

HIME

Hämeen Ilmastoviisas Maaseutu- ja
Energiayrittäjyys

ILMASTOVIISAS
KASVIHUONE

Lämmitysratkaisujen
vaikutus hiilijalanjälkeen



JOHDANTO

Kasvihuoneissa voidaan tuottaa viljelysmaalaan nähden paljon kasviksia tai muita kasvihuonetuotteita. Ne kuitenkin tuottavat suhteellisen paljon biojätettä sekä vaativat useita tuotantopanoksia. Suomessa kasvihuoneet vaativat suuria määriä energiaa, mikä voi johtaa tuotteiden suurempaan hiilijalanjälkeen ja kustannuksiin.

Suomessa tuoreiden kotimaisten vihannesten saatavuus taataan talvisaikaan lämmitetyillä ja valaistuilla kasvihuoneilla. Suomen lyhyt kasvukausi sekä pimeät ja kylmät talvet lisäävät kasvihuonetuotannon energiankulutusta kasvattaen tuotteen hiilijalanjälkeä.

Kuten monen muun tuotantosektorin, myös kasvihuonetuotannon hiilijalanjälki laskee voimakkaasti siirryttäessä fossiilisista polttoaineista uusiutuviin. Vaikka suomalaisten kasvihuonevihannesten keskimääräistä hiilijalanjälkeä on alennettu jo tehokkaasti, on monissa kasvihuoneissa vielä varaa parantaa. Tuotannon alempi hiilijalanjälki parantaa tuotteiden ilmastoystävällistä imagoa, mikä voi toimia yrittäjälle myös myyntivalttina.

Tässä raportissa vertaillaan kuinka eri lämmitysmenetelmien valinta vaikuttaa lämmitettyjen kasvihuoneiden tuotteiden ilmasto vaikutuksiin Suomen oloissa.

Ilmastoviisas kasvihuone – Lämmitysratkaisujen vaikutus hiilijalanjälkeen

Johdanto.....	2
Kasvihuonetuotannon energiantarve.....	3
Teollinen symbioosi.....	4
Sähkön ja lämmön yhteistuotanto.....	5
Kasvihuonetuotannon ilmasto vaikutukset.....	6
Kasvihuonetomaatin ilmasto vaikutuslaskenta	7
Kasvihuonekurkun ilmasto vaikutuslaskenta	8
Yhteenveto	9
Lähteet	10

KASVIHUONETUOTANNON ENERGIANTARVE

Kasveilla on oltava sopivasti lämpöä ja valoa yhteyttämiseen ja sadontuotantoon. Viljelykasvit tarvitsevat myös sopivan kasvualustan, ravinteita ja vettä. Tuotannon tärkeimmät tuotantopanokset ovat lämpö- ja sähköenergia, lannoitteet, hiilidioksidi, kasvualustamateriaali, vesi ja pakkausmateriaali. Eri tuotantopanosten määrä vaikuttaa siihen, kuinka suuri hiilijalanjälki tuotteilla on. Tuotantopanosten tarve puolestaan vaihtelee tuotettavien tuotteiden, paikallisen ilmaston sekä monien muiden tekijöiden mukaan.

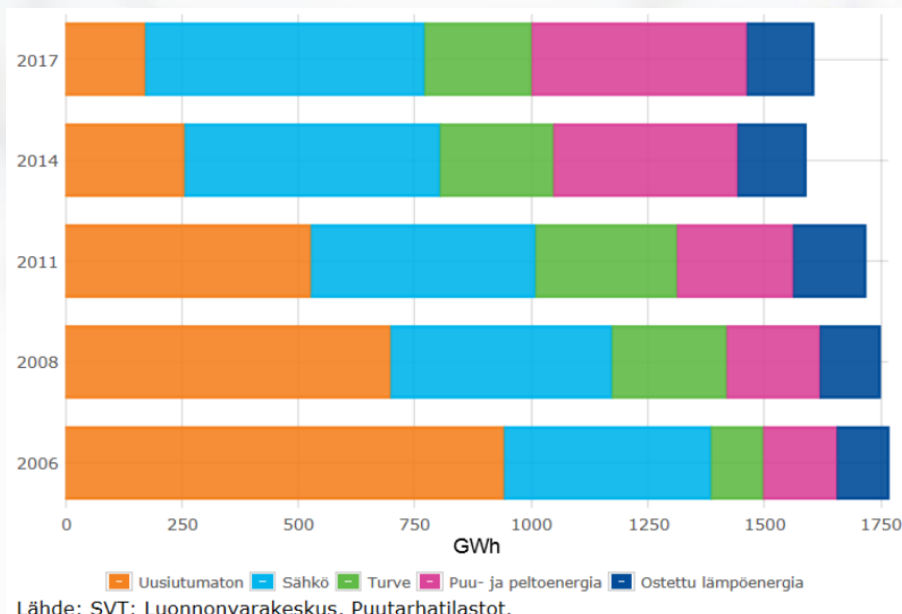
Kasvihuoneet lämpenevät hyödyntämällä kasvihuoneilmiötä. Kasvihuoneet päästävät sisäänsä reilusti valoa, mutta pitävät lämpösäteilyn tehokkaasti sisällään lämmittäen kasvihuonetta luonnollisesti.

Luonnollinen lämmitys ei kuitenkaan viileinä öinä tai talvipäivinä riitä, minkä vuoksi kasvihuoneet tarvitsevat monissa tapauksissa

myös keinotekoisia lämmitystä. Kasvihuoneiden keinotekoinen lämmitys tapahtuu tyypillisesti erillisessä kattilassa polttamalla puu- tai fossiiliperäisiä polttoaineita. Kasvihuoneissa käytetään sähköä keinotekoiseen valaistukseen sekä pumppujen ja koneiden käyttöön. Viileiden ja hämärrien vuodenaikojen vuoksi suomalaiset kasvihuoneet tarvitsevat runsaita määriä lämpö- ja sähköenergiaa.

Suomessa yleisimmät kasvihuoneiden lämmitykseen käytetyt polttoaineet ovat puupolttoaineet, kaukolämpö sekä turve ja muut fossiiliset energianlähteet. Alla oleva tilasto kuvaa kasvihuonetuotannon energiankulutuksen kehitystä Suomessa.

Seuraavat kappaleet kuvaavat vaihtoehtoisia lämmitysmuotoja, joita ei ole ainakaan vielä otettu suuressa mittakaavassa käyttöön Suomessa.



TEOLLINEN SYMBIOOSI

Hukkalämpö on lämpöä, jota kone tai muu energiaa käyttävä prosessi tuottaa työnteon sivutuotteena. Tyypillisesti hukattu lämpö johdetaan jäädytysvettä hyödyntäen vesistöihin tai jäähdystornejhin. Sen sijaan, että lämpö hukattaisiin, voidaan hukkalämpöä tilanteesta riippuen hyödyntää toisessa prosessissa. Vaikka tällä lämmöllä on alhaisempi lämpötila kuin sitä tuottavilla prosesseilla, voi se silti tarjota kasvihuoneelle, joskin paikkariippuvaisen, mutta runsaan lämmönlähteen, jolla on hyvä saatavuus⁸.

Kasvihuone voidaan rakentaa niin, että se liitetään suoraan hukkalämmönlähteeseen. Vaihtoehtoisesti lämpö voidaan johtaa kasvihuoneeseen lämpöpumpua tai lämminvesiputkistoa hyödyntäen. Kanadassa kasvihuoneen ja tasolasitehtaan ”symbioosin” on tutkittu vähentävän teollisuuden energiahäviöiden ja päästöjen määrää luoden samalla lisätuloja hukkalämmöstä. Kasvihuoneelle symbioosi tarjoaa edullisen, vähäpäästöisen energianlähteen. Tutkimukset^{1,2} ovat osoittaneet, että tällaiset symbioosit parantavat ilmastoetujen lisäksi molempien osapuolien taloudellista tehokkuutta.

Ruotsissa vuonna 2013 tehdyn taloudellisen tarkastelun³ mukaan tällaisen investoinnin maksuaika olisi 3,1 vuotta. Puolestaan vuoden 2018 opinnäytetyössä⁴ suomalainen öljylämmitteinen kasvihuone osoitti takaisinmaksuaikaa noin 8 vuotta.

Kuten kaasukattiloilla lämmitettävissä kasvihuoneissa, on myös teollisuuden hukkalämmöllä lämmitetyissä kasvihuoneissa mahdollista hyödyntää lämmöntuotannon puhdistettuja savukaasuja kasvihuoneeseen syötettävän puhtaan hiilidioksidin korvikkeena. Hiilidioksidipitoisen savukaasun hyödyntäminen poistaa kasvihuoneen tarpeen ostaa puhdistettua hiilidioksidia ulkopuolisista lähteistä. Lisäksi se poistaa hiilidioksidin paineistamisen, varastoinnin sekä kuljetuksen tarpeen.

Teollisten prosessien puhdistettujen savukaasujen johtaminen kasvihuoneille antaa molemmille osapuolille taloudellista hyötyä. Samalla, kun savukaasuista tulee arvokkaita tuotteita pienenevät myös prosessin päästöt. Tämä vähentää päästövähennysteknologioiden tarvetta ja parantaa molempien yritysten imagoa.



[This Photo](#) by Unknown Author is licensed under [CC BY-SA](#)

SÄHKÖN JA LÄMMÖN YHTEISTUOTANTO

Pienimuotoinen sähkön ja lämmön yhteistuotantojärjestelmä (CHP) on yleinen ratkaisu myös suuremmissa hollantilaisissa kasvihuoneissa. Ne voivat toimia joko maa- tai biokaasulla. Näissä järjestelmissä sisäistä moottoria tai kaasuturbiinia käytetään lämmön lisäksi sähkön tuottamiseen.

Hollannissa tehdyt tutkimukset⁵ viittaavat siihen, että mikroturbiinikäyttöinen sähkön ja lämmön yhteistuotantoyksikkö vähentää kasvihuoneen hiilidioksidipäästöjä 25 – 35 % sekä käyttökustannuksia 30 – 42 %. CHP-järjestelmän jälkiasentamista jo olemassa olevan lämmöntuotannon yhteyteen ei kuitenkaan nähty tutkimuksen mukaan kustannustehokkaaksi.

Toisessa hollantilaisessa tutkimuksessa⁶ CHP-yksikön käytön havaittiin alentaneen tomaatintuotannon ilmastovaikutuksia noin 50 % tavalliseen maakaasukattilaan verrattuna. Suurin osa päästövähennyksistä oli kuitenkin peräisin tuotetusta ylimääräisestä sähköstä, joka myytiin valtakunnalliseen sähköverkkoon.

Kasvihuoneiden sähkön ja lämmön yhteistuotantojärjestelmien optimointi on tehtävä huolellisesti, koska lisätyn hiilidioksidin kysyntä on useimmissa tapauksissa lämmityksen kysyntäprofiiliin nähden vastakkainen. Täten voi olla, että päivällä tuotettua lämpöä on varastoitava, jotta se olisi käytettävissä yön aikana⁷.

Nestemäisen hiilidioksidin käyttö kattilahormikaasun sijasta poistaa tarpeen käyttää kattilaa ainoastaan hiilidioksidin tuotantoa varten, mutta tarkoittaa myös sitä, että hiilidioksidi on ostettava ja kuljetettava kolmannelta osapuolelta mahdollisesti korkeampaan hintaan⁸.



[This Photo](#) by Unknown Author is licensed under [CC BY-SA](#)

KASVIHUONETUOTANNON ILMASTOVAIKUTUKSET

Aiempi tapaustutkimus⁸ on tarkastellut tomaatintuotantoa viidessä suomalaisessa kasvihuoneessa. Tällöin ilmastovaikutukset vaihtelivat 1,4 – 3,7 kg CO₂-eq. tuotettua tomaattikiloa kohden. Uudemman, vuoden 2019 tutkimuksen⁹ mukaan suomalaisen kasvihuonetomaattikilon ilmastovaikutus voi vaihdella jopa 1,6 – 9,4 kg CO₂-ekv. välillä, riippuen siitä millaisia energianlähteitä tuotannossa on käytetty. Tutkimuksessa havaittiin, energiankulutuksen aiheuttavan keskimäärin 68 % kasvihuonetomaatin ilmasto-vaikutuksista.

Lämpimämmässä, vähemmän lämmitysenergiaa vaativissa, maissa kasvihuonetomaattikilon tuotannon ilmastovaikutukset ovat olleet tyypillisesti 0,1 – 0,7 kg CO₂-ekv. Kuitenkin myös lämpimien maiden kasvihuoneissa merkittävä osa ilmastovaikutuksista on ollut peräisin energiankulutuksesta.

Useat tutkimukset^{11,12,13} ovat vahvistaneet, lämmityksen olevan tärkein syy happamoituvien yhdisteiden, kasvihuonekaasupäästöjen sekä jopa rehevöitymistä aiheuttavien yhdisteiden määrään. Ranskassa vuonna 2011 tehdyssä

kasvihuonetutkimuksessa⁷ havaittiin lämmityksen aiheuttavan yli 80 prosenttia ympäristövaikutuksista, toksikologiset vaikutukset mukaan luettuina.

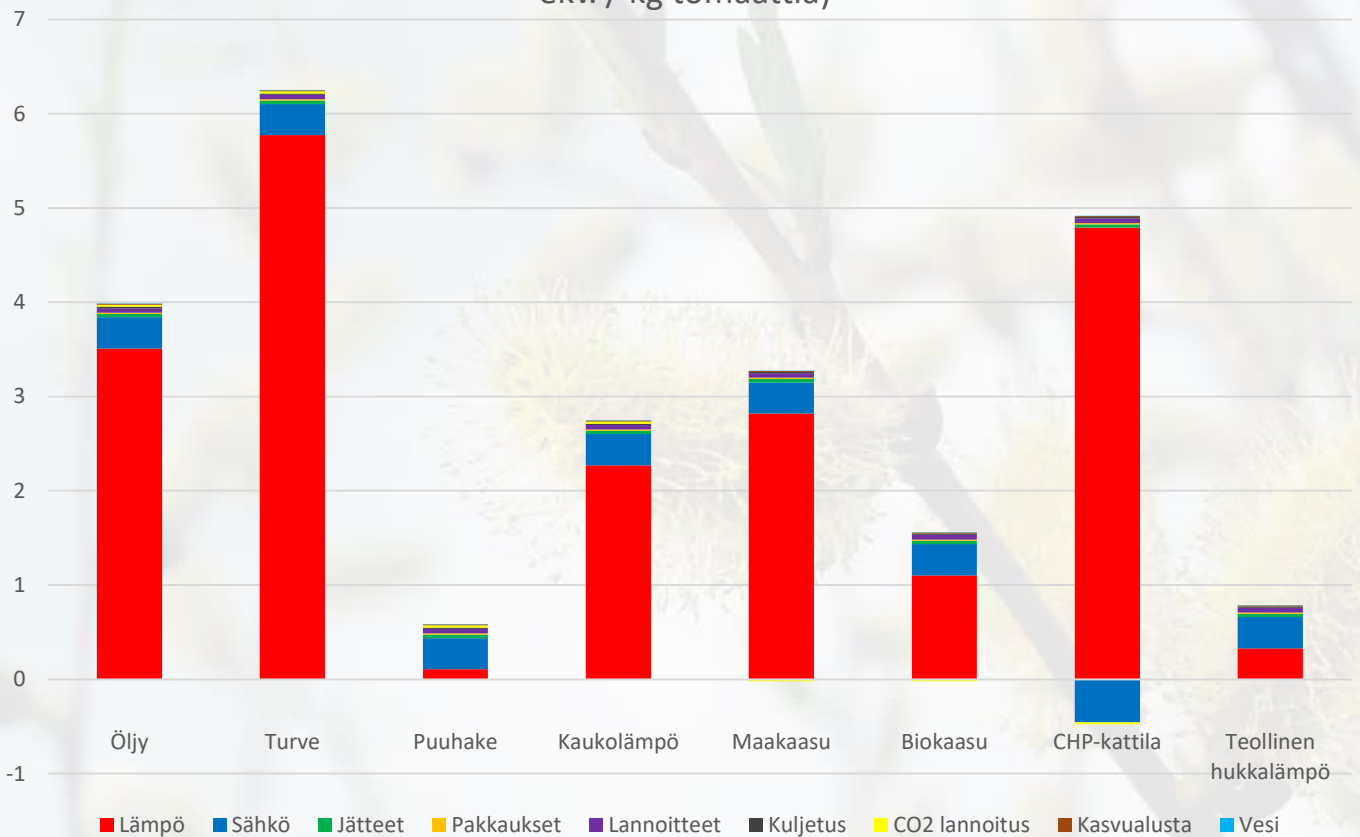
Suomessa tehty tutkimus⁹ osoitti, että kasvihuonekaasupäästöjen kokonaisvähennykset voisivat nousta jopa 84 %, mikäli kasvihuoneissa siirryttäisiin uusiutuvan sähkön sekä puupolttoaineiden käyttöön. Saman tutkimuksen mukaan keskimääräisen sähkön korvaaminen uusiutuvalla energialla tuotetulla sähköllä voisi vähentää sähkönkulutuksesta johtuvia päästöjä lähes 90 %.

Yrittäjät ovat todella omaksuneet tämän, sillä kaudella 2004 ja 2017 Suomen kasvihuoneala on pienentänyt hiilijalanjälkeään jopa 56 %, lähinnä korvaamalla öljynkäytön puhtaamman energian sovelluksilla. Nykyään myös suuri osa Suomen kasvihuoneissa kulutetusta sähköstä on sertifioitua vihreää sähköä.¹⁰

Tässä raportissa vertaillaan, kuinka lämmitysmenetelmän valinta vaikuttaa kasvihuonetuotannon hiilijalanjälkeen suomalaisessa tuotannossa.

KASVIHUONETOMAATIN ILMASTOVAIKUTUSLASKENTA

Lämmönlähteen vaikutus kasvihuonetomaatin hiilijalanjälkeen (kgCO₂-
ekv. / kg tomaattia)

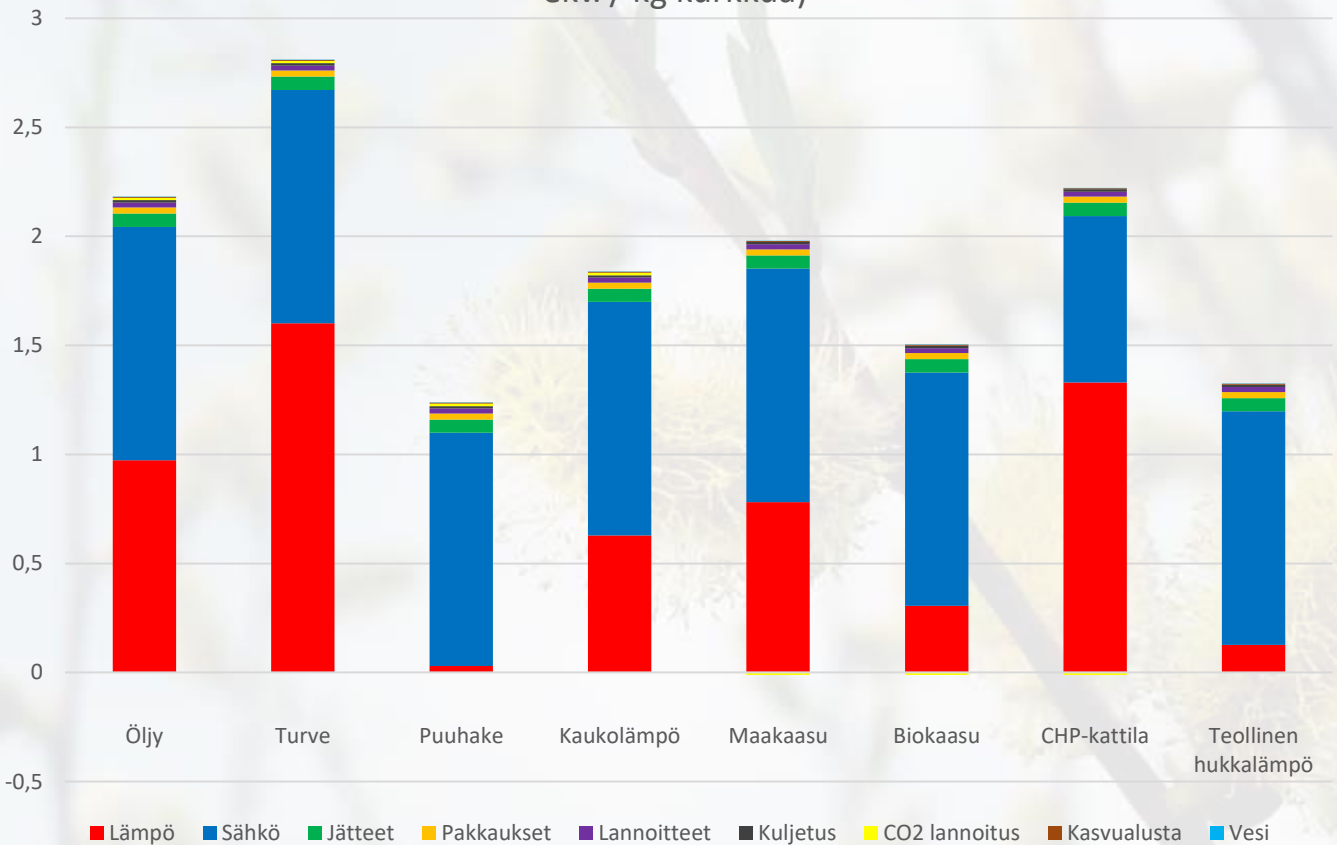


Tämän raportin laskelmien perusteella suomalaisen kasvihuonetomaatin hiilijalanjälki vaihtelee keskimäärin 0,7 – 6,4 kgCO₂-ekv. / kg tomaattia lämmitysmenetelmästä riippuen. Tomaatintuotanto kuluttaa paljon lämpöenergiaa, minkä vuoksi lämpö on suurimmassa osassa tutkittavia lämmitysmenetelmiä selvästi suurin hiilijalanjälkeen vaikuttava tekijä.

Tulosten mukaan tomaatintuotannon pienin hiilijalanjälki saavutetaan käyttämällä lämmityksessä puuhake- tai biokaasukattilaa. Myös teollisen hukkalämmön hyödyntäminen kasvihuoneissa lämpöpumpun avulla johtaa tomaatin alhaiseen hiilijalanjälkeen. Suurimpiin hiilijalanjälkiin johtivat luonnollisesti fossiiliset polttoaineet. Tutkimuksen mukaan maakaasukäyttöisten sähkön- ja lämmöntuotantokattiloiden käyttö kasvihuoneissa johtaa Suomessa korkeampaan hiilijalanjälkeen verrattuna perinteisiin maakaasukattiloihin. Sama tulos pysyy, vaikka tuotetun ylijäämänsähkön syöttäisi sähköverkkoon. Tämä johtuu Suomen verkkosähkön alhaisesta päästökertoimesta.

KASVIHUONEKURKUN ILMASTOVAIKUTUSLASKENTA

Lämmönlähteen vaikutus kasvihuonekurkun hiilijalanjälkeen (kgCO₂-ekv. / kg kurkkua)



Laskelmien mukaan kasvihuonekurkun hiilijalanjälki vaihtelee Suomessa keskimäärin välillä 1,2 – 2,8 kgCO₂-ekv. / kg kurkkua lämmitysmenetelmästä riippuen. Kurkuntuotanto kuluttaa tomaatintuotantoon verrattuna vähemmän lämpöenergiaa, mikä selittää hiilijalanjälkien pienempää vaihtelua. Kurkuntuotanto tarvitsee kuitenkin valaistukseen enemmän sähköä. Runsas valaistus lämmittää kasvihuonetta epäsuorasti, mikä vähentää suoran lämmitysenergian tarvetta. Tästä syystä sähkö on useimmissa tilanteissa suurin kurkun ilmastovaikutukseen vaikuttava tekijä.

Tulokset kertovat, että pienimmät hiilijalanjäljet saavutetaan käyttämällä lämmityksessä teollista hukkalämpöä tai puuhake- tai biokaasukattilaa, kuten oli myös tomaatintuotannossa. Fossiilisten polttoaineiden käyttö johti suurimpaan hiilijalanjälkeen. Tutkimuksen mukaan maakaasukäyttöisten sähkön- ja lämmöntuotantokattiloiden käyttö kasvihuoneissa johtaa Suomessa korkeaan hiilijalanjälkeen myös kurkuntuotannossa.

YHTEENVETO

Nykyaikaisia kasvihuoneita on parannettu lämmityskustannusten vähentämiseksi esimerkiksi siirtymällä lasista kennolevyihin. Kasvihuoneissa on myös lisätty biopolttoaineiden ja muun uusiutuvan energian käyttöä. Nämä toimenpiteet ovat johtaneet kasvihuonetuotannon alentuneeseen hiilijalanjälkeen.

Tämän raportin laskelmien mukaan suomalaisen kasvihuonetuotannon ilmasto-vaikutus vaihtelee tomaatin osalta 0,7 – 6,4 kgCO₂-ekv. / tomaattikilo sekä kurkun osalta 1,2 – 2,8 kgCO₂-ekv. / kurkkukilo riippuen valitusta lämmitysmenetelmästä.

Laskelmissa kasvihuonetuotteiden korkeimpaan hiilijalanjälkeen päädyttiin, kun lämmitykseen käytettiin fossiilisia polttoaineita. Suomessa myös sähkön ja lämmön yhteistuotantokattiloiden käytöstä seurasi laskemien mukaan perinteisiin kaasukattiloihin verrattuna korkeampi hiilijalanjälki.

Hake- ja biokaasukattiloiden käyttö johti tutkimuksessa pienimpiin ilmastovai-kuuksiin. Lisäksi teollisen hukkalämmön hyödyntäminen alensi tuotteiden hiilijalanjälkeä tehokkaasti. Kasvihuoneen ja teollisen toimijan välinen symbioosi vaikuttaisi pienentävän kummankin toimijan kasvihuonekaasupäästöjä sekä alentavan käyttökustannuksia. Teollisen hukkalämmön hyödyntämisellä on mahdollista saavuttaa kasvihuonetuotteille hyvinkin alhainen hiilijalanjälki.

Hukkalämmön käytössä on kuitenkin riskinsä. Kuten missä tahansa muussakin teollisessa symbioosissa, toisesta prosessista riippuvaisena oleminen luo epävarmuutta omaan prosessiin. Teollisuuden hukkalämpölähde voi toimia epäsäännöllisesti tai jopa tilapäisesti lakata tuotannon keskeyttämisen vuoksi. Siksi nämä ratkaisut saattavatkin edellyttää investointia varalämmönlähteeseen, mikä lisäisi kustannuksia.

Hollantilaisen tutkimuksen¹⁴ mukaan kasvihuoneen ja teollisen kumppanin onnistunut symbioosi näyttää riippuvan symbioosikumppaneiden välisestä etäisyydestä (max 5 km lämmölle ja 10 km hiilidioksidille). Lisäksi symbioosin onnistumiseen vaikuttaa teollisen kumppanin hormikaasujen puhtaus sekä ylijäämä-lämmön sopiva jakelurytmi.

Lämmitysjärjestelmän uusiminen ei kuitenkaan ole ainut kasvihuonetuotteiden hiilijalanjälkeä tehokkaasti laskeva toimenpide. Esimerkiksi Pohjois-Intiassa tehdyssä tutkimuksessa¹⁵ havaittiin, että varjostusverhojen käyttö vähensi kasvihuoneen lämmitystarvetta noin 65 %. Varjostusverhojen käyttö on osoittautunut hyödyksi myös Suomen ilmastoalueella¹⁶. Varjostusmateriaalien on huomattu parantavan myös kasvihuoneen eristystä, mikä voi kylmillä alueilla vähentää yöllisiä lämpöhäviöitä. Vuoden 2016 tutkimuksen¹⁷ mukaan varjostusmateriaalit voivat pitää kasvihuoneen sisälämpötilan jopa 5 °C ulkoilman lämpötilaa korkeammalla.

LÄHTEET

1. Andrews, R., Pearce, J.M., 2011. Environmental and economic assessment of a greenhouse waste heat exchange. *J. Clean. Prod.* 19, 1446–1454. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.04.016>
2. Heravi, S.M., 2013. Master's thesis, Lund University. Waste heat heated greenhouses Energy system.
3. Mantere, E., 2018. Opinnäytetyö, Savonia ammattikorkeakoulu. Kasvihuoneinvestoinnin kannattavuusanalyysi.
4. Hamer, P.J.C., Langton, F.A., 2005. Micro-turbine CHP units: Simulations of energy efficiency and cost in ornamentals production. *Acta Hortic.* 691, 633–640.
5. Vermeulen, P., 2008. Calculating CO₂ footprint of the organic greenhouse horticulture.
6. Vox, G., Teitel, M., Pardossi, A., Minuto, A., Tinivella, F., Schettini, E., 2010. Sustainable greenhouse systems, in: *Sustainable Agriculture: Technology, Planning and Management*.
7. Vermeulen, P., 2015. Alternative sources of CO₂ for the greenhouse horticulture.
8. Yrjänäinen, H., Silvenius, F., Kaukoranta, T., Näkkilä, J., Särkkä, L., Tuhkanen, E.-M., 2013. Kasvihuonetuotteiden ilmastovaikutuslaskenta.
9. Silvenius, F., Usva, K., Jaakkonen, J.K.A., 2019. Kasvihuonetuotteiden ilmastovaikutus- Kasvihuonetuotteiden ilmastovaikutuslaskenta ja vesijalanjälki.
10. Kauppapuutarhaliitto RY, 2019. Kasvihuonealan vastuullisuus.
11. Van Woerden, S.C., 2001. The application of Life Cycle Analysis in glasshouse horticulture, in: *International Conference LCA in Foods*.
12. Nienhuis, J.K., De Vreede, P.J.A., 1996. Utility of the environmental life cycle assessment method in horticulture. *Acta Hortic.* <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1996.429.69>
13. Pluimers, J.C., Kroeze, C., Bakker, E.J., Challa, H., Hordijk, L., 2000. Quantifying the environmental impact of production in agriculture and horticulture in The Netherlands: Which emissions do we need to consider? *Agric. Syst.* [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(00\)00046-9](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(00)00046-9)
14. Boulard, T., Raepffel, C., Brun, R., Lecompte, F., Hayer, F., Carmassi, G., Gaillard, G., 2011. Environmental impact of greenhouse tomato production in France. *Agron. Sustain. Dev.* <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0031-3>
15. Gupta, M.J., Chandra, P., 2002. Effect of greenhouse design parameters on conservation of energy for greenhouse environmental control. *Energy.* [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(02\)00030-0](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(02)00030-0)
16. Särkkä, L., Tuomola, P., 2010. Leikkoruusun talvikauden viljelytapojen merkitys energiankulutukseen, sadon määrään ja kukkien laatuun.
17. Ahemd, H.A., Al-Faraj, A.A., Abdel-Ghany, A.M., 2016. Shading greenhouses to improve the microclimate, energy and water saving in hot regions: A review. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.030>

Ilmastoviisas kasvihuone

Suomalaiset kasvihuoneet ovat laskeneet tuotteidensa hiilijalanjälkeä viime vuosikymmeninä tehokkaasti. Päästöjen vähentäminen on pääosin seurannut energianlähteiden päivittämisestä fossiilista uusiutuviin.

Tässä raportissa esitellään kuinka merkittävästi eri lämmitysratkaisut vaikuttavat kasvihuonetuotteiden hiilijalanjälkeen. Raportti vertailee tyypillisiä paikallisia sekä nousevia lämmitysratkaisuja suomalaisessa kasvihuonetuotannossa ja esittää millainen merkitys lämmitysmuodon vaihdoksella on päästöjen vähentämisessä.

HIME

www.hime.fi

Hämeen ilmastoviisas maaseutu- ja energiayrittäjyys (HIME) –hanke tavoittelee maaseutuelinkeinojen monipuolistamista ja arvioi elinkeinotoimintojen ympäristöllistä ja taloudellista kestävyyttä