

**KASVUTUNNELEIDEN ILMASTO-OLOSUHTEET VADELMAN  
VILJELYSSÄ**

Kasvukauden 2016 mittaukset Lepaalla



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Lepaa, puutarhatalouden koulutusohjelma

kevät, 2018

Tomi Rosenqvist

Puutarhatalouden koulutusohjelma  
Lepaa

---

<b>Tekijä</b>	Tomi Rosenqvist	<b>Vuosi</b> 2018
<b>Työn nimi</b>	Kasvutunneleiden ilmasto-olosuhteet vadelman viljelyssä	
<b>Työn ohjaaja</b>	Teo Kannainen	

---

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tilaaja oli Hämeen ammattikorkeakoulu ja työssä mitattiin kasvutunneleiden ilmasto-olosuhteita vadelman viljelyssä. Tutkimus suoritettiin keräämällä mittauslaitteiden avulla tietoa kausihuoneen ilmastosta Lepaalla kesällä 2016 ja aineistoa verrattiin paikallisen sääaseman tietoihin samalta ajalta. Tavoitteena oli saada tarpeeksi vertailuaineistoa, jonka perusteella voi tehdä johtopäätöksiä kausihuoneen ilmastosta ja mahdollisesti kasvua rajoittavista tekijöistä kausihuoneen sisällä.

Työn tutkimusmenetelmänä käytettiin anturein varustettuja Android -käyttöjärjestelmällä toimivia mittauslaitteita mittaamaan ja keräämään tietoa kausihuoneen sisältä. Kerätty tieto purettiin ja analysoitiin vertaamalla aineistoa Hattulan Lepaan sääaseman aineistoon samalta ajalta.

Opinnäytetyön tutkimuksen tulosten johtopäätöksenä kasvutunnelin lämpötila kohosi kesällä päivisin usein yli 35 celsiusasteen, joka altisti vadelmat mahdolliselle lämpöstressille. Eroa kasvutunnelin ja ulkoilman välillä oli eniten hellepäivien aikana, jolloin kasvutunnelin sisällä oli 8-10 astetta lämpimämpää. Pienin ero kasvutunnelin ja ulkoilman välillä oli pilvisinä ja sateisina kesäpäivinä. Lämpötila laski öisin kasvutunnelissa lähes aina samalle tasolle kuin lämpötila kasvutunnelin ulkopuolella.

Mittaustulosten mukaan kausihuoneen sisällä on öisin lähes yhtä suuri ilman suhteellinen kosteus kuin ulkona. Päivällä kausihuoneen sisällä oli mittaustulosten mukaan aurinkoisina päivinä 5% – 15% pienempi ilman suhteellinen kosteus kuin ulkona. Sadejaksojen aikana ilman suhteellisen kosteuden taso mukaili kasvutunnelin sisällä ulkoilman tasoa.

**Avainsanat** Tunneliviljely, kausihuoneviljely, vadelma.

**Sivut** 22 sivua, joista liitteitä 4 sivua

Degree Programme in Horticulture  
Lepaa

---

<b>Author</b>	Tomi Rosenqvist	<b>Year</b> 2018
<b>Subject</b>	High tunnel climate conditions in raspberry cultivation	
<b>Supervisors</b>	Teo Kanniainen	

---

ABSTRACT

The commissioner of this thesis is Häme University of Applied Sciences. It studies and measures the climatic conditions of the high tunnels in raspberry cultivation. The study was carried out by collecting data from the Lepaa high tunnels' climate conditions with measuring devices and compared the data with the local weather station data for the same period. The aim was to have enough comparative data to draw conclusions from seasonal climate and potentially growth limiting factors within the high tunnel.

The research method used was the use of application using the Android operating system equipped with digital sensors to measure and collect information from the high tunnels. The collected data was extracted and analyzed by comparing the data with the Hattula Lepaa weather station data for the same period.

As a result of the thesis research, on sunny days the daytime temperature of the growth tunnel increased to over 35 degrees Celsius, exposing raspberries to possible thermal stress. The difference between the growth tunnel and outdoor air was the most during the hot days when the high tunnel was 8 to 10 degrees Celsius warmer. The smallest difference between the growth tunnel and the open air was on cloudy and rainy summer days. At night the temperature dropped in the high tunnel almost to the same level as the temperature outside the high tunnel.

According to the measurement results, within the season room there is almost the same relative humidity as the outside at night. In the daytime, within the season room, according to the measurement results, on sunny days there is 5 % to 15 % lower relative humidity than outside. During the rainy periods, the relative humidity level of the high tunnel followed the same level as that of the relative humidity outside of the high tunnel.

**Keywords** High tunnel, polytunnel, raspberry.

**Pages** 22 pages including appendices 4 pages

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	1
2	TEORIATAUSTA .....	2
2.1	Kirjallisuus .....	3
3	AINEISTO JA MENETELMÄT .....	4
3.1	Tutkimusmenetelmä .....	4
3.2	Mittauslaitteiden keräämä aineisto .....	5
3.3	Ilmatieteen laitoksen sääaseman aineisto .....	6
3.4	Mittalaitteen toimintaperiaate ja anturit .....	6
3.5	Antureiden kalibrointi .....	6
3.6	Mittauslaitteiden viive .....	7
3.7	Mittalaitteen anturit .....	7
3.7.1	Kosteus- ja lämpötila-anturi SI7021 .....	7
3.7.2	Valoanturi TSL2561 .....	8
3.7.3	COZIR Ambient 2 hiilidioksidianturi .....	8
4	TULOKSET JA TULOSTEN TULKINTA .....	8
4.1	Mittauslaitteiden anturien toiminta .....	8
4.1.1	COZIR Ambient 2 hiilidioksidianturi .....	8
4.1.2	Valoanturi TSL2561 .....	8
4.1.3	Kosteus- ja lämpötila-anturi SI7021 .....	9
4.2	Kausihuoneen lämpötila .....	9
4.3	Kausihuoneen ilman suhteellinen kosteus .....	11
4.4	Kausihuoneen ilmasto sadejakson aikana .....	13
4.5	Kausihuoneen ilmasto hellejakson aikana .....	14
4.6	Kausihuoneen muovin tyypin vaikutus mitattuihin lämpötiloihin ja ilman suhteelliseen kosteuteen .....	14
4.7	Vadelman viljelyyn vaikuttavat ilmastolliset tekijät .....	15
4.8	Vadelman viljelyyn vaikuttavien ilmastollisten tekijöiden vertailu kausihuoneesta mitattuun aineistoon .....	15
5	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	17
	LÄHTEET .....	18
	LIITTEET .....	19

## 1 JOHDANTO

Marjojen tunneliviljely on yleistynyt Suomessa ja monissa euroopan maissa viime vuosina. Viisi vuotta sitten mansikan tunneliviljelijöitä oli Suomessa vain muutama ja nyt heitä on jo kymmeniä. Luonnonvarakeskuksen tilaston mukaan marjojen tunneliviljelyn pinta-ala kasvoi vuonna 2016 26 hehtaariin, josta 16 hehtaaria oli vadelmaa ja kymmenen hehtaaria mansikkaa. 2015 voimaan tullut tunneliviljelyn kustannusten pääseminen investointituen piiriin lisää osaltaan tunneliviljelyn kannattavuutta ja tulee lisäämään tunneliviljelyä Suomessa myös tulevaisuudessa.

Työn tavoitteena on kerätä ja koota tietoa kausihuoneen sisältä Suomen olosuhteissa ja verrata sitä paikallisen sääaseman tietoihin. Tavoitteena on tehdä vertailuaineiston perusteella johtopäätöksiä kausihuoneen ilmastosta ja mahdollisesti kasvua rajoittavista tekijöistä kausihuoneen sisällä.

Tutkimustieto tunneliviljelyn ilmastollisista rajoitteista tai hyödyistä saattaa auttaa kehittämään tai löytämään kausihuoneille tehokkaampaa käyttöä tai ymmärtämään kausihuoneen ilmastollisia etuja tai rajoitteita arvokasvien viljelyssä.

## 2 TEORIATAUSTA

Kausihuoneet ovat yleensä polyetyleenikalvosta ja teräsrungosta rakennettuja korkeita tunneleita, joissa viljellään viljelyskasveja ja joiden sisäpuoli lämpenee auringon säteilyn avulla. Kausihuoneviljelyn on sanottu aikaistavan kasvukautta keväällä ja pidentävän kasvukautta syksyllä. Kausihuone tutkitusti lisää keskimääräistä satoa ja mahdollistaa erilaisten viljelytekniikoiden käytön, joita ei avomaalla yleisesti käytetä.

Marjojen avomaalla viljelyssä on huomattava sääriski, joka tutkimusten mukaan on kausihuoneessa paremmin hallittavissa. MTT:n Sotkamossa 2010 suorittamassa kokeessa kausihuoneessa viljellyn mansikan satotaso oli jopa yli kuusi tonnia hehtaarilta suurempi kuin avomaalla. Kausihuone parantaa poimittavan sadon laatua, sillä sade ei pääse vioittamaan marjoja. Sateista johtuva ylimääräinen kosteus ei aiheuta niin paljon kasvitauteja, kuin avomaalla, sillä kasvien lehdistö pysyy kuivana tunnelin sisällä. MTT Sotkmon viljelymenetelmäkokeessa todettiin kausihuoneen vähentävän harmaahometta 20-50%. Kausihuone suojaa viljeltäviä kasveja myös tuulelta.

Kasvihuoneeseen verrattuna kausihuoneen ilmastoa on vaikeampi kontrolloida. Kotimaisissa kausihuoneissa ei yleensä käytetä ilmastointia säätämään kasvutekijöitä, mutta kausihuoneisiin on esimerkiksi Euroopan eteläisissä maissa usein asennettu termostaateilla ohjatut automaattisesti avautuvat sivuseinät, jotka auttavat lämpötilojen kontrolloinnissa.

Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen Sotkamon ja Rovaniemen toimipaikoissa toteutettiin vadelman tehotuotantokoe vuonna 2008 ja Ruukin toimipaikassa 2009. Tutkimuksessa oli mukana Rovaniemellä ja Sotkamossa kahdeksan eri vadelmalajiketta ja Ruukissa seitsemän lajiketta. Tutkimuksen tuloksissa todetaan vadelman tunneliviljelyn satotason olevan huomattavasti suurempi avomaahan verrattuna. Sadon laatu oli myös parempi kuin avomaan verranteilla. Tutkimuksen mukaan kausihuoneen vaikutus sadon määrään riippuu osaksi myös viljelystä lajikkeesta. Rovaniemellä lajikkeet Jatsi ja Muskoka tekivät enemmän satoa avomaalla kuin kausihuoneessa. Tehotuotantokokeessa mainitaan, että vihannespunkki viihtyy erittäin hyvin kausihuoneessa ja siihen tulisi kiinnittää erityishuomiota. Sotkamon ja Ruukin toimipaikoissa havaittiin kausihuoneissa härmää ja vihannespunkteja jouduttiin torjumaan biologisella torjunnalla. Tutkimuksen mukaan satoa aikaistava ”vaikutus oli keskimäärin Sotkamossa 3 vuorokautta ja Rovaniemellä 14 vuorokautta. Ruukissa kausihuonevadelma valmistui keskimäärin 3 vuorokautta myöhemmin avomaaverranteeseen nähden. Sadon myöhästymiseen Ruukissa saattoi vaikuttaa erittäin runsas härmän esiintyminen kasvustossa edellisenä syksynä, sekä mahdolliset talvivauriot.” (Hoppula, 2010).

## 2.1 Kirjallisuus

Yksi viimeisimpiä Suomessa marjojen kausihuoneviljelystä tehtyjä tutkimuksia on MTT Rovaniemen julkaisu (Hoppula & Kajalo, 2012) ”Marjojen viljelymenetelmäkokeiden tuloksia 2008-2011”. Julkaisu vertailee kausihuoneviljelystä avomaaviljelyyn, sekä avaa viljelymenetelmäkokeiden tuloksia. Tutkimus käy läpi eri lajikkeiden satotasoa kausihuoneessa sekä avomaalla mansikalla ja vadelmalla. Tutkimuksessa todetaan vadelmalla olevan huomattavia lajikkeiden välisiä eroja satotasossa kausihuoneessa ja että kaikki lajikkeet eivät sovellu kausihuoneessa viljelyyn.

Toisen tutkimuksen toteuttanut MTT Sotkamo avaa tutkimuksessaan (Hoppula, K, 2010) vadelman tehotuotannon kausihuoneviljelyn hyötyjä ja haittoja, sekä viljelytuloksia Pohjois-Suomessa. Tutkimuksessa käydään läpi myös erilaisia kastelu ja lannoitustapoja ja niiden vaikutusta satotasoon.

Kanadassa Saskatchewanin yliopistossa tutkittiin vuonna 1998, 1999 ja 2000 tutkimuksessa (Waterer & Bantle, 2000) kausihuoneiden lämpötiloja. Tutkimuksen tuloksissa todettiin, että yölämpötilojen pudotessa lähelle nollaa lämpötila oli kausihuoneiden sisällä marginaalisesti korkeampi. Lämpötilan laskiessa hieman alle nollan kasvustoissa ei havaittu merkittävää vahinkoa kausihuoneen sisällä, kun taas kausihuoneen ulkopuolella pakkasella herkäät kasvit kärsivät huomattavaa vahinkoa.

Tutkimuksessa todettiin, että kausihuoneen lämpötilat olivat erittäin matalissa lämpötiloissa vain hieman korkeammat kuin kausihuoneen ulkopuolella, joten kausihuone antoi 1-2 celsiusasteen verran suojaa pakkaselle. Kausihuoneisiin istutuksessa aikaisin on tutkimuksen mukaan vain rajoitettu potentiaali, sillä kausihuoneen pakkaselta suojaava vaikutus on vain minimaalinen.

Tutkimuksessa tehtiin myös huomio, että lämpötilojen ylittäessä huomattavasti optimilämpötilan ei kasvustoissa havaittu kuitenkaan merkkejä lämpöstressistä kausihuoneen ulkona kasvaneihin kasveihin verrattuna. Kausihuoneiden ilmankosteus päivällä oli korkea ja sillä saattoi olla vaikutusta lämpöstressin ilmenemiseen.

Tanskassa Aarhusin yliopistossa tehtiin 2010-2013 tutkimus ”Understanding the effects of temperature on raspberry physiology and gene expression profiles”, jossa tutkittiin korkean lämpötilan aiheuttamaa stressiä vadelman fysiologiassa ja kukinnassa, sekä pyrittiin selvittämään eri vadelmalajikkeiden viljelyn mahdollisuutta Tanskan olosuhteissa kasvutunnelissa. Tutkimuksessa yritettiin löytää tietoa siihen, että miten korkea lämpötila vaikuttaa vadelman fotosynteesin tehokkuuteen, kukintaan ja satoon kaupallisilla vadelmalajikkeilla.



Tutkimuksen mukaan liian korkea lämpötila vaikuttaa vadelman kukintaan ja johtaa pienempään satoon ja sadon laatuun. Vadelman altistuminen pitkäaikaisesti yli fysiologisen optimilämpötilan vaikuttaa tutkimuksen mukaan kasvien kudosten muotoon ja biokemiaan. Tutkimuksen mukaan lämpöstressi vaikutti fotosynteesin tehokkuuteen negatiivisesti kaikilla lajikkeilla, mutta lajikkeiden välillä oli suuria eroja kuinka paljon fotosynteesiä tapahtui korkeassa lämpötilassa.

### 3 AINEISTO JA MENETELMÄT

#### 3.1 Tutkimusmenetelmä

Tutkimusta varten kerättiin dataa Hattulan Lepaan puutarhaoppilaitoksen vieressä sijaitsevan kausihuoneen ilmastosta, jossa viljellään vadelmaa noin 1,5 hehtaarin alalla. Tunnelin tyyppi on ketjuun rakennettu nostettu tunneli, jossa yhden kaaren leveys on noin kuusi metriä ja koko tunnelin korkeus noin viisi metriä korkeimmasta kohdasta. Vadelmaa kasvoi kolme riviä yhden kausihuoneen kaaren alla. Vadelmat kasvoivat astioissa, joissa oli tihkukastelu. Vadelmien riveissä oli tukilangat, joilla vadelman taimet oli tuettu. Puolet kausihuoneesta oli katettu kirkkaalla muovilla ja toinen osa kausihuonetta oli katettu ns. Diffuusiomuovilla. Tutkimuksessa pyrittiin myös selvittämään onko tunnelin muovin tyypillä vaikutusta esimerkiksi tunnelin lämpötiloihin.



Kuva 1. Lepaan kausihuone

Mittauksen ajanjakso sijoittui kesälle 2016 Toukokuun lopusta Syyskuun alkuun. Tieto kerättiin kausihuoneen kahdesta eri kohdasta kahden metrin korkeudelle asennettujen mittauslaitteiden avulla, jotka olivat asennettu kausihuoneiden keskirivien vadelman latvojen korkeudelle noin kahden

metrin korkeuteen. Mittauslaitteessa käytetyt anturit mittasivat lämpötilaa, ilman suhteellista kosteutta, hiilidioksidipitoisuutta, sekä valon tasoa.

Mittauslaitteiden mittausväliksi väliksi valittiin aineiston vertailtavuuden kannalta 10 minuutin väli, joka on myös Ilmatieteen laitoksen Lepaan Hattulan sääaseman mittausväli, tällöin mitattuun aineistoon oli mahdollista saada vertailevaksi aineistoksi yhteneväinen aineisto ulkoilmasta kohtalaisen läheltä viljelypaikkaa.



Kuva 2. Lepaan kausihuoneen vadelman kasvustoa 18.5.2018

Mittaustulokset ja Hattulan sääaseman aineisto siirrettiin taulukkolaskelmaohjelmaan, johon aineisto asemoititiin 10 minuutin välein kerättyyn verrannedataan Ilmatieteen laitoksen sääasemasta. Vertaileva data ladattiin Ilmatieteen laitoksen Hattulan Lepaan sääasemasta Ilmatieteen laitoksen avoin data -verkkopalvelusta XML-muotoisena.

Aineiston käsittelyn ja asemoinnin jälkeen aineistosta piirrettiin kuvaajat, joita käytettiin aineiston analysointiin. Aineistosta etsittiin vertailuun koko mitatun ajanjakson lisäksi erityisesti ajanjaksoja, jolloin säässä on tapahtunut huomattavia muutoksia, kuten hellejakso ja sadejakso.

Kausihuoneen ilmastoa mitanneissa antureissa ilmeni häiriöitä erityisesti mittausjakson loppupuoliskolla. Aineistojen vertaileva osuus tehtiin ensisijaisesti kesäkuun aineistosta, jolloin talteen saatiin suurin osa mittausdatasta joka anturista.

### 3.2 Mittauslaitteiden keräämä aineisto

Mittauslaitteet keräsivät joka päivästä oman tekstitiedostonsa, johon tietoa kertyi viiden minuutin välein riveittäin. Mittauslaitteiden sovellukset

latasivat ja päivittivät päiväkohtaiset tiedostot Dropbox -tiedostopalveluun, johon ne olivat yhteydessä 3G -verkon välityksellä. Molemmilla mittauslaitteilla oli Dropbox -tiedostopalvelussa omat kansionsa lokitiedostoille.

### 3.3 Ilmatieteen laitoksen sääaseman aineisto

Ilmatieteen laitoksen verkkosivuilta löytyvästä palvelusta voi rekisteröidyttyään hakea Ilmatieteen laitoksen sääasemien tuottamaa aineistoa XML -muodossa. Tätä opinnäytetyötä varten aineistoa otettiin Hattulan Lepaan sääasemasta, joka sijaitsee noin 400 metrin päässä kausihuoneesta, jossa mittaus tehtiin. Ilmatieteen laitoksen data ladattiin verkkopalvelusta XML -muotoisena viikko kerrallaan ja se yhdistettiin taulukkolaskentaohjelmassa koko kesän kattavaksi aineistoksi. Lepaan sääaseman tiedoista poimittiin vertailevaksi aineistoksi lämpötila kahden metrin korkeudella ja ilman suhteellinen kosteus. Sääasema ei kerännyt hiilidioksidin tai valon määrää, jota mittauslaitteet mittasivat, joten näille suureille ei Ilmatieteen laitoksen aineistosta saatu vertailtavaa dataa.

### 3.4 Mittalaitteen toimintaperiaate ja anturit

Tutkimuksen laitteiston ytimenä toimi Android -pohjainen sovellus, jonka tehtävänä oli kerätä tietoa IOIO-OTG -korttiin yhdistetyistä digitaalisista antureista tietoa ja toimittaa tieto Dropbox -verkkopalveluun.

Android -sovellus toimi matkapuhelimen Android -käyttöjärjestelmässä, johon IOIO-OTG -kortti oli yhdistetty USB-kaapelilla. Mittauslaitteet rakennettiin ja koteloiitiin muovisella kuvulla, joka suojasi laitteita mahdolliselta päältä tippuvalta kosteudelta. Valoanturit olivat sijoitettu koteloiden päälle. Valoantureiden päällä oli ohut preparaattilasi suojaamassa niitä kosteudelta. Laitteiston muut anturit olivat sijoitettuina kupujen alahelmoihin.

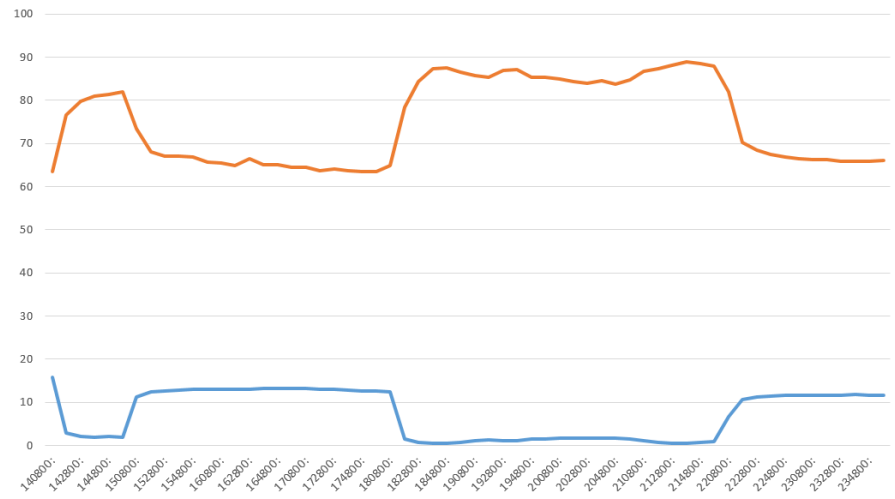
Laitteet saivat virran 12V akusta, joka latsi mittauslaitteiden akkuja koko tutkimuksen ajan. Akkujen varaustasoja ei erikseen mitattu ja ne ladattiin uudelleen täyteen, kun laite sammui ja lopetti tiedon lähetyksen Dropboxiin.

### 3.5 Antureiden kalibrointi

Anturit kalibroitiin käyttämällä Ilmatieteen laitoksen Lepaan sääasemalta mittauslaitteilla mitattua aineistoa, jota käytettiin mittalaitteiden tasoerojen säätämiseen. Kalibrointiin käytettiin yhden päivän aikana mitattua aineistoa, josta mittauslaitteiden tasoero pystyttiin määrittämään suhteessa Ilmatieteen laitoksen sääaseman mittaustuloksiin.

### 3.6 Mittauslaitteiden viive

Mittauslaitteiden viivettä testattiin siirtämällä laitteiden paikkaa tiettyinä ajankohtina eri lämpötilaan ja ilmankosteuteen. Mittauslaitteiden mittaustulokset näyttävät testin perusteella reagoivan äkillisiin muutoksiin noin 15 – 25 minuutin aikana. Viive pitää ottaa huomioon tulosten tulkinnassa. Mittauslaitteiden aineiston aikaleima on kirjautunut tiedostoon useana päivänä muutaman minuutin viiveellä, mutta joka päiväältä on kertynyt yleensä sama määrä, eli 145 riviä 10 minuutin välein mitattuna.



Kuva 3. Kuvaaja mittalaitteen viiveestä

### 3.7 Mittalaitteen anturit

#### 3.7.1 Kosteus- ja lämpötila-anturi SI7021

Mittaa lämpötilaa +/- 0.4 °C tarkkuudella @ 25 °C.

Mittaa myös ilman suhteellista kosteutta ja sen virhemarginaali 10–90 % alueella on +/- 3 %.

Anturi toimii 1.9 – 3.6V jännitteellä ja kuluttaa 150 µA virtaa. Anturi on tarkoitettu sovelluksiin, joissa tarkkaillaan ilmastoa, kuten sääasemat, termostaatit tai humidistaatit.

### 3.7.2 Valoanturi TSL2561

TSL2561 anturi mittaa valon voimakkuutta alueella 0,1 – 40 000 luxia. Valoantureista saatu data on melko epätasaista ja siinä näkyy ajoittain mittausvirheitä, jolloin anturista saatu signaali on pysynyt pitkään lähes samana.

### 3.7.3 COZIR Ambient 2 hiilidioksidianturi

COZIR Ambient 2 hiilidioksidianturi mittaa hiilidioksidin määrää alueella 0-2000 ppm. Anturi mittaa hiilidioksidin määrää ilmasta optisesti infrapunalla. Anturi pystyy mittaamaan hiilidioksidia kaksi kertaa sekunnissa matalalla kohinalla (<10 ppm). Anturin virhemarginaali on valmistajan mukaan +/- 50 ppm tai +/- 3 %.

## 4 TULOKSET JA TULOSTEN TULKINTA

### 4.1 Mittauslaitteiden anturien toiminta

#### 4.1.1 COZIR Ambient 2 hiilidioksidianturi

Hiilidioksidiantureiden aineisto eroaa huomattavasti toisistaan ja toinen antureista mittasi kesäkuun puolivälin jälkeen usein nollaa. Toinen tai molemmat hiilidioksidianturit ovat todennäköisesti viallinen/viallisia, eikä sen johdosta hiilidioksidianturien mittaamalle tiedolle voi antaa suurta painoarvoa. Antureista saatu aineisto mittauksen alusta näyttäisi kertovan, että hiilidioksidin määrä kasvaa öisin, mutta tätä tarkempaa tulkintaa hiilidioksidin tasoista ei kannata aineiston perustella tehdä. Kasvien soluhengitys voi selittää hiilidioksidin korkeamman tason yöllä kausihuoneessa.

#### 4.1.2 Valoanturi TSL2561

Valoantureista saatu data on melko epätasaista ja siinä näkyy ajoittain mittausvirheitä, jolloin anturista saatu signaali on pysynyt pitkään lähes samana. Vaikka anturin mittausalue on 40 000 luxiin asti, ovat molemmat anturit antaneet yli 40 000 luxin mittaustuloksia.

#### 4.1.3 Kosteus- ja lämpötila-anturi SI7021

SI7021 anturit mittasivat lämpötilojen osalta ennen kalibrointia kohtalaisen samat ja oikeat lukemat verrattuna Ilmatieteen laitoksen Hattulan Lepaan sääasemaan, mutta suhteellisen kosteuden mittaus oli molemmissa antureissa noin 10% suurempi verrattuna Ilmatieteen laitoksen Hattulan Lepaan sääaseman aineistoon.

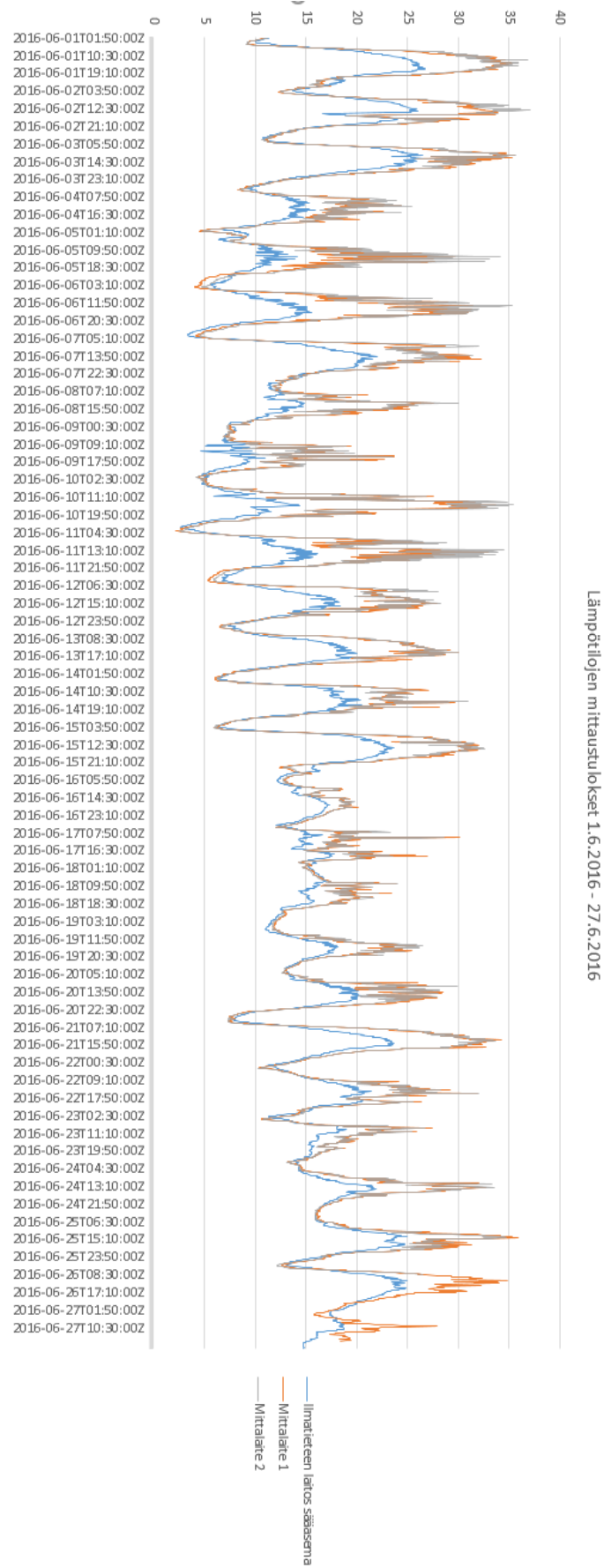
#### 4.2 Kausihuoneen lämpötila

Kausihuoneen mittausaineiston lämpötilojen kuvaajista voidaan yleisesti todeta, että kausihuoneen lämpötila mukailee ulkolämpötiloja, mutta eroaa yleensä eniten keskipäivällä, jolloin kausihuoneen lämpötila nousi huomattavasti ulkoilman lämpötilaa korkeammalle. Ulkolämpötiloissa tapahtuneet piikit erottuvat selvästi myös kausihuoneen mittausaineistosta.

Kesäkuun alun ensimmäisinä hellepäivinä 1.6, 2.6 ja 3.6 kausihuoneen lämpötila on kohonnut yli 35 celsiusasteen ulkolämpötilan ollessa korkeimmillaan 25 - 27 celsiusastetta.

Kesäkuun alun viileämpinä päivinä 4.6 - 6.6 kausihuoneen lämpötila kohosi yli 30 celsiusasteen ulkolämpötilan ollessa noin 15 celsiusastetta, jolloin ero on lämpötiloissa kausihuoneen sisäpuolella ja ulkopuolella huomattavan suuri.

Yölämpötila oli kesäkuussa kausihuoneen sisällä mittaustulosten mukaan 1-3 celsiusasteen sisällä Lepaan sääaseman lämpötilasta.



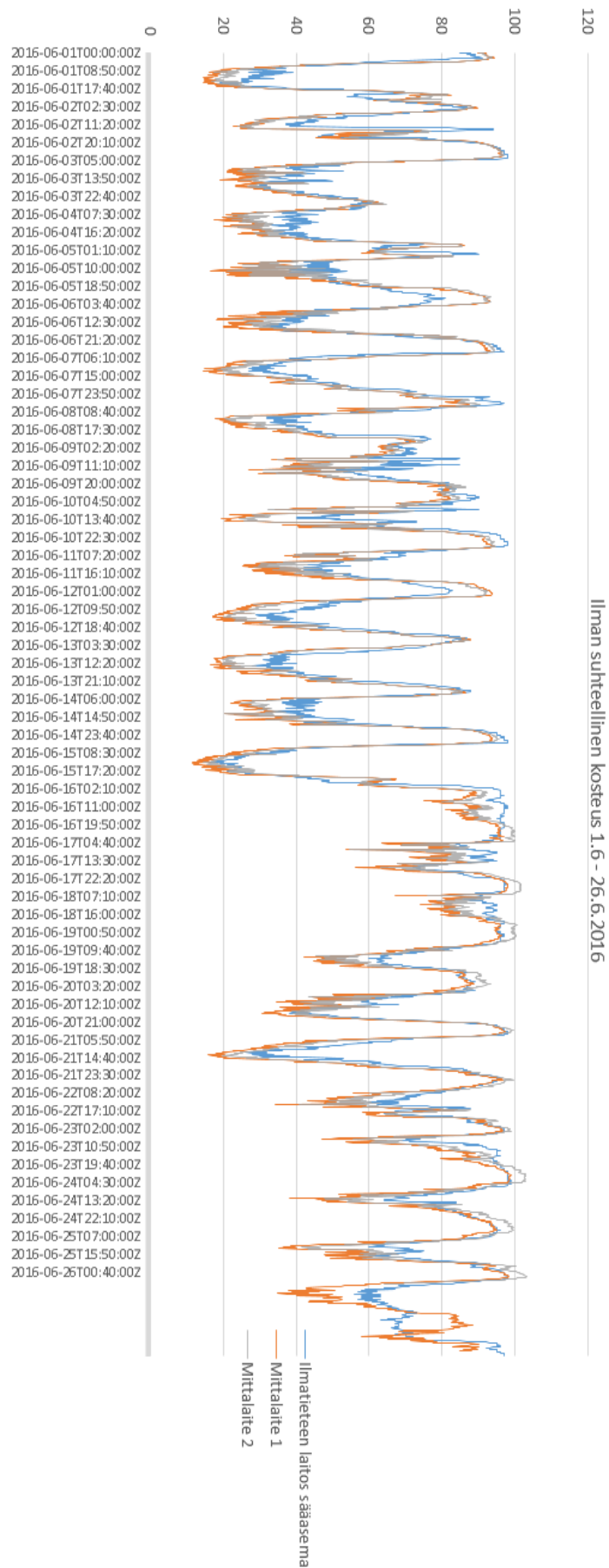
Kuva 4. Kuvaaja lämpötilojen mittaustuloksista

### 4.3 Kausihuoneen ilman suhteellinen kosteus

Kausihuoneista mitattu aineisto ilman suhteellisesta kosteudesta on normaaleina aurinkoisina kesäpäivinä öisin samassa linjassa ulkoilmaan verrattuna. Ilman suhteellisessa kosteudessa oli aineistossa eniten eroa usein keskipäivällä, jolloin kausihuoneen ilma on usein ollut mittaustulosten mukaan aurinkoisina päivinä 10-20% kuivempi. Aineiston mukaan hellepäiviä seuraavina öinä saattaa olla yhtä kosteaa tai hieman kostempaa kuin ulkona.

Aineiston mukaan pidempien sadejaksojen aikana ilman suhteellinen kosteus mukaillee kausihuoneen sisällä ulkoa mitattua ilman suhteellista kosteutta.

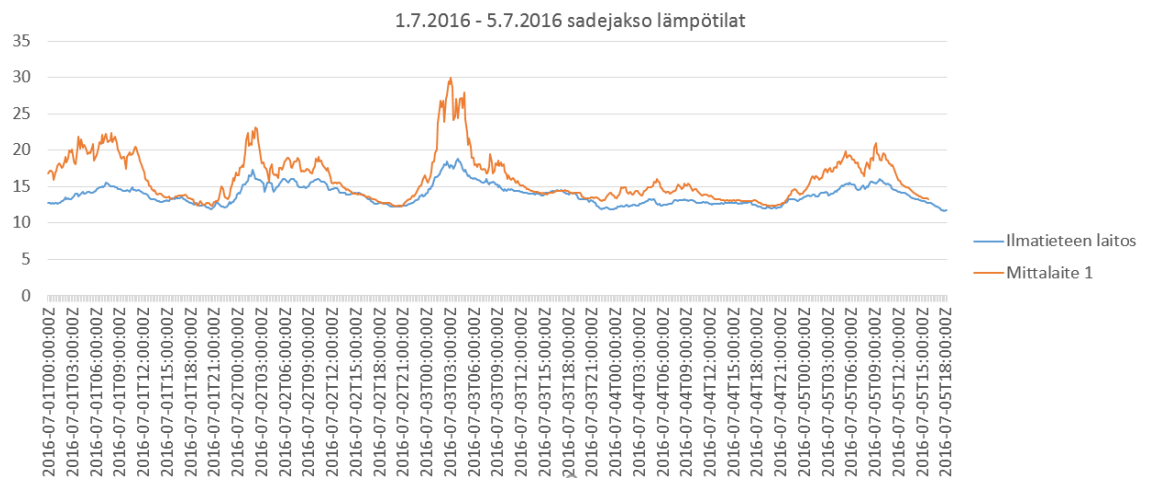




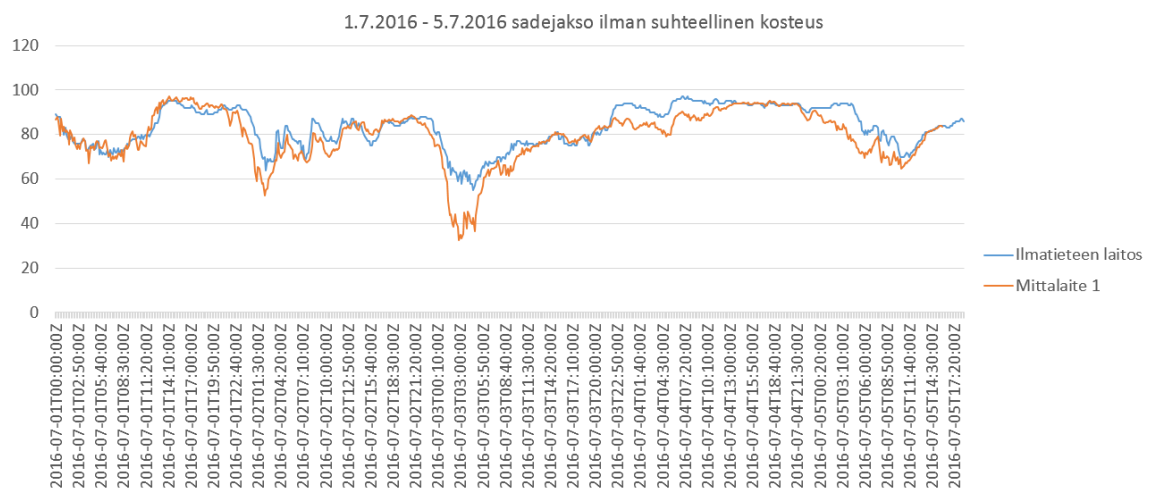
Kuva 5. Kuvaaja ilman suhteellisen kosteuden mittaustuloksista

#### 4.4 Kausihuoneen ilmasto sadejakson aikana

Heinäkuun alku 1.7-5.7 oli sateinen. Kausihuoneen ja ulkoilman suhteellinen kosteus pysyi ympäri vuorokauden korkealla. Aurinkoinen sää ja sen aiheuttama nousu lämpötilassa kolmas heinäkuuta nosti kausihuoneen lämmön lähes 30 asteeseen. Samalla kausihuoneen sisältä mitattu ilman suhteellinen kosteus laski noin 20% alemmas, kuin ulkoilman suhteellinen kosteus. Aineiston mukaan aurinkoisella päivällä on ollut huomattava vaikutus ilman suhteellisesta kosteudesta mitattuun aineistoon kausihuoneen sisällä.



Kuva 6. Kuvaaja sadejakson lämpötiloista

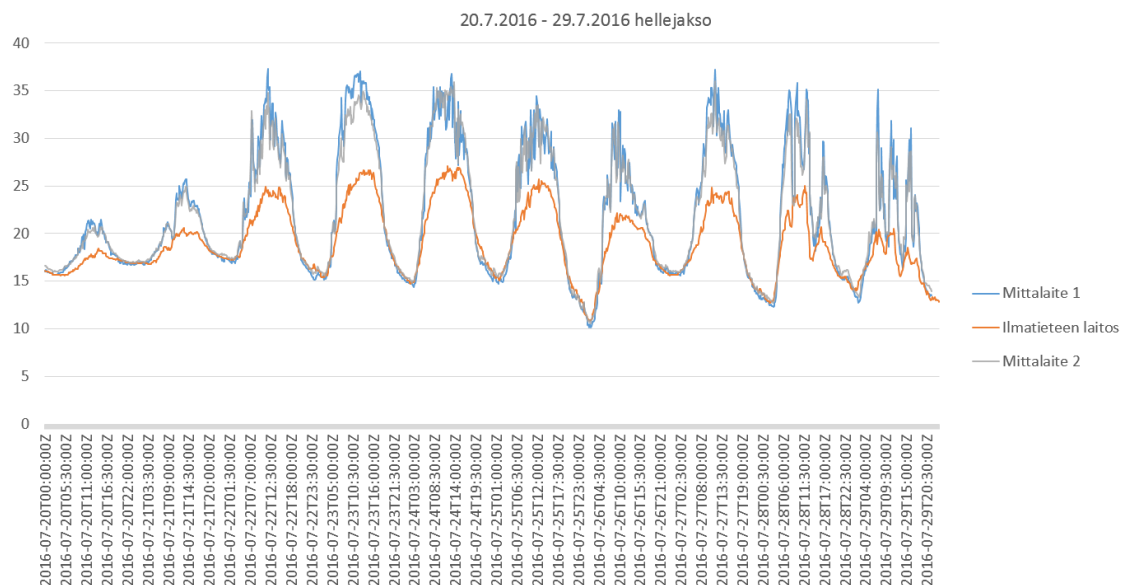


Kuva 7. Kuvaaja sadejakson ilman suhteellisesta kosteudesta

#### 4.5 Kausihuoneen ilmasto hellejakson aikana

Kausihuoneen ilmaston arvioimiseen hellejaksojen aikana saatiin aineistot kesäkuun alusta 1.6-3.6, sekä heinäkuun 22.7-28.7 ajalta. Kesäkuun alun suhteellisen kosteuden mittausaineistoa vertailtaessa kausihuoneen suhteellisen kosteutta mitanneiden mittalaitteiden aineiston suhteellinen kosteus eroaa eniten keskipäivällä. Kausihuoneesta mitatussa aineistossa on ollut hellepäivinä 10-15% matalampi ilman suhteellinen kosteus, kuin ilman suhteellinen kosteus Ilmatieteen laitoksen Lepaan sääaseman aineistossa.

Ilman suhteellinen kosteus on öisin kausihuoneen sisällä ja Lepaan sääasemalla melko yhteneväiset, mutta aineistossa esiintyy myös satunnaisia poikkeamia, jotka eivät ole kuitenkaan kovin suuria.



Kuva 8. Kuvaaja hellejakson lämpötiloista

#### 4.6 Kausihuoneen muovin tyypin vaikutus mitattuihin lämpötiloihin ja ilman suhteelliseen kosteuteen

Kausihuoneen muovin tyyppillä ei näytä olleen vaikutusta mitattuihin lämpötiloihin, sillä eri muovityyppien alta saadut mittaustulokset lämpötilasta ovat hyvin yhteneväiset. Anturit mittasivat lämpötiloja varjosta, joten aineistosta ei saa tietoa kuinka muovin tyyppi vaikuttaa kasvien lehtien lämpötiloihin, johon muovin tyyppillä saattaa olla vaikutusta.

#### 4.7 Vadelman viljelyyn vaikuttavat ilmastolliset tekijät

Vadelman kasvuun, kukintaan ja satoon vaikuttavat paljon lämpötilat kasvuvaiheissa. Viljelijä voi vaikuttaa vadelman sadon ajoitukseen, kuten valitsemalla istutuspäivän tai viileäkäsittämällä taimet kukinnan varmistamiseksi. Myös lajikevalinnoilla voi vaikuttaa vadelman satoon. Pakkanen kukinnan aikana voi vahingoittaa kukkia tai kehittyviä hedelmiä. Vadelman ideaali päivälämpötila on ProAgrian mukaan 13 – 20 celsiusastetta (Raatikainen, A). Lepaan kausihuoneesta mitatun aineiston mukaan lämpötila nousi keskipäivällä usein jopa yli 35 celsiusasteen, joka on reilusti yli optimilämpötilojen.

Suhteellinen kosteus alle 65% voi aiheuttaa vihannespunkeille otolliset olosuhteet ja yli 90% ilman suhteellinen kosteus voi aiheuttaa homeelle otolliset olosuhteet.

Cornellin yliopiston ”Greenhouse Raspberry Production Guide” suosittelee vadelmaa viljeltäessä suhteellisen kosteuden olevan 65-75% välillä. Oppaan mukaan alle 50% ilman suhteellinen kosteus voi laskea siitepölyn itämiskykyä ja korkea yli 90% ilman suhteellinen kosteus voi johtaa huonoon pölytykseen.

#### 4.8 Vadelman viljelyyn vaikuttavien ilmastollisten tekijöiden vertailu kausihuoneesta mitattuun aineistoon

Vadelman kasvuun, kukintaan ja satoon vaikuttavat huomattavasti lämpötilat kasvuvaiheissa. Viljelijä voi vaikuttaa vadelman sadon ajoitukseen, kuten valitsemalla istutuspäivän tai viileäkäsittämällä taimet kukinnan varmistamiseksi. Myös lajikevalinnoilla voi vaikuttaa vadelman satoon. Pakkanen kukinnan aikana voi vahingoittaa kukkia tai kehittyviä hedelmiä.

Tanskassa Aarhusin yliopistossa tehtiin 2010-2013 tutkimus, jossa tutkittiin korkean lämpötilan aiheuttamaa stressiä vadelman fysiologiassa ja kukinnassa, sekä pyrittiin selvittämään eri vadelmalajikkeiden viljelyn mahdollisuutta Tanskan olosuhteissa kasvutunnelissa. Tutkimuksessa yritettiin löytää vastauksia siihen, että miten korkea lämpötila vaikuttaa vadelman fotosynteesin tehokkuuteen, kukintaan ja satoon kaupallisilla vadelmalajikkeilla.

Tutkimuksen mukaan normaalia korkeammat jatkuvat lämpötilat vaikuttavat vadelman kukintaan heikentävästi ja johtavat pienempään satoon ja sadon laatuun. Vadelman altistuminen yli fysiologisen optimilämpötilan vaikuttaa kasvien kudosten muotoon ja biokemiaan. Tutkimuksen mukaan lämpöstressi vaikutti fotosynteesin tehokkuuteen negatiivisesti kaikilla lajikkeilla, mutta lajikkeiden välillä oli suuria eroja.

Aarhusin tutkimuksessa käydään läpi lämpöstressikäsittelyn tuloksia vadelmalla, jossa tutkittuja vadelmia pidettiin 27, 32, ja 37 celsiusasteen lämpötiloissa viikon ajan. Lämpöstressikäsittelyn aikana vadelman yhteyttämisen tehokkuus laski ja siten myös klorofyllin määrä ja lehtipinta-ala pieneni kasveissa huomattavasti kontrollikasveihin verrattuna. Yleisesti tutkimuksen lämpöstressikäsittely vaikutti vadelmien kasvuun enemmän korkeammissa lämpötiloissa, jolloin korkeammilla lämpöstressikäsittelyn lämpötiloilla oli aina suurempi negatiivinen vaikutus vadelman kasvuun ja yhteyttämiseen. Klorofyllipigmenttejä havaittiin olevan joissain lämpöstressikäsitellyissä vadelman lajikkeissa huomattavasti toisia lämpöstressikäsiteltyjä lajikkeita vähemmän, joten vadelman lämpöstressiin sopeutuminen saattaa olla osaksi lajikekohtaista.

Lepaan kausihuoneesta mitatut lämpötilat nousivat ajoittain Aarhusin lämpöstressitutkimuksessa käytettyjen lämpötilojen tasolle, mutta eivät olleet jatkuvia. Kausihuoneesta mitatut lämpötilat olivat korkeimmillaan hellepäivinä, jolloin keskipäivällä lämpötila saattoi nousta hetkellisesti jopa yli 35 celsiusasteen. Kausihuoneesta mitatut lämpötilat olivat myös huomattavasti suurempia viileämpien kesäpäivien keskipäivällä. Kausihuoneesta mitatut lämpötilat laskivat öisin lähes samaan tasoon, kuin Lepaan sääaseman lämpötilat.

Kanadassa Saskatchewanin yliopistossa tutkittiin vuonna 1998, 1999 ja 2000 kausihuoneiden lämpötiloja. Tutkimuksen tuloksissa todettiin, että yölämpötilojen pudotessa lähelle nollaa lämpötila oli kausihuoneiden sisällä marginaalisesti korkeampi. Lämpötilan laskiessa hieman alle nollan kasvustoissa ei havaittu merkittävää vahinkoa kausihuoneen sisällä, kun taas kausihuoneen ulkopuolella pakkaselle herkäät kasvit kärsivät huomattavaa vahinkoa. Tutkimuksessa todettiin, että kausihuoneen lämpötilat olivat erittäin matalissa lämpötiloissa vain hieman korkeammat kuin kausihuoneen ulkopuolella, joten kausihuone antoi 1-2 celsiusasteen verran suojaa pakkaselle. Kausihuoneisiin istutuksessa aikaisin on tutkimuksen mukaan vain rajoitettu potentiaali, sillä kausihuoneen pakkaselta suojaava vaikutus on vain minimaalinen.

Samassa tutkimuksessa tehtiin myös huomio, että lämpötilojen ylittäessä huomattavasti optimilämpötilan ei kasvustoissa havaittu merkkejä lämpöstressistä kausihuoneen ulkona kasvaneisiin kontrollikasveihin verrattuna. Kausihuoneiden ilman suhteellinen kosteus oli kanadalaistutkimuksen mukaan päivällä korkealla ja sillä saattoi olla vaikutusta lämpöstressin ilmenemiseen. Lepaan kausihuoneesta mitattu ilman suhteellinen kosteus erosi kanadalaistutkimuksesta siten, että kosteus ei ollut päivällä korkealla, vaan noin 10% – 15% matalammalla, kuin Lepaan sääaseman aineisto. Lepaan kausihuoneesta mitattu ilman suhteellinen kosteus oli öisin usein lähes samalla tasolla, kuin Lepaan sääaseman aineiston ilman suhteellinen kosteus.

Lepaan kausihuoneen mittausjakson aikana ei ilmennyt pakkasta, mutta mitattu aineisto tukee Saskatoonin yliopiston tekemän tutkimuksen aineistoa, jossa yölämpötilat olivat kausihuoneen sisällä marginaalisesti suuremmat tai samat, kuin kausihuoneen ulkopuolella.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, että esiintyykö Lepaan kausihuoneen ilmastossa vadelman viljelyä rajoittavia tekijöitä. Opinnäytetyön mittaustulosten perusteella lämpötila kohosi kasvutunnelissa usein päivällä yli 30 celsiusasteen, jonka johdosta vademat altistuvat kasvutunnelissa lämpöstressille, joka vaikuttaa fotosynteesin tehokkuuteen.

Eroa kasvutunnelin ja ulkoilman välillä oli eniten hellejaksojen aikana, jolloin kasvutunnelin sisällä oli 8 – 10 celsiusastetta lämpimämpää. Pienin ero kasvutunnelin ja ulkoilman välillä oli pilvisinä ja sateisina kesäpäivinä. Lämpötila laski öisin kasvutunnelissa lähes aina samalle tasolle kuin lämpötila kasvutunnelin ulkopuolella.

Mittaustulosten mukaan kausihuoneen sisällä on öisin lähes yhtä suuri ilman suhteellinen kosteus kuin ulkona, mutta päivällä kausihuoneen sisällä oli mittaustulosten mukaan aurinkoisina päivinä 5% – 15% pienempi ilman suhteellinen kosteus, kuin ulkona. Matala ilman suhteellinen kosteus voi heikentää siitepölyn itämistä ja vähentää härmän ja muiden sienitautien esiintymistä kasvutunnelissa. Kasvutunnelin ilman suhteellinen kosteus on päivisin otollinen vihannespunkin menestymiselle. Sadejaksojen aikaan ilman suhteellisen kosteuden taso mukaili kasvutunnelin sisällä ulkoilman tasoa.

Mittaustulosten mukaan kasvuston latvojen korkeudella valon tehokkuus oli 40000 – 50000 luksia. Kausihuoneen katteen kahden eri muovin tyypillä ei ollut tilastollista merkitystä mitatun valon ja infrapunan määrään.

Opinnäytetyössä käytetyt hiilidioksidianturit eivät keränneet mittauksen aikana tarpeeksi luotettavaa aineistoa, josta voisi tehdä johtopäätöksiä. Hiilidioksidin määrään tutkimuksen osalta ei siten saatu vastausta. Hiilidioksidin määrän mittaamiseen ehdotan ratkaisuna käyttämään antureita, joissa on suurempi toimintavarmuus kuin tässä tutkimuksessa käytetyissä antureissa.

## LÄHTEET

Byczynski, L. (2014) *The Hoophouse Handbook*.  
Fairplain Publications Inc

Craita, BE, Gerats T (2013) *Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops*. Haettu 28.2.2018 osoitteesta <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3728475/>

Gotame, TP. (2014) *Understanding the effects of temperature on raspberry physiology and gene expression profiles*.  
Årsløv: Aarhus University

Hoppula, K. Hoppula, K. Kajalo, M. (2012) *MTT Rovaniemi: Marjojen viljelymenetelmäkokeiden tuloksia 2008-2011*.  
MTT Sotkamo

Hoppula, K. (2010) *Vadelman tehotuotantokokeen tulokset vuodelta 2010 Sotkamo, Ruukki ja Rovaniemi*  
MTT Sotkamo

Raatikainen, A. (2017) *Vadelmien tuotanto tunneleissa*  
ProAgria Etelä-Pohjanmaa. Haettu 28.2.2018 osoitteesta [https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/2.2.2017\\_vadelmien\\_viljely\\_tunnelissa\\_arja\\_raatikainen.pdf](https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/2.2.2017_vadelmien_viljely_tunnelissa_arja_raatikainen.pdf)

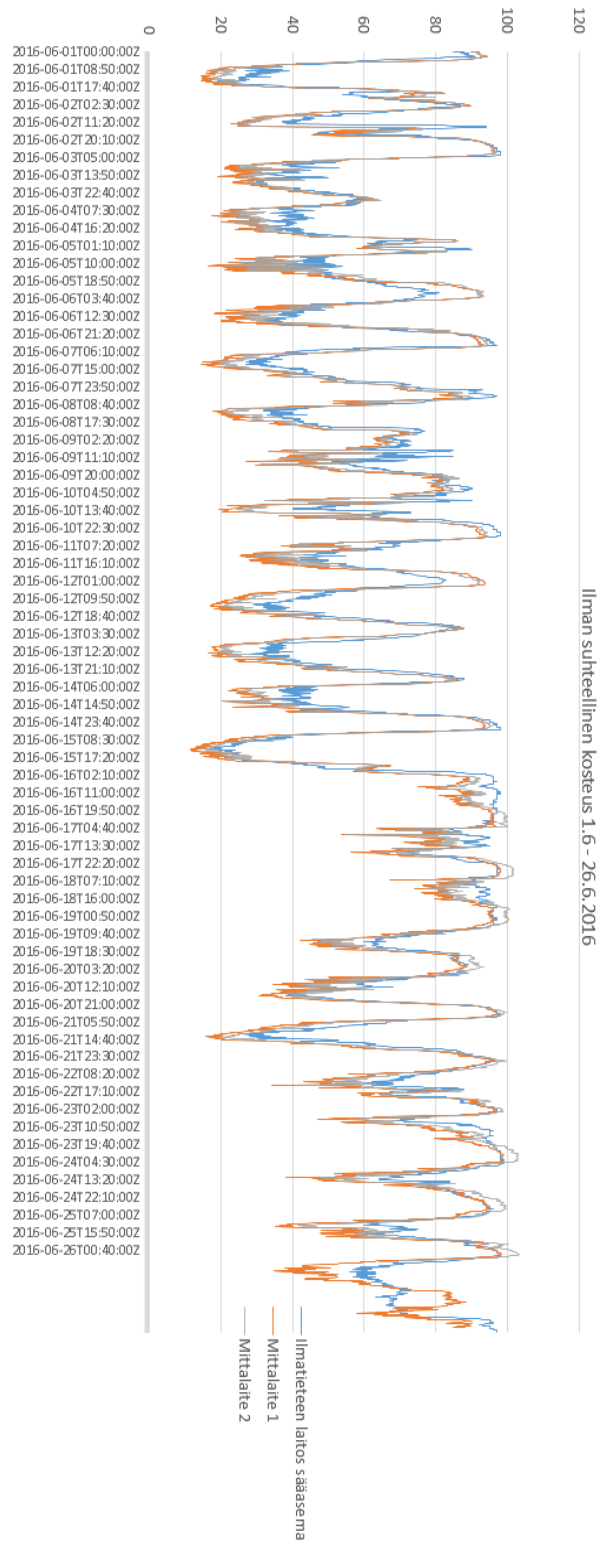
Sønsteby, A. Heide, O.M. (2009) *Temperature Limitations for Flowering in Strawberry and Raspberry*. Haettu 28.2.2018 osoitteesta [http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/60193/S%C3%B8nsteby%26Heide\(2009\)ActaHort838.pdf](http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/60193/S%C3%B8nsteby%26Heide(2009)ActaHort838.pdf)

Waterer, D. Bantle, J. (2000) *High Tunnel Temperature Observations 2000*.  
Saskatoon: University of Saskatchewan

## LIITTEET

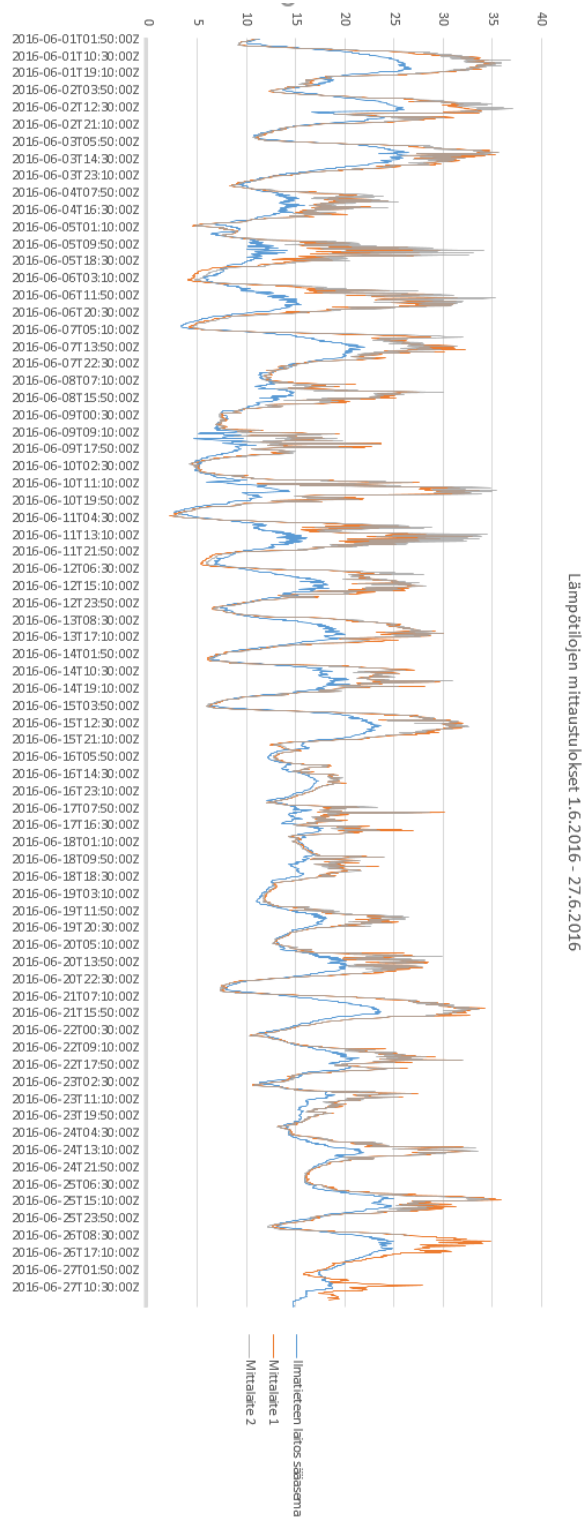
## Liite 1

## Ilmankosteuden mittaustulokset 1.6.2016 – 27.6.2016

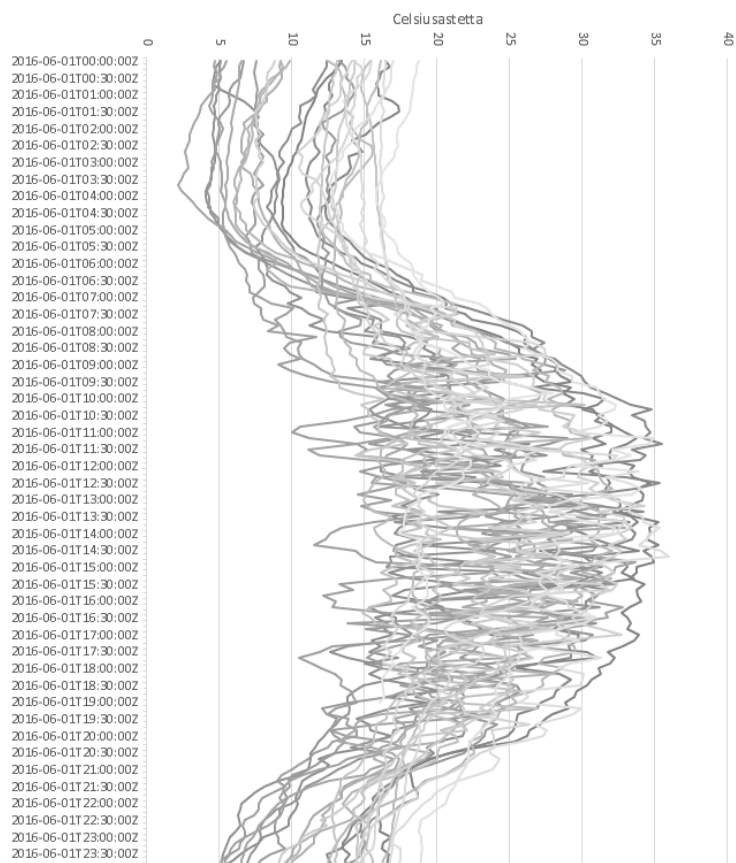
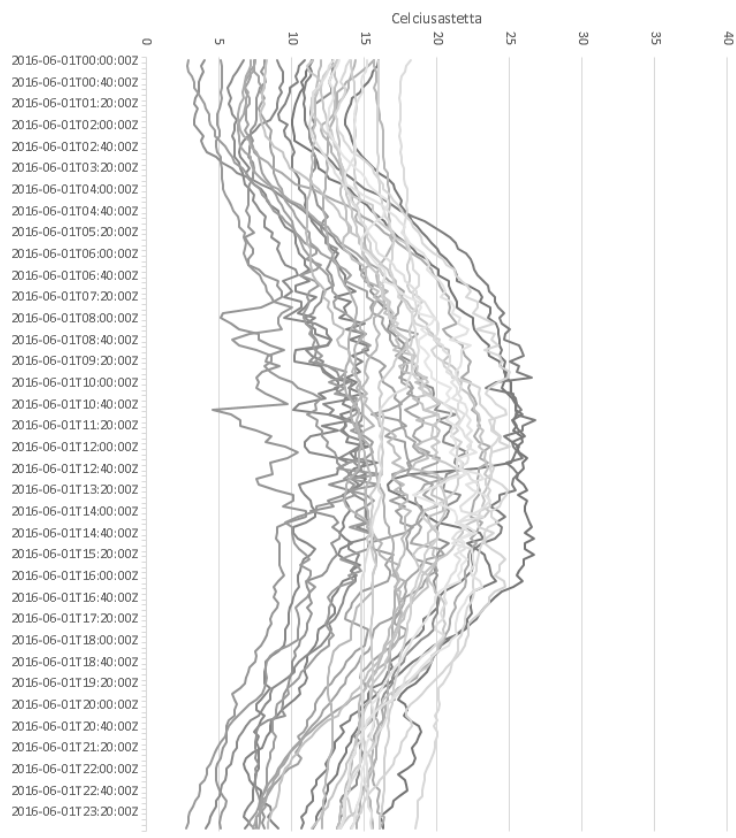




## Lämpötilojen mittaustulokset 1.6.2016 – 27.6.2016



## Kesäkuun vuorokausien lämpötilojen vertailu



## Valoanturien mittaustulokset 1.6.2016 – 27.6.2016

