

Kasvihuoneen jäähdytysenergia

Timo Kaukoranta ja Juha Näkkilä

MTT Puutarhatuotanto, Toivonlinnantie 518, 21500 Piikkiö

timo.kaukoranta@mtt.fi, juha.nakkila@mtt.fi

Lyhennelmä

Jäähdytyksellä otetaan suljetusta tai lähes suljetusta kasvihuoneesta sensitiivistä energiaa ja kosteutta niin, että kasvihuoneen lämpötila ja kosteus voidaan pitää säätötavoitteessa ja huoneen hiilidioksidipitoisuus korkealla. MTT puutarhatuotannon Piikkiön koekasvihuoneissa on yhdessä Biolan-yhtymän kanssa testattu jäähdytyksen vaikutusta kurkun, tomaatin ja ruusun sadon muodostumiseen vuosina 2005 – 2008. Saavutetun huomattavan satohyödyn innoittamana koekasvihuoneeseen asennettiin *Novarbo*-jäähdytysjärjestelmä vuonna 2008. *Novarbo*-järjestelmää käytettäessä ilman sensitiivinen lämpö ja kosteus siirtyvät vesiverhoon. Kosteuden tiivistyessä latentti lämpö vapautuu verhoon. Vesiverhoon tuleva vesi jäähdytetään ulkona altaassa pakotetulla haihdutuksella.

Kurkku- ja tomaattihuoneesta arvioitiin vesiverhon ottama sensitiivinen ja latentti lämpö kesäkaudella 2009. Huoneesta poistettu lämpö vastasi kurkulla suunnilleen kahta kolmasosaa sinne auringon säteilyssä ja valotuksessa tuodusta lämpömäärästä, tomaatilla vähän suurempaa osaa. Jäähdytyksellä otettiin vähemmän lämpöä huoneesta kuin olisi teoriassa mahdollista, koska huoneita jouduttiin hetkittäin tuulettamaan. Syyt tähän olivat jäähdytysveteen joutuneiden epäpuhtauksien aiheuttama tukkeutuminen, jäähdytykselle valittu asennustapa ja huonosti valitut säätötavoitteet. Epäoptimaalinen jäähdytys näkyi myös Piikkiössä saadussa huonossa hyötysuhteessa (poistettu lämpöenergia / vesiverhon pumppaukseen käytetty sähköenergia). Piikkiössä suhde oli kesällä 25 – 60, kun paremmin toimivassa kaupallisessa asennuksessa suhde oli 60 – 250.

Jäähdytyksellä huoneesta poistettu sensitiivisen ja latentin lämmön määrä on Suomenkin oloissa suuri suhteessa lämmitykseen, joka tarvitaan valotetussa huoneessa syksystä kevääseen. Jos ensisijaisena tavoitteena on energian kulutuksen vähentäminen, on mahdollista tavoitella suljetusta tai lähes suljetusta huoneesta otetun energian varastoimista syys- ja talvikauden lämmitystä varten tai lämmön siirtoa kasvihuoneesta ympäristön lämpöverkkoon.

Asiasanat: Kasvihuoneen jäähdytys, suljettu kasvihuone, kurkku, tomaatti, energiatehokkuus

Johdanto

Kasvihuone saa sensitiivistä lämpöenergiaa auringon säteilystä, lämmityksestä ja valotetussa huoneessa lampuista. Kuvassa 2b on esitetty simuloitu lämpöenergian tulo lasikatteiseen kurkkuhuoneeseen Piikkiön ilmastodatalla (globaalisäteily, lämpötila, suhteellinen kosteus, tuulen nopeus) ajaen jokaiselta vuodelta (maalis-touko, kesä-elo, syys-marras, joului-helmikuu) pilvisin ja aurinkoisin jakso vuosilta 2000 – 2008. Korkeilla vihanneskasvustoilla huomattava osa sensitiivisestä lämmöstä kuluu kasvuston haihduntaan, jossain määrin myös sumutetun veden haihduntaan. Haihdunta viilentää kasvihuonetta, mutta energia on edelleen kasvihuoneen sisällä latentissa muodossa. Syksystä kevääseen vesihöyry tiivistyy tehokkaasti kylmään katteeseen, jolloin latentti energia vapautuu katteeseen ja pääosin poistuu katteen läpi johtamalla ulos. Keväästä syksyyn kosteutta ja samaan aikaan lämpöä täytyy poistaa joko tuulettamalla se ulos tai tiivistämällä se jäädytyksessä.

Vaikka tuuletuksella pystyttäisiin ylläpitämään haluttu lämpötila ja kosteus kasvihuoneessa, tuuletus alentaa kasvua, koska hiilidioksidihävikin pitämiseksi kohtuudessa hiilidioksidin syöttö täytyy keskeyttää voimakkaasti tuulettaessa. Alentunut hiilidioksidipitoisuus alentaa välittömästi kasvuston yhteyttämistä ja siten sadon kertymistä. Jos tuuleuksesta huolimatta huoneen lämpötila nousee korkeammalla kuin tavoitelämpötila, myös se alentaa sadon kertymistä, koska korkea lämpötila johtaa epätasapainoiseen kasvuun ja yhdessä alhaisen hiilidioksidipitoisuuden kanssa alhaiseen nettofotosynteesiin. Verrattaessa jäädytettyä, suljettua kasvihuonetta tuuletettuun kasvihuoneeseen on Suomen kesäoloissa todettu tomaatin, kurkun ja ruusun kokonaissadon määrän olevan jäädytetyssä huoneessa 10 – 40 % suurempi (Luomala ym. 2008, Särkkä ym. 2008, Särkkä ym. 2009a, Särkkä ym. 2009b).

Lämmön ja kosteuden poisto jäädyttämällä on tehokas tapa nostaa satomäärää pinta-alayksikköä kohti sekä työn tuottavuutta (Kaukoranta ja Huttunen 2008, Särkkä ym. 2008). Huoneesta poistettu sensitiivisen ja latentin lämmön määrä on melkoisen suuri suhteessa lämmitystarpeeseen Suomessa ja siten potentiaalisesti voi suoraan korvata kasvihuoneen lämmitystä kylmällä kaudella tai vähentää lämmön tuottamisen tarvetta muualla, jos huoneesta voidaan siirtää lämpöä ympäristön lämpöverkkoon.

Jäädytysjärjestelmä

Biolan-yhtymän markkinoille tuoma *Novarbo*-jäädytys (www.novarbo.fi) käyttää viileää vesiverhoa sensitiivisen lämmön ja kosteuden poistoon huoneesta. Tätä järjestelmää käytettiin MTT Puutarhatuotannon tutkimuskasvihuoneessa Piikkiössä vuoden 2009 aikana tomaatin ja kurkun kasvatuksessa. Jäädytystä käytettiin päivällä ja kun valotus oli käytössä aamulla ja illalla. Yöllä klo 23 – 03 kosteutta poistettiin tuuletuksella. Kasvatusosastot ovat pieniä, pinta-alaltaan 130 m², joihin sopii vesiverhojen lisäksi kahdeksan yksinkertaista 10 metriä pitkää riviä. Tilan säästämiseksi kasvatuskokeiden ruutuja varten 10 metriä pitkät vesiverhot oli sijoitettu huoneen kahdelle vastakkaiselle seinälle. Koska huoneet eivät korkeudeltaan riittäneet korotettujen kasvatuskourujen käyttöön, kourujen pohja oli vain 20 cm maan pinnan yläpuolella ja niiden alla kiinteä penkki.

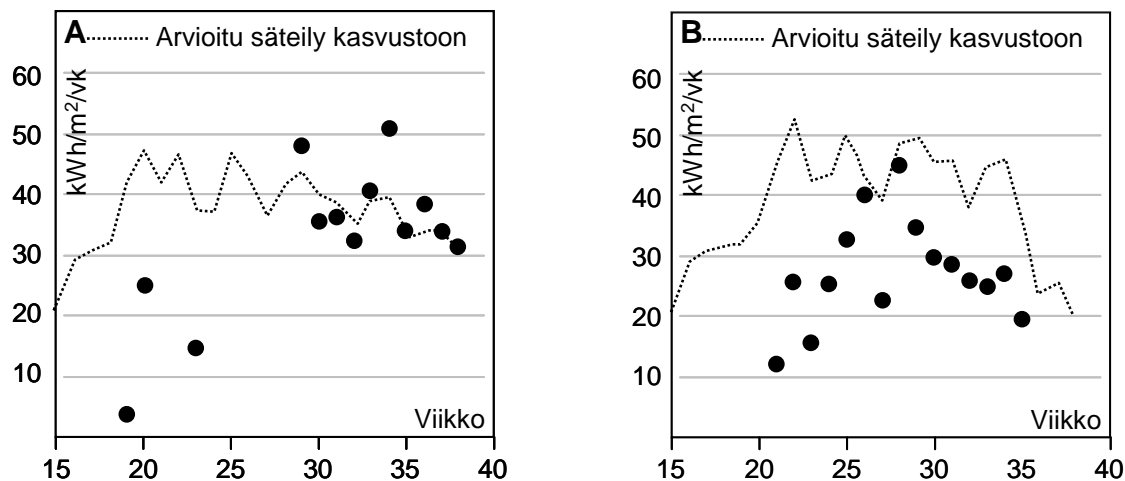
Härkälän puutarha Oy:n kurkkuhuoneessa Köyliössä oli vuonna 2009 rajoitettu 540 m² alue *Novarbo*-laitteiston käyttöön (Jukka Huttunen, Kasvutaito Oy). Vesiverho oli sijoitettu kymmenen kaksoisrivin keskimmaiselle käytävälle. Härkälän huoneessa oli kasvatuskourujen alla noin 70 cm ilmatilaa.

Kasvihuoneesta poistettu lämpömäärä

Huoneesta poistettu lämpömäärä (Q) laskettiin $Q = \rho c_p \Delta T V$, jossa ΔT on huoneesta sisään ja ulos virtaavan veden lämpötilan erotus ja V veden virtaus. Keväällä ja syksyllä oli vaikea saada tarkkoja ΔT :n arvoja, koska vesiverhon huoneesta poistuva vesivirtaus oli usein pysähdyksissä, jolloin poistuvan veden lämpötilaa mittaavan anturin hitaus antoi usein liian korkean lämpötilan ja täten liian suuren ΔT :n ja edelleen lämpöenergian (Q) arvon. Kesällä virtaus pysähtyy harvoin, joten se aiheuttaa vain pienen virheen ΔT :n arvoon. Virtaus V perustuu vesiverhon suuttimista hetkellisesti käsin mitattuun virtausnopeuteen. Epäpuhtauksien kertyminen suuttimiin hidastaa virtausta alle hetkellisesti

mitatun virtausnopeuden. Viikkojen 24 – 29 välillä suuttimien ennakoimattoman tukkeutumisen vuoksi virtaus alentui Piikkiössä tomaattihuoneessa hetkittäin alle hetkellismittauksen, joten tällä välillä laskettu Q on todennäköisesti liian suuri ja se on poistettu tuloksesta.

Oleellisin tulos Piikkiön kokeesta oli jäähditysjärjestelmän poistama lämpömäärä (kuva 1a, 1b). Tomaattihuoneesta on loppukesästä arvioitu poistettu suunnilleen yhtä paljon lämpöä kuin aurinko ja valotus ovat sinne tuoneet, mutta yleensä huoneesta poistettu lämpömäärä jäi alle huoneeseen säteilyssä tuodun lämpömäärän, koska katteen kautta poistui lämpöä ja kosteutta ja huoneita tuuletettiin lievästi myös päivällä kun jäähditysvesi ei ollut riittävän kylmää kaiken lämmön poistamiseen huoneesta. Öisin huoneesta tuulettamalla poistettu lämpömäärä on pieni suhteessa koko vuorokautiseen lämpömäärään.

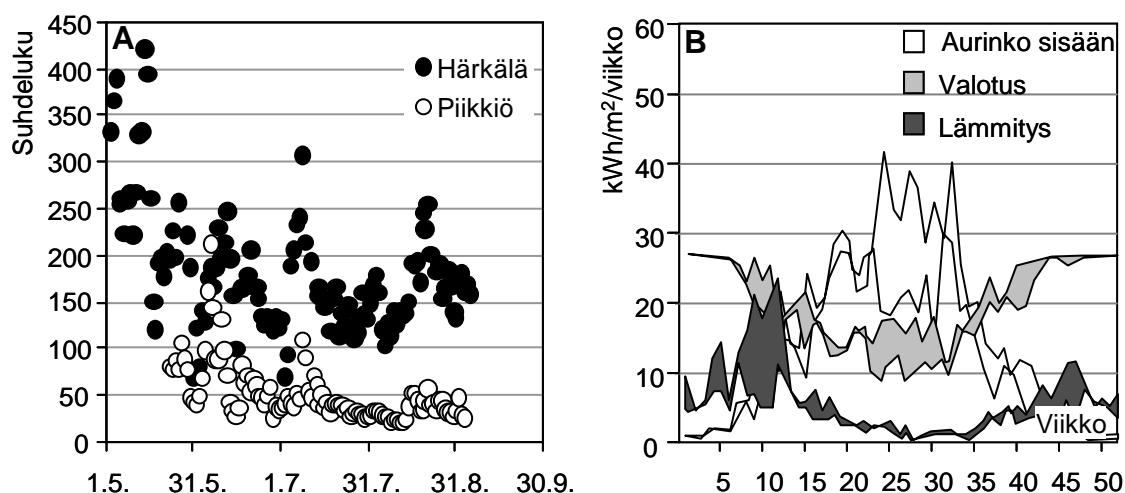


Kuva 1. Arvioitu kasvihuoneeseen auringosta ja valotuksesta tullut lämpö ja *Novarbo*-jäähditysjärjestelmän poistama lämpöenergia (A) tomaattihuoneesta ja (B) kurkkuhuoneessa Piikkiössä vuonna 2009.

Lämmön sitomiseen käytetty energia

Vesiverhon huoneesta poistaman lämpöenergian ja vesiverhon käyttöön tarvittun sähköenergian suhde on laitteiston kaupallisen käytön kannalta mielenkiintoinen tieto. Kuvassa 2a on kurkkuhuoneen laskettu suhde Piikkiössä ja Härkälässä. Kuva kertoo, että Piikkiössä onnistuttiin huomattavasti heikommin jäähdityksen käytössä kuin Härkälässä. Mistä ero johtui? Ilmeisiä syitä oli tukkeutumisten lisäksi kaksi. Vesiverhon täytyy saada kasvihuoneessa aikaan ilman kierto. Vastus ilman kierrolle oli ilmeisesti Piikkiössä huomattavasti suurempi kuin Härkälässä, koska viileä ilma ei päässyt Piikkiössä vapaasti virtaamaan kasvatuskourujen ali. Vesiverhoa täytyi siten pitää Piikkiössä pitempään toiminnassa kuin Härkälässä.

Toinen merkittävä syy oli osittain epäonnistunut säätö Piikkiössä. Kosteuden siirtymistä kasvihuoneilmasta vesiverhoon ajava vesihöyryn paineen ero oli paljon pienempi Piikkiössä kuin Härkälässä, koska Piikkiössä tavoiteltiin alhaisempaa lämpötilaa ja kosteutta. Tavoite osoittautui liian alhaiseksi suhteessa vesiverhoon tulevan jäähditysveden lämpötilaan. Säädössä määrätyn alhaisen suhteellisen kosteuden tavoittelu aiheutti epäedullisen kierteen, jossa kosteutta poistettaessa ilman lämpötila laski liikaa aiheuttaen suhteellisen kosteuden pysymisen korkealla. Lopulta kierre täytyi pysäyttää tuulettamalla ja lämmittämällä.



Kuva 2. (A) Vuorokautinen arvio vesiverhon poistaman lämpöenergian ja vesiverhon pumppaamiseen käytetyn sähköenergian suhteesta vuonna 2009 Piikkiössä ja Härkälässä (Härkälän data Jukka Huttunen). (B) Kasvihuoneen energiasimuloinnin arvio kurkku-huoneeseen viikoittain tuotavasta lämpömäärästä Piikkiössä. Käyrien välinen alue kuvaa pilvisen ja aurinkoisen jakson vaihtelua 3 kuukauden jaksossa (maalis-huhtikuu..joulu-helmikuu).

Jäähdytys osana energiatehokasta kasvihuonetta

Viime kesänä kasvihuoneista poistettiin Novarbo-järjestelmällä luokkaa kaksi kolmasosaa auringon ja valotuksen sinne tuomasta lämpömäärästä. Piikkiössä osuus olisi voinut olla jonkun verran korkeampi ilman teknisiä ongelmia, jos käytössä olisi ollut muutaman asteen kylmempää jäähdytysvettä tai huoneita olisi ajettu asteen pari lämpimämpinä, jotta tuuletus olisi voitu minimoida.

Pohjoismaisessa, intensiivisesti valotetussa huoneessa valotus kattaa myös suuren osan vuotuisesta lämmitystarpeesta (Kuva 2b). Tällä hetkellä valoteknologiassa tutkitaan mahdollisuutta saavuttaa nykyistä suurempi valotuksen energiatehokkuus esimerkiksi LED-tekniikalla. Jos huomattavasti suurempaan valotuksen energiatehokkuuteen voidaan päästä, vähenee valotuksesta tuleva lämpö ja vastaavasti kasvaa syksystä kevääseen lämmitystarve, jonka täyttämiseen kasvihuoneesta kesällä talteen otettu lämpö sopisi hyvin. Samaan kokonaisuuteen saattaisi sopia yksinkertaista lasikatetta paremmin lämpöä eristävä kate, koska se vähentäisi sekä sensitiivisen lämmön suoraa hukkaa katteen läpi että latentin lämmön hukkaa vesihöyryn tiivistymisessä katteeseen. Näin suurempi osa auringon ja valojen tuomasta lämmöstä voitaisiin saada talteen suljetusta huoneesta.

Jos voidaan onnistuneesti yhdistää jäähdytys, lämmön hyödyntäminen, valotuksen parempi energiatehokkuus, parempi lämmöneristys, uusiutuvan energian käyttö sähkön ja lämmön tuotannossa, sekä kasvuympäristön paremmalla lämpötilan ja hiilidioksidin säädöllä saavutettu huomattava sadonlisäys, on mahdollista päästä tuoteyksikköä kohti lasketun energian kulutuksen ja kasvihuonekaasujen päästöjen suhteen merkittävästi nykyistä parempaan tulokseen.

Kirjallisuus

Kaukoranta, T. & Huttunen, J. 2008. Economic gain for cucumber production from greenhouse cooling in Finland. Teoksessa: Pascale, S. De et al. (toim.) Proceedings of the international symposium on high technology system management: Greensys2007, Volume 2. Leuven : ISHS. p. 1331-1337.

Luomala, E., Särkkä, L. & Kaukoranta, T. 2008. Altered plant structure and greater yield of cucumber grown at elevated CO₂ in a semi-closed greenhouse. Teoksessa: Pascale, S. De et al. (toim.) Proceedings of the international symposium on high technology for greenhouse system management: Greensys2007, Volume 2. Leuven: ISHS. p. 1339-1345.

Särkkä, L., Hovi-Pekkanen, T., Kaukoranta, T., Tahvonen, R. & Huttunen, J. 2006. Greenhouse cooling in summer in Finland - preliminary results of climate control and plant response. *Acta Horticulturae* 719: 439-445.

Särkkä, L., Luomala, E-M., Hovi-Pekkanen, T., Kaukoranta, T., Tahvonen, R., Huttunen, J. & Alinikula, M. 2008. Kasvihuoneen jäähdytyksellä parempaan ilmastoon ja satoon. *Maa- ja elintarviketalous* 122: 102 s.

Särkkä, L. & Tuhkanen, E. 2009a. Kesätomaatteja enemmän jäähdytetystä kasvihuoneesta. *Puutarha&kauppa* 13, 3: 19.

Särkkä, L., Tuhkanen, E-M., Hovi-Pekkanen, T. & Tahvonen, R. 2009b. Improving productivity of cucumber, tomato and cut rose in semi-closed greenhouse in Finland. *Gartner tidende* 17, 2009: 42.