

Anders Böling

# Kasvihuoneiden lämmöntarpeen selvitys ja lämmitystehontarpeen laskentasovellus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

26.5.2013

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Anders Böling Kasvihuoneiden lämmöntarpeen selvitys ja lämmitystehontarpeen laskentasovellus 30 sivua + 2 liitettä 26.5.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu
Ohjaaja(t)	yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli selvittää kasvihuoneen lämmitystehontarve sekä kehittää Excel-sovellus kasvihuoneiden lämpöhäviöiden laskentaan. Työssä käsitellään kasvihuoneiden rakenne ja lämpöhäviöiden aiheuttajat.</p> <p>Työn toinen tavoite oli tehdä Microsoft Excelillä sovellus, jolla pystytään laskemaan kasvihuoneen lämpöhäviöt nopeammin, virheettömämmin ja helpommin verrattuna käsiin laskentaan. Tämän sovelluksen luonnissa käytettiin apuna Excelin matemaattisia, loogisia ja hakufunktioita.</p> <p>Excel-sovelluksesta saatiin riittävän joustava ja helppo-käyttöinen. Sovelluksen automaattisuuden takia inhimillisten virheiden määrää vähenee ja laskelmien suorittaminen nopeutuu.</p>	
Avainsanat	kasvihuone, lämmitysteho, laskentaohjelma

Author(s) Title Number of Pages Date	Anders Böling Greenhouse heating requirements and heat loss calculation application. 30 pages + 2 appendices 26 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructor(s)	Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The purpose of the final year project was to find out the need for heating capacity in greenhouses, and also to make a spreadsheet calculation application with the Microsoft Excel program that can be used to calculate the heat losses in greenhouses. The goal was to create an application that would make the calculations easier and faster than manually made calculations.</p> <p>The methods of heat transfer were studied for and discussed in the Bachelor's thesis. The information was used, to explain the heat losses in greenhouses. The Excel application was created with the programs own mathematical, logical and functions.</p> <p>The calculation application is useful and eliminates most human errors because it is mostly automated. This makes it not only easier to use, but also faster than manually made calculations.</p>	
Keywords	greenhouse, need of heating capacity, calculation program

## Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Kasvihuoneviljely Suomessa	1
1.2	Oy Ecomont Ab	2
1.3	Työn tavoite	2
2	Lämpöenergian siirtyminen	3
3	Kasvihuoneiden rakenne	4
3.1	Kasvihuonetyypit	4
3.2	Kasvihuoneen runko	6
3.3	Kasvihuoneen ulkovaipan katemateriaalit	7
3.3.1	Muovikate	7
3.3.2	Lasi	8
3.3.3	Kennolevyt	8
3.4	Kasvihuoneen alapohja	9
3.5	Varjostus- ja energiansäästöverhot	9
4	Kasvihuoneen johtumislämpöhäviöt	11
4.1	Lämmönjohtuminen rakenneosan läpi	11
4.2	Kasvihuoneen lämpöhäviö ulkovaipan kautta	14
4.3	Kasvihuoneen johtumisteho maahan	15
4.4	Mitoituslämpötilat	16
5	Kasvihuoneen ilmanvaihto	17
6	Vuotoilmasta johtuvat lämpöhäviöt	18
7	Kasteluveden lämmityksen tehontarve	20
8	Kasvihuoneen lämmitystehohäviöt	20
9	Excel-sovellus kasvihuoneen lämpöhäviöiden laskentaan	21
10	Huomioitavaa sovelluksen käytössä	25
10.1	Syöttötiedot-välilehti	25
10.2	Aputaulukot-välilehti	25

11	Laskentaesimerkkien tulokset ja herkkyystarkastelu	26
	11.1 Laskentaesimerkkien tulokset	26
	11.2 Herkkyystarkastelu	27
12	Yhteenveto	29
	Lähteet	30
	Liitteet	
	Liite 1. Esimerkki: ryhmäkasvihuoneen laskenta	
	Liite 2. Esimerkki: yksittäiskasvihuoneen laskenta	

# 1 Johdanto

## 1.1 Kasvihuoneviljely Suomessa

Ammattimaiseen viljelyyn käytettäviä lämmitettäviä kasvihuoneita oli Suomessa 2012 noin 4,01 miljoonaa neliometriä (401 hehtaaria). Kasvihuonetuotanto oli vuonna 2012 päätuotantosuunta 1 417 yrityksessä. Tuotannossa olleiden kasvihuoneiden yleisin katemateriaali oli muovi, 54 % alasta. Lasikatteisia kasvihuoneita oli 34 % ja kerroslevyhuoneita 12 % alasta. Kasvihuonevihannestuotanto oli vuonna 2012 noin 76 miljoonaa kiloa, josta 38 miljoonaa tomaattia ja 34 miljoonaa kurkkua. Ruukkuvihannestuotanto oli noin 87 miljoonaa ruukkua. Vuonna 2011 oli kasvihuoneyritysten kokonaisenergiakulutus 1 700 GWh. Sähköä kului eniten, 481 GWh. Sitä kului ennen kaikkea kasvihuoneiden valotukseen. [1]

Tyypillinen suomalainen kasvihuoneyritys on noin 3 000 neliömetrin suuruinen ja sitä hoitaa yrittäjän oma perhe. Suurimmat kasvihuoneyritykset työllistävät kymmeniä, jopa lähes sata henkilöä. Suurissakin yrityksissä taustalla on itse työhön osallistuva yrittäjäperhe. [2]

Nykyisin aika suuri osuus kasvihuonetuotannosta on ympärivuotista, sillä uutta viljelypinta-alaa rakennetaan vain lähinnä ympärivuotista tuotantoa varten. Ympärivuotisessa tuotannossa vuotuinen sato on 2—3 kertaa suurempi kuin noin kahdeksan tuotantokuukautta kestävässä luonnonvaloon perustuvassa tuotannossa. Ympärivuotinen tuotanto perustuu tekovalon tehokkaaseen käyttöön auringon valon lisänä. Usein valotuksen käyttö tehostaa tuotantoa siten, että tuoteyksikköä kohti syntyvät energiakulut eivät kasvukautta jatkettaessa kasva. Tekovalotusta käytettäessä valaisimien energia lämmittää kasvihuonetta ja vähentää tällöin lämmityspolttoaineen käyttöä. Lämmitystä käytetään myös kosteuden poistoon kasvihuoneesta. Tomaatin ja kurkun viljelyssä kasvihuoneita joudutaan lämmittämään pääosan vuotta.

Kasvihuoneiden energian kulutusta on pienennetty eristävien katteiden (kennolevyt, kaksinkertainen muovikalvo), energiansäästöverhojen ja tietokoneohjatun automatiikan avulla.

## 1.2 Oy Ecomont Ab

Oy Ecomont Ab on vuonna 1988 perustettu yritys. Yrityksen toimiala on kasvihuone-  
neisustuksien ja lämpökeskusten suunnittelu, myynti, asennus ja huolto, kasvihuone-  
nealan ammattipuutarhureille. Päätuotteet ovat lämpökeskukset ja kasvihuoneiden  
varjostus- ja energiansäästöverhot. Muut tuotteet ovat esim. CO<sub>2</sub>-järjestelmät, lämpö-  
järjestelmät ja vesisuodattimet. Lämmitysjärjestelmien suunnittelupalvelut ovat myös  
osa yrityksen tuote- ja palveluvalikoimasta.

## 1.3 Työn tavoite

Työni tavoitteena oli selvittää kasvihuoneiden lämmitystehontarve. Lisäksi piti laadita  
Microsoft Excel sovellus, jolla voidaan suorittaa kasvihuoneiden lämmitystehontarpeen  
laskenta.

## 2 Lämpöenergian siirtyminen

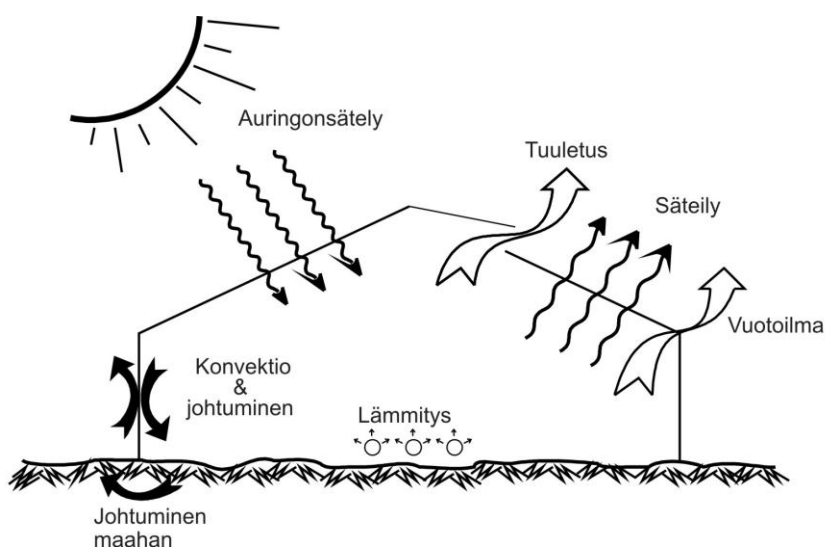
Lämpöenergia voi siirtyä kolmella tavalla: johtumalla, säteilemällä ja konvektion avulla. Lämpöenergian siirtyminen tapahtuu aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan eli lämpimästä kylmään.

Lämmönsiirtymistä säteilemällä tapahtuu kaikkien pintojen välillä. Lämpösäteilystä esimerkki on auringon ja maapallon välinen lämmönsiirtyminen. Tässä tapauksessa auringon kuuma pinta säteilee ja maan pinta vastaanottaa lämpösäteilyä. Säteilylämmönsiirtoa käytetään myös hyväksi lämmitysjärjestelmissä, joissa lämmön luovuttajina toimivat erilaiset radiaattorit. [3, s. 66]

Toinen lämpöenergian siirtymismuoto on konvektio. Tätä tapahtuu, kun nesteen tai kaasun mukana siirtyy lämpöenergiaa. Esimerkiksi vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä siirtää veteen sidottua lämpöenergiaa konvektoreihin, josta lämpöenergia siirtyy konvektion avulla ilmaan. [3, s. 61]

Johtuminen on lämmön siirtymistä pääasiasiassa aineen sisällä. Johtuminen voi myös tapahtua aineesta toiseen, mikäli aineet ovat kosketuksissa toisiinsa. Lämpöenergian johtuminen aineessa tapahtuu lämpimästä kylmään päin.

Kuvassa 1 on esitetty kasvihuoneen lämpöenergian siirtyminen.



Kuva 1. Kasvihuoneen lämpöenergian siirtyminen



### 3 Kasvihuoneiden rakenne

#### 3.1 Kasvihuonetyypit

Suomessa käytetään kaksi erilaista kasvihuonetyyppiä: yksittäishuoneet ja ryhmäkasvihuoneet ns. ”blokkihuone”.

Yksittäiskasvihuoneista löytyy kahta erilaista runkomallia, harjakattomalliset ja kaarimalliset kasvihuoneet. Yksittäishuoneiden leveydet vaihtelevat 6—25 m:n välillä, ja pituus voi olla jopa satoja metrejä. Kuvissa 2 ja 3 on esitetty yksittäiskasvihuoneita.



Kuva 2. Kaarimallinen yksittäiskasvihuone



Kuva 3. Harjakattomalliset yksittäiskasvihuoneet

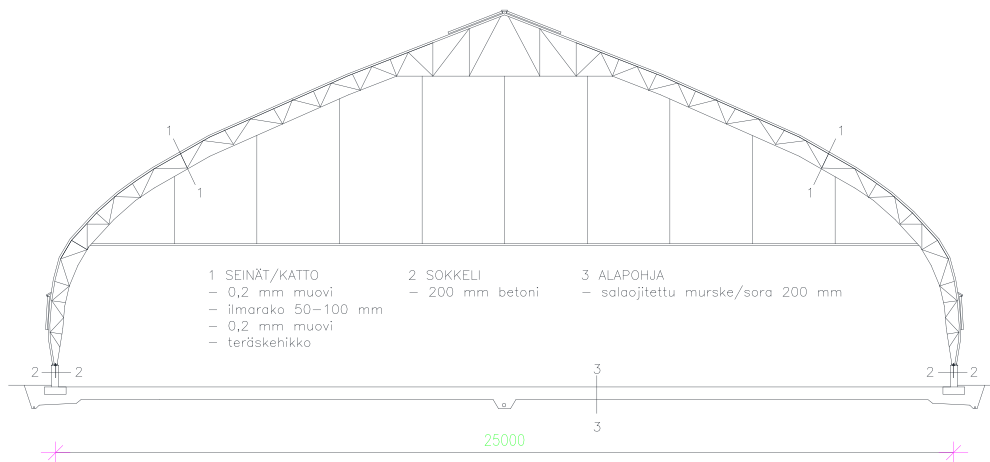
Ryhmäkasvihuoneet ovat useista lohkoista koostuvia kasvihuoneita. Lohkojen leveydet vaihtelevat 6—12 m:n välillä. Koko ryhmäkasvihuone voi olla useita satoja metriä leveää ja pitkä. Kuvassa 4 on esitetty ryhmäkasvihuone.



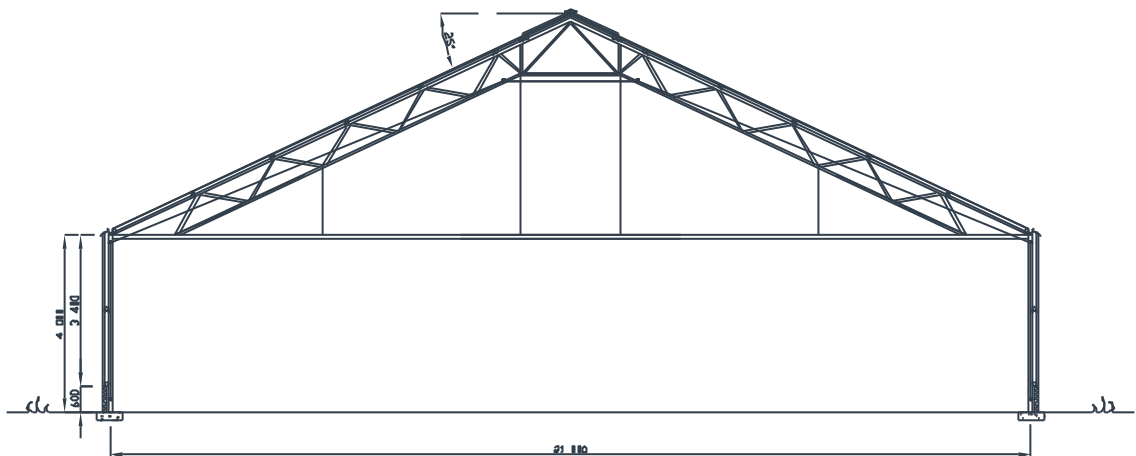
Kuva 4. Noin 10 000 m<sup>2</sup>:n kokoinen ryhmäkasvihuone

### 3.2 Kasvihuoneen runko

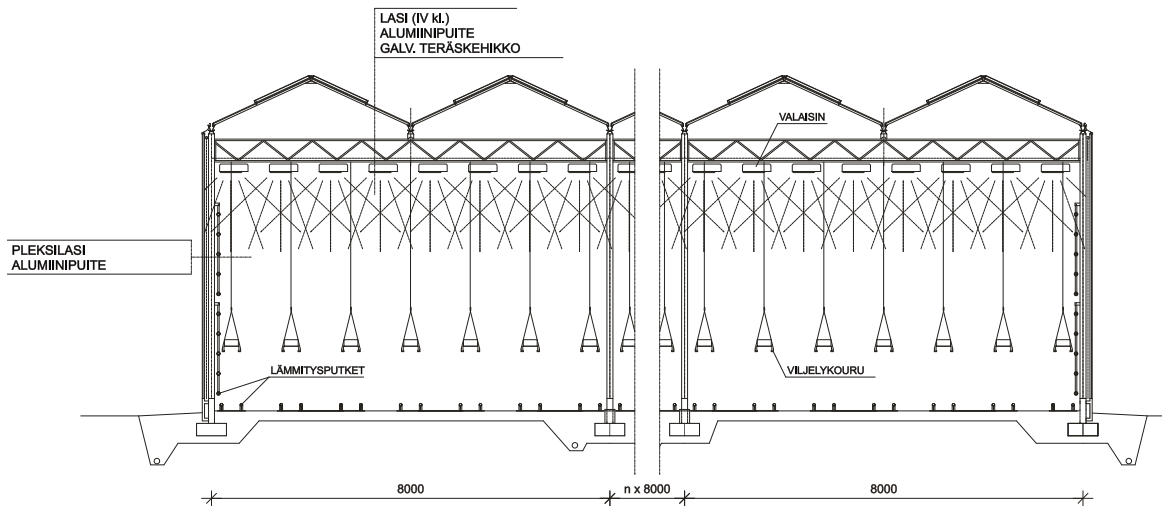
Suomessa rakennetut kasvihuoneiden rungot on tehty kuumasinkitystä teräksestä, maalatusta teräksestä tai alumiinista. Liimapuupalkkeja on jonkin verran käytetty vanhoissa olemassa olevissa kaarimallisissa kasvihuoneissa. Kuvissa 5—7 on esitetty eri kasvihuonemallien leikkauskuvat



Kuva 5. Kaarimallisen yksittäiskasvihuoneen leikkauskuva.



Kuva 6. Harjakattomallisen yksittäiskasvihuoneen leikkauskuva.



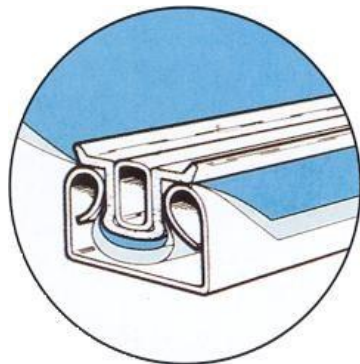
Kuva 7. Ryhmäkasvihuoneen leikkauskuva

### 3.3 Kasvihuoneen ulkovaipan katemateriaalit

Kasvihuoneen ulkovaipan katemateriaalina käytetään tunnelimuovia, lasia ja kennolevyjä. Myös sandwichpaneelit ovat käytössä sokkelissa ja pakkaamotilojen seinissä.

#### 3.3.1 Muovikate

Kasvihuoneen muovikate kostuu 0,2 mm paksusta tunnelimuovista. Muovikalvojen välissä on 50–100 mm:n ilmarako, jota ylläpidetään kanavapuhaltimien avulla. Kanavapuhaltimen yleisin käyttötapa on jaksottainen käynti. Kasvihuonerungon kohdalla muovikalvot on kiinnitetty teräsrunkoon alumiini- tai puulistoilla. Kuvassa 8 on esitetty yhden valmistajan muovikalvon kiinnityslista.



Kuva 8. Richel-muovikalvon kiinnityslista [7].

### 3.3.2 Lasi

Yleisimmin on käytetty 4 mm:n vahvuisia lasia. Lasit on asennettu alumiiniprofiileihin, jotka on liitetty kannakkeella kasvihuoneen runkoon. Suomessa käytetyt kasvihuone-lasien leveydet vaihtelevat 0,7–1,0 m:n ja pituudet 0,7–1,4 m:n välillä. Lasien alumiiniset asennusprofiilit täytyy ottaa huomioon kylmäsiltoina lasikatteen U-arvon laskennassa.

### 3.3.3 Kennolevyt

Kennolevyjen yleisin käyttöpaikka kasvihuoneissa on seinillä ja päädyillä. Kennolevyt on myös asennettu alumiiniprofiileihin. Alumiiniprofiili täytyy ottaa huomioon kylmäsiltoina, kun rakenneosan U-arvoa lasketaan. Kasvihuoneen katossa on harvoin käytetty kennolevyjä niiden lasia huonomman valonläpäisy takia. Yksittäiskasvihuoneissa kennolevyt on jonkin verran käytetty koko ulkovaipan katteena. Kennolevyjen käyttö kasvihuoneen seinissä ja päädyissä pienentää kasvihuoneen lämmitystehontarvetta, koska niiden U-arvo on noin puolet lasin U-arvosta.

Taulukossa 1 on esitetty eri valmistajien yleisimmän 10 mm:n paksuisen eri valmistajien kennolevyn U-arvo ja valonläpäisy.

Taulukko 1. Kennolevyjen valonläpäisy- ja U-arvo [7; 8; 9].

<b>Polykarbonaattikennolevyt</b>			
Tuote	Paksuus mm	U-Arvo W/m <sup>2</sup> °C	Valon läpäisy %
POLYGAL kirkas 3-kerroslevy	10	2,60	76
RODECA opaali 2-kerroslevy	10	2,30	72
POLITEC kirkas 2-kerroslevy	10	3,00	85
POLITEC kirkas 4-kerroslevy	10	2,49	79
LTC10/3TS2000	10	3,00	73
LTC10/2RS1700	10	3,00	82

Taulukosta nähdään, että eri valmistajien kennolevyjen U-arvo vaihtelee 2,30:n ja 3,00:n välillä. U-arvon vaihtelu johtuu kennolevyn rakenteista.




### 3.4 Kasvihuoneen alapohja




Kasvihuoneen alapohja on yleensä salaojitettu sora/murskekerros, jonka päälle on asennettu vettäläpäisevä ohut kangaskerros. Betonilattioita käytetään käytävillä ja pakkaamotiloissa.

### 3.5 Varjostus- ja energiansäästöverhot

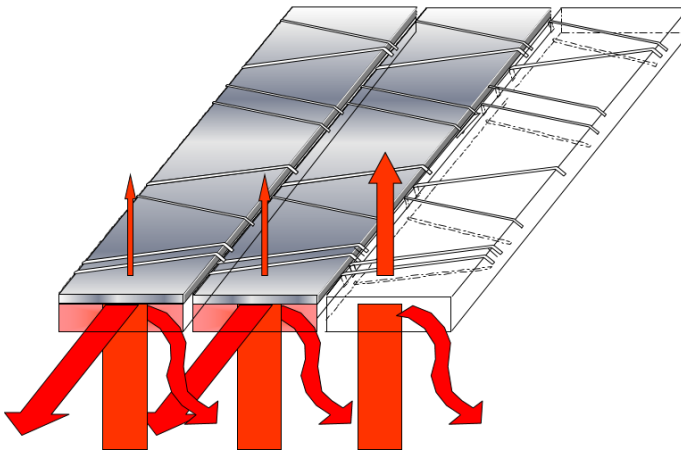
Suurimpaan osaan Suomen kasvihuoneista on asennettu varjostus- ja lämpöverhoja. Varjostus- ja lämpöverhot ovat yöksi auki levitettäviä verhoja, joiden avulla vähennetään kasvihuoneiden lämpöhäviöitä ja kasvien haihduntaa. Verhojen avulla kasvihuoneen yöajan ilmastoa on helpompi hallita, ja kasvien lämpösäteily vähenee. Verhot on tehty muovista ja alumiinista. Lämpösäteilyä heijastavien verhojen käyttö kasvihuoneen päädyissä ja seinillä päiväsaikaan estää myös lämmön karkaamista. Käyttämällä verhoja on kasvihuoneen lämmitystehontarvetta ja energiankulutusta saatu pienennettyjä. Verhoja käytetään myös kesän aikana varjostamaan auringon säteilyä. Taulukossa 2 nähdään Ludvig Svensson-verhonvalmistajan verhojen valonläpäisy- ja energiansäästöarvoja.

Taulukko 2. LS kasvihuoneverhojen valonläpäisy ja energiansäästö [muokattu LS].

	 Suora valonläpäisy	 Hajasäteilyn läpäisy	 Energiansäästö
SLS 10 ULTRA	88 %	81 %	43 %
XLS 10 ULTRA REVOLUX	83 %	75 %	47 %
XLS 13 FIREBREAK	70 %	65 %	49 %
XLS 13 REVOLUX	68 %	62 %	47 %
XLS 14 FIREBREAK	56 %	53 %	52 %
XLS 14 REVOLUX	56 %	50 %	50 %
XLS 15 FIREBREAK	46 %	43 %	57 %
XLS 15 REVOLUX	45 %	41 %	55 %
XLS 16 FIREBREAK	36 %	34 %	62 %
XLS 16 REVOLUX	37 %	34 %	60 %
XLS 17 FIREBREAK	25 %	24 %	67 %
XLS 17 REVOLUX (COLOR)	31 %	29 %	65 %
XLS 18 FIREBREAK	14 %	14 %	72 %
XLS 18 REVOLUX	15 %	13 %	70 %

-  Suora valonläpäisy
-  Hajasäteilyn läpäisy
-  Energiansäästö

Verhot koostuvat alumiini- ja muovinauhoista. Esimerkiksi XLS 15 Revolux-verhossa on 38 % alumiininauhoja ja 62 % muovinauhoja kun, XLS 18 Revolux-verhossa on 62 % alumiininauhoja ja 28 % muovinauhoja. Alumiininauhat heijastavat takaisin lämpösäteilyn kasvihuoneen sisään, kun muovinauhat pääsevät läpi suurimman osan säteilystä. Kuva 9 esittää kasvihuoneverhon rakenteen. Harmaat osat kuvassa ovat alumiininauhoja ja valkoinen osa on muovinauha.



Kuva 9. Varjostus- ja energiansäästöverhon rakenne.

Kuva 10 esittää kasvihuoneverhot asennettuna ryhmäkasvihuoneen katossa.



Kuva 10. Kasvihuoneen varjostus- ja energiansäästöverho.

## 4 Kasvihuoneen johtumislämpöhäviöt

### 4.1 Lämmönjohtuminen rakenneosan läpi

Eri rakenneaineiden lämmönjohtavuuksille on määritetty suunnitteluarvot Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C4. Taulukko 3 esittää kasvihuoneissa käytettyjen aineiden normaalista lämmönjohtavuutta.

Taulukko 3. Aineiden lämmönjohtavuus [5, s.14–15].

Aine, tarvike	Normaalinen lämmönjohtavuus $\lambda_n$ [W/(m*K)]
Rauta, Teräs	50
Alumiini	220
Puu	0,12
Betoni	1,2-1,7
Lasi	1,0
PE muovi	16,0
Polykarbonaatti	0,21
Akryyli	0,20

Kun tiedetään aineen lämmönjohtavuus ja paksuus, voidaan kaavalla 1 laskea rakenneaineosalle oma lämpöresistanssi.

$$R_n = \frac{d_n}{\lambda_n} \quad (1)$$

$R_n$  on rakenneaineosan lämpöresistanssi,  $\left(\frac{m^2K}{W}\right)$

$d_n$  on rakenneaineosan paksuus, (m)

$\lambda_n$  on rakenneaineosan lämmönjohtavuus,  $\left(\frac{W}{Km}\right)$



Sijoittamalla rakenneaineosien lämpöresistanssit kaavaan (2) saadaan koko kasvihuoneen rakennusosan kokonaislämmönvastus ympäristöstä ympäristöön.

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_g + R_b + R_{q1} + R_{q2} + \dots + R_{qn} + R_{se} \quad (2)$$

$$R_T \text{ on rakenneaineosan lämpöresistanssi, } \left( \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

$$R_{si} \text{ on sisäpuolisen kerroksen pintavastus, } \left( \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

$$R_{1\dots n} \text{ on eri rakenneosien lämpöresistanssi, } \left( \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

$$R_g \text{ on ilmakerroksen lämmönvastus, } \left( \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

$$R_b \text{ on maan lämmönvastus, } \left( \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

$$R_{qn} \text{ on ohuiden materiaalikerrosten lämmönvastukset, } \left( \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

$$R_{se} \text{ on ulkopuolisen kerroksen pintavastus, } \left( \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

Sisäpuolinen pintavastus  $R_{si}$  on riippuvainen lämpövirran suunnasta. Pintavastuksien arvot pöimitaan taulukosta 4. Väliarvot saadaan lineaarisesti interpoloimalla kaavalla (3).

$$R_{si, 0-90^\circ \text{ ylöspäin}} = 0,10 + \alpha \times \frac{0,13-0,10}{90^\circ-0^\circ} \left( \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) \quad (3)$$

Taulukko 4. Sisä- ja ulkopuolinen pintavastus [5, s. 16].

SISÄ- JA ULKOPUOLINEN PINTAVASTUS $R_{si}$ JA $R_{se}$					
Sisäpuolinen pintavastus $R_{si}$			Ulkopuolinen pintavastus $R_{se}$		
[ (m <sup>2</sup> *K)/W ]			[ (m <sup>2</sup> *K)/W ]		
Lämpövirran suunta					
Vakasuora	Ylöspäin	Alaspäin	Vakasuora	Ylöspäin	Alaspäin
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Väliarvot 0°-90° saadaan lineaarisesti interpoloimalla

Tunnelimuovikatteen ilmakerroksen vastus saadaan taulukosta 5. Tunnelimuovin ilma-  
raon paksuus kasvihuoneissa on 50–100 mm ja sen lämmönvastus riippuvainen läm-  
pövirran suunnasta. Väliarvot saadaan interpoloimalla.

Taulukko 5. Tuulettumattoman ilmakerroksen lämmönvastus  $R_g$  [5, s. 16]

Rajoittavien pintojen emissiviteetti	Ilmaraon paksuus $d_g$ mm	Lämpövirran suunta		
		vaaksuora	ylöspäin	alaspäin
yleinen tapaus:	5	0,11	0,11	0,11
ei heijastavia	10	0,15	0,15	0,15
pintoja	20	0,17	0,16	0,18
$\epsilon > 0,8$	50-100	0,18	0,16	0,21

Lämmönläpäisykerroin  $U_0$  ilman kylmäsiltojen vaikutusta lasketaan kaavalla 4.

$$U_0 = \frac{1}{R_T} \quad (4)$$

Kasvihuoneen ulkovaipalla säännöllisesti toistuvat kylmäsilat otetaan huomioon läm-  
mönläpäisykerroimen laskennassa. Tämä koskee mm. kannaksia sekä tuki- ja runkora-  
kenteita, esim. ulkovaipan katteen kiinnittämistä varten olevat alumiiniprofiilit ja peitelis-  
tat, jotka ovat tyypillisiä koko kasvihuoneen ulkovaipan alueella.

Kun kylmäsilan aineen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo poikkeaa viereisen aineen  
suunnitteluarvosta enemmän kuin 5-kertaisesti, lasketaan kylmäsilloista aiheutuva ra-  
kennusosan lämmönläpäisykerroimen lisäys kaavalla (5). [5, s. 6]

$$\Delta U_{\Psi X} = \sum \Psi_k \left( \frac{l_k}{A} \right) + \sum X_j \left( \frac{n_j}{A} \right) \quad (5)$$

$\Psi_k$  on rakennusosassa olevien keskenään samanlaisten viivamaisten  
kylmäsiltojen k viivamainen lisäkonduktanssi,  $\left( \frac{W}{(m \times K)} \right)$

$X_j$  on rakennusosassa olevien keskenään samanlaisten pistemäisten  
kylmäsiltojen j aiheuttama pistemäisten lisäkonduktanssi,  $\left( \frac{W}{K} \right)$

$l_k$  samanlaisten viivamaisten kylmäsiltojen yhteispituus rakennusosas-  
sa, (m)

$n_j$  samanlaisten pistemäisten kylmäsiltojen lukumäärä rakennusosassa

$A$  rakennusosan pinta-ala,  $m^2$

Kasvihuoneen ulkovaipan katemateriaalin alumiiniset asennusprofiilit aiheuttavat viivamaisia kylmäsiltoja koko kasvihuoneen ulkovaipan alalla. Lisäkonduktanssi on riippuvainen lämpövirran suunnasta. Katossa lisäkonduktanssi on suurempi kuin seinissä. Taulukossa 6 on esitetty 40x40 mm alumiinisen asennusprofiilin aiheuttama lisäkonduktanssi.

Taulukko 6. 40x40 mm:n alumiinisen asennusprofiilin lisäkonduktanssi

Lämpövirran suunta	$\Psi_k$ [W/Km]
Vakasuora	0,235
10°	0,278
15°	0,275
20°	0,272
25°	0,269
30°	0,266
35°	0,263
40°	0,260
45°	0,257

Kasvihuoneen rakenneosan lämmönläpäisykerroin  $U$  kylmäsiltoineen lasketaan kaavalla (6).

$$U=U_0 + \Delta U_{\Psi X} \quad (6)$$

#### 4.2 Kasvihuoneen lämpöhäviö ulkovaipan kautta

Kappaleessa 4.1 esitettyjä kaavoilla 1-4 käyttäen saadaan katemateriaalin  $U_0$ -arvo laskettu. Taulukko 7 esittää lasi- ja muovikatteen  $U_0$ -arvot. Kennolevyjen  $U$ -arvot on esitetty, aiemmin taulukossa 1 (sivulla 8).

Taulukko 7. Katemateriaalien  $U_0$ -arvot.

Katemateriaali	4 mm lasi [W/m <sup>2</sup> K]	Tunnelimuovi +Ilmarako [W/m <sup>2</sup> K]
Seinissä	5,75	2,85
Katossa, kaltevuus 10°	6,79	3,26
Katossa, kaltevuus 15°	6,71	3,23
Katossa, kaltevuus 20°	6,64	3,20
Katossa, kaltevuus 25°	6,56	3,18
Katossa, kaltevuus 30°	6,49	3,15
Katossa, kaltevuus 35°	6,42	3,12
Katossa, kaltevuus 40°	6,36	3,09

#### 4.3 Kasvihuoneen johtumisteho maahan

Kaikissa kasvihuonetyypeissä voidaan olettaa, että alapohjan lämmönläpäisykerroin on sama, koska kaikissa kasvihuonetyypeissä käytetään samanlaista alapohjaa, joka on ohuella kangaskerroksella päällystetty salaojitettu sora- tai murskekerros.

Sorasta tai sepelistä tehdyn vähintään 200 mm paksun salaojituskerroksen lämmönvastus on  $0,2 \frac{\text{m}^2 \times \text{K}}{\text{W}}$  [5, s. 18].

Kaavalla (7) voidaan silloin laskea kasvihuoneen alapohjan U-arvo.

$$U_{\text{Alapohja}} = \frac{1}{0,17 \frac{\text{m}^2 \times \text{K}}{\text{W}} + 0,2 \frac{\text{m}^2 \times \text{K}}{\text{W}}} = 2,703 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \quad (7)$$

Maahan johtuva tehoa voidaan laskea kaavan (8) avulla. Mitoittavana maan lämpötilana käytetään lämmityskauden keskilämpötilan arvo taulukosta 2, lisättynä taulukosta 5 poimittuja alapuolisen maan ja ulkoilman keskilämpötilan eron arvolla. Pinta-ala määritellään välittömästi maan kanssa kosketuksissa olevan pinta-alan mukaan.

Taulukko 8. Alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman keskilämpötilan ero [6, s. 19].

Alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero.			
Maalaji	Alapohjan U arvo, W/m <sup>2</sup> K		
	< 0,2	0,2-03	>0,3
Savi, salaojitettu hiekka ja sora	5	7	8
Hiesu, moreeni, hieta, salaojittamaton hiekka ja sora	3	5	6
Kallio	2	3	4

$$\emptyset_{\text{Alapohja}} = U_{\text{Alapohja}} \times A \times (T_s - T_{\text{maa}}) \quad (8)$$

$\emptyset_{\text{Alapohja}}$  on alapohjan lämmitystehontarve, (W)

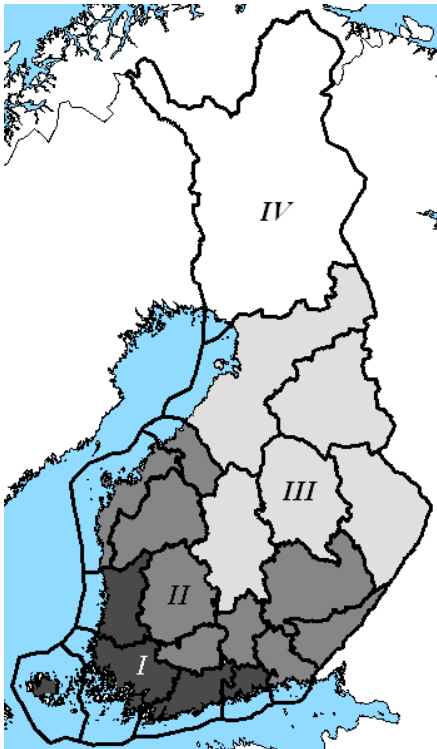
A on alapohjan pinta-ala, (m<sup>2</sup>)

T<sub>s</sub> on kasvihuoneen sisälämpötila, (°C)

T<sub>maa</sub> on maaperän lämpötila, (°C)

#### 4.4 Mitoituslämpötilat

Mitoittavana ulkolämpötiloina käytetään eri arvoja kasvihuoneen sijaintipaikkakunnan säävyöhykkeen mukaan. Nämä mitoitusarvot määrätään Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5: Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Suomi on jaettu neljään eri säävyöhykkeeseen. Kuva 11 esittää nämä säävyöhykkeet.



Kuva 11. Suomen säävyöhykkeet [6, s. 56]

Kun kasvihuoneen sijaintipaikka tiedetään, voidaan kasvihuoneen sijaintipaikan säävyöhykkeen tarkastamisen jälkeen taulukosta 9 poimia oikea mitoitusulkolämpötila.

Taulukko 9. Mitoittavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä [6, s. 56].

Mitoittavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä.			
Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila, °C	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila, °C	Lämmityskauden keskimääräinen ulkoilman lämpötila, °C
I	-26	+5	+1
II	-29	+4	0
III	-32	+2	-1
IV	-38	0	-5

Kasvihuoneen ulkopuolella vallitsevan lämpötilan lisäksi lämpötehon johtumishäviöiden laskemiseen tarvitaan kasvihuoneen sisällä olevan lämpötilan määrittäminen. Kasvihuoneissa mitoitettavat sisälämpötilat ovat päiväsaikaan 22–24 °C ja yöaikaan 16–18 °C. Mitoituksessa käytetään yleensä yöajan sisälämpötilaa.

Sisä- ja ulkolämpötilan määrittämisen jälkeen voidaan kaavalla (9) laskea lämpötilaero.

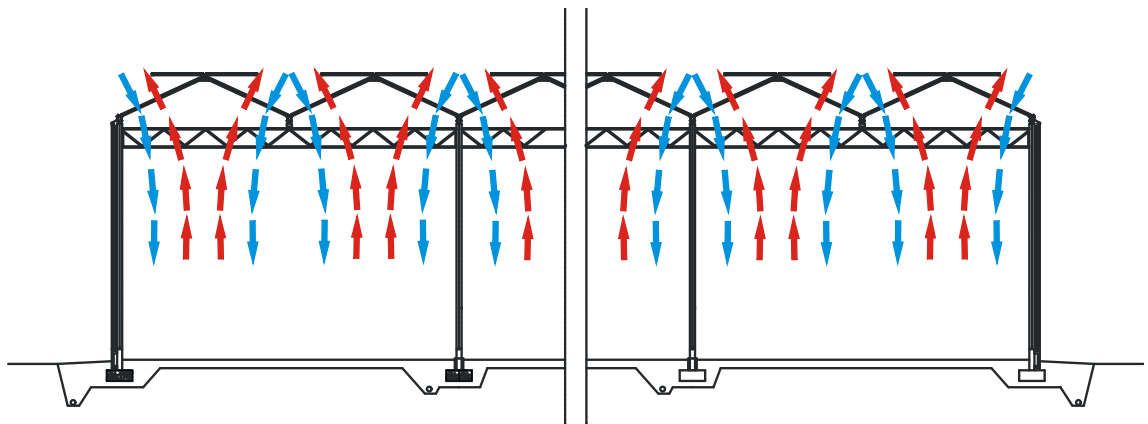
$$\Delta T = T_S - T_U \quad (9)$$

$T_S$  on rakenneosan sisäpuolen lämpötila, (°C)

$T_U$  on rakenneosan ulkopuolen lämpötila, (°C)

## 5 Kasvihuoneen ilmanvaihto

Kasvihuoneiden ilmanvaihto on painovoimainen ja tapahtuu tuulettamalla tuuletusluukujen kautta kasvihuoneen katolla. Kuvassa 12 on esitetty ryhmäkäsivihuoneen tuuletus



Kuva 12. Ilmanvaihto ryhmäkäsivihuoneessa.

Painovoimainen ilmanvaihto on ongelmallinen lämmitystehoa määritettäessä, koska ilmanvaihto riippuu säätökijöistä. Painovoimainen ilmanvaihto perustuu lämpötilaeroista syntyneisiin tiheyseroiin ulko- ja sisäilman välillä. Mitä suurempi sisäilman ja ulkoilman paine-ero on, sitä nopeammin ilma vaihtuu kasvihuoneessa. Ulkoilmalämpötilan lisäksi ilmanvaihtoon vaikuttavat tuulen nopeus ja suunta kasvihuoneen vaippapinnalla. Niihin vaikuttaa kasvihuoneen sijaintipaikka. Nämä tekijät ajavat painovoimaisen ilmanvaihdon toimimaan kaikkein suurimmillaan kovilla pakkasilla ja tuulisilla säillä. [4, s. 210]

Tuuletusta käytetään yllämmön ja kosteuden poistoon ja tuuletuksen tarvitsemää lämmitystehoa ei yleensä oteta huomioon kasvihuoneen lämmitystehon laskelmissa, koska tuuletusta ei käytetä kovilla pakkasilla.

Jos ilmanvaihdon kasvihuoneelle aiheuttama lämmitystehontarve kuitenkin halutaan ottaa huomioon, se voidaan laskea kaavalla (10).

$$\dot{Q}_{IV} = q_{IV} \times \rho \times c_p \times (\Delta T) \quad (10)$$

$\dot{Q}_{IV}$  on ilmanvaihdon aiheuttama lämmitystehontarve, (W)

$q_{IV}$  on tuloilman ilmamäärä,  $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$

$\rho$  on ilman tiheys,  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

$c_p$  on ilman ominaislämpökapasiteetti,  $\left(\frac{\text{J}}{\text{kgK}}\right)$

$\Delta T$  on kasvihuoneen sisälämpötilan ja ulkoilman ero, (K)

## 6 Vuotoilmasta johtuvat lämpöhäviöt

Vuotoilma aiheuttaa lämpöenergian siirtymistä kasvihuoneesta pois. Tämä häviö täytyy ottaa huomioon lämpötehon häviöitä laskettaessa. Vuotoilman määrä riippuu siitä, kuinka tiiviit kasvihuoneen ulkovaipan rakenteet ovat ja millaiset ovat kasvihuoneen ulkovaipan ympärillä vallitsevat olosuhteet. Vuotoilmavirran aiheuttaa paine-ero ulkovaipan eri puolilla. Paine-ero aiheutuu tuulen vaikutuksesta sekä vaipan eri puolten lämpötilaerosta, koska ilman tiheys muuttuu lämpötilan mukaan. Paikalliset olosuhteet ja tuuliolosuhteet vaikuttavat tähän häviöön. Tuulisissa olosuhteissa itse vuodon lisäksi enemmän lämpöä häviää johtumalla suoraan katemateriaalin läpi. Tämä johtuu siitä, että ilman virtaamisnopeus kasvihuoneen ulkovaipan katepinnalla tehostaa lämmönsiirtoa.

Vuotoilmavirran selvittämiseksi tarvitaan myös tieto kasvihuoneen ilmatilavuudesta. Tämä lasketaan kasvihuoneen ulkovaipan sisäpinoista mitattuna. Vuotoilmakerroin (1/h) täytyy arvioida, koska kasvihuoneen ilmanpitävyydestä ei ole tehty tutkimuksia.

Kasvihuoneen vuotoilmamäärä saadaan selville kaavalla 11.

$$q_{\text{vuotoIV}} = \frac{n_{\text{vuotoIV}} \times V}{3600} \quad (11)$$

Vuotoilman tehonhäviön määrittämiseen tarvitaan ilman ominaislämpökapasiteetti ja tiheys. Nämä muuttuvat lämpötilan, kosteuden ja paineen vaikutuksesta. Usein käytetään kuivan ilman aineominaisuutta lämpötilassa 20 °C, jolloin riittävä tarkkuus on tiheydelle  $1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  ja ominaislämpökapasiteetille  $1\,000 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$ .

Kaavalla (12) määritetään vuotoilman aiheuttama lämpöhäviö.

$$\dot{Q}_{\text{IV}} = q_{\text{vuotoIV}} \times \rho \times c_p \times (\Delta T) \quad (12)$$

$\dot{Q}_{\text{vuotoIV}}$  on vuotoilman aiheuttama lämmitystehontarve, (W)

$q_{\text{vuotoIV}}$  on vuotoilmamäärä,  $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$

$\rho$  on ilman tiheys,  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

$c_p$  on ilman ominaislämpökapasiteetti,  $\left(\frac{\text{J}}{\text{kgK}}\right)$

$\Delta T$  on ulkoilman ja kasvihuoneen sisälämpötilan ero, (K)



## 7 Kasteluveden lämmityksen tehontarve

Usein kasvihuoneissa lämmitetään kasvien kasteluvettä. Kasteluveden määrä riippuu valon määrästä, haihtumisvoimakkuudesta ja kasvien kasvuvaiheesta.

Kasteluveden lämmityksen tehontarpeen määrittämiseen tarvitaan veden ominaislämpökapasiteetti ja tiheys. Usein käytetään veden aineominaisuus lämpötilassa 20 °C, jolloin riittävä tarkkuus on tiheydelle  $1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  ja ominaislämpökapasiteetille  $4\,190 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$ .

Kaavalla (13) määritetään kasteluveden lämmityksen tehontarve.

$$\dot{Q}_{\text{kasteluvesi}} = q_{\text{kasteluvesi}} \times \rho \times c_p \times (\Delta T) \quad (13)$$

$\dot{Q}_{\text{kasteluvesi}}$  on kasteluveden lämmitystehontarve, (W)

$q_{\text{kasteluvesi}}$  on kasteluveden virtaus,  $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$

$\rho$  on veden tiheys,  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

$c_p$  on veden ominaislämpökapasiteetti,  $\left(\frac{\text{J}}{\text{kgK}}\right)$

$\Delta T$  on lämmitettyyn kasteluveden lämpötila ja tulevan veden ero, (K)

## 8 Kasvihuoneen lämmitystehohäviöt

Kasvihuoneen lämmitystehontarve saadaan, kun summataan kaikki kasvihuoneeseen vaikuttavat lämpöhäviöiden aiheuttajat ja kasteluveden lämmityksen tehontarve. Sijoittamalla kaavaan 14 osatekijät saadaan kasvihuoneelle tarvittava lämmitysteho selville.

$$\dot{Q} = \sum \dot{Q}_{\text{joht}} + \dot{Q}_{\text{vuotoIV}} + \dot{Q}_{\text{kasteluvesi}} \quad (14)$$

$\dot{Q}$  on kasvihuoneen lämmitystehontarve, (W)

$\sum \dot{Q}_{\text{joht}}$  on ulkovaipan ja alapohjan kautta johtuva lämpöteho, (W)

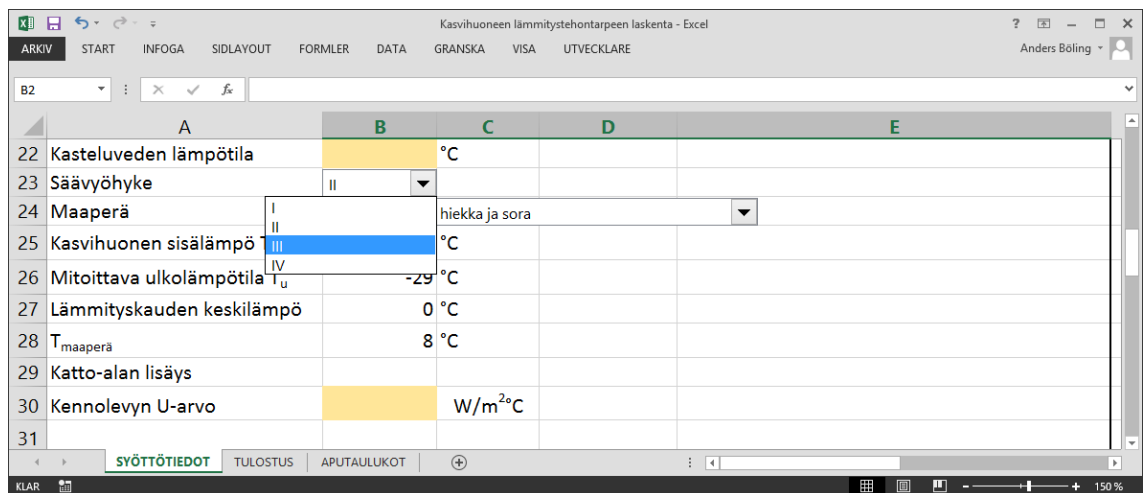
$\dot{Q}_{\text{vuotoIV}}$  on vuotoilman aiheuttama tehontarve, (W)

$\dot{Q}_{\text{kasteluvesi}}$  on kasteluveden lämmityksen aiheuttama tehontarve, (W)

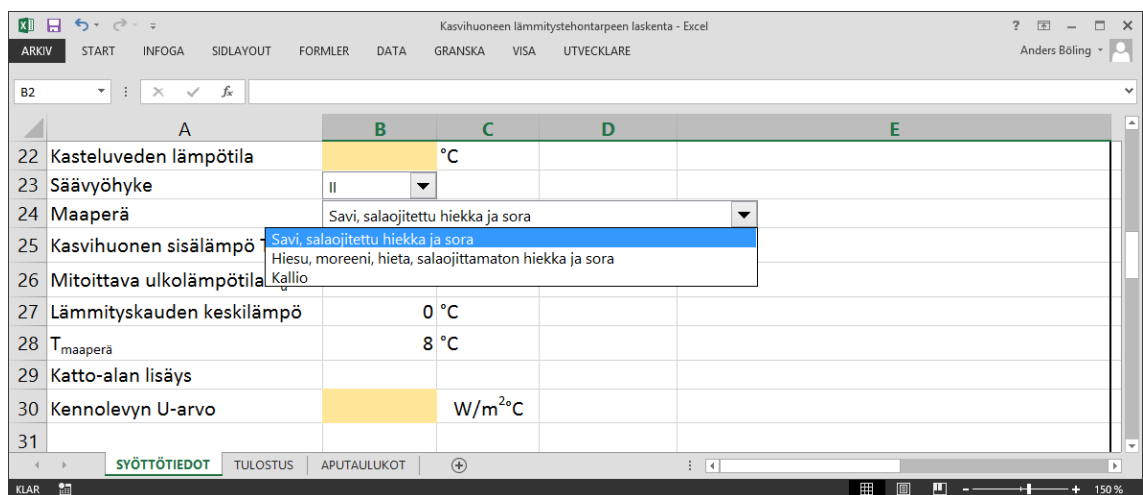


Laskentasovelluksessa lähtöarvojen syöttösolut on merkitty keltaisella pohjalla. Ainoastaan niitä soluja on mahdollista muokata, solujen ollessa muilta osin lukittuja. Lähtöarvot ovat joko laskentaan kuuluvia lukuarvoja tai tekstimuodossa olevia kuvauksia kohteesta. Sovelluksessa on myös käytetty valikollisia lähtöarvosoluja, jotka hakevat automaattisesti arvoja aputaulukoista välilehdeltä ”Aputaulukot”.

Ensimmäinen valikollista lähtöarvosolu on säävyöhyke, jossa valitaan kasvihuoneen sijaintipaikan säävyöhyke (kuva 14). Säävyöhykkeen valinnan jälkeen, sovellus hakee aputaulukoista mitoittavan ulkolämpötilan soluun B25 ja lämmityskauden keskilämpötila soluun B26. Seuraavassa valikollisissa lähtöarvosolussa B23 valitaan maaperälaji (kuva 15). Sovellus laskee automaattisesti maaperän lämpötilan solussa B27.



Kuva 14. Säävyöhykkeen valinta



Kuva 15. Maaperän valinta

Valikollisia lähtöarvosoluja on myös käytetty, kun valitaan kasvihuoneen rakenneosia (kuva 16), katemateriaali (kuva 17) ja verhon tyyppi (kuva 18).

A	B	C	D	E	F	G	H	I
KASVIHUONE-OSA	PITUUS	KORKEUS/ LEVEYS	RAKENNE-ALA [m <sup>2</sup> ]	KATEMATERIAALI	Kylmäsiilat [W/m <sup>2</sup> C]	Kylmäsiilat pituus [m]	U [W/m <sup>2</sup> C]	ILMAN VERHO [kW]
Seinä								
Pääty								
Katto								
Alapohja								
Sokkeli								

Kuva 16. Kasvihuoneen rakenneosan valinta

A	B	C	D	E	F	G	H	I
KASVIHUONE-OSA	PITUUS	KORKEUS/ LEVEYS	RAKENNE-ALA [m <sup>2</sup> ]	KATEMATERIAALI	Kylmäsiilat [W/m <sup>2</sup> C]	Kylmäsiilat pituus [m]	U [W/m <sup>2</sup> C]	ILMAN VERHO [kW]
				Tunnelimuovi 0,2 mm+ilmarako katossa				
				Tunnelimuovi 0,2 mm+ilmarako seinässä				
				Kennolevy seinässä				
				Kennolevy katossa				
				4 mm lasi seinässä				

Kuva 17. Katemateriaalin valinta

E	F	G	H	I	J	K	L	M
KATEMATERIAALI	Kylmäsiilat [W/m <sup>2</sup> C]	Kylmäsiilat pituus [m]	U [W/m <sup>2</sup> C]	ILMAN VERHO [kW]	VERHOT	VERHON ENERGIASÄÄSTÖ	VERHON KANSSA	
					SLS 10 ULTRA PLUS			
					XLS 10 REVOLUX			
					XLS 10 ULTRA REVOLUX			
					XLS 13 FIREBREAK			
					XLS 13 REVOLUX			
					XLS 14 FIREBREAK			
					XLS 14 REVOLUX			

Kuva 18. Verhotyyppin valinta

Rakenneosan valinnan jälkeen sovellus hakee automattisesti lähtötiedosta solujen B33–B42 arvoja ja myös laskee rakenneosan pinta-ala soluissa D33–D42. Katemateriaalin valinta hakee aputaulukosta katemateriaalin U-arvon sekä laskee soluissa H33–H42 uuden U-arvon, joissa kylmäsiltojen (F33-F42 ja G33-G42) vaikutus on otettu huomioon. Katon U-arvon laskelmissa sovellus ottaa myös huomioon  $R_{si}$ -arvon *lämpövirran suunnan vaikutus*. Soluissa I33–I42 on rakenneosan johtumishäviöt, kun verhot ovat auki ja soluissa L33–L42, kun verhot ovat kiinni. Kuva 19 esittää esimerkkinä kasvihuoneeseinän johtumislämpöhäviöt.

KASVIHUONE-OSA	PITUUS	KORKEUS/LEVEYS	RAKENNE-ALA [m <sup>2</sup> ]	KATEMATERIAALI	Kylmäsiltilat [W/m <sup>2</sup> C]	Kylmäsiltilat pituus [m]	U [W/m <sup>2</sup> C]	ILMAN VERHO [KW]	VERHOT	VERHON ENERGIASÄÄSTÖ	VERHON KANSSA [KW]
Seinä	100	5,6	560,0	4 mm lasi seinissä	0,265	600	6,03	97,94	SLS 10 ULTRA PLUS	43 %	55,8

Kuva 19. Esimerkki kasvihuoneen rakenneosan johtumishäviöt

Tulostuspainiketta painamalla saadaan tulostettua laskelman tulokset. Kuva 20 esittää tulostussivun.

Asiakas: Oy Ecomont Ab	Harjat: 25,0 kpl
Kohde: Testiprojekti 100x100 m Ryhmäkasvihuone	Kasvihuoneen pinta-ala: 10000,0 m <sup>2</sup>
Osoite:	Kasvihuoneen tilavuus: 64663,1 m <sup>3</sup>
Postiosoite:	Ilmanvaihto: m <sup>3</sup> /s
Paikkakunta:	Vuotoilma: 0,1 l/h
Kasvihuoneen leveys: 100,0 m	Kasteluvesimäärä: m <sup>3</sup> /vrk
Kasvihuoneen pituus: 100,0 m	Täyttöaika: h
Seinäk korkeus: 6,0 m	Kasteluveden lämpötila: °C
Sokkelin korkeus: 0,4 m	Kasvihuoneen sisälämpö T <sub>i</sub> : 18,0 °C
Harjakaton leveys: 4,0 m	Mitoitettava ulkolämpötila T <sub>e</sub> : -29,0 °C
Katon kaltevuus: 25,0 °	T <sub>maasoo</sub> : 8,0 °C
	Kennolevyn U-arvo: 3,0

Rakenne-osa	RAKENNE/KATEMATERIAALI	Pituus [m]	Leveys/ korkeus [m]	PINTA-ALA [m <sup>2</sup> ]	Kylmäsiltilat [W/m <sup>2</sup> C]	Kylmäsiltilat pituus [m]	U-arvo [W/m <sup>2</sup> C]	TEHO [kW]	VERHOKANGAS	SÄÄSTÖ	TEHO [kW]	
Sokkeli	100 mm Sandwich paneeli seinissä	400,0	0,4	160,0			0,38	2,9			2,9	
Seinä	4 mm lasi seinissä	100,0	5,6	560,0	0,245	600,0	6,01	158,2	SLS 10 ULTRA PLUS	43 %	90,2	
Seinä	4 mm lasi seinissä	100,0	5,6	560,0	0,245	600,0	6,01	158,2	SLS 10 ULTRA PLUS	43 %	90,2	
Pääty	4 mm lasi seinissä	100,0	5,6	606,6	0,245	650,0	6,01	171,3	SLS 10 ULTRA PLUS	43 %	97,7	
Pääty	4 mm lasi seinissä	100,0	5,6	606,6	0,245	650,0	6,01	171,3	SLS 10 ULTRA PLUS	43 %	97,7	
Katto	4 mm lasi katossa	100,0	100,0	11033,8	0,265	13500,0	6,89	3572,4	SLS 10 ULTRA PLUS	43 %	2036,3	
Alapohja	Alapohja 200 mm salaojittettu mursk/sora	100,0	100,0	10000,0			2,70	270,3			270,3	
								Q <sub>havait</sub>	4504,6		Q <sub>havait</sub>	2685,1
								Q <sub>uotolma</sub>	101,3		Q <sub>uotolma</sub>	101,3
								Q <sub>ilmavaihto</sub>	0,0		Q <sub>ilmavaihto</sub>	0,0
								Q <sub>kasteluvesi</sub>	0,0		Q <sub>kasteluvesi</sub>	0,0
								<b>Yhteensä</b>	<b>4605,9</b>	<b>460,6</b> kW	<b>Yhteensä</b>	<b>2786,4</b> kW
												<b>278,6</b> W/m <sup>2</sup>

**OY ECOMONT AB**  
[www.ecomont.fi](http://www.ecomont.fi)  
 64230 NÄRPES ST. TEL 06-2242174  
 FAX 06-2242178. GSM 0400-662154

Kuva 20. Laskentasovelluksen tulostussivu

## 10 Huomioitavaa sovelluksen käytössä

### 10.1 Syöttötiedot-välilehti

Syöttötiedot-välilehdellä solut B7–B12 sekä solu B25 tulee täyttää arvoilla, muuten sovellus ei toimii. Harjakattomallisen yksittäiskasvihuoneen lämpöhäviöiden laskettaessa täytyy harjakaton leveyden arvon (solu B11) olla sama kuin kasvihuoneen leveyden arvo (solu B7). Jos katemateriaaliina jossain rakenneosissa käytetään kennolevyjä, pitää soluun B30 syöttää kennolevyn U-arvo.

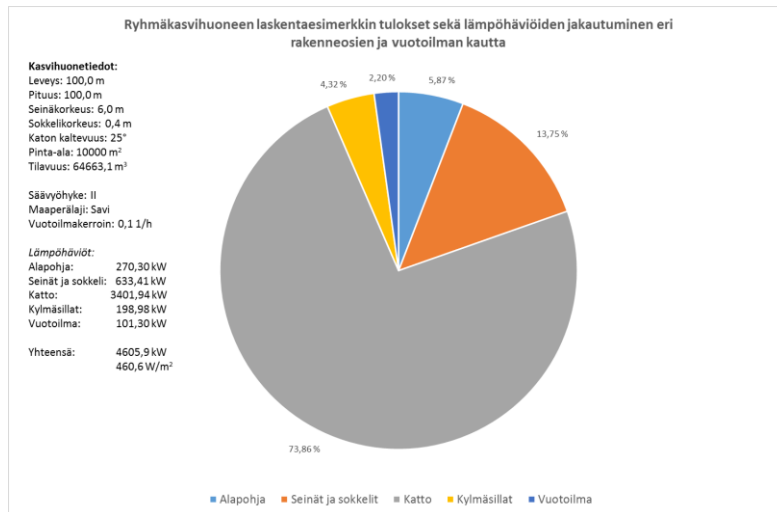
### 10.2 Aputaulukot-välilehti

Aputaulukot-välilehdellä on keltaisella pohjalla merkittyjä soluja, joihin sovelluksen käyttäjä voi lisätä omia arvoja.

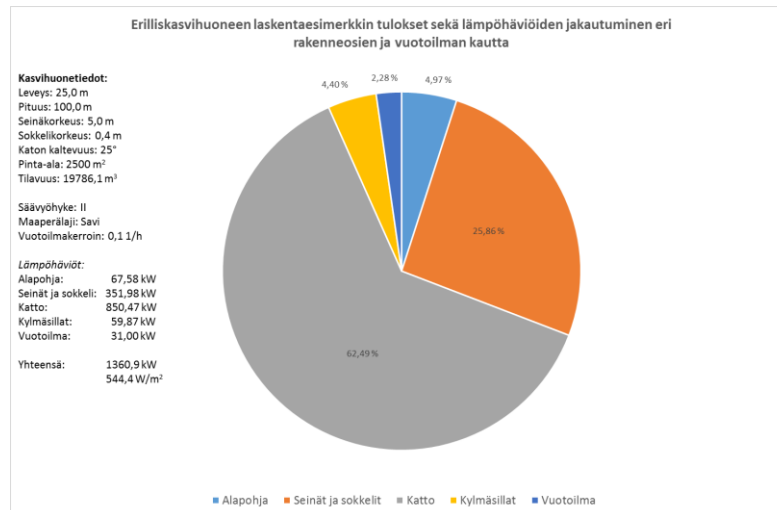
## 11 Laskentaesimerkkien tulokset ja herkkyytarkastelu

### 11.1 Laskentaesimerkkien tulokset

Tässä kappaleessa on esitetty liitteessä 1 ja liitteessä 2 olevat laskentaesimerkkien tulokset. Kuva 21 esittää liitteessä 1 olevan ryhmäkasvihuoneen laskentaesimerkin ja kuva 22 liitteessä 2 oleva erilliskasvihuoneen laskentaesimerkin.



Kuva 21. Ryhmäkasvihuoneen laskentaesimerkin tulos

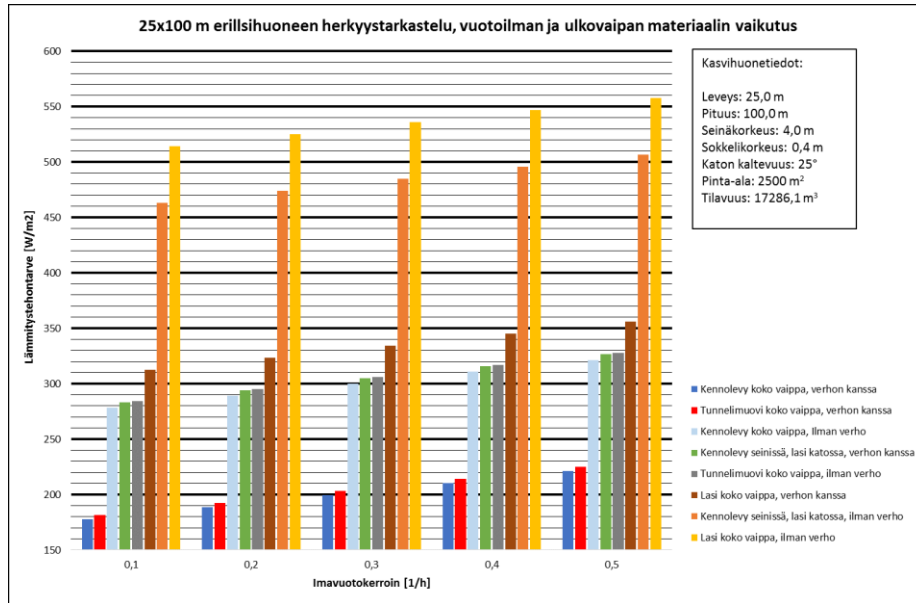


Kuva 22. Erilliskasvihuoneen laskentaesimerkin tulos

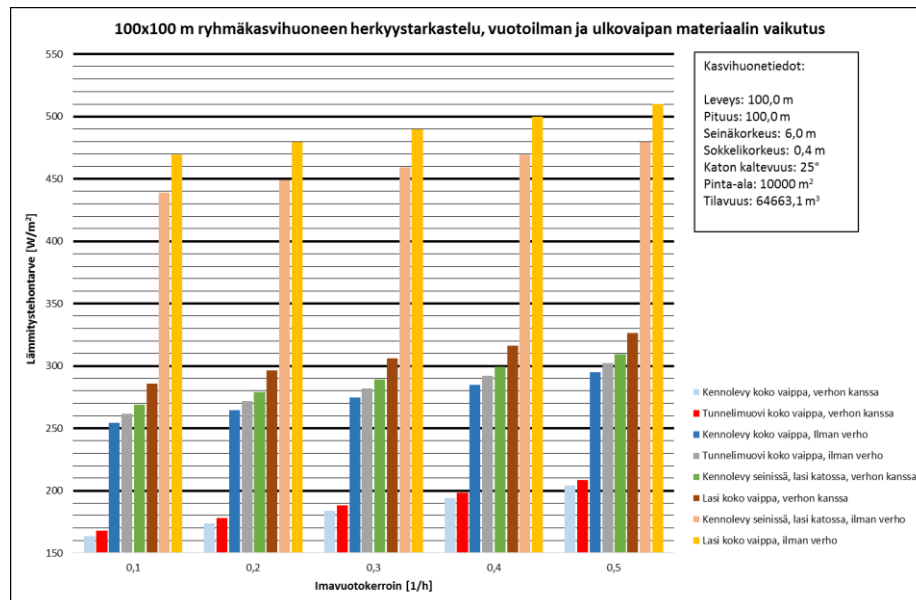
Kuvista nähdään, että eniten lämpöhäviöitä on katon kautta. Kylmäsiltojen osuus lämmitystehontarpeesta on 4,3–4,4 % ja vuotoilman osuus noin 2,2 %.

## 11.2 Herkkyystarkastelu

Tässä luvussa tarkastelen ulkovaipan katemateriaalin, vuotoilman ja maaperälajin vaikutusta kasvihuoneen lämmitystehontarpeeseen. Katemateriaalin ja vuotoilman vaikutukset on esitetty kuvissa 23 ja 24.



Kuva 23. Vuotoilman ja katemateriaalin vaikutus erilliskasvihuoneessa

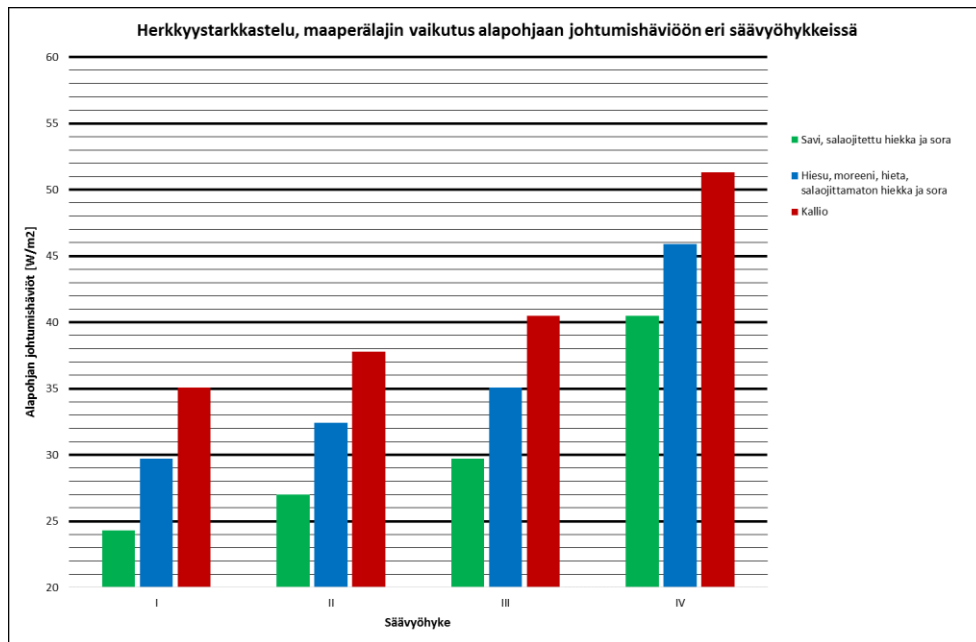


Kuva 24. Vuotoilman ja katemateriaalin vaikutus ryhmäkasvihuoneessa

Käytetty katemateriaali ja vuotoilman suurus vaikuttaa lämmitystehontarpeeseen merkittävästi, suurin vaikutus on kasvihuoneverhon käytöllä.



Kuvassa 25 on esitetty maaperälajin vaikutus alapohjaan johtumishäviöön eri säävyöhykkeissä.



Kuva 25. Maaperälajin vaikutus alapohjaan johtumishäviöön

## 12 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena on ollut selvittää kasvihuoneiden lämmitystehontarve ja luoda laskentasovellus Microsoft Excel ohjelmalla. Sovelluksella voidaan laskea kasvihuoneen lämmitystehon tarve. Sovellus on luotu sekä jo olemassa olevien kasvihuoneen muutostöitä varten että uuden kasvihuoneen lämmityslaitteiden mitoitusta varten.

Tarve kasvihuoneen lämpöhäviöitä laskevalle sovellukselle Oy Ecomont Ab:ssä on ollut pitkä aikaa, sillä kasvihuoneen lämmitysjärjestelmien ja lämpölaitoksien suunnitelmia sekä myös kasvihuoneiden lämmitysjärjestelmien uusimis- ja muutossuunnitelmia tehdään yrityksessä useita vuodessa.

Excel-sovellus koostuu laskufunktioista, jotka on tehty joustaviksi loogisilla lauseilla sekä hakufunktiolla. Näitä toiminnoilla yhdistelemällä on saatu luotua riittävän monipuolinen ja automatisoitu sovellus. Sovelluksen lämpöhäviöiden laskentatulokset täsmäävät myös aika hyvin käytettyihin ”normiarvoihin”, jotka ovat 250–350 W/m<sup>2</sup> riippuen kasvihuonetyypistä.

Laskentasovellus pystyy tällä versiolla laskemaan harjakattomallisten kasvihuoneiden lämmitystehontarpeen. Sovellusta voisi kehittää jatkossa myös kattamaan kaarimalliset yksittäiskasvihuoneet. U-arvon määrittämistä varten voisi myös luoda laskentatyökalun sovelluksessa. Työkalu helpottaisi U-arvon määrittämistä, mikäli tiedetään katemateriaalit ja niiden paksuudet. Kasvihuoneissa tarvitsisi myös suorittaa vuotoilmamittauksia.

## Lähteet

- 1 Puutarhatilastot 2012. (verkkodokumentti). Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. <<http://www.maataloustilastot.fi>>. Luettu 28.3.2013
- 2 Kauppapuutarhaliitto. (verkkodokumentti). <<http://www.kauppapuutarhaliitto.fi>>. Luettu 20.3.2013
- 3 Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-liitto.
- 4 Seppänen, Olli. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Helsinki: Suomen LVI-liitto
- 5 Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. Lämmöneristys. 2003. Helsinki: ympäristöministeriö
- 6 Suomen rakentamismääräyskokoelma D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2007. Helsinki: ympäristöministeriö
- 7 Richel-kiinnityslistat. (verkkodokumentti). Schetelig. <<http://schetelig.com/documents/12427/393918/Richel-%20kiinnityslistat%20%2850%20kpl%29.pdf>>
- 8 PC-kennolevyt. (verkkodokumentti). Schetelig. <<http://schetelig.com/documents/12427/393918/PC-kennolevyt%20%2850%20kpl%29.pdf>>
- 9 Termorex växthus. (verkkodokumentti). Reo-Tuote. <<http://www.reo.fi/filer/1329737685.pdf>>
- 10 Kennolevyt. (verkkodokumentti). Kasvihuone ES-AN. <<http://monexi.fi/tuotteet/valokatteet/>>. Luettu 28.3.2013



