ym. (2020)	Singapore	-	-	2,82	>99	-	-	-					0,02	22
Romero-Gómez ym. (2014)	Espanja, ei lämmitetty	X	45	0,21	-	91	9	0,3				4		
Räsänen ym. (2014)	Suomi, lämmitetty	X	-	1,46	65	Ei huomioitu	35 %	0,1						
Silvenius ym. (2019)	Suomi, lämmitetty	X	500	2,70	92	Ei huomioitu	6 %				7			
Stoessel ym. (2012)	Sveitsi, lämmitetty	X	-	4,30	-	-	-	-			16			
Yrjänäinen ym. (2013)	Suomi, lämmitetty	X	-	3,5	74	Ei huomioitu	27 %							
Vertikaaliviljely, ruukkusalaatti														
Tämä tutkimus	Suomi		660	1,0–2,5	16–66	16–39	18–45	1,1–3,0	10–95	0,02	24	28–113	0,5–2,9	
Avgoustaki & Xydis (2020)	Ei eritelty	-	100	0,16	-	-	-	-	900	0,01	1			
Blom ym. (2022)	Hollanti	x	1 010	1,63–7,75	72–90	1–2	10–25							
Graamans ym. (2018)	Ruotsi, Hollanti, Arabiemiraatit	-	-	-	-	-	-	-	70		1			
Hallikainen (2019)	Ruotsi, Hollanti, Arabiemiraatit, Japani	-	4 400	0,05–32	-	-	-	-		0,002	20			
Kikuchi ym. (2018)	Japani	x	2 000	0,40	>99	-	<1 %							1
Li ym. (2020)	Singapore	-	-	0,22–1,44	>99	-	-	-					0,01–0,04	13–16
Shiina ym. (2011)	Japani	x	1 700	6,40	98	-	2 %							
Wildeman (2020)	USA	-	-	8,47	99	0,4	1							
Vertikaaliviljely, yrtit														
Tämä tutkimus, timjami	Suomi		222	3,27	5	35	60	4,0	10	0,04	112	81	2,3	
Martin & Molin 2019, basilika	Ruotsi	x	4 840	0,47	41	4	55	0,7						
Martin ym. 2019, basilika	Ruotsi	x	4 840	0,60	26	3	71	12,5						
Molin & Martin 2018, basilika	Ruotsi	x	100	3,66	49	Ei huomioitu	51					173		

4.2. Ekotoksinen vaikutus

Suurin osa marjanviljelyn ja vertikaaliviljelyn timjamin ja babyleaf-salaatin ekotoksisista vaikutuksista aiheutui tuotantopanosten valmistuksesta. Tuotantopanoksista erityisesti kaliumlannoite aiheutti suuret päästöt. Ruukkusalaatilla tuotantopanosten valmistus aiheutti suurimman osan ekotoksisesta vaikutuksesta, kun hukkalämpö otettiin talteen ja/tai viljelyssä käytettiin uusiutuvaa energiaa. Ruukkusalaatin kasvihuoneviljelyssä suurin osa ekotoksisesta vaikutuksesta johtui energiantuotannosta.

Marjanviljelyn ekotoksisista vaikutusta on aiemmin tutkittu mm. avomaan- ja tunnelimansikalla Espanjassa (Romero-Gómez & Suárez-Rey 2020) sekä Italiassa ja Sveitsissä (Valiante ym. 2019). Espanjassa avomaantuotannolla oli suurempi ekotoksinen vaikutus kuin tunnelituotannolla, ja valtaosa vaikutuksesta avomaalla aiheutui kasvinsuojeluaineiden valmistuksesta ja käytöstä (Romero-Gómez & Suárez-Rey 2020). Samoin kuin espanjalaisessa tutkimuksessa (Romero-Gómez & Suárez-Rey 2020), tässäkin tutkimuksessa ekotoksinen vaikutus oli suurempi avomaanmansikalla kuin tunnelimansikalla muun ketjun kuin alkutuotannon osalta. Ekotoksinen vaikutus oli pienempi italialaisessa avomaantuotannossa kuin sveitsiläisessä tunnelituotannossa pääasiassa pienemmän kasvinsuojeluaineiden aiheuttaman päästön takia (Valiante ym. 2019). Edellisten tulosten suoraan vertaamista tämän työn tutkimustuloksiin ei voida kuitenkaan tehdä menetelmistä johtuvien erojen vuoksi. Sekä Romero-Gómez ja Suárez-Rey (2020) että Valiante ym. (2019) käyttivät ekotoksisen vaikutuksen arviointiin ILCD-menetelmää (EC-JRC 2012), joka on tässä työssä käytetyn EF-menetelmän (Fazio ym. 2018) aiempi versio.

Alkutuotannon ekotoksiset vaikutukset riippuivat sadosta, käytettyjen kasvinsuojeluaineiden määrästä sekä käytetyn mallin oletuksista. Marjojen ekotoksisia vaikutuksia ei ole alkutuotannolle kirjallisuudessa aiemmin raportoitu, mutta vastaavassa tutkimuksessa Gentil ym. (2020) laskivat tomaatin aiheuttavan 0,13 CTU/kg. mm. Marjatilojen kasvinsuojeluaineiden käytön aiheuttamista ekotoksisista vaikutuksista suurin osa aiheutui kasvitautiaineista (mansikka 57 % ja vadelma 71 %), joita käytettiin määrällisesti (kg/ha) eniten molemmilla marjoilla (mansikka 63 % ja vadelma 90,5 %). Kasvilaji ja ilmasto vaikuttavat ekotoksisen paineen jakautumiseen: Pena ym. (2019) tutkimuksessa tuhoeläinaineet osuus kokonaisvaikutuksesta oli suurin (56 %), rikkakasviaineet toiseksi suurin (36 %) ja kasvitautiaineet pienin (7 %) maissilla, heinällä, syysvehnällä, kevätohralla, rypsilä ja herneellä. Tomaatilla (Gentil ym. 2020) suurimman ekotoksisen paineen aiheuttivat tuhoeläinaineet ja kasvitautiaineet.

4.3. Resurssienkäyttö: Energian- ja uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö

Marjanviljelyn kumulatiivinen ja uusiutumattoman energiankäyttö eivät selkeästi eronneet tutkittujen marjakasvien ja tuotantomuotojen välillä. Aiempia tutkimuksia on julkaistu vain vähän, mutta tulokset olivat pääosin samaa suuruusluokkaa näiden kanssa (Taulukko 15). Uusiutumattomien mineraali- ja metalliresurssien käytölle on julkaistu toisiinsa verrattuna hyvin ristiriitaisia tuloksia, joten on todennäköistä, että laskentamenetelmät ja -oletukset ovat vaihdelleet tutkimusten välillä.

Salaatinviljelyn osalta energiankäytöstä oli monissa tutkimuksissa ilmoitettu pelkästään tilalla tapahtuvan suoran energiankäytön osuus (Taulukko 16). Avgoustaki ja Xydis (2020) ilmoittivat

että suora energiankäyttö oli vertikaaliviljelyssä suurempi kuin kasvihuoneviljelyssä, mutta Graamans ym. (2018) saivat päinvastaisia tuloksia. Tässä tutkimuksessa lasketut suoran energian kulutukset olivat suhteellisen pieniä (kasvihuoneessa tuotettu ruukkusalaatti 120–133 MJ/kg ja vertikaaliviljelyllä tuotettu ruukkusalaatti 10–95 MJ/kg) verrattuna aiempiin tutkimuksiin (Taulukko 16). Toisaalta Bartzas ym. (2015) ja Romero-Gómez ym. (2020) ilmoittivat huomattavasti pienempiä elinkaarisia kumulatiivisen energiankäytön kokonaismääriä lämmittämättömissä kasvihuoneissa viljellylle salaatile (3 ja 4 MJ/kg) kuin meidän lämmitetyssä kasvihuoneessa tuotetun ruukkusalaatin tulokset ovat (141–146 MJ/kg). Ero selittyy sillä, että lämmittämättömissä kasvihuoneissa kasveja ei myöskään valoteta, joten kokonaisenergiankäyttö jää pienemmäksi.

4.4. Maankäyttö

Marjojen tunneliviljelyssä (mansikka 0,7 ja vadelma 1,0 m²a/kg) maankäyttö oli selvästi avomaatuotantoa pienempi (mansikka 2,8 ja vadelma 3,7 m²a/kg). Aiempia tutkimuksia maankäytöstä on vain muutamia (Taulukko 15). Saarinen ym. (2012) arvioivat avomaan mansikan maankäytön olevan 3 m²a/kg. Tunnelituotannossa maankäytön on raportoitu olevan mansikalla 0,25–0,7 m²a/kg (Lillywhite ym. 2007, Frankowska ym. 2019) ja vadelmalla 1 m²a/kg (Foster ym. 2014).

Salaatinviljelyn osalta monissa aiemmista tutkimuksista on ilmoitettu vain viljelyn vaatima suora maankäyttö tilalla ilman elinkaarisia vaikutuksia. Suora maankäyttö vaihteli muissa tutkimuksissa välillä 0,002–0,02 m²/kg salaattia. Suurimmat maankäytön pinta-alat on arvioitu kasvihuonesalaatile (0,02 m²/kg: Avgoustaki & Xydis 2020) ja pienimmät vertikaalisalaatile (0,002 m²/kg: Hallikainen 2019). Vain Hospido ym. (2009) ja Li ym. (2020) ilmoittivat arvioita elinkaariselle maankäytölle. Kasvihuonesalaatile arviot olivat 0,05 m²a/kg (Hospido ym. 2009) ja 0,02 m²/kg (Li ym. 2020), ja vertikaalisalaatile 0,01–0,04 m²/kg (Li ym. 2020). Tässä tutkimuksessa lasketut arviot ruukkusalaatin viljelyn olivat suorana maankäyttönä (0,02 m²a/kg) samansuuruisia suurimpien salaatintuotannolle aiemmin annettujen arvojen kanssa, mutta selkeästi suurempia (4,6–5,9 m²a/kg) kuin aiemmat arviot elinkaariselle maankäytölle (Taulukko 16). Suora maankäyttö tuotantopaikalla edusti vain pientä osaa maankäytön kokonaisvaikutuksista tuotantoketjuun (0,3–2,8 %).

4.5. Ravinnejalanjälki

Verrattuna aiemmissa hankkeissa laskettuihin tuloksiin marjojen, salaatin ja yrtin tuotantoketjuissa käyttöön otettujen ravinteiden määrä oli pienempi tai yhtä suuri kuin kaurahiutaleella (Ypyä ym. 2015, Grönman ym. 2016), mutta selvästi pienempi kuin naudanlihalla (Joensuu ym. 2019) (Taulukko 17). Kierrätysravinteiden osuus ravinteiden käytöstä oli selvästi pienempi kuin kaurahiutaleella tai naudanlihalla, koska tuotannossa käytettyjen lannoitteiden ja kasvu-alustan ravinteet olivat täysin väkilannoitepohjaisia.

Ravinteiden hyötykäyttöasteet olivat tutkituilla puutarhatuotteilla pääosin pienemmät kuin kaurahiutaleella ja naudanlihalla (Taulukko 18). Tämä johtui panostuotannon osalta siitä, että puutarhatuotteiden viljelyssä käytettiin enemmän erilaisia panostuotteita (kasvualustat, taimet, siemenet, muovipohjaiset materiaalit kuten maanpeitekatteet jne.) kuin peltoviljelyssä, ja lannoitteiden ja polttoaineiden lisäksi näiden muidenkin panostuotteiden valmistuksessa tapahtuu ravinnehäviöitä. Kasvinviljelyn osalta pienemmät ravinteiden hyötykäyttöasteet

johtuivat siitä, että niiden satoon sitoutuu suhteessa vähemmän typpeä ja fosforia kuin esimerkiksi viljoilla ja suurempi osa ravinteista päätyy kasvintähteisiin ja kasvualustaan. Kun laskennassa huomioidaan päätuotteen lisäksi sivutuotteet (kasvintähteet ja kasvualusta), jotka päätyvät hyötykäyttöön saman tilan tai lähitilojen pelloilla, ravinteiden hyötykäyttöasteet ovat suunnilleen samalla tasolla kuin kaurahiutaleen tuotannossa.

Taulukko 16. Ravinnejalanjälkitulosten vertailu aiempien hankkeiden tuloksiin (rajaus tilan portille), käyttöön otettujen ravinteiden määrä ja kierrätysravinteiden osuus.

		Mansikka ja vadelma	Ruukku-salaatti ja -yrtti	Kaurahiutale (Ypyä ym. 2015, Grönman ym. 2016)	Naudanliha (Joensuu ym. 2019)
Käyttöön otetut ravinteet	kg N/1 000 kg lopputuotetta	6–15	10–34	40	1 697
	Kg P/1 000 kg lopputuotetta	2–7	1–3	7	187
Kierrätysravinteiden osuus	N (%)	≤2	≤0,02	13	47
	P (%)	≤1	≤0,02	29	76

Taulukko 17. Ravinnejalanjälkitulosten vertailu aiempien hankkeiden tuloksiin (rajaus tilan portille), ravinteiden hyötykäyttöasteet.

Tuotantoketjun vaihe	Ravinne	Ravinteiden hyötykäyttöaste (%), päätuote				Ravinteiden hyötykäyttöaste (%), päätuote ja sivutuotteet			
		Mansikka ja vadelma	Salaatti ja yrtti	Kaurahiutale	Naudanliha*	Mansikka ja vadelma**	Ruukkusalaatti ja -yrtit**	Kaurahiutale	Naudanliha*
Panos-tuotanto	N	36–90	10–14	99	99	36–90	10–14	99	99
	P	64–110	32–51	69	69	64–110	32–51	69	69
Kasvin-viljely	N	18–23	26–50	74	55	47–88	31–51	74	57
	P	8–18	20–62	100	78	86–93	69–91	100	89
Yhteensä	N	8–19	7–12	73	2	34–51	8–12	73	47
	P	6–12	9–30	71	6	58–62	28–49	71	77

*Naudanlihantuotannossa lisäksi kotieläintuotanto-vaihe, jossa ravinteiden hyötykäyttöasteet päätuotteen osalta N 4 % ja P 7 %, päätuotteen ja sivutuotteiden osalta N 79 % ja P 82 %

** Laskennassa huomioitu sivutuotteena kasvualusta ja kasvintähteet, joiden mukana ravinteita päätyy peltomaahan tai kompostiin

4.6. Vesiniukkuusvaikutus

Suurimmat vesiniukkuusvaikutukset laskettiin tunnelimansikalle ja -vadelmalle (0,5 m³-ekv./kg). Tunnelimansikalla korkea tulos johtui siitä, että tunnelimansikanviljelyssä käytettiin yhdellä hankkeessa mukana olleista tiloista osittain kookoskuitupohjaista kasvualustaa. Kookoskuidulla on turvepohjaisiin kasvualustoihin verrattuna suurempi vesiniukkuusvaikutus, koska kuitu on peräisin kookospalmuista, joita keinokastellaan. Pienimmät vaikutukset olivat avomaamansikalla (0,3 m³-ekv./kg) ja -vadelmalla (0,4 m³-ekv./kg). Marjanviljelyssä vesiniukkuusvaikutus vaihteli paljon tilojen ja vuosien välillä 0,1–1,1 m³-ekv./kg. Tunneliviljelyssä tulosten vaihteluväli oli avomaanviljelyä suurempi. Suuren vaihtelun takia ei voida sanoa, että tämä vaikutusluokka eroaisi eri tuotantomuotojen välillä toisistaan.

Salaatin- ja yrtinviljelyssä vesiniukkuusvaikutus vaihteli välillä 0,5–1,4 m³-ekv./kg. Salaatinviljelyn osalta monissa aiemmista tutkimuksista on ilmoitettu vain viljelyn vaatima suora kasteluvedenkäyttö tilalla ilman elinkaarisia vaikutuksia. Kasteluveden käyttömääräksi on aiemmissa tutkimuksissa ilmoitettu sekä kasvihuoneessa että vertikaaliviljelyssä 1–20 l/kg ruukkusalaattia (Taulukko 16), eikä kasvihuone- ja vertikaaliviljelyn välillä näyttäisi olevan selkeää eroa.

Sekä marjanviljelyssä että salaatin- ja yrtintuotannossa suoralla vedenkäytöllä, eli kastelulla, on vain pieni merkitys koko vesiniukkuusvaikutuksesta. Marjanviljelyssä kastelun osuus (avomaansikalla 18 % ja -vadelmalla 17 %, tunnelimansikalla 15 % ja -vadelmalla 32 %), on suurempi kuin salaatin- ja yrtinviljelyssä (kasvihuonesalaatilla 1,0–1,4 %, vertikaalisalaatilla 1,4–3,0 %, ja timjamilla ja babyleaf-salaatilla 4,3 %). Rakenteiden ja viljelypanosten tuotannon (pääasiassa lannoitteet) vedenkäyttö on merkittävää (avomaamarjoilla: 38–60 % ja tunnelimarjoilla: 55–73 %, kasvihuonesalaatilla: 12–17 %, vertikaalisalaatilla: 27–57 % ja vertikaaliyrteillä: 53–60 % kokonaisvaikutuksesta), sekä salaatin viljelyssä myös energian käyttö (sähkö, lämpö) (kasvihuonesalaatilla jopa 76–82 % kokonaisvaikutuksesta). Timjamilla ja babyleaf-salaatilla korostuu myös pakkauksen osuus (29–37 % kokonaisvaikutuksesta). Timjamin ja babyleaf-salaatin osalta itse tuotteen pieni koko suhteessa pakkaukseen on osaltaan syy suhteellisesti suurempiin vesiniukkuusvaikutuksiin kuin ruukkusalaatilla.

Panosten suurempi merkitys suoraan vedenkäyttöön verrattuna johtuu tuotannon sijainnista. Kasteluvesi kulutetaan Suomessa, jonka vesitilanne on hyvä ja AWARE-menetelmässä käytetyn vesiniukkuusvaikutuksen karakterisointikerroin on pieni Suomessa (Boulay ym. 2018). Sen sijaan panokset tuotetaan usein Suomen rajojen ulkopuolella, mahdollisesti vesiniukemmissa olosuhteissa. Tällöin niiden tuotannossa käytetty vesi korostuu, koska vesiniukemmat maat saavat työssä käytetyssä AWARE-menetelmässä korkeamman karakterisointikertoimen kuin Suomi. Panosten tarkka tuotantopaikka on useimmiten myös tuntematon. Tällöin arvioinnissa joudutaan käyttämään yleisempiä sijainteja, esim. Eurooppa tai maailma, joiden karakterisointikerroimet ovat puolestaan hyvinkin korkeita. Jatkotutkimuksen kannalta on huomattava, että mikäli tulevaisuudessa panosten tuotantopaikat ovat tiedossa, ja mallinnusta voidaan sen osalta tarkentaa, on mahdollista, että panosten aiheuttama vesiniukkuusvaikutus pienenee. Kuitenkin niin kauan kuin tarkkaa tietoa ei ole, on hyvä, että panosten vesiniukkuusvaikutus näyttäytyy korkeana, koska selvästi on olemassa riski, että ne on valmistettu vesiniukoissa olosuhteissa.

Työssä käytetty AWARE-menetelmä on suhteellisen uusi, eikä sitä ole sovellettu kovin paljon vielä kansainvälisestikään. Silvenius ym. (2019) arvioivat kasvihuonesalaatinviljelyn vesiniukkuusvaikutuksen AWARE-menetelmällä (Boulay ym. 2018), mutta ilmoittivat tätä tutkimusta pienemmän tuloksen (0,036 m³-ekv./kg salaattia). Tämä ero johtuu todennäköisesti eroista tutkimusten systeemirajauksessa. Silvenius ym. (2019) huomioivat laskennassaan vain suoran kasteluvedenkäytön tilalla, sekä muovipakkausten valmistuksen.

Marjanviljelyn vesiniukkuusvaikutuksesta AWARE-menetelmällä laskettuna ei löydy aiempaa tutkimusaineistoa. AWARE menetelmällä on kuitenkin julkaistu muutamia viinirypäleitä ja muita hedelmiä koskevia tutkimuksia. Tuotantoalue on yksi merkittävä tekijä vesiniukkuusvaikutuksessa. Lisäksi merkitystä on sillä, onko viljelystä kasteltu, sekä myös sillä, miten paljon muita panoksia on käytetty. Brasilian karakterisointikerroin AWARE-menetelmässä ei ole paljon Suomea korkeampi, eli toisin sanoen molempien maiden vesiniukkuustilanteen arvioidaan olevan hyvä (ei vesiniukkuutta). Müller Carneiro ym. (2019) arvioivat Brasiliassa Vale do São Franciscon alueella tuotetun mangon vesiniukkuusvaikutukseksi 0,93 m³-ekv./kg, ja Sampaio

ym. (2021) niin ikään brasilialaisen vihreän kookospähkinän vesiniukkuusvaikutukseksi 0,33–0,76 m³-ekv./kg. Muita hedelmien vesiniukkuustutkimuksia on tehty Argentiinassa ja Etelä-Afrikassa, joissa molemmissa vesiniukkuustilanne on huomattavasti Suomea ja Brasiliaa heikompi, sekä Espanjassa, jossa se on todella heikko. Machin Ferrero ym. (2021) arvioivat Argentiinassa tuotetun sitruunan vesiniukkuusvaikutuksen olevan 0,36 m³-ekv./kg, joka on samaa suuruusluokkaa marjojen tulosten kanssa. Tuotanto sijoittui Argentiinassa Tucumánin provinssiin, jossa sitruunaviljelmää kastellaan, mutta ei erityisen paljon, koska kyseisellä alueella sadevettä kuitenkin on riittävästi. Myös panosten käyttö (ravinteet, energia) oli tutkimus- ja systeemissä niukkaa. Espanjalaisten viinirypäleiden tulos on niin ikään samaa suuruusluokkaa suomalaisten marjojen kanssa Villanueva-Rey ym. (2018) tutkimuksessa: 0,07–0,21-m³ekv./kg. Kyseiset rypäleet on tuotettu Espanjassa Galician alueella sadevedenvaraisesti. Vázquez-Rowe ym. (2017) tutkivat puolestaan viinirypäleitä Perun erittäin kuivalla alueella, ja saivat tulokseksi 0,75 m³-ekv./kg. Toisaalta Russo ym. (2021) tutkimuksessa eteläafrikkalaisen viinirypäleen vesiniukkuusvaikutus näyttää nousevan paljon muita verrokkitutkimuksia korkeammaksi 13–19 m³-ekv./kg.

Tuotanto-olosuhteet vaikuttavat vesiniukkuustulokseen hyvin paljon. Yksittäisten tapaustutkimusten perusteella ei ole mahdollista tehdä laajempia tuotetta tai tuotantomaata koskevia yleistyksiä. Tarvitaan vielä paljon lisää tapaustutkimuksia ja myös laskennan yhtenäistämistä, jotta päästään todelliseen vertailevaan tutkimukseen vesiniukkuusvaikutuksen osalta.

4.7. Hävikin määrä

Tulosten perusteella hävikin määrä olisi marjanviljelyssä molemmilla marjoilla pienempi tunnelituotannossa (keskiarvovaihtelu mansikalla: 0–8 %, vadelmalla: 1 %) kuin avomaalla (keskiarvovaihtelu mansikalla: 15–19 %, vadelmalla: 3–10 %). Hävikin määrä avomaamansikalla (15–19 %) oli lähellä aiemmissa suomalaisissa hankkeissa mansikalta saatua tulosta, joka oli 14 % (Hartikainen ym. 2014, Joensuu ym. 2021).

Salaatin osalta hävikin määrä perustui yksittäisten tilojen vuosikohtaiseen arvioon, joten arvioista ei voi tehdä yleisiä johtopäätöksiä. Avomaan salaatin hävikiksi on aiemmin arvioitu 17 % (Hartikainen ym. 2014), joka on suurempi kuin tässä hankkeessa vertikaalituotannossa kasvatetun salaatin (10 %) mutta pienempi kuin kasvihuonesalaatin (24 %) hävikkiarvio.

Hävikin määrä vaihtelee tyypillisesti vuosien ja tilojen välillä paljon, ja siihen vaikuttavat mm. viljelytekniset syyt (esim. kastelun optimointi, kasvinsuojelun onnistuminen) ja sääolosuhteet sekä marjanpoimijoiden saatavuus. Yksi merkittävä tekijä hävikin muodostuksessa on markkinatilanne. Sekä marjat että salaattit ja yrtit ovat tuoretuotteita, joita ei voi varastoida tilalla pitkää aikaa sadonkorjuun jälkeen. Jos esimerkiksi tuotteiden hinta on hyvin alhainen hetkellisen ylituotantotilanteen tai poikkeuksellisen hyvän satovuoden takia, tai jos suuri osa marjasadosta kypsyä sääolosuhteiden vaikutuksesta samaan aikaan, voi tuotteita olla vaikeaa saada kaupaksi niin, että viljelijä saisi niistä tuotantokustannukset ylittävän hinnan (Joensuu ym. 2021). Tällöin hävikkiä voi syntyä suuriakin määriä, vaikka viljelytekniikka ja tilan sisäiset prosessit olisivat kunnossa.

4.8. Yhteenveto marjojen ympäristövaikutuksista

PuutarhaLCA-hankkeessa arvioitiin ensimmäisen kerran suomalaisen marjantuotannon ympäristövaikutuksia vertaillen avomaa- ja tunneliviljelyä. Yhtä laajoja tilatietoihin perustuvia tutkimuksia on julkaistu kansainvälisesti hyvin vähän erityisesti vadelman osalta. Aiemmat tutkimukset ovat keskittyneet yksittäisten vaikutusluokkien mittaamiseen, kuten ilmastonmuutos- ja rehevöittävät vaikutukset.

Mansikan avomaa- ja tunnelituotannon ympäristövaikutukset olivat samalla tasolla suurimassa osassa tutkittuja vaikutusluokkia. Ainoastaan kemiallisten kasvinuojeluaineiden käyttö, maankäyttö ja hävikki olivat selvästi pienempiä tunneliviljelyssä kuin avomaalla. Vadelmanviljelyssä tilanne oli samankaltainen kuin mansikalla, mutta lisäksi rehevöittävä vaikutus oli pienempi tunnelissa kuin avomaalla. Avomaanvadelmalla tuloksissa oli kuitenkin enemmän hajontaa ja vaikutukset saattoivat enimmillään olla moninkertaisia tunneliviljelyyn verrattuna. Tämä johtui pääasiassa satotason suurista vaihteluista tilojen ja viljelyvuosien välillä. Avomaan vadelmantuotannossa olisi hyvä huomioida, että hyvä satotaso parantaa sekä viljelyn kannattavuutta, että pienentää viljelyn ympäristövaikutuksia. Heikkosatoisilla lohkoilla, joilla vuosittainen satotaso jää alle tuhanteen kiloon hehtaarilta, viljely ei ole enää ympäristövaikutusten eikä talouden näkökulmasta kannattavaa. Ympäristövaikutukset nousevat tuotettua satokiloa kohden, jos viljelypanoksia, kuten lannoitteita käytetään yhtä paljon huonoilla kuin hyväsatoisillakin lohkoilla.

Hyvin vadelmanviljelyyn soveltuvilla maalajeilla (maaperä läpäisevä, ei hallanarka paikka) kestävillä lajikkeilla, terveillä taimilla ja tasapainoisella viljelypanosten käytöllä (lannoitteet, kastelu) sekä oikea-aikaisilla viljelytoimilla ja tuholais- ja tautitorjunnalla voidaan saavuttaa avomaallakin hyviä satoja puutarhavadelmasta. Vadelman tavanomaisena satotasona avomaalla voidaan pitää 2 000–3 500 kg hehtaarisatoja, mutta huippusatonavomaalta voidaan saada jopa 10 000 kg hehtaarilta (Ruutiainen 2004). Puutarhavadelma on Suomen oloissa kuitenkin hyvin herkkä talvivaurioille, joten satotasot vaihtelevat vuosittain paljon. Tunneliviljelyssä talvivaurioriski vältetään käyttämällä samana vuonna satoa tuottavia satotaimia (pitkäversoja). Lisäksi lajikevalikoima, tuholaisten ja tautien helpompi hallittavuus, sadon hyvä laatu ovat johdaneet vadelmanviljelyn asteittaiseen siirtymiseen avomaan monivuotisesta tuotannosta yksivuotiseen tunnelituotantoon.

Satotason lisäksi ympäristövaikutuksia voidaan marjanviljelyssä pienentää optimoimalla viljelypanosten käyttöä. Lannoitteiden lisäksi erityisesti kasvualusta ja taimet ovat merkittäviä viljelypanoksia. Tunnelimarjojen viljelyssä oli pääosin käytössä turve-sammal pohjainen kasvualusta, mutta joillakin tiloilla käytettiin myös kookoskuitupohjaista kasvualustaa. Aiempaan tutkimustietoon perustuen turve-sammal pohjaisen kasvualustan ilmastonmuutosvaikutus on yli kolminkertainen kookoskuituun verrattuna, mutta toisaalta kookoskuitupohjaisen kasvualustan vesiniukkuusvaikutus on kymmenkertainen. Suurempi vesiniukkuusvaikutus johtuu pitkälti kookosviljelmien keinokastelusta. Ei siis voida sanoa, että turvepohjaisen kasvualustan korvaaminen kookoskuitupohjaisella olisi ympäristövaikutusten kannalta kokonaisuudessaan järkevää. Jos kasvuturvetta halutaan korvata, olisi etsittävä muita raaka-aineita kuin kookoskuitupohjia.

Erilaisten taimityyppien ympäristövaikutuksia ei pystytty tämän hankkeen puitteissa erittelemään puutteellisten lähtötietojen takia. Myöskään mansikka- ja vadelmalajikkeiden välisiä eroja ei pystytty tarkastelemaan. Toisaalta sekä taimityyppi että lajikevalinta vaikuttavat marjojen satotasoihin. Tekemällä satotason optimointia tukevia valintoja, voidaan myös pienentää ympäristövaikutuksia. On myös huomioitava, että kastelu Suomessa aiheuttaa vain pienen osuuden koko marjaketjujen vesiniukkuusvaikutuksesta.

Marjanviljelyssä lannoitus perustui pitkälti väkilannoiteravinteisiin. Kiertotalouden näkökulmasta voisi jatkossa pohtia, olisiko mahdollista ottaa käyttöön enemmän kierrätyslannoitteita. Viljelijöillä oli eroja kasvintähteiden ja kasvualustojen loppukäytössä viljelykauden jälkeen. Osa viljelijöistä käytti nämä maanparannusaineena pelloille, osa hautasi maahan ilman jatkokäyttöä. Ei ole selvää, kuinka suuri osa näistä ravinteista lopulta päätyy muiden viljelykasvien käyttöön. Kasvualustojen tehokkaampi kierrätys uusien kasvualustojen tai kierrätyslannoitteiden raaka-aineeksi varmistaisi ravinteiden tehokkaamman hyötykäytön. Tällaisia palveluja on jo markkinoilla Suomessa.

4.9. Yhteenveto ruukkusalaatin ja -yrtin tuotannon ympäristövaikutuksista

Hankkeessa tuotettiin uutta tietoa suomalaisen vertikaaliviljelyn ympäristövaikutuksista. Tämän tutkimuksen tiedot perustuvat tilatietoihin ja useamman vaikutusluokan käyttöön, mutta suurin osa aiemmista tutkimuksista perustuu kirjallisuustietoon tai mallinnukseen ja vain muutamassa on käytetty käytännön viljelystä kerättyä lähtötietoa.

Varsinkin kasvihuoneviljelyssä suora tilalla tapahtuva energiankäyttö muodosti suurimman osan ympäristövaikutuksista suhteessa tuotantoketjun muihin vaiheisiin. Suuri osa energiankulutuksesta aiheutuu kasvihuoneviljelyssä valotukseen käytetyn sähkön kulutuksesta. Siirtymällä LED-valaisimiin sähkönkulutusta voi pienentää, mutta samalla joudutaan yleensä lisäämään lämmitysenergian käyttöä. Koska LED-valaisimet pystyvät paremmin muuntamaan sähköenergian valoksi, ne eivät tuota yhtä paljon hukkalämpöä kuin HPS-valaisimet. Aiemman kasvihuoneviljelyhankkeen tausta-aineistosta (Silvenius ym. 2019) ei pystytty erittelemään tiloja, joilla olisi käytössä pelkät LED-valaisimet. Kuitenkin suurimmalla osalla hankkeessa mukana olleista tiloista valotus todennäköisesti perustui HPS-valaisimiin. Eteläistä Suomea vastaavissa olosuhteissa siirtyminen HPS-valaisimista LED-valaisimiin pienentää hollantilaisen tutkimuksen mukaan kasvihuoneviljelyn sähkönkulutusta 40 % ja lisää lämmitysenergian tarvetta n. 22 % (Katzin, Marcelis, & van Mourik 2021). Jos oletetaan, että suomalaisessa kasvihuonesalaatinviljelyssä LED-valotukseen siirtyminen vaikuttaisi energiankulutukseen samoin, ympäristövaikutukset pienenisivät tässä hankkeessa tutkittujen vaikutusluokkien osalta enimmillään jopa 30 % (Taulukko 19).

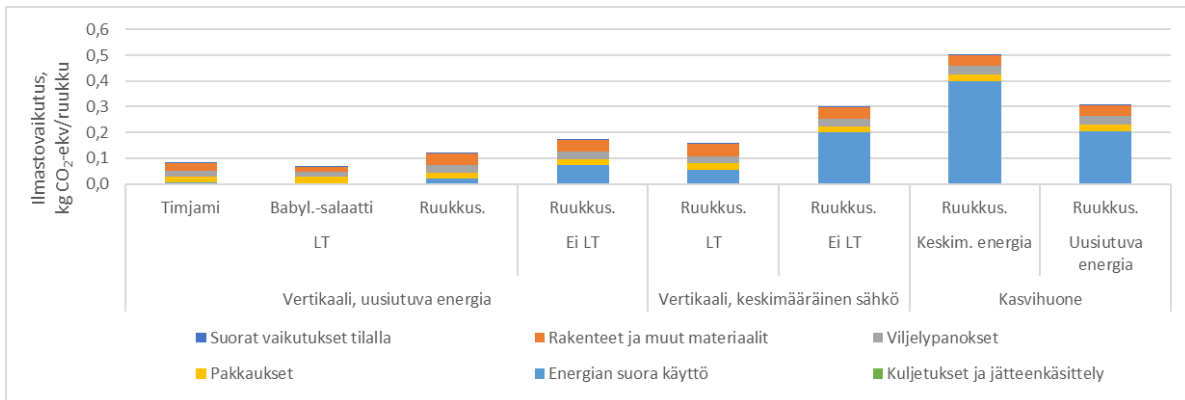
Taulukko 18. Ympäristövaikutusten pieneneminen kasvihuoneviljelyssä, kun tuotannossa käytetään LED-valotusta. Vaikutusta ravinnejalanjälkeen ja hävikkiin ei huomioitu.

	Ruukkusalaatti, kasvihuone, keskimääräinen sähkö ja lämpö	Ruukkusalaatti, kasvihuone, uusiutuva energia
Ilmastonmuutosvaikutus	-19 %	-27 %
Rehevöittävä vaikutus	-31 %	-28 %
Ekotoksinen vaikutus	-13 %	-5 %
Kumulatiivinen energiankäyttö	-27 %	-28 %
Uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö, fossiilinen energia	-31 %	-36 %
Uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö, mineraalit ja metallit	-25 %	-25 %
Maankäyttö	-15 %	-11 %
Vesiniukkuusvaikutus	-32 %	-34 %

Energiankäytön lisäksi suurin yksittäinen tuloksiin vaikuttava tekijä oli satotaso. Tämä oli selkeästi nähtävissä siinä, että pienempisatoisilla timjamilla ja babyleaf-salaatilla

ympäristövaikutukset olivat suhteessa tuotekiloon yleisesti suurempia kuin ruukkusalaatilla. Hyvän satotason ylläpito ja energiankäytön optimointi ovatkin merkittävimmät keinot hallita ympäristövaikutuksia sekä vertikaali- että kasvihuoneviljelyssä.

Salaatin- ja yrtinviljelyn ympäristövaikutustulokset on tämän raportin edellisessä luvussa esitetty suhteessa kiloon kasvin syötävää osaa, mutta niitä voi olla tarpeen tarkastella myös kohdennettuna muille toiminnallisille yksiköille, kuten yhdelle kuluttajamyyntipakkaukselle, tässä tapauksessa yhdelle yrtti- tai salaattiruukulle. Vaikka timjamin ja babyleaf-salaatin ympäristövaikutukset olivatkin monen vaikutusluokan osalta suuria suhteutettuna satokilolle, suhteessa myytävään pakkauskokoon (yrtti- tai salaattiruukku) niiden vaikutukset ovat pienempiä kuin ruukkusalaateilla. Kuvassa 21 ilmastonmuutosvaikutus on suhteutettu pakkauskokoon. Myös muut vaikutusluokkatulokset olivat samankaltaisia.



Kuva 21. Ilmastonmuutosvaikutus ruukkusalaatin- ja -yrtinviljelyssä, suhteutettuna pakkauskokoon, (kpl yrtti- tai salaattiruukku). Ruukkus. = ruukkusalaatti, LT = lämmön talteenotto, ei LT = ei lämmön talteenottoa. Pakkauksessa tuotteen syötävää osaa timjamilla 25 g, babyleaf-salaatilla 20 g, vertikaaliviljelyllä ruukkusalaatilla 120 g ja kasvihuoneessa viljelyllä ruukkusalaatilla 150 g. Kolme vasenta pylvästä (ruukkuyrtti ja salaattit lämmön talteenotolla) perustuvat tässä työssä mukana olleen viljelijän tietoihin (ei skenaario). Muut ovat skenaariotuloksia.

Samoin kuin marjoilla myös salaatin- ja yrtinviljelyssä lannoitus perustui pitkälti väkilannoite-ravinteisiin. Kiertotalouden näkökulmasta voisi jatkossa pohtia, olisiko mahdollista ottaa käyttöön enemmän kierrätyslannoitteita. Tulosten perusteella näytti myös siltä, että suuri osa lannoitteissa käyttöön otetuista ravinteista päätyi kasvualustaan, jotka päätyvät viljelyn jälkeen kompostoinnin kautta pellolle. Ei ole selvää, kuinka suuri osa näistä ravinteista lopulta päätyy muiden viljelykasvien käyttöön. Samoin kuin marjoilla kasvualustojen tehokkaampi kierrätys uusien kasvualustojen tai kierrätyslannoitteiden raaka-aineeksi varmistaisi ravinteiden tehokkaamman hyötykäytön.

Aiemmissa kansainvälisissä tutkimuksissa erityisesti maan ja veden käyttöä on kasvihuone- ja vertikaaliviljelyn arvioitu usein vain itse tilalla tapahtuvan viljelyn osalta. Tämän hankkeen tulosten perusteella voidaan kuitenkin sanoa, että suurin osa tuotannon elinkaarisesta maan- ja vedenkäytöstä tapahtuu tilan ulkopuolella tuotantoketjun muissa vaiheissa, kuten energian ja muiden viljelypanosten tuotannossa. Maankäytöllä ja kasteluveden käytöllä onkin pieni osuus koko ketjun maankäytön ja vesiniukkuusvaikutuksesta. Jos siis halutaan kehittää tuotantoa maapinta-alaa ja vesiresursseja säästävämpään suuntaan Suomessa, on paljon tärkeämpää optimoida muiden tuotantopanosten kuin maan tai veden suoraa käyttöä tilalla. On kuitenkin huomioitava kastelun ja maankäytön optimoimisen vaikutus satotasoon ja sitä kautta muihin ympäristövaikutusluokkiin.

4.10. Jatkotutkimustarpeet

Puutarhakasvien tuotantomenetelmät uudistuessa tuotantotapojen elinkaaristen ympäristövaikutusten tiedostaminen ja tunnistaminen on tärkeä askel puutarhatuotannon kestävyysedistämiseksi. PuutarhaLCA-hankkeessa arvioitiin puutarhatuotannon ympäristövaikutuksia marjanviljelyyn siirtyessä avomaalta tunneliin sekä ruokkuvihannesten siirtyessä kasvihuone- tuotannosta vertikaaliviljelyyn, ensimmäistä kertaa näin laajasti niin Suomessa kuin kansainvälisestikin. Tulosten perusteella erityisesti hyvä satotaso ja tuotantopanosten käytön tehostaminen pienentävät puutarhatuotannon ympäristövaikutuksia. Myös energiankäytön optimointi ja uusiutuvien energianlähteiden käyttö vähentävät päästöjä. Työssä nousi esille asioita, joita tulisi vielä jatkossa tutkia tarkemmin:

- Marjanviljelyssä käytetään erityyppisiä taimia riippuen viljelytekniikasta. Käytetyn taimityypin merkityksestä lopulliseen ympäristövaikutukseen on saatavilla kuitenkin hyvin vähän tietoa.
- Marjoilla satotaso, mutta myös lannoitustarve on osittain lajikekohtaista. Lajikevalinnan merkityksestä ympäristövaikutuksiin tarvitaan lisätutkimusta.
- Kotimaisia ja tuontituotteita vertailevaa tutkimusta tulisi tehdä lisää.
- Kasvualustojen kierrätysmahdollisuuksista, jatkokäytöstä sekä näiden ympäristövaikutuksista tarvitaan lisätietoa.
- Tunnelituotannon ylivuotovesien ravinnehuuhtoumien merkityksestä ei ole julkaistua tutkimusta.
- Kasvihuonetuotannon ravinnehuuhtoumista on vielä vähän tietoa. Tarvitaan jatkotutkimusta.
- Tietoa tulisi saada viljelyyn liittyvistä epäsuorista tekijöistä, esim. panosten alkuperästä ja tuotantotavasta. Lisäksi tätä tietoa tulisi hyödyntää jakamalla tietoa viljelijöille, miten viljelijä voi itse vaikuttaa itse tuotantopanosten vaikutuksiin.
- Erilaisten pakkausten ympäristövaikutuksista tulisi saada kattavaa tietoa.
- Kuluttajakäyttäytymistä on tärkeää tutkia ja kuluttajaviestintää selkeyttää. Esim. miten paljon viljelijän kannattaa panostaa ympäristöviestintään, jotta saa lisäarvoa tuotteilleen kuluttajilta.
- Kausityövoiman matkustukseen ja majoitukseen liittyviä ympäristövaikutuksia tulisi laajemmin tutkia. Myös kausityövoiman saatavuutta tulisi kehittää, esim. jos satoa tulee hyvin, mutta sitä ei voida poimia kausityövoiman riittämättömyyden vuoksi, myös hävikkiä tulee ja ympäristövaikutukset ovat suuremmat.
- Huoltovarmuuden varmistamiseksi lyhytaikaisten viljelypanosten riittävyyttä tulee arvioida kriittisesti ja kehittää toimitusketjuja arvion mukaisesti.

5. Yhteenveto

Puutarhakasvien tuotantomenetelmien uudistuessa on tärkeää arvioida myös niiden ympäristövaikutuksia. Elinkaaristen ympäristövaikutusten tunnistaminen auttaa kohdentamaan toimenpiteet siihen osaan tuotantoketjua, jolla voidaan parhaiten edistää puutarhatuotannon kestävyttä. PuutarhaLCA-hankkeessa arvioitiin puutarhatuotannon ympäristövaikutuksia marjanviljelyyn siirtyessä avomaalta tunneliin ja ruukkuvihannestuotannon siirtyessä kasvihuonetuotannosta vertikaaliviljelyyn. Pääsääntöisesti lasketut ympäristövaikutukset olivat samaa suuruusluokkaa aiempien suomalaisten ja kansainvälisten tutkimusten kanssa (Taulukot 15–16). Elinkaariarviointi menetelmänä kohdistuu kuitenkin tiettyyn tuotantojärjestelmään ja sen rajauksiin, joten tulosten suora vertailu ei ole aina tarkoituksenmukaista.

Tulosten perusteella erityisesti hyvä satotaso ja tuotantopanosten käytön tehostaminen pienentävät puutarhatuotannon ympäristövaikutuksia. Marjojen avomaan- ja tunneliviljelyyn välillä ei ole selkeästi eroa suurimmalla osalla hankkeessa lasketuista ympäristövaikutuksista. Marjanviljelyssä siirtyminen avomaalta tunneliin pienentää tuotannossa käytettyjen kasvin-suojeluaineiden käyttöä, maankäyttöä ja hävikkiä. Lisäksi vadelmalla rehevöittävä vaikutus pienenee. Marjojen vesiniukkuusvaikutuksesta merkittävä osa muodostuu kasvualustan tuotannosta.

Salaatin ja yrttien vertikaaliviljelyllä on mahdollista pienentää monia ympäristövaikutuksia verrattuna kasvihuoneviljelyyn. Jotta tämä olisi mahdollista, vaaditaan tarkkaa energiankäytön optimointia ja uusiutuvien energianlähteiden käyttöä. Toisaalta pitää myös muistaa, että kasvihuoneviljelyssäkin ympäristövaikutuksia voidaan selvästi pienentää siirtymällä uusiutuvan energian käyttöön ja pienentämällä kokonaisenergiankulutusta esim. LED-valaisinten avulla. On myös huomioitavaa, että kastelu Suomessa aiheuttaa vain pienen osuuden koko marjaketjujen vesiniukkuusvaikutuksesta. On myös huomioitava, että ruukkusalaatti- ja -yrttituotannon maankäytön- ja vesiniukkuusvaikutuksesta vain pieni osa muodostuu Suomessa itse viljelystä esimerkiksi kastelusta.

Tulosten yhteenveto on kuvattu marjojen osalta taulukoissa 19 ja ruukkusalaatin osalta taulukossa 20.



Kuva 22. Mansikan ja vadelman hyvä satotaso ja tuotantopanosten tehostettu käyttö pienentävät tuotannon ympäristöjalanjälkeä. Kuvat Kati Rikala/ Luke.

Taulukko 19. Ympäristövaikutusten muutos marjanviljelyyn siirtyessä avomaalta tunneliin.

	Ympäristövaikutus pysyy samalla tasolla	Ympäristövaikutus pienenee
Mansikka	Ilmastonmuutosvaikutus	Kemiallisten kasvinsuojeluaineiden käyttö
	Rehevöittävä vaikutus	Maankäyttö
	Ekotoksinen vaikutus	Hävikki
	Kumulatiivinen energiankäyttö	
	Uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö, fossiilinen energia	
	Uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö, mineraalit ja metallit	
	Ravinteiden hyötykäyttöaste	
	Vesiniukkuusvaikutus	
Vadelma	Ilmastonmuutosvaikutus	Rehevöittävä vaikutus
	Ekotoksinen vaikutus	Kemiallisten kasvinsuojeluaineiden käyttö
	Kumulatiivinen energiankäyttö	Maankäyttö
	Uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö, fossiilinen energia	Hävikki
	Uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö, mineraalit ja metallit	
	Ravinteiden hyötykäyttöaste	
	Vesiniukkuusvaikutus	

*Hyväsatoiset lohkot



Kuva 23. Vertikaali- ja kasvihuoneviljelyn ympäristövaikutuksia voidaan pienentää siirtymällä uusiutuvan energian käyttöön ja pienentämällä kokonaisenergiakulutusta. Kuvat Kati Rikala, Titta Kotilainen/Luke.

Taulukko 20. Ympäristövaikutusten muutos ruukkusalaatinviljelyn siirtyessä kasvihuoneesta vertikaaliin skenaariotarkasteluissa, kun tuotannossa otetaan tai ei oteta lämpöä talteen ja käytetään suomalaista keskimääräistä sähkön päästökerrointa. Ruukkuyrteillä ei tehty skenaariotarkastelua kahden eri tuotantomuodon välillä.

	Ympäristövaikutus pysyy samalla tasolla	Ympäristövaikutus pienenee
Ruukkusalaatti, uusiutuva sähkö, lämmön talteenotto	Ravinteiden hyötykäyttöaste	Ilmastonmuutosvaikutus
	Hävikki	Rehevöittävä vaikutus
		Ekotoksinen vaikutus
		Kumulatiivinen energiankäyttö
		Uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö, fossiilinen energia
		Uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö, mineraalit ja metallit
		Maankäyttö
Ruukkusalaatti, ei lämmön talteenottoa, keskimääräinen sähkö		Vesiniukkuusvaikutus
	Ilmastonmuutosvaikutus	Ekotoksinen vaikutus
	Rehevöittävä vaikutus	Kumulatiivinen energiankäyttö
	Uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö, mineraalit ja metallit	Uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö, fossiilinen energia
	Ravinteiden hyötykäyttöaste	Maankäyttö
	Hävikki	
Vesiniukkuusvaikutus		

Viitteet

- Anderson, J. 2010. LED-valaistus kasvihuoneisiin. Opinnäytetyö, Sähkötekniikan korkeakoulu, Aalto-yliopisto. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201203131458>
- Antón, A., Torrellas, M., Montero, J.I., Ruijs, M., Vermeulen, P. & Stanghellini, C. 2012. Environmental impact assessment of Dutch tomato crop production in a Venlo glasshouse. *Acta Horticulturae* 927: 781–91. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.927.97>
- Audsley, E., Brander, M., Chatterton, J.C., Murphy-Bokern, D., Webster, C. & Williams, A.G. 2010. How low can we go? An assessment of greenhouse gas emissions from the UK food system and the scope reduction by 2050. Report for the WWF and food climate research network. Report. <http://dspace.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/6503>
- Avgoustaki, D.D. & Xydis, G. 2020. How energy innovation in indoor vertical farming can improve food security, sustainability, and food safety? *Advances in Food Security and Sustainability* 5: 1-51. <https://doi.org/10.1016/bs.af2s.2020.08.002>
- Bartzas, G., Zaharaki, D. & Komnitsas, K. 2015. Life cycle assessment of open field and greenhouse cultivation of lettuce and barley. *Information Processing in Agriculture* 2: 191–207. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2015.10.001>
- Bell, E.M., Stokes-Draut, J.R. & Horvath, A. 2018. Environmental evaluation of high-value agricultural produce with diverse water sources: Case study from Southern California". *Environmental Research Letters* 13: 025007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa49a>
- Boulard, T., Raeppe, C., Brun, R., Lecompte, F., Hayer, F., Carmassi, G. & Gaillard, G. 2011. Environmental impact of greenhouse tomato production in France. *Agronomy for Sustainable Development* 31: 757. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0031-3>
- Boulay, A.-M., Bare, J., Benini, L., Berger, M., Lathuillière, M.J., Manzardo, A., Margni, M., Motoshita, M., Núñez, M., Pastor, A.V., Ridoutt, B., Oki, T., Worbe, S. & Pfister, S. 2018. The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: Assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). *The International Journal of Life Cycle Assessment* 23: 368–78. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1333-8>
- Dijkman, T.J., Birkved, M. & Hauschild, M.Z. 2012. PestLCI 2.0: a second generation model for estimating emissions of pesticides from arable land in LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment* 17: 973-986. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0439-2>
- EC-JRC 2012. Characterisation factors of the ILCD Recommended Life Cycle Impact Assessment methods. Database and supporting information. First edition. EUR 25167. Publications Office of the European Union. Luxembourg: European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/LCIA-characterization-factors-of-the-ILCD.pdf>
- Fantke, P., Antón, A., Grant, T. & Hayashi, K. 2017. Pesticide emission quantification for life cycle assessment: a global consensus building process. *Journal of Life Cycle Assess.* 13: 245–251. https://www.jstage.jst.go.jp/article/lca/13/3/13_245/pdf

- Fazio, S., Biganzioli, F., de Laurentiis, V., Zampori, L., Sala, S. & Diaconu, E. 2018. Supporting Information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment Methods: Version 2, from ILCD to EF 3.0. Ispra: European Commission. Joint Research Centre. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/002447>
- Foster, C., Guében, C., Holmes, M., Wiltshire, J. & Wynn, S. 2014. The environmental effects of seasonal food purchase: A raspberry case study. *Journal of Cleaner Production* 73: 269–274. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.077>
- Frankowska, A., Jeswani, H.K. & Azapagic, A. 2019. Life Cycle Environmental Impacts of fruits consumption in the UK. *Journal of Environmental Management* 248: 109111. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.012>
- Gentil, C., Basset-Mens, C., Manteaux, S., Mottes, C., Maillard, E., Biard, Y. & Fantke, P. 2020. Coupling pesticide emission and toxicity characterization models for LCA: Application to open-field tomato production in Martinique. *Journal of Cleaner Production* 277: 124099. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124099>
- Girgenti, V., Peano, C., Baudino, C. & Tecco, N. 2014. From “Farm to Fork” strawberry system: Current realities and potential innovative scenarios from life cycle assessment of non-renewable energy use and green house gas emissions”. *Science of The Total Environment* 473–474: 48–53. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.133>
- Girgenti, V., Peano, C., Bounous, M. & Baudino, C. 2013. A life cycle assessment of non-renewable energy use and greenhouse gas emissions associated with blueberry and raspberry production in northern Italy. *Science of The Total Environment* 458–460: 414–18. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.04.060>
- Graamans, L., Esteban Baeza, E., van den Dobbelsteen, A., Tsafaras, I. & Stanghellini, C. 2018. Plant factories versus greenhouses: Comparison of resource use efficiency. *Agricultural Systems* 160: 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.11.003>
- Grönman, K., Ypyä, J., Virtanen, Y., Kurppa, S., Soukka, R., Seuri, P., Finér, A. & Linnanen, L. 2016. Nutrient footprint as a tool to evaluate the nutrient balance of a food chain. *Journal of Cleaner Production* 112: 2429–2440. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.-2015.09.129>
- Gunady, M.G.A., Biswas, W., Solah, V.A., & James, A.P. 2012. Evaluating the global warming potential of the fresh produce supply chain for strawberries, romaine/cos lettuces (*Lactuca sativa*), and button mushrooms (*Agaricus bisporus*) in Western Australia using life cycle assessment (LCA). *Journal of Cleaner Production* 28: 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.031>
- Hallikainen, E. 2019. Life cycle assessment on vertical farming. Master’s thesis. Master’s Programme in Water and Environmental Engineering (WAT), Aalto University, School of Engineering. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201902031520>
- Hartikainen, H., Kuisma, M., Pinolehto, M., Räikkönen, R. & Kahiluoto, H. 2014. Ruokahävikki alkutuotannossa ja elintarvikejalostuksessa. MTT Raportti 170. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-577-6>

- Heijungs, R., Guinée, J.B., Huppes, G., Lankreijer, R.M., Udo de Haes, H.A., Wegener Sleeswijk, A., Ansems, A.M.M., Eggels, P.G., van Duin, R. & de Goede, H.P. 1992. Environmental life cycle assessment of products. Leiden: Centre of Environmental Science.
<https://hdl.handle.net/1887/8061>
- Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V. & Regina, K. 2013. Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009. *Global Change Biology* 19: 1456–69.
<https://doi.org/10.1111/gcb.12137>
- Hischier R., Weidema B., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Frischknecht R., Hellweg S., Humbert S., Jungbluth N., Köllner T., Loerincik Y., Margni, M. & Nemecek T. 2010. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report 3, v2.2. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Hospido, A., Milà 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. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 14: 381–391.
<https://doi.org/10.1007/s11367-009-0091-7>
- Ilari, A., Toscano, G., Boakye-Yiadom, K.A., Duca, D. & Foppa Pedretti, E. 2021. Life cycle assessment of protected strawberry productions in Central Italy. *Sustainability* 13: 4879.
<https://doi.org/10.3390/su13094879>
- IPCC 2013. Supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: wetlands. Hiraiishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. & Troxler, T.G. (eds.). IPCC, Switzerland.
- ISO. 2006a. ISO 14040:2006. Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework. <https://www.iso.org/standard/37456.html>
- ISO. 2006b. ISO 14044:2006. Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines. <https://www.iso.org/standard/38498.html>
- ISO. 2014. ISO 14046:2014 Environmental management –water footprint – principles, requirements and guidelines. Geneva: International Organisation for Standardisation.
- Joensuu, K., Hartikainen, H., Karppinen, S., Jaakkonen, A.-J. & Kuoppa-aho, M. 2021. Developing the collection of statistical food waste data on the primary production of fruit and vegetables. *Environmental Science and Pollution Research* 28: 24618–24627.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-09908-5>
- Joensuu, K., Pulkkinen, H., Kurppa, S., Ypyä, J. & Virtanen, Y. 2019. Applying the nutrient footprint method to the beef production and consumption chain. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 24: 26–36. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1511-3>
- Katzin, D., Marcelis, L.F.M. & van Mourik, S. 2021. Energy savings in greenhouses by transition from high-pressure sodium to LED lighting. *Applied Energy* 281: 116019.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116019>
- Keutgen, A.J. & Pawelzik, E. 2009. Impacts of NaCl stress on plant growth and mineral nutrient assimilation in two cultivars of strawberry. *Environmental and Experimental Botany* 65: 170–176. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.08.002>

- Khoshnevisan, B., Rafiee, S. & Mousazadeh, H. 2013. Environmental impact assessment of open field and greenhouse strawberry production. *European Journal of Agronomy* 50: 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.05.003>
- Khoshnevisan, B., Shariati, H.M., Rafiee, S. & Mousazadeh, H. 2014. Comparison of energy consumption and GHG emissions of open field and greenhouse strawberry production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29: 316–324. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.098>
- Kikuchi, Y., Kanematsu, Y., Yoshikawa, N., Okubo, T. & Michiko Takagaki, M. 2018. Environmental and resource use analysis of plant factories with energy technology options: A case study in Japan". *Journal of Cleaner Production* 186: 703–717. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.110>
- Koivisto, R., Kostamo, J., Laine, E. & Notkonen, J. 2018. Virolan puutarhan energia- ja sivuvirtaselvitys. Kestävä kehitys -koulutusohjelma, Uusiutuvat energiamuodot-opintomoduuli, Hämeen ammattikorkeakoulu.
- Kauppapuutarhaliitto ry 2023. Tietoa kasvihuonealasta. <https://kauppapuutarhaliitto.fi/tietoa-kasvihuonealasta/vihannesten-viljely-kasvihuoneissa/salaatit-ja-yrtit/> Viitattu 2.2.2023.
- KTBL 2018. Verfahrensrechner Pflanze. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. <https://daten.ktbl.de/vrpflanze/home.action>. Viitattu 18.6.2023.
- Li, L., Li, X., Chong, C., Wang, C.-H. & Wang, X. 2020. A decision support framework for the design and operation of sustainable urban farming systems. *Journal of Cleaner Production* 268: 121928. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121928>
- Lillywhite, R., Firth, C. & Schmutz, U. 2007. Environmental footprint and sustainability of horticulture (including potatoes) -a comparison with other agricultural sectors final report produced for the department for environment, food and rural affairs. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19874.89280>
- Luonnonvarakeskus, 2023a. Puutarhatilastot: Puutarhatuotanto avomaalla ja kasvihuoneessa. <https://www.luke.fi/fi/tilastot/puutarhatilastot/puutarhatilastot-2022>. Viitattu 29.6.2023.
- Luonnonvarakeskus, 2023b. Tilastot: Kasvinsuojeluaineiden käyttö maataloudessa Suomessa. <https://www.luke.fi/fi/tilastot>. Viitattu 22.5.2023.
- Machin Ferrero, L.M., Araujo, P.Z., Nishihara Hun, A.L., Valdeón, D.H. & Mele, F.D. 2021. Water footprint assessment of lemon and its derivatives in Argentina: a case study in the province of Tucumán. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 26: 1505–1519.
- Mavi 2008. Ravinnetaseet - Ympäristötuen lisätoimenpide lannoituksen ja sadon ravinnemäärän seurantaan. Mavi, Seinäjoki.
- Mikkola, H.J. & Ahokas, J. 2009. Energy ratios in Finnish agricultural production. *Agricultural and Food Science* 18: 332–346.
- Müller Carneiro, J., Dias, A.F., Barros, V.D. Giongo, V., Folegatti Matsuura, M.S. & Brito de Figueirêdo, M.C. 2019. Carbon and water footprints of Brazilian mango produced in the semi-arid region. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 24: 735–752. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1527-8>

- BSI (British Standards Institution) 2008. PAS (Publicly available specification) 2050, Specifications for the assessment of the life-cycle assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. Technical author Graham Sinden, UK. p. 36
http://www.carbonconstruct.com/pdf/pas_2050.pdf
- Peano, C., Baudino, C., Tecco, N. & Girgenti, V. 2015. Green marketing tools for fruit growers associated groups: application of the Life Cycle Assessment (LCA) for strawberries and berry fruits ecobranding in northern Italy. *Journal of Cleaner Production* 104: 59–67.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.087>
- Pena, N., Knudsen, M.T., Fantke, P., Antón, A. & Hermansen, J.E. 2019. Freshwater ecotoxicity assessment of pesticide use in crop production: Testing the influence of modeling choices. *Journal of Cleaner Production* 209: 1332–1341. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.257>
- Romero-Gómez, M., Audsley, E. & Suárez-Rey, E.M. 2014. Life cycle assessment of cultivating lettuce and escarole in Spain. *Journal of Cleaner Production* 73: 193–203.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.053>
- Romero-Gómez, M. & Suárez-Rey, E.M. 2020. Environmental footprint of cultivating strawberry in Spain. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 25: 719–32.
<https://doi.org/10.1007/s11367-020-01740-w>
- Rosenbaum, R., Bachmann, T., Gold, L., Huijbregts, M., Jolliet, O., Juraske, R., Koehler, A., Larsen, H.F., MacLeod, M., Margni, M., McKone, T.E., Payet, J., Schumacher, M., van de Meent, D. & Hauschild, M.Z. 2008. USEtox – the UNEP/SETAC-consensus model: recommended characterization factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in Life Cycle Impact Assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 13: 532–546
- Ruokavirasto 2022. Täydentävien ehtojen opas 2022. <https://www.ruokavirasto.fi/viljelijat/op-paat/hakuoppaat/taydentavien-ehdojen-opas/taydentavien-ehdojen-opas-2022/>. Viitattu 6.2.2023.
- Russo, V., Strever, A.E. & Ponstein, H.J. 2021. Exploring sustainability potentials in vineyards through LCA? Evidence from farming practices in South Africa. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 26: 1374–1390.
- Ruutiainen, I. 2004. Vadelman viljely. Puutarhaliiton julkaisuja nro 330. 363 s. ISBN 951-8942-59-5.
- Räsänen, K., Saarinen, M., Kurppa, S., Silvenius, F., Riipi, I., Nousiainen, R., Erälinna, L., Mattinen, L., Jaakkola, S., Lento, S. & Mäkinen-Hankamäki, S. 2014. Lähiruuan ekologisten vaikutusten selvitys. MTT Raportti 145. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-538-7>
- Saarinen, M., Sinkko, T., Joensuu, K., Silvenius, F. & Ratilainen, A. 2014. Ravitsemus ja maape-rävaikutukset ruoan elinkaariarvioinnissa: SustFoodChoice-hankkeen loppuraportti. MTT Raportti 186. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/482916>
- Saarinen, M., Virtanen, Y. & Hyvärinen, H. 2012. LCAs for a large repertoire of Finnish outdoor plant products. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/480168>

- Sampaio, A.P.C., Silva, A.K.P., de Amorim, J.R.A., Santiago, A.D., de Miranda, F.R., Barros, V.S., Sales, M.C.L. & de Figueirêdo, M. 2021. Reducing the carbon and water footprints of Brazilian green coconut. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 26: 707–723. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01871-8>
- Seppälä, J., Knuutila, S. & Silvo, K. 2004. Eutrophication of aquatic ecosystems a new method for calculating the potential contributions of nitrogen and phosphorus. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 9: 90. <https://doi.org/10.1007/BF02978568>
- Shiina, T., Hosokawa, D., Roy, P., Nakamura, N., Thammawong, M. & Orikasa, T. 2011. Life cycle inventory analysis of leafy vegetables grown in two types of plant factories. *Acta Horticulturae* 919: 115–122. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.919.14>
- Silvenius, F., Usva, K. Katajajuuri, J.-M. & Jaakkonen, A.-K. 2019. Kasvihuonetuotteiden ilmastovaikutuslaskenta ja vesijalanjälki. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 82/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 25 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-872-2>
- Silvenius, F., Kurppa, S., Tauriainen, J., Nousiainen, J. & Hietala, S. 2015. Lähiruokat julkisissa hankinnoissa – ympäristövaikutukset hankintakriteereinä. *Kestävät Hankinnat -hankkeen case-elinkaariarviointeja koskeva raportti*. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 42 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-018-4>
- Soode, E., Lampert, P., Weber-Blaschke, G. & Richter, K. 2015. Carbon footprints of the horticultural products strawberries, asparagus, roses and orchids in Germany. *Journal of Cleaner Production* 87: 168–179. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.035>
- Soode-Schimonsky, E., Richter, K. & Weber-Blaschke, G. 2017. Product environmental footprint of strawberries: case studies in Estonia and Germany. *Journal of Environmental Management* 203: 564–577. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.090>
- 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* 46: 3253–3262. <https://doi.org/10.1021/es2030577>
- Tabatabaie, S.M.H. & Murthy, G.S. 2016. Cradle to farm gate life cycle assessment of strawberry production in the United States. *Journal of Cleaner Production* 127: 548–554. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.175>
- Tukes. 2023. Vesistörajoitukset. <https://tukes.fi/vesistorajoitus>. Viitattu 6.2.2023.
- University of Hertfordshire, 2023a. PPDB: Pesticide Properties DataBase. <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>. Viitattu 16.4.2023.
- University of Hertfordshire, 2023b. BPDB: Bio-Pesticides DataBase. <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/bpdb/>. Viitattu 16.4.2023.
- Valiante, D., Ilaria Sirtori, I., Cossa, S., Corengia, L., Pedretti, M., Cavallaro, L., Vignoli, L., Galvagni, A., Gomarasca, S., Pesce, G.R., Boccardelli, A., Orsi, L., Lovarelli, D., Facchinetti, D., Pessina, D. & Bacenetti, J. 2019. Environmental impact of strawberry production in Italy and Switzerland with different cultivation practices. *Science of The Total Environment* 664: 249–261. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.046>

- Vázquez-Rowe, I., Torres-García, J.R., Cáceres, A.L., Larrea-Gallegos, G., Quispe, I. & Kahhat, R. 2017. Assessing the magnitude of potential environmental impacts related to water and toxicity in the Peruvian hyper-arid coast: A case study for the cultivation of grapes for pisco production. *Science of the Total Environment* 601–602: 532–542.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.221>
- Venkat, K. 2012. Comparison of twelve organic and conventional farming systems: A life cycle greenhouse gas emissions perspective. *Journal of Sustainable Agriculture* 36: 620–649.
<https://doi.org/10.1080/10440046.2012.672378>
- Villanueva-Rey, P., Quinteiro, P., Vázquez-Rowe, I., Rafael, S., Arroja, L., Moreira, M.T., Feijoo, G. & Dias, A.C. 2018. Assessing water footprint in a wine appellation: A case study for Ribeiro in Galicia, Spain. *Journal of Cleaner Production* 172: 2097–2107.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.210>
- VTT Teknologian tutkimuskeskus Oy. 2017. LIPASTO Liikennevälineiden yksikköpäästökertoimet. <http://lipasto.vtt.fi/>
- Warner, D.J., Davies, M., Hipps, N., Osborne, N., Tzilivakis, J. & Lewis, K.A. 2010. Greenhouse gas emissions and energy use in UK-grown short-day strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch) crops. *The Journal of Agricultural Science* 148: 667–681.
<https://doi.org/10.1017/S0021859610000493>
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E. & Weidema, B. 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *International Journal of Life Cycle Assessment* 21: 1218–1230. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1087-8>
- Wildeman, R. 2020. Vertical Farming: A future perspective or a mere conceptual idea? A comprehensive life cycle analysis on the environmental impact of a vertical farm compared to rural agriculture in the US. Essay (Master). Faculty of Engineering Technology, University of Twente. <http://essay.utwente.nl/83529/>
- Wood, C.A., Smith, A.M. & Anderson, M.M. 1962. Quantities and composition of crop materials removed from an established raspberry plantation. *Horticulture Research* 1: 85–94.
- Ypyä, J., Grönman, K., Virtanen, Y., Seuri, P., Soukka, R. & Kurppa, S. 2015. Menetelmäkuvaus ravinnejalanjäljen laskemiseksi. Laskentaesimerkinä elintarvikeketju. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2015. Luonnonvarakeskus. Helsinki.
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-008-5>
- Yrjänäinen, H., Silvenius, F., Kaukoranta, T., Näkkilä, J., Särkkä, L. & Tuhkanen, E.-M. 2013. Kasvihuonetuotteiden ilmastovaikutuslaskenta. MTT Raportti 83.
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-434-2>
- von Zabeltitz, C. 2010. Integrated greenhouse systems for mild climates: Climate conditions, design, construction, maintenance, climate control. Heidelberg: Springer Berlin. 363 s.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-14582-7>
- Zhang, H., Burr, J. & Zhao, F. 2017. A comparative life cycle assessment (LCA) of lighting technologies for greenhouse crop production. *Journal of Cleaner Production* 140: 705–713.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.014>

Liitteet

Liite 1. Materiaalien valmistuksen taustatiedot marjantuotannossa

Taulukko 21. Marjantuotannon muovipohjaisten materiaalien valmistuksen ympäristövaikutusten mallinnuksessa käytetyt tiedot ja rakenteiden taustatiedot.

Materiaali	Paino	Käyttöikä, v	Tietolähde
Maanpeitekate, kangas, PP	0,10 kg/m ²	10–30	Jarvenkyla.fi. Viitattu 31.8.2023. https://jarvenkyla.fi/fi/category/katekankaat/44
Maanpeitekate, kalvo, LDPE	0,06 kg/m ²	4–15	K-Rauta. 2023. Viitattu 2.2.2023 https://www.k-rauta.fi/tuote/mansikkamuovi-lamu-musta-1x20m-961124/6416040030404
Kasvuharso, PP	0,02 kg/m ²	2–10	RHS. 2023. Viitattu 2.2.2023 https://www.rhs.org.uk/advice/profile?pid=906
Ruukut, PP, tunneliviljelyssä	0,20–0,70 kg/kpl	10–40	Beekenkamp. 2023. Viitattu 2.2.2023 https://www.beekenkamp.nl/verpakkingen/en/product/7-litre-square-pot/ Bato 2023. Viitattu 2.2.2023 https://www.bato.nl/en/products/substrate-troughs/meter-trough-wave/meter-trough-wave-black/ All4Plants. 2023. Viitattu 2.2.2023 https://www.all4plants.com/en/bato-square-pot-12-liter-245-x-245-x-30-cm/p3872#description
Tunnelin kate-muovi, LDPE	0,14–0,19 kg/m ²	5–10	Visqueen. 2023. Viitattu 2.2.2023 https://visqueen.com/products/clear-temporary-protective-sheeting-tps
Kasteluletkut, PE/PP/PVC	0,01–0,53 kg/m	4–20	Rivulis. 2019 Pro-Flat. https://rivulis.com/products/lay-flat-pipes/pro-flat/Rivulis_ProFlat_English_US_20190512_Web.pdf Netafim. 2023. Viitattu 2.2.2023. https://www.netafim.com/49209a/globalassets/products/drippers-and-dripperlines/uniram/new-product-sheets/uniram-cn1-product-sheet.pdf Amazon. 2023. Viitattu 2.2.2023. https://www.amazon.de/-/en/Siplast-Irrigation-connecting-Systems-Polypropylene/dp/B00ZFMJFB8?th=1
Rakenne/ materiaali			
Tunnelirakenteet, teräs	2,5 kg/m ²	25–30	Haygrove tunnelien toimittaja, Suomi
Tunnelin pöydät, teräs	2,6 kg/m ²	25–30	Haygrove tunnelien toimittaja, Suomi
Kastelujärjestelmä, tunneli ja avomaa*	0,007 kg/m ²	25–30	Ecoinvent 3-tietokanta

* Ei sisällä kasteluletkuja

Liite 2. Materiaalien valmistuksen taustatiedot kasvihuone- ja vertikaalituotannossa

Taulukko 22. Kasvihuone- ja vertikaalituotannon rakenteiden taustatiedot.

Rakenne/materiaali	Käyttömäärä	Käyttöikä, v	Tietolähde
Runkorakenteet ja perustukset, kasvihuone ja vertikaali	Vertikaali 45 kg/m ² , kasvihuone 55 kg/m ²	25	Ecoinvent -tietokanta, Boulard ym. (2011)
Kasvihuoneen lasikate	11 kg/m ²	25	Ecoinvent-tietokanta, Boulard ym. (2011)
Vertikaalin seinä- ja kattopaneelit	Pinta-ala 6,3 m ² /m ² , neliöpaino 12 kg/m ²	25	Pinta-ala tilalta saatu tieto, neliöpaino valmistajalta*, käyttöikä oletus, sama kuin muut rakenteet
Osastokehikkorakenteet, teräs, kasvihuone ja vertikaali	Vertikaali 7,5 kg/m ² , kasvihuone 2,5 kg/m ²	25	Paino KAO, käyttöikä oletus, sama kuin muut rakenteet, LCA prosessitiedot Ecoinvent-tietokanta
Sähköjohdot, kasvihuone ja vertikaali	Pituus vertikaali 0,8 m/m ² , kasvihuone 0,3 m/m ² , paino 0,12 kg/m	20	Pituus KAO, paino Finnparttia sähkötukku **, käyttöikä oletus, LCA prosessitiedot Ecoinvent-tietokanta
Salaattikouru, PVC, kasvihuone ja vertikaali	Pituus vertikaali 6,7 m/m ² , kasvihuone 2,2 m/m ² , paino 0,6 kg/m	20	Pituus KAO, paino Helle Oy, käyttöikä oletus, LCA prosessitiedot Ecoinvent-tietokanta
Valaisimet kasvihuone ja vertikaali	HPS, 13 kg/kpl, LED 10 kg/kpl	15	Zhang ym. (2017)

*Valmistaja Kingspan, materiaali pelti-PU (Polyisocyanurate)-pelti sandwich

**<https://www.finnparttia.fi/MMJ-3x15-S>

Liite 3. Kuljetusten mallintamisen taustatiedot**Taulukko 23.** Panosten ja rakenteiden kuljetusmatkojen arviointia varten käytetyt oletukset.

	Päävalmistaja	Valmistuspaikkakunta, oletus
Kalkitusaineet	Nordkalk	Parainen
Kasvualusta	Kekkilä	Eurajoki
Lannoitteet	Yara	Uusikaupunki
Taimet, Suomi, mansikka	Peuraniemen taimitarha	Kajaani
Taimet, Suomi, vadelma	Marjoniemen taimitarha	Kesälahti
Taimet, Hollanti	Eri valmistajia	Hollanti
Siemenet, Hollanti, yrtit ja salaatti	Eri valmistajia	Hollanti
Maanpeitekatteet ym. Materiaalit	Eri valmistajia	Keski-Eurooppa
Diesel	Neste	Porvoo
Tunnelirakenteet ja pöydät	Haygrove	Redbank, Ledbury, UK
Aaltopahvi	Stora Enso	Kristiinankaupunki/ Lahti
Muovipakkaukset	Infia	Bertinoro, Italia
Kylmäaineet		Keski-Eurooppa
Hiilidioksidi	AGA/Linde	Porvoo
Paperiruukut	Ellepot	Esbjerg
Vertikaalirakenteet, betoni	Myllylän Betoni Oy	Pukkila
Vertikaalirakenteet, muu		Keski-Eurooppa
Salaattipussi	Pyroll	Salo
Lannoitteet, kasvihuone	Kekkilä	Eurajoki



**Löydät meidät
verkosta**

luke.fi

