



Europeiska jordbruksfonden för  
landsbygdsutveckling: Europa  
investerar i landsbygdsområden

# DIGITOMKKU – BIG DATA TESTIPEDIT LANGATTOMILLE ANTUREILLE TOMAATIN JA KURKUN VIJELYYN

## Loppuraportti 5.10.2022



Irene Vänninen, projektipäällikkö (ÖSP), erikoistutkija (Luke)

Jari Pohjola, tutkijatohtori, Petri Linna, projektipäällikkö, Tampereen yliopisto, Porin yliopistokeskus

Tom Lillhonga, lehtori, ja Viveka Öling-Wärnå, projektitutkija, Novia Yrkehögskola, Vaasa

Mikael Mattfolk, projektityöntekijä, ÖSP

Esa Palmujoki, viljelykonsultti, SCADS, Närpiö

Stefan Gulin, Gulin Ab Oy; Martin Sigg, Handelsträdgård Martin Sigg Ab; Hans Granborg



# 1 SISÄLLYSLUETTELO

2	TOTEUTTAJAN NIMI .....	4
3	HANKKEEN NIMI JA HANKETUNNUS.....	4
4	YHTEENVETO HANKKEESTA .....	4
4.1	YHTEENVETO SUOMEKSI .....	4
4.2	SAMMANFATTNING PÅ SVENSKA .....	6
5	RAPORTTI .....	7
5.1	HANKKEEN TAVOITTEET .....	7
5.1.1	Ylemmän tason tavoitteet .....	7
5.1.2	Hankkeen tavoitteet .....	8
5.2	TOTEUTUS .....	9
5.2.1	Toimenpiteet.....	9
5.2.2	Aikataulu .....	34
5.2.3	Resurssit.....	34
5.2.4	Toteutuksen organisaatio .....	36
5.2.5	Kustannukset ja rahoitus.....	37
5.2.6	Raportointi ja seuranta .....	40
5.2.7	Toteutusolelutukset ja riskit .....	41
6	YHTEISTYÖKUMPPANIT.....	42
7	TULOKSET JA VAIKUTUKSET .....	43
7.1	KASVIHUONEOLOSUHTEIDEN JA KASVIEN FYSIOLOGISEN TILAN VAIKUTUS TOMAATTIEN SOKERIPITOISUUTEEN: MALLIT43	
7.1.1	Brix-arvojen vaihtelu kokeen aikana.....	43
7.1.2	Brixin selittäjät viljelmällä A.....	44
7.1.3	Brixin selittäjät viljelmällä B.....	46
7.1.4	Brixin ennusteet.....	49
7.1.5	Maistajien ostohalukkuus tomaateille.....	50
7.1.6	Tulosten tarkastelu: merkitsevät tekijät ovat avaintekijöitä tomaatin kuiva-aineen tuotannolle	51
7.1.7	Jatkoanalyysit.....	55
7.1.8.	Kuinka hyödyntää tuloksia käytännössä? .....	56
7.2.	KALIBROINTIMALLIT HONELAB NIR-SENSORILLE TOMAATTIEN BRIXIN MITTAAMISEEN.....	59
7.3.	ILMARAKOJEN TOIMINTA VUOROKAUDEN ERI AIKAINA.....	59
7.4.	LIIKETOIMINNALLISET HYÖDYT ANTUREIDEN KÄYTÖSTÄ.....	60

7.4.1.	Phytosense: tärkeää dataa, mutta toistaiseksi ilman tulkintaa helpottavaa automaattista käyttöliittymää.....	60
7.4.2.	Infrapunaradiometri .....	64
7.4.3.	Muita kasvifysiologisia antureita .....	67
7.4.4.	Data-alustat .....	69
7.4.5.	Ylikastelun mittauslaitteisto paprikaviljelmällä .....	69
7.5	TULOSTEN VAIKUTUKSET .....	70
8	VIITTEET .....	73
9	LIITE 1. Esimerkkejä Phytosensen mahla-virtaus- ja dendrometri-antureilla kerätystä datasta ja sen tulkinnasta .....	76
8.	LIITE 2. Keskeisiä termejä antureihin ja datajohdettuun tuotantoon liittyen .....	81

## 2 TOTEUTTAJAN NIMI

Österbottens Svenska Producentförbund (Y-tunnus 0216829-6).

## 3 HANKKEEN NIMI JA HANKETUNNUS

Digitomkku – Big Data testipedit langattomille antureille tomaatin ja kurkun viljelyyn (hanketunnus 101918)

## 4 YHTEENVETO HANKKEESTA

### 4.1 YHTEENVETO SUOMEKSI

Digitomkussa kokeiltiin, demonstroitiin ja hyödynnettiin tutkimustarkoituksessa kasvifysiologisia antureita datan keruussa kasvihuoneviljelmiltä tavoitteena edistää dataohjatun viljelyn etenemistä Suomen kasvihuonetuotannossa. Pelkkien laitekokeilujen asemesta haluttiin päästä askelta pidemmälle eli tutkia, voidaanko kasvihuoneyrityksestä kerätyllä kokonaisvaltaisella datalla selittää ja ennustaa tomaattien sokeripitoisuutta. Sokeripitoisuus (brix-arvo eli sokeria % hedelmän tuorepainosta) on keskeinen tomaattien aistinvaraisen laadun osatekijä, jonka avulla voidaan vastata kuluttajien laatuodotuksiin. Dataa kerättiin kahdelta ympärivuotiselta tomaattiviljelmältä kahdelta noin 10 kk:n mittaiselta viljelyjaksolta. Lisäksi mukana oli pienehkö paprikaviljelelmä, joka hankkeen tuella keskittyi täsmäkastelun kehittämiseen ylikasteluveden määrää mittaavien antureiden avulla.

Viljelmien datat kerättiin Pylot-data-alustalle, jonka avulla eri olosuhdetekijöiden ja lopputuotteen laatua ja määrää kuvaavien muuttujien arvoja voidaan tarkastella yhtä aikaa ja nähdä jo visuaalisesti, miten ne liittyvät toisiinsa. Datasta valittiin keskeiset olosuhdemuuttujat ja kasvien vasteita olosuhteisiin kuvaavat muuttujat ja näitä muuttujia käytettiin selittämään ja ennustamaan tomaattien sokeripitoisuutta. Lasso-regressiomenetelmään perustuen kummankin viljelmän tomaattien brix-arvot pystyttiin mallintamaan niin, että brix-arvon ennusteiden keskivirhe oli hyväksyttävällä tasolla. Keskeisinä ennustemuuttujina molemmilla tiloilla olivat säteilyn määrä ja hiilidioksidipitoisuus. Toisella viljelmistä merkitsevien ennustemuuttujien joukkoon tuli myös kasvien mahlavirtaus. Eri tekijöiden dynamiikka brixiiin vaikuttavina tekijöinä oli kuitenkin erilainen tomaattien kypsymistä edeltävien kuuden viikon aikana. Malleja voidaan jatkossa käyttää pohjana tutkittaessa tomaattien laatua pitkäaikaiskokeissa, joiden avulla malleja täytyy vielä tarkentaa ja validoida useammalta viljelmältä saatavalla datalla. Tarkentamisen ja validoinnin jälkeen mallit ovat ainakin periaatteessa käytettävissä esimerkiksi data-alustoissa, joihin kerätyn kokonaisvaltaisen datan avulla voidaan ennustaa sekä sadon laatua että sen määrää olosuhdetietoihin ja kasvien

fysiologisiin vasteisiin perustuen. Rajoitteena tulee olemaan se, että kunkin kasvihuoneen olosuhteet vaikuttavat brixin hieman eri tavoin, joten yleispätevästi tarkan mallin tuottaminen on vaikeaa. Päätekijät on kuitenkin tunnistettu ja ne puhuvat sen puolesta, että viljelyssä olisi kiinnitettävä enemmän huomiota valon, CO<sub>2</sub>:n, lämmön ja ilmankosteuden väliseen tasapainoon. CO<sub>2</sub>:n karkaamista kasvihuoneesta voi estää muuttamalla tuuletusstrategiaa eli antamalla lämpötilan kohota aurinkoisina päivinä totuttua korkeammaksi ja kosteuttamalla kasvihuoneen ilmaa, jolloin yhteyttäminen jatkuu mahdollisimman tehokkaana pitempään, kun CO<sub>2</sub> ei karkaa huoneesta ulos olosuhteiden muuten ollessa yhteyttämiselle suotuisat. Kasvutekijöiden välisen tasapainotilan optimointi on tällä hetkellä tullut entistä tärkeämmäksi energian hinnan kohottua rajusti.

Digitomkussa tuotettiin myös kalibrointimallit brixin mittaamiseen käytettäville NIR-sensoreille, joiden avulla tomaattien brix voidaan mitata hedelmien pinnasta. Myös tomaattien happopitoisuuden osoitettiin olevan mitattavissa NIR-sensorin avulla luotettavasti.

Digitomkussa tuotettiin arviot kokeiltujen kasvifysiologisten sensoreiden soveltuvuudesta kaupallisten viljelmien tarkoituksiin. Infrapunaradiometrin testiviljelmät kokivat hyvin hyödyllisiksi ja nopeasti käyttöön otettaviksi antureiksi, joilla kerätty data auttoi viljelijöitä tekemään muutoksia muun muassa tuuletusluukkujen ja energiaverhojen yhtä aikaisen käytön järjeistämiseksi. Kasvien mahlavirtausta ja varren paksuusvaihtelua mittaava Phytosense-järjestelmä on viljelijäystävällisyytensä osalta vielä liian monimutkainen ja vaatii paljon perehtymistä, jotta sen tuottamaa dataa voisi tulkita sujuvasti ja käyttää päätöksenteossa. Kunhan anturiin saadaan kehitettyä käyttöliittymä, joka referenssiarvoihin nojaten tuottaa päätöksentekosuosituksia automaattisesti, mahlavirtauksen ja varren paksuusvaihtelun mittausdata pystyy antamaan ennakoivampaa tietoa kasvien olosuhdevaatimuksista ja niiden muutostarpeista kuin kasvimitaukset, jotka kertovat vasta jälkikäteen sen, mitä olisi pitänyt tehdä. Automaattisuuteen pohjaava käyttöliittymä todennäköisesti alentaa myös käyttökustannuksia, koska datan tulkintaan ei kulu niin paljon aikaa.

Digitomkussa tuotettiin paljon dataa, jonka avulla pystytään kehittämään referenssiarvoja Suomen olosuhteisiin Phytosensen viljelijäystävällisyyden parantamiseksi. Datan tulkintaa jatketaan Digitomkku 2.0-hankkeessa. Digiratkaisujen liiketoiminnallisten hyötyjen tutkimista jatketaan Quanti-Farm-hankkeessa <https://quantifarm.eu/>, johon osa Digitomkun hankehenkilökunnasta ja Digitomkun kaksi testiviljelmää pääsivät mukaan. Digitomkussa kertyneet kokemukset, tieto ja viljelijöiltä tulleet ehdotukset ohjasivat myös yhden uuden, nyt haussa olevan hankkeen tavoiteasetantaa ja menetelmiä liittyen kasvien fotosynteesitason diagnostisointiin. Digitomkussa tuotettu tieto perusteli myös toisen hankkeen, jonka tavoitteena on lamppujen spektriä monipuolistamalla tutkia, saataisiinko tomaattien talviaikaista brixia nostettua spesifisten spektrien avulla.

Digitomkussa tuotettiin paljon tiedotus- ja opetusmateriaalia kokeillusta antureista ja niiden käytön perusteista: videoita, tietoisuutyyppisiä tekstejä ja lehtikirjoituksia. Suurin osa niistä on pysyvästi kaikkien saatavilla <https://vakra.fi/digitomkku> -sivustolla ja sen kautta.

## 4.2 SAMMANFATTNING PÅ SVENSKA

På Digitomku testades, demonstrerades och användes växtfysiologiska sensorer för forskningsändamål för att samla in data från växthusgrödor i syfte att främja utvecklingen av datadriven odling i finsk växthusproduktion. I stället för att bara experimentera med utrustning ville vi gå ett steg längre, det vill säga att undersöka om den omfattande data som samlats in från växthusföretaget kan användas för att förklara och förutsäga sockerhalten i tomater. Sockerhalten (brixvärde, d.v.s. sockerprocent av fruktens färskvikt) är en nyckelkomponent av tomaternas sensoriska kvalitet, som kan användas för att möta konsumenternas kvalitetsförväntningar. Data samlades in från två åretrunt tomatgrödor för två odlingsperioder på cirka 10 månader. Dessutom fanns med i projektet ett litet pepparväxthus, som med stöd av projektet fokuserade på utveckling av exakt bevattning med hjälp av sensorer som mäter mängden överskottsvatten.

Växthusdata samlades in på Pylot-dataplattformen, vilket gör det möjligt att samtidigt se värdena för olika miljöfaktorer och variabler som beskriver kvaliteten och kvantiteten av den slutliga produkten och för att redan visuellt se hur de är relaterade till varandra. Från data valdes nyckelmiljövariabler och variabler som beskriver växternas reaktioner på miljöförhållanden. Dessa variabler användes för att förklara och förutsäga sockerhalten i tomater. Baserat på lassoregressionsmetoden kunde brix-värdena för tomaterna från båda växthus modelleras så att standardfelet för brix-värdeförutsägelserna var på en acceptabel nivå. De viktigaste prediktorvariablerna på båda gårdarna var mängden strålning och koldioxidkoncentrationen. Även växtsavflödet inkluderades i den gården bland signifikanta prediktorvariabler för brix. Dynamiken av olika faktorer som påverkade brix var dock olika i de två växthus under de sex veckorna innan tomaterna mognade.

I framtiden kan modellerna användas som underlag för att studera kvaliteten på tomater i långtidsförsök, med vars hjälp modellerna fortfarande behöver förfinas och valideras med data från fler gårdar. Efter förfining och validering finns modellerna, åtminstone i princip, tillgängliga till exempel i dataplattformar, där de insamlade omfattande data kan användas för att förutsäga både kvalitet och kvantitet på grödan utifrån information om förhållandena och de fysiologiska responser hos plantorna. Begränsningen kommer att vara att förutsättningarna för varje växthus påverkar brix på lite olika sätt, så det är svårt att ta fram en universellt korrekt modell.

Huvudfaktorerna har dock identifierats och de talar för att odlingen bör ägna mer uppmärksamhet åt balansen mellan ljus, CO<sub>2</sub>, värme och fuktighet. Utsläpp av CO<sub>2</sub> från växthuset kan förhindras genom att ändra ventilationsstrategin, det vill säga genom att låta temperaturen stiga högre än vanligt under soliga dagar och genom att fukta luften i växthuset, så att fotosyntesen fortsätter så effektivt som möjligt under längre tid utan att CO<sub>2</sub> släpps ut från växthuset när förhållandena i övrigt är gynnsamma för fotosyntesen. Att optimera balansen mellan tillväxtfaktorer har för närvarande blivit ännu viktigare efter den drastiska ökningen av energipriset.

Digitomkku producerade också kalibreringsmodeller för NIR-sensorerna som används för att mäta Brix utan att skära tomater. Det visades också att syrehalten i tomater kan mätas tillförlitligt med hjälp av en NIR-sensor.

Vid Digitomkku gjordes utvärderingar av lämpligheten av testade växtfysiologiska sensorer för kommersiella grödor. Testplatser ansåg den infraröda radiometern vara mycket användbar och tog snabbt i bruk sensorer, vars insamlade data hjälpte odlare att göra ändringar, till exempel för att rationalisera den samtidiga användningen av ventilationsluckor och energigardiner. Phytosense-systemet, som mäter växtsavflödet och variationer i stamtjockleken, är fortfarande för komplicerat när det gäller sin användarvänlighet: det kräver mycket bekantskap för att smidigt kunna tolka de data som produceras och använda dem i beslutsfattande. När ett användargränssnitt kan utvecklas som automatiskt genererar beslutsfattande rekommendationer baserade på referensvärden, kommer mätdata för savflöde och stamtjockleksvariation att kunna ge mer prediktiv information om växternas miljökrav jämfört med plantregistrering, som bara efterhand berättar om hur plantorna reagerade på miljöförhållandena och styrning av tillväxten. Ett användargränssnitt baserat på automatik sänker troligen också driftkostnaderna, eftersom det inte tar så lång tid att tolka datan.

Mycket data producerades i Digitomkku, med hjälp av vilken det är möjligt att utveckla referensvärden för finska förhållanden för att förbättra användarvänligheten hos Phytosense. Datatolkningen kommer att fortsätta i Digitomkku 2.0-projektet. Studiet av affärsnyttan med digitala lösningar fortsätter i Quanti-Farm-projektet (<https://quantifarm.eu/>), där en del av Digitomkkus projektpersonal och Digitomkkus två testgårdar är med.

Erfarenheterna, kunskaperna och förslagen från odlarna styrde också målsättningen och metoderna för ett nytt projekt relaterat till diagnosen av växternas fotosyntesnivå. Informationen som tagits fram i Digitomkku motiverade också ett annat projekt, vars syfte är att undersöka om tomaternas brix på vintern kan ökas med hjälp av specifika vågslängder som ska installeras i led-lamporna.

På Digitomku producerades mycket information och undervisningsmaterial om de testade sensorerna och grunderna för deras användning: videor, faktablad och tidningsartiklar. De flesta av dem är permanent tillgängliga för alla på och via webbplatsen <https://vakra.fi/digitomkku>.

## 5 RAPORTTI

### 5.1 HANKKEEN TAVOITTEET

#### 5.1.1 Ylemmän tason tavoitteet

Digitomkku vastasi alkutuotannon digitaalisatiohaasteisiin, jotka koskevat koko ruokajärjestelmää. Laadukkaan ruuon tuottaminen oli yksi Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelman 2014-20 tavoitteista ja erityisesti ohjelma korosti digitaalisten informaatio- ja viestintäteknikoiden käyttöönoton merkitystä. Digitomkussa lähdettiin etsimään keinoja parantaa kasvihuonevihannesten ja ennen kaikkea tomaatin laatua.

Luonnonvarakeskuksen mukaan tietotekniikka tulisi olemaan suurin yksittäinen tekijä, jolla voidaan merkittävästi vaikuttaa perinteisten toimialojen kannattavuuteen ja kilpailukykyyn (erikoistutkija Kari Jokinen, suull. tieto 28.5.2019). Luken ja Turun kauppakorkeakoulun Voimakas-hankkeessa (Eriksson et al., 2018) peräänkuulutettiin myös digitalisaation lisäämistä puutarha-alalla. Digitomkku vastasi tähän todettuun tarpeeseen. Digitomkun tarve nousi myös suoraan Pohjanmaan kasvihuoneklusterille [Innoväxthus-hankkeessa](#) laaditusta paikallisesta kehittämisohjelmasta (Vänninen, 2019) sekä [Lyftkraft-hankkeesta](#), jolla kehitettiin tomaatin laatua ja tomaatintuotannon asiakaslähtöisyyttä Pohjanmaan kasvihuoneklusterissa (Vänninen & Sunabacka, 2020).

Hanke osui ajoituksensa puolesta ajankohtaan, jolloin erilaisten sensoreiden käyttö kasvihuonekasvien viljelyssä kehittyi voimakkaasti. Hollannissa Wageningenin yliopisto järjesti [kaksi tiimien välistä kilpailua kurkun ja kirsikkatomaatin dataohjattusta tuotannosta](#); niiden tulosten mukaan olosuhteiden ja kasvien fysiologisen tilan seuranta sensoreilla ja olosuhdeasetusten säätö AI-algoritmeilla tuotti sekä taloudellisesti että määrällisesti ja laadullisesti paremman kurkkusadon (Hemming et al., 2019). Kirsikkatomaatin sensoriviljelykokeilussa ei kuitenkaan löydetty selkeitä yhteyksiä tomaattien sokeripitoisuuden ja mitattuja olosuhdemuuttujien välille, minkä katsottiin johtuvan siitä, että kyseisen lajikkeen fysiologiaa ei tunneta tarpeeksi (Hemming et al., 2020).

### 5.1.2 Hankkeen tavoitteet

**Tavoite 1.** Luoda monitoimijainen kokeilu- ja oppimisalusta, ajaa se sisään tomaatin, kurkun ja paprikan dataperusteisen ja digitalisoidun tuotannon tarpeisiin ja tehdä näin dataohjattua viljelyä tutuksi verkostolle, joka muodostettaisiin hankkeessa. Luotava oppimisalusta linkittäisi toisiinsa hankkeessa kumppaneina olleiden viljelmien datat, jolloin tulisi mahdolliseksi yhteinen oppiminen.

**Tavoite 2.** Tuottaa tietoa kasvihuoneolosuhteiden sisäisen vaihtelun merkityksestä ja hallittavuudesta sekä kasvien fysiologisen tilan suoran mittauksen käyttökelpoisuudesta kastelun ohjauksessa. Kastelua tarkentamalla ja kasvihuoneilmaston hallinnalla pyritään lopputuotteiden parempaan laatuun ja määrään.

**Tavoite 3.** Kokeilu- ja oppimisalustan avulla haluttiin herättää puutarha-alalla keskustelu yhteisen oppimis- ja tietöalustan tarpeellisuudesta, sisällöistä ja toiminnallisuuksista jatkekehitystyötä varten.

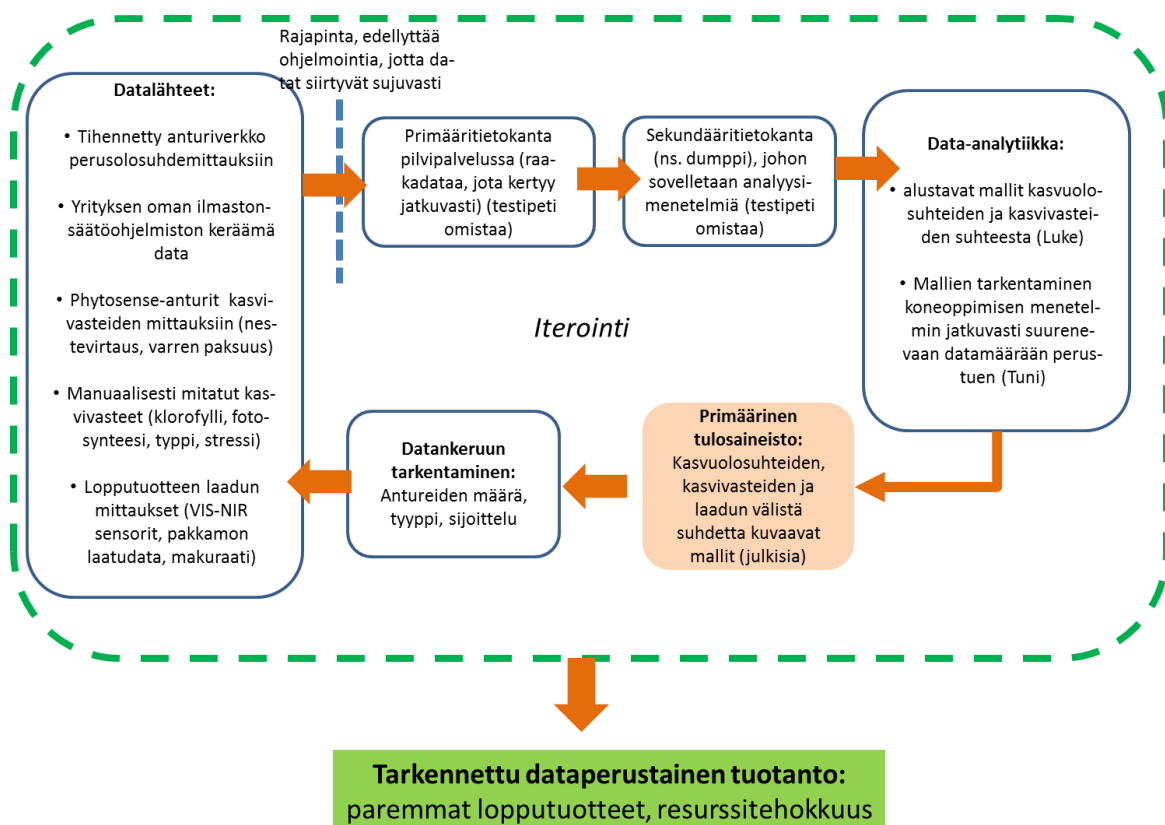


**Tavoite 4.** Hankkeen julkisina tuloksina olivat tavoitteina tekoälypohjaiset, big dataa hyödyntävät mallit, jotka kuvaavat tomaatin laadun ja kasvihuoneolosuhteiden ja kasvien fysiologisen tilan välisiä suhteita ja/tai ennustavat laatua olosuhde- ja fysiologisten tietojen perusteella. Laatu tarkoitti Digitomkussa tomaattien sokeripitoisuutta. Se ilmaistaan brix-arvona, joka tarkoittaa liukoisten sokereiden prosentuaalista osuutta tomaattien tuorepainosta.

## 5.2 TOTEUTUS

### 5.2.1 Toimenpiteet

Digitomkun toimintamallin arkkitehtuurin tiivistys on esitetty kuvassa 1. Sen pohjalta hanke toteutettiin seitsemän toimenpiteen avulla.



Kuva 1. Digitomkku-hankkeen toimintamallin arkkitehtuuri

#### 5.2.1.1 Toimenpide 1. Anturiverkot testipedeissä: Tehtävä 1. Testipetien perustaminen ja mitattavat muuttujat.

**Testiviljelmät:** Testiviljelmiksi ilmoitettiin alun perin viisi viljelmää, joista kolme tuottaa tomaattia, yksi kurkkua ja yksi paprikaa. Yksi tomaattiviljelmä aloitti hiukan myöhemmin kuin

kaksi muuta, mutta keskeytti ja on jatkanut viljelynsä digitalisoimista itse. Kaksi ympärivuotista tomaattiviljelmää, toinen 1,2 ha (A) ja toinen 0,62 ha (B), olivat mukana koko hankkeen ajan: niistä molemmista kerättiin dataa kahdelta noin 10 kk:n mittaiselta viljelyjaksolta 2020-21 ja 2021-22. A viljeli L-tomaatteja kivivillassa, istutti uuden kasvuston elokuussa ja viljeli seuraavan vuoden kesäkuun loppuun saakka. Sadonkeruu alkoi lokakuussa. B viljeli tomaatteja turvesäkeissä, istutti uuden kasvuston heinäkuussa ja viljeli seuraavan vuoden toukokuun loppuun saakka. Sadonkeruu alkoi syyskuussa. Viljelijä A tuotti samaa lajiketta Y koko tutkimuksen ajan. Viljelmä B tuotti jaksolla 2020-21 lajiketta C ja jaksolla 2021-22 lajiketta D. Jaksolla 2020-21 viljelmä B laittoi kasvamaan 20 kpl myös lajikkeita E, L ja R. Koska ylimääräiset lajikkeet kasvoivat lajikkeen C tuotantoympäristössä, kasvuolosuhteet eivät välttämättä olleet niille optimaaliset. Ylimääräisten lajikkeiden avulla haluttiin kuitenkin saada käsitystä brix-arvon vaihtelusta lajikkeittain, koska lajike vaikuttaa sokeripitoisuuteen viljelyolosuhteiden ohella.

Tomaatilla kunkin tertun alapuoliset kolme lehteä ovat tärkeimmät terttua yhteyttämis-tuotteilla ruokkivat lehdet (Tanaka & Fujita, 1974; Heuvelink, 1995). Ne voidaan poistaa ilman satohaittoja siinä vaiheessa, kun yläpuolisen tertun tomaatit ovat kypsyneet poimintakuntoon. Testiviljelmällä A poistettiin kasveista viikoittain kolme alinta lehteä. Harmaahomeen takia huoneen yhdessä päässä olleelta havaintoalueelta jouduttiin poistamaan lehtiä satunnaisesti enemmänkin ja muualtakin kuin alhaalta. Viljelmällä B poistettiin jaksolla 2021-22 alkuvaiheessa myös yksi lehti latvasta terttujen välistä, mutta sittemmin pelkästään alimman tertun alapuolelta, koska poikkeuksellisten kasvuolosuhteiden takia (kasvivirus) lehtien määrä ei saavuttanut normaalia tasoa tavallisella nopeudella syksyn mittaan.

Kolmanneksi testiviljelmäksi tuli 1300 m<sup>2</sup>:n paprikaviljelmä. Logiikkana yhteistyössä paprikaviljelmän kanssa oli osoittaa, että myös volyymitään ja taloudellisilta mahdollisuuksiltaan pienet viljelmät voivat hyödyntää digitaalisia välineitä viljelyssä. Yhteistyö perustui pitkälti siihen, että viljelijä itse on teknisesti taitava ja monipuolinen osaja. Paprikanviljelijän tavoitteena oli rakentaa mittausjärjestelmä, jonka avulla hän voisi seurata ja säädellä kastelun kulkua eri kastelulinjojen kastelemisissa osissa kasvihuonetta (täsmäkastelu) ja olla selvillä ylikasteluveden määrästä kullakin kastelualueella. Hanke tuki häntä tässä työssä tarjoamalla työvoimaa ja asiantuntija-apua mittausjärjestelmän rakentamiseen. Viljelijä kokeili Phytosense-järjestelmää kahtena kasvukautena, mutta dataa ei siirretty Pylotiin eikä muuta dataa kerätty, vaan keskityttiin mahlavirtaus- ja varren paksuus datojen tulkintaan innovaatioryhmän kanssa.

**Mittauspesifikaatiot testiviljelmillä:** Viljelmien tuotantotavat, omat mittauslaitteet ja muut hankkeen kannalta olennaiset muuttujat kartoitettiin syksyllä 2019. Esimerkkinä tomaattiviljelmien kartoituksen sisällöstä tekovalotus (taulukko 1).

Taulukko 1. Testiviljelmien A ja B tekovalotuksen spesifikaatiot, kasvitiheydet, lehti- ja hedelmämäärät per kasvi tutkimuksen aikana sekä brix-arvojen vaihteluvälit.

	Viljelmä A	Viljelmä B
<b>Kausi 2020-21:</b>		
Valolähteet	HPS-lamput ylävaloina, led-lamput välivaloina	HPS-lamput ylävaloina, led-lamput välivaloina.
HPS-lamppujen valoteho, W/lamppu ja asennusteho W m <sup>-2</sup>	Valoteho 600 tai 750 W/lamppu riippuen lamppujen sijainnista, asennusteho 245 W m <sup>-2</sup> .	Valoteho 750 W/lamppu, asennusteho 225 W m <sup>-2</sup> .
HPS-lamppujen valointensiteetti $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ latvojen tasalla täysikasvuisessa kasvustossa.	343 (arvio; Digitomkun mittaukset marraskuussa 2022)	320 (lamppujen toimittajan mukaan).
Led-välivalot: asennusteho, W m <sup>-2</sup>	90 W m <sup>-2</sup> (punainen, sininen)	50 W m <sup>-2</sup> , 105 W/lamppu, 50 W m <sup>-2</sup> (punainen, sininen)
Led-välivalot: valointensiteetti kasvuston sisällä n. 10 cm:n päässä valolähteestä, $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$	Arvio: max 38 yöllä, kun vain tekovalotusta. Max 48 päivällä, kun myös luonnonvaloa (Digitomkun mittaukset 6.11. 2021).	90 (valmistajan ilmoittama teoreettinen arvo).
Latvoja m <sup>-2</sup>	2,55	2,90
Täysikasvuisia lehtiä per kasvi keskimäärin sadontuotantovaiheessa, vaihteluväli	14-23	12-15
Hedelmäkuorma per kasvi keskimäärin, vaihteluväli	57-68	65-83
Hedelmän keskikoko, g, vaihteluväli	86-158	69-97
Brix-arvo, %, keskimäärin, vaihteluväli	4,3-5,3	3,6-5,2

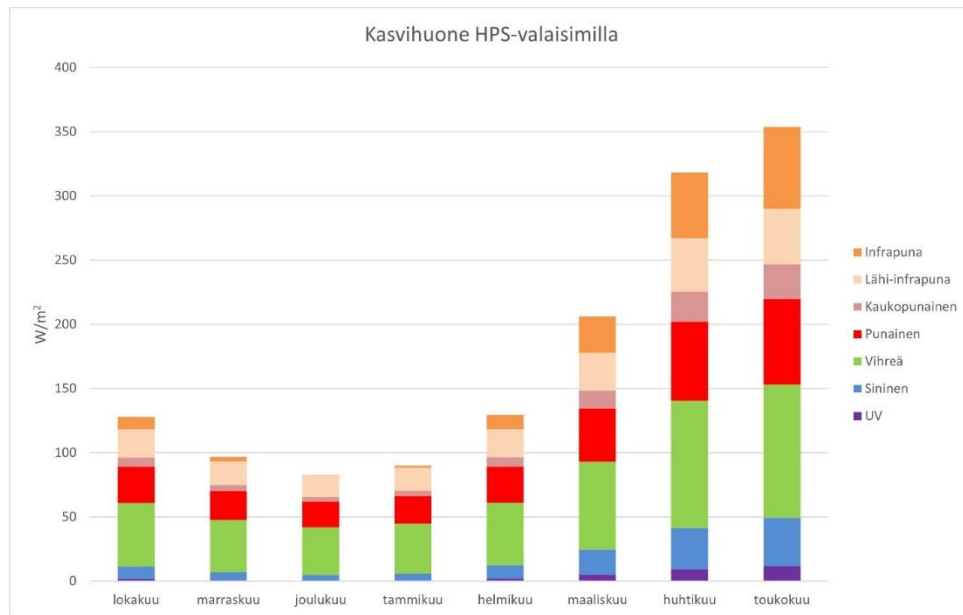
	Viljelmä A	Viljelmä B
<b>Kausi 2021-22:</b>		
Valolähteet	Kuten edellisellä jaksolla.	Himmennettävät led-lamput ylävaloina. 80 % punaista, 9 % sinistä ja vihreää, 2 % kaukopunaa.
Ylävalojen valoteho W/lamppu ja asennusteho W m <sup>-2</sup>	Kuten edellisellä jaksolla.	Nimellinen asennusteho 150 W, mutta valoteho riippuu himmennyksen asteesta, joten asennustehon voi huomioida vain sähkönkulutuksen kautta.
Ylävalojen valointensiteetti $\mu\text{mol PAR s}^{-1} \text{m}^{-2}$ .	343 latvojen tasalla (Digitomkun mittaukset marraskuussa 2021).	Max 230 mittausvuorokauden aikana (PAR-linja-anturi, (Digitomkun mittaukset 1.-2.10.2021) Spetroradiometrimittaukset 14.10.2021 (lamppujen kohalla, kun teho 70 % maksimista): n. 10 cm lamppujen alapuolella 410, kypsien hedelmien tasolla 217, lattian tasossa 160. Kasvuston sisällä: 40. Lamppujen välissä heti lamppujen alapuolella 380, kypsien hedelmien korkeudella 220, lattian tasolla 160.

		Huom. Lamppujen yläpuolella mittaushetkellä oli päivänvalo 174.
Led-välivalot: asennusteho, W m <sup>-2</sup>	Kuten edellisellä jaksolla.	-
Led-välivalot: valointensiteetti kasvuston sisällä n. 10 cm:n päässä valolähteestä.	Max 38 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ yöllä, kun vain tekovalotusta. Max 48 $\mu\text{mol}$ päivällä (Digitomkun mittaukset PAR-linja-anturilla marraskuussa 2021).	-
Latvoja m <sup>2</sup>	2,55	2,90
Täysikasvuisia lehtiä per kasvi keskimäärin sadontuotanto-vaiheessa, vaihteluväli	14-23	13-19
Hedelmäkuorma per kasvi keskimäärin, vaihteluväli	48-68	44-60
Hedelmien keskikoko, g, vaihteluväli	94-144	82-177
Brix-arvo keskimäärin, %, vaihteluväli	4,2-5,6	3,8-4,7

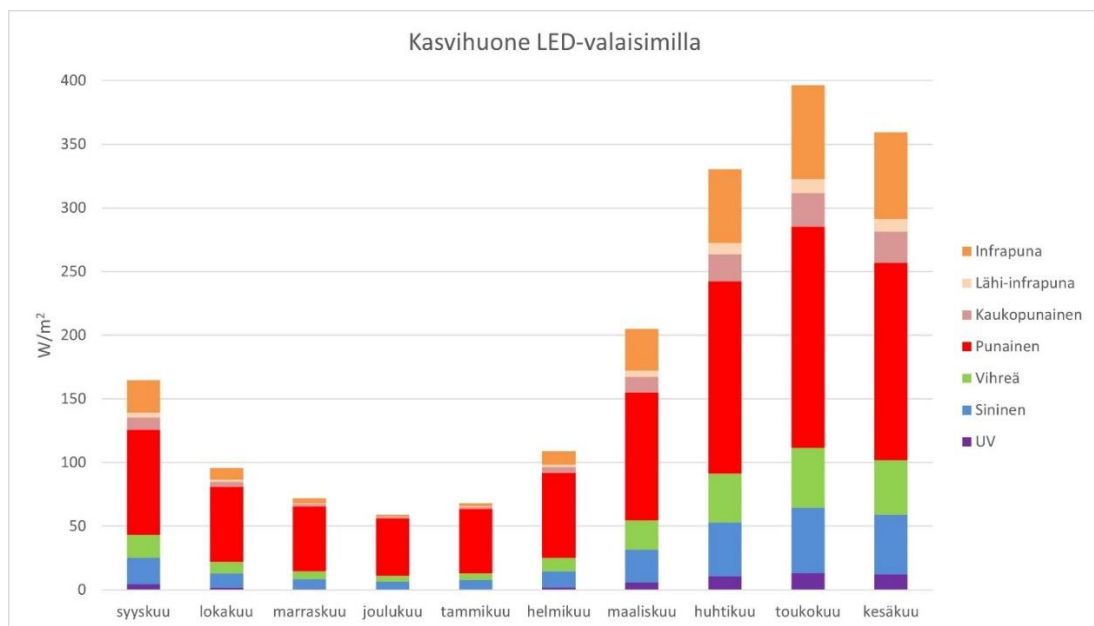
**Tomaatin sokeripitoisuutta selittävät muuttujat:** Tomaatin sokeripitoisuutta tai sadon määrää ilmaisevat selittävät sekä primaariset että sekundääriset muuttujat. Primaariset muuttujat koskevat kasvihuoneen ilmanalan ja kasvualustan abioottisia olosuhteita (taulukko 2). Sekundääriset eli johdannaismuuttujat (taulukko 3) ovat kasvin fysiologista tilaa ilmentäviä muuttujia kasvien reagoiessa vallitseviin olosuhteisiin fysiologiansa kautta: minkä verran kasvi ottaa vettä haihduttaakseen, paljonko se saa valoa ja CO<sub>2</sub>:ia yhteyttääkseen tuottaakseen biomassaa ja säädelläkseen lämpötilaansa haihduttamisen avulla, minkä verran se kasvaa ja tuottaa lehtiä, juuria, kukkia ja hedelmiä. Sekundääristen muuttujien oletetaan selittyvän primäärisillä muuttujilla.

Vastemuuttujia (taulukko 4) olivat tomaattien sokeripitoisuus, viikkosato sekä hedelmän koko. Vastemuuttujien arvoon vaikuttavat sekä primääriset että sekundääriset muuttujat tai molemmat. Sekundääriset muuttujat mitattiin manuaalisesti ja syötettiin Pylot-alustalle käsin.

Luken erikoistutkija, valobiologi Titta Kotilainen mittasi viljelmän B aallonpituusjakauman yhtenä päivänä spektrometrillä molemmilla jaksoilla. Mittausten ja kirjallisuustietojen perusteella hän laski kuukausittaisen aallonpituusjakauman blokkihuoneen valo-olosuhteille (kuvat 2 ja 3). Oletuksena oli, että pyranometri kasvihuoneen katolla mittaa aallonpituusaluetta 300-2500 nm. Auringon spektri jaettiin osiin kirjallisuudessa olevan tiedon perusteella seuraavasti: seuraavasti: UV <400 nm, sininen 400-500 nm, vihreä 500-600 nm, punainen 600-700 nm, kaukopunainen 700-800 nm, lähi-infrapunainen 800-850 nm ja infrapunainen > 850 nm. Laskelmissa ei ole huomioitu varjostusverhojen vaikutusta eikä sitä, että auringonkulman ja vuodenajan muuttuessa auringosta tulevan valon laatu muuttuu jonkin verran (siihen vaikuttaa ilmakehän vesihöyrypitoisuus ja otsonikerros). Oletuksena oli myös, että kaikesta auringonvalosta 60 % päätyy kasvihuoneen sisälle.



Kuva 2. Aallonpituusprofiili kuukausittain viljelmän B valo-olosuhteille, kun ylävaloina olivat HPS-lamput. Huomaa kokonaissäteilytehon vaihtelu syys-talvi ja kevät-kesä-kuukausien välillä sekä kaukopunaisen valon lähes olematon määrä talvikuukausina. Kuukausittaisissa jakaumissa on huomioitu, milloin tekovalotus on päällä ja milloin ei.



Kuva 3. Aallonpituusprofiili kuukausittain viljelmän B valo-olosuhteille, kun ylävaloina olivat himmennettävät LED-lamput. Huomaa ero punaisen valon ja lähi-infra- ja infrapunaisen osuuksissa verrattuna HPS-lamppujen käyttöön talvikuukausina (led-lamput eivät tuota säteilylämpöä kuin murto-osan verrattuna HPS-lamppuihin). Kuukausittaisissa jakaumissa on huomioitu, milloin tekovalotus on päällä ja milloin ei.

Taulukko 2. Primääriset, ympäristöolosuhteita kuvaavat muuttujat, joita käytettiin tomaattien brix-arvon selittäjinä. \* = viljelijän omat anturit. Luku suluissa = kpl antureita tutkimushuoneessa.

Muuttuja(t)	A	B	Miksi muuttuja on tärkeä tomaattien sadon laadun kannalta?
Pyranometri*: Säteilyn määrä ulkona $W m^{-2}$ . Säteilysumma $J cm^{-2}$	+ (1)	+ (1)	Valon määrä korreloi positiivisesti tomaattien yhteyttämisenopeuden ja kuiva-aineen määrän muodostumisen kanssa; kuiva-aineesta noin 65-70 % siirtyy hedelmiin, pyöreillä tomaateilla nopeimmillaan $8.3-15.4 mg h^{-1}$ (ks. De Swaef et al., 2013). Pienenevä säteilysumma johtaa happojen suhteellisen määrän kasvuun tomaateissa (Kläring & Krumbein, 2013). Auringon säteilyn lisääntyessä kasvaa ilman kosteusvaje kasvihuoneessa, jolloin veden kulkeutuminen hedelmiin heikkenee, koska kasvit haihduttavat kuivassa ilmanalassa enemmän. Säteilyn lisääntyminen nostaa siksi hedelmien kuiva-ainemäärää yhdessä kosteusvajeen kanssa. Säteily ei siis yksinään selitä brixin nousua (Kläring & Krumbein, 2013).
PAR-anturi*: Säteilyn määrä sisällä $W m^{-2}$	-	+ (1)	Tomaatin nettofotosynteesi hyöttyy valomäärän kasvusta ainakin ylärajaan $700 \mu mol s^{-1} m^{-2}$ saakka (Kläring & Krumbein, 2013). Nuoret vegetatiivisessa vaiheessa olevat kasvit eivät tarvitse valoa yhtä paljon kuin satoa tuottavat, koska nuorissa kasveissa ei ole hedelmiä (=hiilihydraattinieluja), joihin siirtää yhteyttämistuotteita. Nuoret vegetatiiviset kasvit ovatkin nielurajoitteisia, satoa tuottavat kasvit lähderajoitteisia (=yhteyttämistuotteiden kysyntä hedelmissä on suurempi kuin niiden tarjonta lehdistä hedelmien vaatiessa suuren osan kasvin hiilihydraattituotannosta. (Li et al., 2015). Viljelysyklin loppupuolella kasvien vanhetessa lisävalon käytöstä ei ole enää yhtä paljon taloudellista hyötyä kuin aktiivisimman sadontuotantovaiheen aikana (Hemming et al., 2020).
GroSens Multisensor* (A), Trutina vaakalysi-metri* (B): Kasvualustan johtokyky (EC)	+ (4)	+ (1)	Kasvualustan johtokyky (sähköä johtavien ionien määrä nesteessä) vaikuttaa tomaattien vedenottokykyyn ja sen myötä kuiva-ainepitoisuuteen, josta liukoiset sokerit muodostavat noin puolet. Korkea EC yleensä lisää sokerien määrää tomaateissa, koska kasvi ei ota vettä yhtä tehokkaasti kuin alemmalla EC:llä. Samalla tärkkelyksen siirtoa hedelmiin katalysoivien entsyymien toiminta tehostuu, mikä sekin nostaa tomaattien sokeripitoisuutta myöhemässä vaiheessa, kun ylimääräinen tärkkelys toimii sokerinmuodostuksen lähteenä (Beckles et al., 2012).
CO <sub>2</sub> -anturi*: ppm	+ (4)	+ (2)	CO <sub>2</sub> -pitoisuus – lämpötilan ja säteilyintensiteetin yhteisvaikutuksen kautta - suurentaa tomaattien valonkäytän tehokkuutta, käytännössä siis yhteyttämisenopeutta, ja edelleen sadontuotantoa (mm. versojen, lehtien, kukkien ja hedelmien määrä, hedelmien koko). Toisaalta liian korkea korkea CO <sub>2</sub> -pitoisuus voi jopa alentaa tomaattien sokeripitoisuutta (Mamatha et al., 2014), mutta vaikutus riippuu lämpötilasta (Pimenta et al., 2022) ja todennäköisesti myös lajikkeesta.
Lämpömittari*: Ilman lämpötila °C	+ (4)	+ (4)	Lämpötila, yhdessä säteilyn ja CO <sub>2</sub> :n kanssa, vaikuttaa ratkaisevasti kasvien yhteyttämisenopeuteen ja kasvuun kuten uusien lehtien ja terttujen muodostumisen ja yhteyttämistuotteiden hedelmiin siirtymisen nopeuteen (Hemming et al., 2020).
Ilmankosteusmittari: Suhteellinen kosteus, RH % Absoluuttinen kosteus, $g m^{-3}$	+	+	Ero ilman suhteellisen kosteuden ja lehtien ilmarakojen sisällä olevan suhteellisen ilmankosteuden välillä määrää, kuinka hyvin kasvit haihduttavat ja edelleen yhteyttävät. Tomaatin pölytyksessä vaatii tietyn minimi-ilmankosteuden (60 %). Tomaatti voi hyvin 35 – 60 %:n ilmankosteudessa. RH:n ja lehtien ja ilman välisen lämpötilaeron perusteella voidaan laskea VPD eli höyrynpainevaje, jonka optimi tomaatille on 0,4-0,8 kPa. (Shamshiri et al., 2018). Sekä RH että VPD korreloivat tomaatilla varren päivittäisen maksimaalisen kutistumisen kanssa (ks. Phytosense-kohdistä yllä) eli ne määrittävät kasvien vesitaloutta (Meng et al., 2017).

Laskennallinen suure: ilman kyllästys- ja absoluuttisen kosteuden erotus: g m <sup>-3</sup>	+	+	Kosteusvaje korreloi yleensä positiivisesti kasvien mahlanestevirtauksen ja kasvien haihduttamisen kanssa ja riippuu lämpötilasta ja säteilyn määrästä. Yhteisvaikutus säteilyn määrän kanssa brix-tasoihin.
VPD (höyrynpainevaje, laskennallinen suure): kPa	-	+	VPD sisältää informaationa sekä ilmankosteuden että lämpötilan vaikutuksen siihen. VPD on tärkeä suure, joka vaikuttaa kasvien haihduttamistarpeeseen ja -kykyyn. Mitä suurempi luku, sitä kuivempi ilmanala ja sitä kuumempaa, jolloin kasvien vesistressi kasvaa. Tomaatille optimaalinen VPD on välillä 0,4-0,8 kPa.

<sup>1</sup> A: yläraja, jossa anto lakkaa, 750 ppm, alaraja, jossa anto alkaa, 50 ppm. B: tavoitetaso 2020-21 jaksolla 800-1000 ppm, 2021-22 jaksolla 1200 ppm. Ilmastonsäätöjärjestelmä säätelee CO<sub>2</sub>-syötön avausta ja sulkemista influenssien (vaikuttavat tekijät) avustamana. Influensseina ovat luukkujen asento ja valon määrä.

<sup>2</sup> [Privan sivuilla](#) on selostettu ilmankosteuteen liittyvät termit lyhyesti ja selkeästi.

Taulukko 3. Sekundääriset muuttujat, jotka kuvastavat kasvien reaktioita vallitseviin olosuhteisiin. Luku suluissa sarakkeissa A ja B = kpl antureita tutkimuskasvihuoneessa.

Mittaustapa (toimittaja)	Muuttuja	A	B	Miksi muuttuja on tärkeä tomaattien laadun kannalta?
Phytosense-järjestelmä: mahlanestevirtausanturi (2Grow)	Nestettä varren läpi g/h	+	+	Kasvin kautta haihtuvan veden määrään vaikuttaa suora ja epäsuora säteily, lehtien sieppaama valon määrä, lämpötila, ilmankosteus, lehtipinta-ala ja tuulen nopeus. Mahlanestevirtaus heijastaa haihduttamisen määrää, mutta myös sokereiden siirtoa lehdistä hedelmiin ja juuriin sekä veden siirtoa kasvin eri elimistä johtojänteisiin haihdutuksen tarpeisiin, mikäli kasvi ei saa juuriston kautta tarpeeksi vettä (de Swaef et al., 2012). Kasvin vesitaloudella on siis oleellinen merkitys tomaatin hedelmien kasvulle ja laadulle. Kokonaisvirtauksen alle jää piiloon se, mikä osuus nesteestä virtaa ksyleemissä (johtojänteiden puumainen, vettä kuljettava osa) ja mikä nilassa (solut, jotka siirtävät lehtien yhteyttämistuotteet nesteen mukana muihin kasvinosiin). Ksyleemin kautta menee tomaatteihin enemmän vettä kuin nilan (Windt et al., 2009). Vähässä valossa ksyleemissä kulkevan nesteen osuus suurenee entisestään, jolloin hedelmiin päätyy suhteessa vähemmän yhteyttämistuotteita kuin voimakkaassa valossa (Hanssens, 2015).
Phytosense-järjestelmä: dendrometri (2Grow)	Varren paksuusvaihtelu, mm (mitataan läheltä kasvin tyveä)	+	+	Varren nestejännitys, joka vaikuttaa varren paksuuteen, kertoo lyhyellä aikavälillä kasvin vesitaloudesta: varren ohenemisesta aamulla ja päivällä ja paisumisesta illalla ja yöllä, kun kasvi palautuu päivällä tekemästään työstä ja täydentää taas vartensa ja lehtiensä vesivarastot. Varren paksuus heijastaa myös lehdistä nilaan ja sieltä juuriin ja hedelmiin kuljetettavien sokereiden määrää: kun sokereita tulee lehdistä nilanesteeseen paljon, nilaan myös siirtyy osmoosin voimasta ksyleemistä enemmän vettä sivusuunnassa. (De Swaef et al., 2013; Li et al., 2015). Pitkällä aikavälillä varren paksuus kertoo varren pysyvästä paksuuskasvusta ennen hedelmien tuotantovaihetta. Sen alettua tomaatin varren alaosa lähellä tyveä ei enää juurikaan kasva paksuutta, vaan vain supistuu ja laajenee nestejännityksen vuorokausirytmien mukaisesti.
Työstressi (laskennallinen suure dendrometridatasta)	Suhdeluku	+	+	Vesistressin ja vegetatiivisen ja generatiivisen metabolian tasapainon <sup>1</sup> indikaattori. Laskennassa käytetään päivittäistä varren maksimi- ja minimipaksuutta ja niiden erotusta (päivittäisen kutistumisen maksimi). (Hanssens, 2015; Meng et al., 2017). Hyvin kastelluissa kasveissa varren paksuus reagoi mahlanestevirtauksen pienentymiseen välittömästi niin, että varsi paksunee. Näin siksi, että juuristo ei heti reagoi lehdistä tulevaan signaaliin pienentää veden ottoa, vaan vettä ehtii nousta solukoihin ylimäärin. Tällöinhan varsi paksunee veden jäädessä "seisomaan" solukoihin haihdutuksen pienennyttyä. Jos varsi ei paksunekaan välittömästi, kun mahlavirtaus pienenee, kertoo se, että juuriston vedentoimitus ikään kuin "lyö tyhjää" eikä sieltä nouse välittömästi vettä, joka jäisi seisomaan solukoihin paksuntaen varren. Tämän viiveen avulla tunnistetaan varren vesipotentialin alentuminen eli kasvin vesistressi jo ennen kuin se näkyy kasvien nuutumisenä. (de Swaef et al., 2012). Vesistressin tunnistaminen on tärkeää etenkin epäorgaanisissa kasvualustoissa kuten kivivillassa, jonka hydraulinen johtavuus pienenee nopeasti kasvualustan vesipitoisuuden pienentyessä.



Infrapunaradiometri (Apogee) (jakso 2021-22), ZentraCloud -data-loggeri ja pilvipalvelu (MeterGroup)	Lehtien lämpötila °C (tulisi olla aina hiukan ilman lämpötilaa alempi)	+	+	Lehtien ja niitä ympäröivän ilman lämpötilan erotus on kasvien vesistressin indikaattori. Kun vettä on juuristossa riittävästi ja ilma hiukan kuivempaa kuin ilmarakojen sisällä oleva ilma, kasvit pystyvät haihduttamaan, minkä ansiosta lehdet ovat hiukan viileämpiä kuin ilma. (Jones, 2004). Jos näin ei ole, haihduttamisessa on häiriöitä, mikä heijastuu myös yhteyttämistuotteiden tuotantoon. Äkilliset kylmyystai kuumuushokit (esim. verhojen avaus aamulla ja kylmän ilman putoaminen kasvien päälle tai kuumuus- tai valohuiput kesällä) aiheuttavat nekin epänormaaleja kasvuston lämpötiloja ja siten häiriöitä yhteyttämiseen. Sekä kuumuus- (+32°C) että kylmyysstressi (+10°C) voivat lyhytaikaisina toistuessaan suurentaa tomaattien sokeripitoisuutta, mutta määrällinen sadontuotanto kärsii (Mesa et al., 2022).
Mittanauha	Latvan kasvu viikossa, cm (tomaatilla 20-30 cm/vko)	+	+	Latvan kasvu kuvastaa kasvien nettofotosynteesin suuruutta ja kasvunopeutta: energia, joka riittää kasvuun hengityksen ja yhteyttämistuotteiden hedelmiin siirtämisen jälkeen.
Mittanauha	Ylimmän kukkivan tertun etäisyys kasvupisteestä, cm	+	+	Kuvastaa generatiivisen ja vegetatiivisen kasvun suhdetta: jos kukkiva terttu on suhteellisen lähellä kasvupistettä, kasvi on satsannut generatiiviseen kasvuun suhteessa enemmän kuin vegetatiiviseen.
Laskenta	Avoimia kukkia, kpl	+	+	Kuvastaa kasvin kykyä tuottaa uusia lisääntymiselimiä (generatiivinen kasvu).
Mittanauha	Ylimmän kukkivan tertun alapuolisen lehden pituus, cm (tomaatilla 30-40 cm)	+	+	Kuvastaa lehtipinta-alaa: mitä pidempi (ja leveämpi) lehti, sitä enemmän kasvi pystyy sieppaamaan fotoneita yhteyttääkseen. Yhteys indikaattoriin LUE (light use efficiency) eli g tuotettua kuiva-ainetta per MJ PAR-valoa.
Laskenta	Lehtien määrä kasvissa, kpl	+	+	Kuvastaa lehtipinta-alaa (yhteyttävä pinta-ala). Suhteessa hedelmien määrään selittää hedelmien kuiva-ainepitoisuutta: se kasvaa lineaarisesti kun lehtien määrä suurenee yhdestä kolmeen per hedelmä. Samalla tavalla kasvaa hedelmiin lehdistä sokereita kuljettavan nilanesteen sokeripitoisuus. Hedelmien koko ei enää suurene em. suhteen ylittäessä 1:n, vaan muutos näkyy vain niiden kuiva-ainepitoisuudessa. (Jan & Kawabata, 2011).
Työntömittari	Varren paksuus ylimmän kukkivan tertun yläpuolelta, cm	+	+	Kasvin vaste, joka kuvastaa kasvin kasvuvoimaa (→ kasvunopeus). Varren paksuuden tulisi olla tietyissä rajoissa, jotta tomaatin tiedetään kasvavana normaalisti (tasapaino vegetatiivisen ja generatiivisen kasvun välillä). Karkea nyrkkisääntö: varsi < 1 cm = vegetat. kasvi, > 1 cm = generat. kasvi.
Laskenta	Terttuja kasvissa, kpl	+	-	Kuvaa sink:source -suhteen (nielu : lähde) vasemman puolen suuruutta karkeasti, kun hedelmien määrä jaetaan terttujen määrällä. Nielun vahvuus on suorassa suhteessa hedelmien lukumäärään, mutta myös hedelmien kokoon per terttu (Li et al., 2015).
Laskenta	Hedelmiä kasvissa, kpl	+	+	Hedelmäkuorma kuvastaa yhteyttämistuotteita hyödyntävien nielujen (sink) määrää eli hedelmien tarvitsemää osuutta kasvin hiilitaloudesta. Positiivinen korrelaatio lämpötilan ja edelleen sink-suureen kanssa. Korreloi myös varren paksuuden ja varren päivittäisen kutistumismaksimin kanssa, ts. sekä kasvin hiiliettä vesistatuksen kanssa (De Swaef & Steppe, 2010; De Swaef et al., 2013).
Laskennallinen (edell. viikon miinus laskenta-viikon tertut)	Uusia terttuja per viikko	+	+	Kuvastaa kasvin generatiivisuutta ja kasvunopeutta. Tomaatin tulisi tuottaa keskimäärin yksi uusi terttu viikossa.

Laskennallinen (=viimeisin poimuttu terttu laskentaviikolla miinus sama edellisellä)	Terttuja noukittu/vko	+	+	Kuvastaa kasvin generatiivisuutta ja sadontuottoa.
Tomaatin hedelmien klorofylli-indeksi (punaisen valon fluoresenssi).	Fluorometrimittaus tomaateista ennen brixin määrittystä.	+	+	Tomaatit ovat raakileina vihreitä ja niissä on klorofylliä, joka yhteyttää hieman. Klorofyllin määrä vähenee kypsymisvaiheen aikana ja häviää kokonaan tomaattien kypsyttyä täysin. Koska brixit mitattiin vaiheessa, jossa tomaatit normaalisti kerätään kaupalliseen käyttöön, niiden kypsyysaste ei välttämättä ollut aivan sama joka tomaatin kohdalla. Klorofyllin määrän mittaamalla oletimme voivamme eliminoida datasta kypsyysasteen vaihtelun vaikutuksen brixiiin.
Tomaatin hedelmien typpitasapainoindeksi.	Fluorometrimittaus tomaateista ennen brix-määrittystä.	+	+	Typen määrä vaikuttaa tomaattien laatuun (liika typpi heikentää makua), joten varmuuden vuoksi hedelmistä mitattiin myös typpitasapainoindeksi käytettäväksi yhtenä selittävänä muuttujana brix-arvoja analysoidessa. Lehtien typpipitoisuus vaikuttaa tomaattien laatuun myös, mutta sitä ei mitattu.

<sup>1</sup> Tasapaino vegetatiivisen ja generatiivisen kasvun välillä tarkoittaa, että kasvissa on oltava tietty määrä uutta lehtimassaa hedelmien lisäksi koko ajan, jotta kasvin tuleva sato-potentiaali on turvattu.

Taulukko 4. Vastemuuttujat eli sadon laatua ja määrää kuvaavat muuttujat.

Mittaustapa	Muuttuja	A	B
Refraktrometri	Liukoisten sokereiden pitoisuus % tuore-painosta <sup>1</sup>	+ <sup>2</sup>	+ <sup>3</sup>
Punnitus pakkaamossa	Viikkosato tomaatteja kg per huone	+	+
Punnitus pakkaamossa	Tomaattien keskipaino, g	+	+
Lajittelu pakkaamossa	Ykkös- ja kakkosluokan tomaattien ja jätteen osuus	+	+

<sup>1</sup> mitattiin 8 tomaatista per kerta molemmissa paikoissa jaksolla 2020-21. Toisella jaksolla mitattiin 5 tomaatista per kerta ja paikka.

<sup>2</sup>lajike Y koko ajan.

<sup>3</sup>Jaksolla 2020-21 lajike C (valtalajike) ja sen lisäksi lajikkeita E, Y ja R 20 kasvia per lajike samoissa viljelyolosuhteissa kuin valtalajike. Jaksolla 2021-22 lajike D.

### *5.2.1.2 Toimenpide 1. Tehtävä 2. Laitteiden hankinta ja kalibrointi ja asennus testipeteihin.*

Anturi- ja muut laitehankinnat kilpailutettiin, kun useammilta valmistajilta oli saatavissa vertailukelpoisia tuotteita. Phytosense-järjestelmän tyyppistä kombinaatiota tukipalveluineen oli saatavissa vain belgialaiselta 2Grow-firmalta, siksi tehtiin suorahankinta.

Digitomkussa käytössä oli vain yksi uusi sensorityyppi lajiaan kummassakin testikasvi-huoneessa. Varsinainen sensoriperustainen viljely vaatisi sen, että tärkeitä olosuhdemuutoksia pystytään seuraamaan myös kasvihuoneen eri osissa. Digitomkun resurssit eivät antaneet tällaiseen spatiaaliseen seurantaan mahdollisuuksia, vaan sensorit asennettiin kasvustoa mahdollisimman hyvin edustaviin kohtiin ja kasveihin.

PAR-linja-anturit asennettiin kummallekin viljelmälle lähelle Phytosense-antureita. Viljelijät seurasivat niistä halutessaan valointensiteettiä sekä kasvuston sisältä että latvojen korkeudelta. Digitomkun henkilökunta käytti niitä valointensiteetin seurantaan porometrimittausten yhteydessä.

Eri ympäristötekijöiden vaihdellessa tärkeimmät kohteet fotosynteesin säätelylle ovat RuBisCo-aktivaasi-entsyymiin ja ilmarakojen kaasunjohtavuuteen vaikuttaminen. Toisin sanoen miten säädellä ilmarakojen kiinni ja auki olemista. Porometri-laitteella voi mitata ilmarakojen kaasunjohtavuutta tiettyä pinta-alaa kohti per lehti. Digitomkulla hankittu porometri mittaa vesihöyryn liikkumista ilmarakosta. Kaasunjohtavuus riippuu sekä ilmarakojen aukinaisuudesta että niiden lukumäärästä mitattavalla alalla. Teimme mittauksia porometrillä läpi valoisan ajan, jotta saimme alustavaa dataa siitä, miten pian valojen syttymisen jälkeen ilmarakojen toiminta saavuttaa maksiminsa tekovalossa ja miten niiden toiminta heikkenee iltapäivän kuluessa. Asia liittyy kysymykseen, kannattaako valot sytyttää aamulla kaikki kerralla tai puolet ja puolet lyhyen ajan sisällä vai antaa niiden syttyä himmentimen avulla vähitellen maksimiinsa. Viljelmän B led-lamput syksyllä 2021 mahdollistivat vähittäisen portaattoman syttymisen ja sammutuksen vaikutuksen tarkastelun ilmarakojen kaasunjohtavuuteen.

Porometrillä seurattiin ilmarakojen toimintaa viljelmällä A yhden vuorokauden aikana 6.11.2021 ja viljelmällä B 1.-2. ja 7.-8.10. 2021. Mittauksia tehtiin noin 4 minuutin välein yhteensä noin 200 kpl jokaisena kolmena kertana. Aamuyön tuntien aikana, kun tulokset osoittivat ilmarakojen kaasunjohtavuuden saavuttaneen suhteellisen vakiintuneen tason 3-4 tunnin kuluttua lamppujen syttymisestä, pidettiin muutaman tunnin tauko ennen auringonnousua.

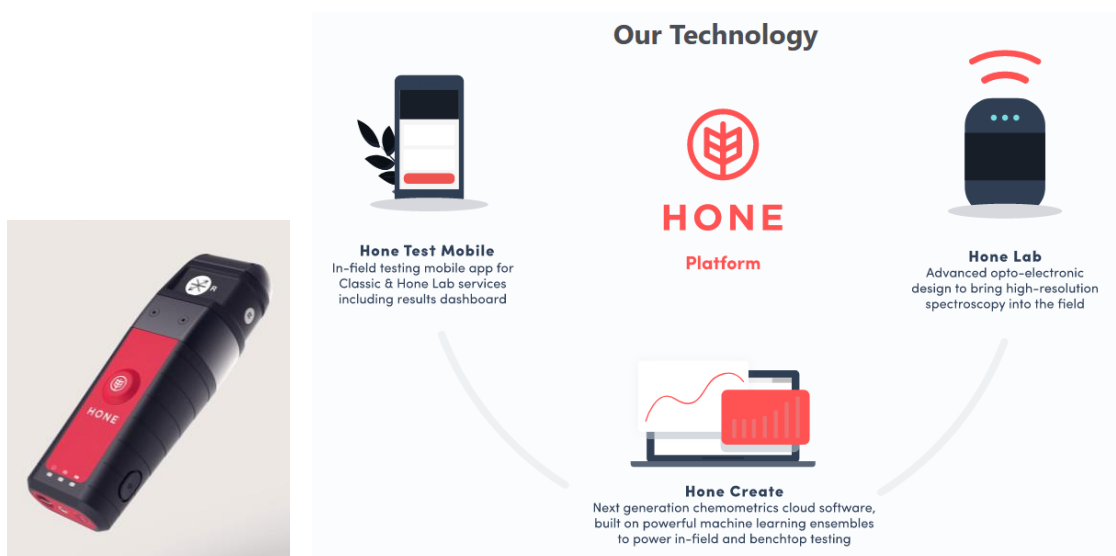
Porometrimittauksia tehtiin neljästä kasvusta, ylimmän kukkivan tertun alapuolisesta lehdestä. Lehdistä mitattiin niin pitkään kuin pystyttiin ja uusi lehti valittiin kohteeksi, jos lehden reuna esim. repeytyi tai lehti alkoi muuten näyttää kuluneelta. Mittauskohdan korkeudelta mitattiin joka kerta valointensiteetti PAR-linja-anturilla sekä CO<sub>2</sub>-pitoisuus erillisellä CO<sub>2</sub>-anturilla, joka oli mittauskohdan välittömässä läheisyydessä. Valointensiteetti kirjattiin muistiin myös mittauskasvien välittömään läheisyyteen pysyvästi asennetuista PAR-linja-antureista (toinen

latvojen tasalla (viljelmät A ja B), toinen led-välivalojen kohdalla pystysuunnassa (viljelmä A). Porometrilaitte kirjasi muistiin mittauskohdan lämpötilan.

Kasvimittauksia tehtiin viljelmästä ja vuodesta riippuen 8-12 kasvista per kasvihuone, viljelmällä A ensimmäisellä jaksolla neljästä kohtaa (yht. 12 kasvia) ja toisella jaksolla kahdesta kohdasta (5 kasvia per kohta). Mittaukset viljelmällä A teki Digitomkun henkilökunta. Viljelmä B teki kasvimittaukset itse neljästä kohtaa per huone. Manuaalisten kasvimittausten dokumentoimiseksi liisattiin suomalaiselta a.i.mater-yritykseltä puheohjattu Noptera-sovellus. Se vapauttaa kädet varsinaisten mittausten tekemiseen ja Digitomkussa lähes puolitti viikoittaisiin kasvimittauksiin kuluvan ajan.

Vastemuuttujista brix-arvo mitattiin viljelmällä A keskiviikkona poimituista ja viljelmällä B maanantaina poimituista tomaateista refraktrometrillä (Bellingham+Stanley DR 103L). Näytteiksi otettiin jaksolla 2020-21 8 kpl per kerta ja jaksolla 2021-22 5 kpl per kerta, yksi tomaatti per terttu. Aina kun mahdollista brix-mittauksia varten kerättiin tertun kärkimmäinen tomaatti. Tomaattien valinnan perusteena oli poimintakypsyn tomaatin väri eli kypsyyssvaihe 5: vähintään 60-90 % tomaatin pinnasta on oranssia. Satodatat (viikkosato ja hedelmien paino) saatiin pakkaamolta.

NIR-sensoreiden hankintahinnat vaihtelivat 5000 eurosta 21 000 euroon ja niiden valmiusaste sujuvaan käyttöön vaihteli myös. NIR-sensorin hankintaselvitys ja lopulta toimitus kesti niin pitkään, ettei sillä ehditty tehdä varsinaisia mittauksia hankkeessa. Loppujen lopuksi syksyllä 2022 päädyttiin hankkimaan Australiasta HoneLabin NIR-sensori (kuva 4). Sille ehdittiin kehittää regressiomallit mittausten kalibrointia varten huolimatta siitä, että laitteen saanti viivästyi koronapandemiasta johtuneiden toimitusvaikeuksien takia maaliskuulle 2022. Mittauksia käytännön viljelmillä kalibrointimalleja hyödyntäen ei ehditty tehdä.



Kuva 4. Vasemmalla: HoneLab NIR-sensori. Hinta noin 5860 euroa, jonka päälle tulee pilvipalvelumaksu noin 1600 euroa per vuosi. Oikealla: kaavakuva pilvipalvelusta, jonka kautta mittaustulokset saadaan mittaajan kännykkään nopeasti.

Sokereiden ja lykopeenin ei-invasiivinen mittaaminen tomaateista edellyttää VIS-NIR-sensoreiden kalibrointia. Ennen kannettavan NIR-sensorin hankkimista Novia tuotti regressiomallin perustuen Novian Sentronic-sensoriin. Referenssinä oli refraktrometrillä mitattu brix-arvo, johon NIR-sensorilla saatuja tuloksia verrattiin. Alustava malli tehtiin myös lykopeenille, jonka referenssiarvot määritettiin. ”Esimallin” pohjalta oli helppo tuottaa lopulliset kalibrointimallit hankitulle HoneLab-sensorille.

Fluorometriä ei hankittu hankkeelle, vaan sen käyttö ostettiin brix-mittausten yhteydessä SCADS-toiminimeltä.

Lehtien fotosynteesikapasiteettia voi mitata fluorometrisesti. Fluoresenssi kuvastaa fotosynteesikoneiston PSII toiminnan aktiivisuutta: ylimääräiset fotonit poistuvat lehdistä fluoresenssina. Tällaisia mittauksia ei Digitomkussa kuitenkaan tehty. Valmiutemme eivät riittäneet laitteistojen hankintaan ja käyttöön käytettävissä olevassa ajassa ja resursseilla. Tutustuimme hankkeen loppuaikana kuitenkin kaupallistettuihin optisiin fluoresenssi-sensoriratkaisuihin ja kirjoitimme niistä kaksi artikkelia.

Testiviljelmillä käytetyistä uusista antureista ja muista hankinnoista sekä manuaalisista mittauksista on tehty joko lyhyet kuvailuesitteet, kirjoitettu artikkelia tai tuotettu videoita (taulukko 5).

Taulukko 5. Digitomkussa käytetyistä kasvifysiologisista antureista tuotetut esitteet, artikkelit ja videot. Huom. hinnat ovat noin hintoja ja perustuvat hankkeen saamiin tarjouksiin, joten ne voivat poiketa jatkossa taulukossa esitetyistä.

Anturi tai muu hankinta. Toimittaja (nimen takana linkki nettisivustolle). Noin-hinta.	Esittelymateriaalin nimi
<a href="#">Phytosense</a> -järjestelmä + pilvipalvelu. <a href="#">2Grow</a> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Video 1</a>: Digitomkku och Phytosense i projektet</li> <li>• <a href="#">Video 2</a>: Vänninen &amp; Palmujoki. Phytosense-järjestelmä. - Phytosense system (suomi, tekstitys ruotsiksi).</li> <li>• <a href="#">Video 3</a>: (englanniksi, Maxime Dedecker). Phytosense för mätning av savflöde och stamtjocklek.</li> </ul>
Infrapunaradiometri+Zentra-dataloggeri ja pilvipalvelu: lehtien lämpötilan mittaus ja siitä lasketut ilman kosteutta kuvaavat suureet. <a href="#">Apogee</a> malli SI-421. 800 euroa + dataloggeri n. 600 euroa + pilvipalvelu n. 185 euroa/v.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Infoblad 2</a>: VPD och plantornas välmåen-de: 1. Hur klyvöppningar fungerar.</li> <li>• <a href="#">Infoblad 7</a>: IR (infraröd) sensor för mätning av bladtemperatur</li> <li>• <a href="#">Video</a>: Infrapunaradiometri</li> </ul>
Porometri SC-1, kasvien ilmarakojen kaasunjohtavuuden mittauksiin. <a href="#">MeterGroup</a> . 3100 euroa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Infoblad 3</a>: VPD och plantornas välmående: 2. Avdunstning – en avgörande funktion för plantornas tillväxt.</li> <li>• <a href="#">Infoblad 6</a>: Porometer för mätning av stomatal (klyvöppningars) konduktans (SC= Stomatal Conductance).</li> <li>• <a href="#">Video</a>: Porometri ilmarakojen toiminnan mittaukseen - porometer för mätning av hur klyvöppningar fungerar (suomi, tekstitys ruotsiksi)</li> </ul>
PAR-linja-anturi säteilyn mittauksiin. <a href="#">Apogee</a> . 690 euroa/kpl (10 linssiä).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Video</a>: PAR-linja-anturi valomäärän mittaukseen - PAR-linjegivare för ljusmätningar.</li> </ul>
Fluorometri Multiplex Research, kasvien biokemian mittaus. <a href="#">ForceA</a> . 4500 euroa.	<a href="#">Video</a> : Fluorometri (Multiplex Research) - fluorometer Multiplex Research).
NIR-sensori tomaattien sokeripitoisuuden ei-invasiiviseen mittaamiseen+pilvipalvelu. <a href="#">HoneLab</a> . 5700 euroa + pilvipalvelu 1600 euroa/v.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Infoblad 4</a>: NIR-spektroskopi för kvalitets-mätning av tomat</li> <li>• <a href="#">Video 1</a> (ruotsiksi, Tom Lillhonga): Kvalitetskontroll av tomat med NIR.</li> <li>• <a href="#">Video 2</a> (suomeksi, Tom Lillhonga): Tomaatin laadun mittaus NIR-sensorilla.</li> <li>• <a href="#">Video 3</a>: (suomeksi, Tom Lillhonga): Tomaatin sokereiden mittaus NIR-sensorilla (esitys loppuseminaarissa)</li> </ul>
Kasvien kasvuparametrien mittaus (manuaaliset kasvimitaukset)	<a href="#">Infoblad 5</a> : Plantregistrering och mätningarnas dokumentation i dataplattformen
Noptera-ohjelma+ pilvipalvelu mittausdatan puheohjattuun dokumentointiin. <a href="#">a.i.mater</a> . Kuukausilisenssi 120 euroa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Artikkel 1: Palmujoki, E., Vänninen, I. 2021. Smidigt att prata in mätningar och anteckningar i Noptera. Trädgårdsnytt 6-7: 8-9.</li> <li>• Artikkel 2: Palmujoki, E., Vänninen, I. 2021. Puhumalla tiedot talteen. Puutarha&amp;Kauppa 7: 12-13.</li> <li>• <a href="#">Video</a>: Kasvimitauksten tallennusta Nopteralla. Dokumentering av plantregistrering med Noptera-programmet.</li> </ul>
Kasvifysiologinen data ja sen käyttö	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Video 1</a> (suomeksi, Vänninen &amp; Palmujoki). Tomaatti kertoo mitä se tarvitsee, Osa 1: Miksi mitata kasvien fysiologiaa.</li> <li>• <a href="#">Video 2</a> (suomeksi, Palmujoki &amp; Vänninen). Tomaatti kertoo mitä se tarvitsee, Osa 2: Esimerkkejä datasta ja sen hyödyntämisestä</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Video 3</a> (ruotsi, Vänninen &amp; Palmujoki). Varför växtfysiologiska mätningar av plantor i praktisk odling.</li> <li>• <a href="#">Video 4</a> (ruotsiksi, Palmujoki &amp; Vänninen). Exempel på växtfysiologiska data från tomat i Närpes.</li> <li>• <a href="#">Video 5</a> (englanniksi, Alexey Shapiguzov, Luke/Helsingin yliopisto): Why do plants capture light and why is it important? (esitys Digitomkun loppuseminaarissa)</li> </ul>
<a href="#">Pylot</a> data-alusta (pilvipalvelu). 5450 euroa/1,5 vuotta/yritys (sis. alun asentamismaksun 1500 per yritys)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Infoblad 1</a>: Pylot dataplatformen (ruotsi)</li> <li>• <a href="#">Video</a>: Pylot dataplatform, hur tjänar den odlaren.</li> </ul>
Tuotetut mallit tomaatin sokeripitoisuutta selittävästä tekijöistä ja pitoisuuden ennustaminen niiden avulla.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Video 1</a> (ruotsiksi, Irene Vänninen): Analys av faktorer som påverkar sockerhalt av tomater</li> <li>• <a href="#">Video 2</a> (suomeksi, Jari Pohjola): Tomaatin sokeripitoisuuteen vaikuttavien tekijöiden analysointi</li> <li>• <a href="#">Video 3</a>: Tomaatin sokeripitoisuus: selittävät tekijät ja ennustaminen (Jari Pohjola ja Esa Palmujoki) (loppuseminaarin/-webinaarin esityksen tallenne)</li> </ul>

Taulukossa 5 kuvattujen materiaalien lisäksi hankkeesta on tiedotettu Suomessa ja ulkomailla seuraavasti:

1. Hankkeen esittely Uuden tekniikan päivillä 29.10.2020: Phytosense-, NIR-sensori ja Pylot-alusta: dataohjautuvan tuotannon välineet kokeilussa Digitomkussa.
2. Hankkeessa käytettyjen antureiden esittely Uuden tekniikan päivillä 28.10.2021: Kasvi kertoo mitä se tarvitsee – Kasvifysiologiset mittaukset kasvun ohjaajana.
3. Hankkeen haasteiden pohdintaa HAMK:n Lepaan opiskelijoiden kurssilla ”Tutkimus ja tuotekehitys puutarhataloudessa” 17.2.2021: Teknologiahankkeen toteutuksen kysymyksiä, haasteita ja ratkaisuja : DIGITOMKKU (2020-21).
4. Hankkeen esittely Helsingin yliopiston puutarhatieteen opiskelijoille kurssilla Agri-282 ”Kasvihuonetuotanto ja kasvutekijöiden hallinta” 1.3.2022: Big data and continuous measurements to improve greenhouse production.
5. Poster (paperinen ja sähköinen versio) Maataloustieteen päivillä 13.-14.6.2022: Chasing the taste of tomato: implementing instruments and methods of data-steered production in the Digitomkku EIP project (Österbottens Svenska Producentförbund). Sama poster esillä sähköisenä Lepaan puutarhatekniikan päivillä 11.-13.8.2022
6. ”We now see things we didn’t see before.” Kirjoitus hankkeesta [Pylot-data-alustayrityksen nettisivustolla](#) (perustuen Vännisen kanssa tehtyyn haastatteluun).
7. Hankkeen yhteenveto Kauppapuutarhaliiton Akademia-webinaarissa 22.11.2022 (Vänninen ja Palmujoki)
8. Hankkeen yhteenveto ruotsinkielisille osallistujille 15.11.2022 Svenska Trädgårdsförbundetin kasvihuonetuottajille järjestämällä risteilyllä (Vänninen).
9. Kolme artikkelia Puutarha&Kauppa-lehden Uuden tekniikan päivän erikoisnumerossa: 1) artikkeli Sendotin fotosynteesiantureista; 2) artikkeli Sigrow:n monimuuttuja-anturista ilmarakojen aukinaisuuden ja kasvualustan ominaisuuksien mittaukseen; 3) yhteenveto Digitomkku-hankkeesta. Samat artikkelit julkaistaan myöhemmin ruotsiksi Trädgårdsnytt-lehdessä.
10. Loppuseminaari/-webinaari 5.10.2022 (HAMK, Lepaa).
11. Toteutettua hanketta ja sen tuotoksia mainostava esite, joka tuotettiin [sähköisenä](#) ja paperisena versiona yhteistyössä J-S Suomen ja esitteestä ilmoitustilaa ostaneiden yritysten kanssa: ”Digitaaliset mittaus- ja viljelymenetelmät kasvihuoneviljelyssä”.
12. Hankkeen tulosten päivitys [EIP-Agrin nettisivuille](#) marraskuun 2022 aikana.

### *5.2.1.3 Toimenpide 2. Datan siirto*

Testiviljelmiltä A ja B siirrettiin niiden omien ilmastonsäätelyohjelmien keräämät datat Pylot-alustalle rajapintasovelluksen (API-avulla). Valmis API oli saatavilla Pylotilta Priva-ohjelmaa varten ja sen avulla datat siirtyivät sujuvasti Pylotiin muutamia valotukseen liittyviä hetkellisiä pullonkauloja lukuunottamatta.

Viljelmällä A Synopta-ilmastonsäätöohjelman keräämän datan siirtämiseksi Pylot joutui kehittämään uuden API:n. Sen käyttöä vaikeuttivat kuitenkin häiriöt, joita datan siirto lyhyin väliajoin aiheutti viljelijän tietokoneen toimintaan katkomalla mahdollisuuksia seurata Synoptan toimintaa samanaikaisesti. Siksi data loppujen lopuksi siirrettiin suoraan data-analyytikon käyttöön Excel-muotoisena datan kerryttyä Synoptan tietokantaan.

Phytosense-data meni sovelluksen omaan pilvipalveluun, josta se siirrettiin API:n avulla Pylot-data-alustalle. Viljelmän A GroSens-data siirrettiin Excel-muotoisena data-analyytikon käyttöön, koska API ei ollut eikä sitä ehditty kehittää.

Infrapunaradiometrin datat jaksolta 2021-22 kertyivät Zentra-dataloggeriin ja sieltä ZentraCloud-pilvipalveluun. Infrapunaradiometrin dataa ei siirretty Pylotiin, vaan otettiin Excel-muotoisena pilvipalvelusta ja liitettiin osaksi koko datadumpitiedostoa, jota data-analytikko käytti analyysien lähteenä.

Sekundäärisille mittauksille ei ollut alun perin Pylot-alustassa paikkoja, mutta Pylot lisäsi ne muuttujiksi sinne. Noptera-ohjelman luoma data siirrettiin manuaalisesti Pylotiin.

### *5.2.1.4 Toimenpide 3. Datan hallinta*

Testiviljelmien kanssa laadittiin hankkeen alussa alustava sopimus koskien viljelmiltä kerättyjen datajen omistajuutta ja käyttöoikeuksia tiedottamisessa ja julkaisuissa. Periaatteena oli, että kaikki viljelijöiden omien antureiden keräämä data on heidän omaisuuttaan, ja hankkeen varoilla ostetuilla/liistuilla antureilla kerätty data on projektinomistajan (ÖSP) omaisuutta. Jälkimmäistäkin dataa koskevat silti sovitut salassapito- ja käyttöoikeussopimukset.

Myöhemmin laadittiin lopullinen, virallinen sopimus, jossa määriteltiin yksityiskohtaisesti datan ja tulosten omistus-, käyttö- ja julkaisu-oikeudet. Ainoita täysin julkisia lopputuotoksia ovat hankkeessa tuotetut mallit, jotka koskevat tomaatin laadun ja primääristen ja sekundääristen taustamuuttujien välisiä korrelaatioita ja brixin ennustemalleja. Data-alustaan vietyjä raakadatoja ei katsota tulosaineistoiksi, ei myöskään testipetiyriytyksiä koskevia tietoja, jotka voidaan katsoa liikesalaisuuksiksi. Primääritietokantojen rakenteen määriteltiin hankesuunnitelmassa olevan julkista tietoa. Hankkeessa ei kuitenkaan tuotettu omaa, yhteistä tietokantaa, jonne osallistuneiden viljelmien datat olisi koottu. Pylot-data-



alustaa muokattiin hankkeen tarpeiden mukaisesti luomalla sinne uusia muuttujia. Uudet muuttujat ovat myöhemmin muidenkin käyttäjien hyödynnettävissä Pylotissa. Pylot-alustalle oli pääsy vain viljelijöillä (jotka näkivät myös toistensa tietokannat) ja hankehenkilöstöllä ja Pylotin henkilökunnalla, jotka olivat vastuussa tietokannan rakenteesta ja toiminnan ylläpidosta. Testiviljelmien ja Pylot-firman välillä laadittiin erilliset sopimukset datan omistajuuksista ja käyttöoikeuksista, jotka olivat linjassa viljelmien ja ÖSP:n välillä tehdyn sopimuksen kanssa. Sen lisäksi laadittiin vielä sopimus ÖSP:n ja Pylotin välillä koskien data-alusta käyttöä palveluna hankkeen testiviljelmien kanssa.

Toinen julkinen tuotos ovat regressiomallit VIS-NIR-sensorin käyttöä varten. Mallien avulla mittaustulokset muunnetaan tomaattien prosentuaalisiksi sokeripitoisuuksiksi. Mallien laatimiseksi tomaatteja kerättiin eri viljelmiltä, joiden tietoja ei paljasteta.

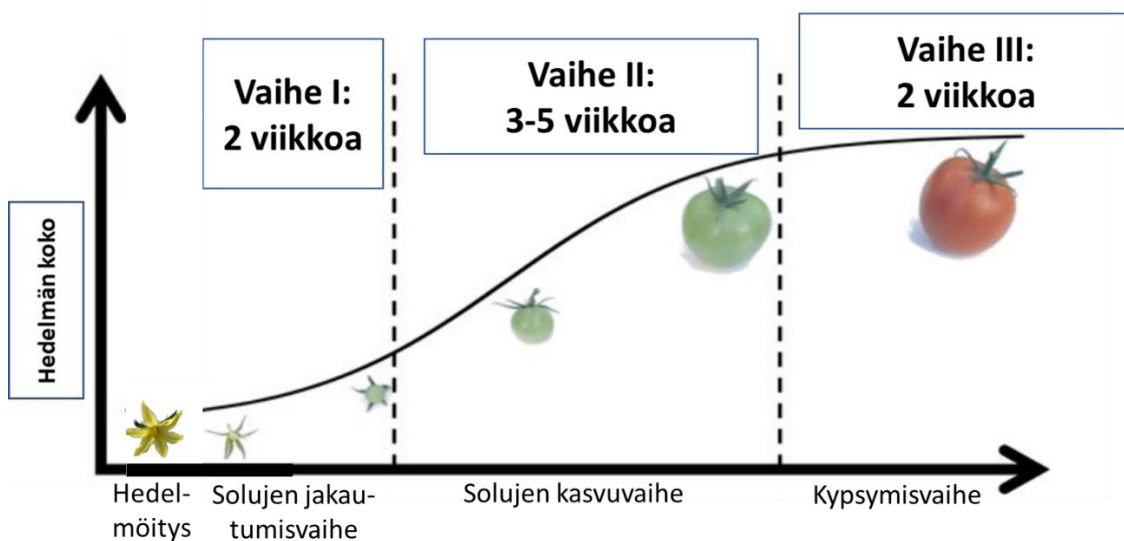
### *5.2.1.5 Toimenpide 4. Data-analyysi*

**Regressio- ja ennustemallit tomaattien sokeripitoisuudelle:** Tässä raportissa keskitymme selostamaan vain tomaattien brix-arvojen selittäviä tekijöitä ja ennusteita. Määrällisen sadon analyysit julkaistaan myöhemmin.

#### ***Taustaa analyyseille: tomaatin sokeripitoisuuden määräytyminen***

Tomaatin laadulle sokeripitoisuutena ymmärrettynä on tärkeää tomaatin hedelmien kuiva-ainepitoisuus, josta liukoiset sokerit (glukoosi, fruktoosi, hieman sakkaroosia) muodostavat noin puolet. Mitä enemmän sokereita suhteessa tomaatin tuorepainoon, sitä makeampi tomaatti. Tomaatteihin siirtyy lehdistä sokereita eniten hedelmien kehitysvaiheen kahden viimeisen viikon aikana, kun niiden väri muuttuu vihreästä punaiseksi (kuva 5). Viimeiset kaksi viikkoa eivät kuitenkaan ole ainoa ratkaiseva vaihe sokeripitoisuuden muodostumisessa. Se kuinka paljon tärkkelystä (sokereiden esiastetta) pienissä raakileissa on 2-3 viikon aikana hedelmöitymisestä on myös ratkaisevaa. Tärkkelyksen siirtymistä raakileisiin säätelevät tietyt geenit. Niiden vaikutus kasvaa, jos tomaatit kärsivät lievistä vedenpuutteesta esim. kasvualustan tavallista korkeamman johtokyvyn takia. Se johtaa veden oton vaikeutumiseen ja siksi kuivuusstressistä kärsivien tomaattikasvien hedelmien kuiva-ainepitoisuus suurenee (konsentroitumisvaikutus). Konsentroituminen ei kuitenkaan yksinään selitä tomaattien korkeampaa sokeripitoisuutta, vaan siihen vaikuttaa myös tärkkelystä hedelmiin siirtävien entsyymien korkeampi aktiivisuus ko. olosuhteissa: niiden ansiosta tärkkelystä kerääntyy raakileisiin enemmän, jolloin sitä on myöhemmin enemmän käytettävissä sokereiden raaka-aineena (katsaus tähän asiaan Beckles et al., 2012).

Em. syistä käytimme brixin vaikuttavien tekijöiden analyysissä selittävinä tekijöinä paitsi poimintaviikon myös sitä edeltävien kuuden viikon olosuhdearvoja sekä primääristen että sekundääristen muuttujien osalta. Sokereita siirtyy hedelmiin eniten hedelmien nopean kasvun vaiheessa eli 6-7 viikon aikana ennen lopullista kypsymistä. Pölytykseen ja hedelmöitymiseen vaikuttavilla tekijöillä voi myös olla osansa tomaattien kyvyssä ”imeä” itseensä yhteyttämistuotteita, joten periaatteessa jopa 7-8 viikon takaiset olosuhteet voisi huomioida analyyseissä. Analyysihin otettiin kuitenkin normaalin kokoisia kaupalliset kriteerit täyttäviä tomaatteja, joten oletimme pölytyksen ja hedelmöityksen onnistuneen normaalisti.



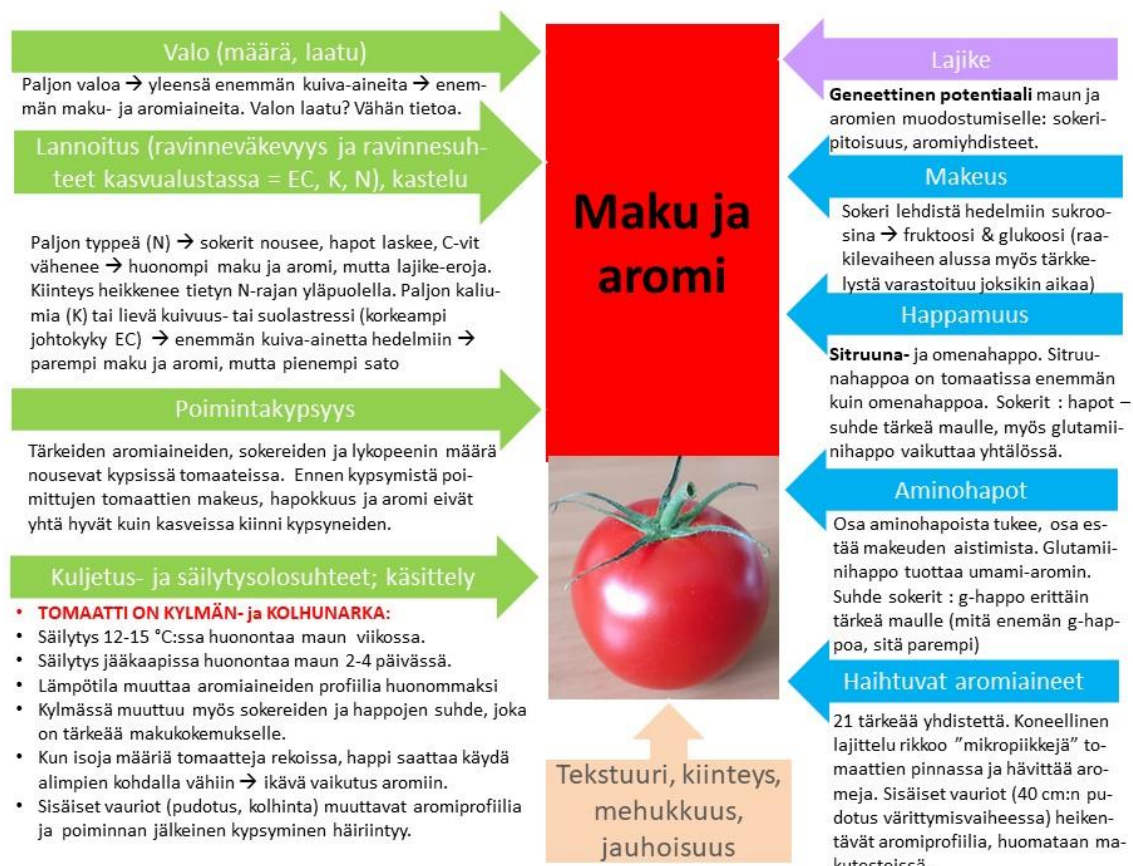
Kuva 5. Tomaatin hedelmän kehitysvaiheet pölytymisestä ja hedelmöitymisestä kypsymiseen. Mukailten piirretty käyttäen lähteenä van der Wal (2017).

Liukoisia sokereita on pyöreissä tomaateissa yleensä 3-5 %. Kun brix-arvo on 5 tai yli, tomaatit koetaan makeudeltaan pääsääntöisesti hyviksi. Jos liukoisten sokereiden määrä alittaa 4 %, tomaatti koetaan mauttomaksi. Toisaalta korkeankin sokeripitoisuuden omaava tomaatti voi tuntua mauttomalta, jos sokereiden ja happojen määrasuhde ei ole kohdallaan (taulukko 6).

Taulukko 6. Tomaatin maun mittausmenetelmiä ja raja-arvoja hyväksi koetun laadun toteutumiseksi kullakin menetelmällä saatujen arvojen mukaisesti.

Miten mitataan?	Mitä mitataan?	Mahdolliset raja-arvot hyvän laadun toteutumiseksi?
<b>1. Maistamalla</b>		
<b>1A. Kuluttajapaneeli</b> (subjektiivinen)	<i>Ostohalukkuus</i> : katselu, haistelu, maistelu → ostaisin, saattaisin ostaa, en ostaisi. Hyvä/huono -mielipide.	Ei ole. Suhteellinen vertailu.
<b>1B. Aistinvaraiseen arviointiin koulutettu paneeli</b> (objektiivinen)	<i>Pisteitä ominaisuuksien voimakkuudesta</i> ilman hyvä/huono -mielipiteitä. 1) Väri, koko ja muoto 2) Maku 3) Tuoksu ja aromi 4) Tekstuuri ja suutuntuma	Absoluuttisia raja-arvoja vaikea antaa. Suhteellinen vertailu.
<b>2. Mittauslaitteilla</b>		
<b>2A. Yksittäiset makutekijät</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Brix (liukoisia sokereita, % tuorepainosta)</li> <li>Titratavat hapot (% tuorepainosta)</li> <li>Sokereiden ja happojen määrasuhde</li> <li>Makuindeksi</li> <li>Haihtuvat aromaattiset yhdisteet</li> </ul>	”Hyvä maku”: <ul style="list-style-type: none"> <li>≥ 4,5-5,0 % (Kader 1977)</li> <li>≥ 0,4 % (Kader 1977)</li> <li>≥ 12 (Kader 1977)</li> <li>≥ 0,70 (Navez et al. 1999)</li> <li>Raja-arvoja vaikea määrittää, koska vaikuttavat yhdessä ja aistimusta muokkaavat happoisuus ja makeus.</li> </ul>
<b>2B. Wageningenin yliopiston makumalli</b> (Verkerke et al. 1998)	Brix, tomaatin halkaisija, mehu-% ja hedelmäseinän rikkomiseen tarvittava voima. Tulokset kaavaan → pisteet 0-100	Epämiellyttävä: < 30 Keskinkertainen: 30-45 Hyvä: 45-55 Erittäin hyvä: 55-65 Paras mahdollinen: 66-100
<b>2C. Makuindeksi, MI</b> (Clément ym. 2008)	$MI = 13.55 - 31.31 / (EC)^{1/2}$ (EC = hedelmän johtokyky)	MI > 0 (jolloin tomaatin EC > 5,4 mS/cm)

Tomaattien sensorinen laatu ei määräydy vain sokeripitoisuuden, happojen ja niiden määrasuhteiden perusteella. Laatuun vaikuttaa myös tomaatin kiinteys, tekstuuri, jauhoisuus, kypsyyssaste poimittaessa, haihtuvat aromiaineet sekä tomaattien käsittely ja säilytys poiminnan jälkeen (kuva 6). Digitomkussa keskityttiin kuitenkin juuri kasvihuoneesta poimittujen tomaattien laadun määrittämiseen eikä haihtuvien aromiaineiden merkitystä voitu huomioida.



Kuva 6. Tomaatin maun ja aromin muodostumiseen vaikuttavat tekijät kootusti.

Dataa saatiin kaikista kasvihuoneista paljon useammista muuttujista kuin mitä taulukoissa 2-4 on esitetty, esimerkiksi eri lämpöputkien toiminnasta ja lämpötiloista sekä tuuletusluukkujen avautumisesta ja sulkeutumisesta. Näitä dataa ei ole toistaiseksi analysoitu käytetty, koska tavoitteemme oli tutkia ensin, pystytäänkö laatu (ja myöhemmin määrällinen sato) selittämään ja ennustamaan avainolosuhdetekijöillä (taulukko 2) ja kasvien fysiologiaa kuvaavilla muuttujilla (taulukko 3), joita varten oli hankittu uudet anturit.

Aikaisemmat pitkän aikavälin tutkimukset brixin selittämiseksi ovat osoittaneet, että lehdyköiden pyöreä muoto hyvinkin monimuotoisen geneettisen taustan omaavilla heirloom-tomaattilajikkeilla selittää brixia hyvin (Chitwood et al., 2014; Rowland et al., 2020). Kastelun niukentamisella tomaattien kypsymisvaiheen aikana saadaan suurennettua hedelmien sokeripitoisuutta, mutta yleensä määrällisen sadon kustannuksella (tomaateista tulee pienempiä). Mallintamalla on kuitenkin etsitty optimaalista kastelua ja sen ajoittamista niin, että sekä määrälliset että laadulliset satokriteerit voitaisiin ottaa huomioon (Chen et al., 2014). Ulkona viljellyille tomaateille on Kreikassa juuri tuotettu koneoppimiseen perustuen malli, joka ennustaa brixin tarkasti neuroverkkomallinnuksen avulla. Kyseisessä tutkimuksessa tomaattien brix-arvoa selittivät parhaiten tomaattien koko, mittausajankohta (päiviä istuttamisesta) ja kahden kevätkuukauden sademäärä (Kasimatis

et al., 2022). On selvää, että tämän mallin muuttujat eivät pysty selittämään kasvihuoneessa pohjoisissa olosuhteissa viljeltyjen tomaattien brixiiä, vaan mallit pitää kehittää erikseen kulloisiinkin olosuhteisiin. Kasvihuonetomaatillakin tehdyissä tutkimuksissa on havaittu, että sadon määrää selittävät tekijät vaihtelevat kasvihuoneesta toiseen. Määrällisen sadon ennustamisessa tärkeimpiä tekijöitä olivat kasvifysiologista muuttujista uusien terttujen ilmaantumisenopeus, hedelmöittymisenopeus (raakileiden ilmaantuminen) ja lehtien määrä. Abioottisista muuttujista tärkeimpiä olivat CO<sub>2</sub>, vesi, ilmankosteus ja lämpötila – siis kaikki abioottiset avaintekijät! Niiden keskinäinen tärkeysjärjestys vaihteli kuitenkin kasvihuoneesta toiseen. (Alwis et al., 2019).

**Askeltavat regressio- ja Lasso-ennusteet brixille:** Pääosa datasta saatiin ladattua Pylot-alustalta, osa datasta saatiin Excel-muodossa. Eri lähteistä saatu data yhdistettiin ja siitä poistettiin merkittävästi muusta aineistosta poikkeavat arvot käyttämällä siihen tarkoitettua MATLAB-algoritmia. Nämä poistetut arvot ja myös muut katkokset datassa korvattiin lineaarisella interpoloinnilla olemassa olevien arvojen perusteella. Tämän jälkeen datasta laskettiin viikkokeskiarvot ja se jaettiin datasetteihin, joihin kerättiin Brix-mittausta edeltävien kuuden viikon data. Testiviljelmällä B data jaettiin kahteen osaan kasvukausien mukaan lajikkeen vaihtumisen takia.

Alustavasti parametrien ja Brix-arvon välistä riippuvuutta tarkasteltiin laskemalla korrelaatio näiden välillä. Varsinaiseen datan analysointiin käytettiin kahta regressiomenetelmää: askeltavaa (stepwise) regressiota ja LASSO-regressiota (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator).

### ***Tomaattien brixiiin vaikuttavien tekijöiden tutkiminen regressioanalyysillä:***

Askeltavassa (stepwise) regressiossa lineaarinen malli vastemuuttujalle (brix) rakennetaan lisäämällä malliin parametreja yksi kerrallaan. Tämä tehdään p-arvon perusteella, jolla saadaan selville, mikä on kyseisen parametrin tilastollinen merkitsevyys vastemuuttujalle luotavassa mallissa. Jos p-arvo alittaa valitun tason (Digitomkun analyysissä 0,01), ko. muuttuja pidetään mukana mallissa eli se selittää brixiiä merkitsevästi. Mallista voidaan myös poistaa jo siihen valittuja parametreja, jos lopulta havaitaan, että se pystytään luomaan riittäväällä tarkkuudella ilman niitä. Regressiossa on tähän saakka tehdyissä analyysissä käytetty taulukon 2 ja 3 muuttujia selittävinä tekijöinä. Tarkemmissa analyysissä mukaan on lisättävä myös tomaattien keskipaino, koska se vaikuttaa brixiiin ja molempien viljelmien tomaattien keskipainoissa oli kumpanakin vuonna havaittavissa samanlaiset trendit viljelyjakson aikana. Tomaattien painon vaikutus brix-arvoon on tavallaan putsattava pois aineistosta, jolloin muiden tekijöiden vaikutus saadaan selvemmin esiin.

***Tomaattien brixin ennustaminen LASSO-regressiolla:***

Brix-arvon ennustamiseen käytettiin LASSO-regressiota. Ennusteen lisäksi tuloksena saadaan myös mallin syntyyn vaikuttaneet tekijät (taulukot 2 ja 3). LASSO-regressio eroaa askeltavasta regressiosta siten, että mallin parametreille asetetaan ns. säätöparametri, jolla pyritään minimoimaan ennusteen virhe sekä vähentämään mallin kompleksisuutta pienentämällä tarvittavaa parametrijoukkoa. Säätöparametri voi olla ennalta määrätty tai se voidaan laskea iteratiivisen prosessin kautta. Tässä tapauksessa käytettiin iteratiivista prosessia.

**Makutestit:** Molempien tomaattiviljelmien tomaatit (lajike Y ja lajike D) olivat mukana 13 hengen makuraadissa 31.3.2022. Makuraati maisteli tomaatteja ensin ohjeistuksen mukaan ja antoi maistelun päätteeksi arvionsa siitä, haluaisivatko he ostaa kyseisiä tomaatteja mielellään, ehkä tai ei missään tapauksessa. Tulosten perusteella laskettiin Lyftkraft-hankkeessa kehitetyllä kaavalla (Vänninen & Sunabacka, 2021) mielipidepisteet, jotka asteikolla -100- +100 näyttävät, miten mielellään maistelijat kyseisiä tomaatteja ostaisivat kaupasta. Nollan paikkeille osuvat pisteet kertovat tomaattien olevan ”ihan OK”, mutta ne eivät aiheuta maistelijassa erityisiä elämyksiä suuntaan eikä toiseen. Yli 0:n menevät pisteet kertovat hyvästä tomaatista, joita maistaja ostaisi mielellään, alle 0:n huonommasta, jota maistaja ei halua ostaa.

**Regressiomallit VIS-NIR-sensorimittauksille tomaatin sokeripitoisuuksien määrittämiseksi:**

Regressiomallin tuottamiseksi NIR-sensorin käyttöä varten Novia mittasi ensin 26 Livento-, 26 Completo-, 28 Roterno- ja 26 Encore-tomaattia (yhteensä 106 kpl) Sentronic NIR-sensorilla (kuva 7). Sekä kokonaisista että halkaistuista tomaateista otettiin 318 spektriä regressioanalyysiä varten. Sentronic-spektrometri käyttää mittauksissa aallonpituusalueita 905-1682 nm.



Kuva 7. Desktop-tyyppinen Sentronic-VIS-NIR-spektrometri, jolla tuotetulla datalla Noviasa laskettiin ensimmäiset kalibrointimallit tomaattien sokeripitoisuuksien mittaamiseksi.

Referenssiarvot brixille ja hapoille mitattiin samoista tomaateista refraktrometrillä (Pocket Brix Acidity meter, Hybrid PAL BXIACID3, Atago ) (kuva 8). Lykopenin määrä mitattiin UV spektrofotometrisesti (UV 1601 Shimadzu ) Fish et al., 2002; Davis et al., 2003). Kaikki referenssiarvot mitattiin muussatuista ja  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ssa pakastetuista näytteistä.

Refraktrometrimittaus perustuu valon taittumiseen nesteessä. Fotoneiden kulku hidastuu, kun ne siirtyvät ilmasta veteen (tämä ilmiö antaa taivutetun ilmeen veteen osittain upotetuille esineille). Mitä enemmän vesi sisältää liuenneita kiinteitä aineita, sitä hitaammin valo kulkee sen läpi ja sitä voimakkaampi on valon "taivuttava" vaikutus. Refraktometrit käyttävät tätä periaatetta määrittämään liuenneiden kiinteiden aineiden määrän nesteissä johtamalla valoa näytteen läpi ja näyttämällä taitekulman asteikolla. Brix-asteikko määritellään seuraavasti: 100 grammaan puhdasta vettä liuotetun puhtaan ruokosokerin grammamäärä (grammaa sokeria/100 grammaa  $\text{H}_2\text{O}$ ).

HoneLabin NIR-sensori (kuva 8) käyttää mittaukseen aallonpituuksia 640-1050 ja 1350-2500 nm. Kalibrointia varten tuotettiin dataa isoista pyöreistä tomaateista (Daltoma, 3 kpl), kirsikkatomaateista (Daltary, 3 kpl) ja keskikokoisista luumutomaateista (Artiles, 3 kpl) erikseen. Esikokeen tulokset nimittäin näyttivät, että isot ja pienet tomaatit tuottavat erilaiset spektri-profiilit. Jokainen tomaatti skannattiin sensorilla kymmenestä eri kohdasta ensin pelkällä sensorin valolla. Seuraaviin mittauksiin annettiin mittaushetkeen lisävaloa wolframilampulla (stereomikroskoopin lamppu) täydellä tai puolella teholla sekä tomaatin takaa että sivusta. Mittaussettejä oli näin ollen viisi ja jokainen setti sisälsi 10 mittauspaikkaa jokaisesta kolmesta tomaatista. Mittaukset toistettiin vastaavalla tavalla lajikkeille Daltary ja

Ardiles. Koska lisävalon ei havaittu vaikuttavan tuloksiin pyöreillä ja kirsikkatomaateilla, viisi settiä voitiin yhdistää kunkin lajikkeen osalta yhdeksi datajoukoksi.



Kuva 8. Vasemmalla tomaatin valmistelua refraktometrillä tehtävää sokeripitoisuuden mittausta varten. Oikealla vastaava mittaus HoneLabin NIR-sensorilla: tomaattia ei tarvitse esikäsitellä, vaan mittaus tehdään kuoren läpi. Huomaa valo, joka tunkeutuu tomaatin sisään. Kuvat: Irene Vänninen.

### 5.2.1.6 Toimenpide 5. Nettipohjainen tietoaalusta

Hankesuunnitelmassa oli tavoitteena rakentaa tietokanta, jonne testiviljelmien datat siirrettäisiin ja käyttää sitä yhteisenä oppimislustana. Hankkeen alettua ilmeni kuitenkin, että erilaisia kasvihuoneyrityksille tarkoitettuja data-alustoja oli tullut saataville jo useampia. Siksi luovuttiin oman tietokannan tekemisestä ja ostettiin data-alusta palveluna. Näin säästettiin aikaa ja rahaa. Kilpailutuksen jälkeen valinta osui hollantilaiseen Pylot-data-alustaan. Toisena tarjouksen tekijänä oli 30MHz. Sen data-alustan käyttöä olisi ollut erittäin mielenkiintoinen kokeilla myös, sillä 30MHz liisaa myös sensoreita. Päätös oli vaikea: Pylot on nuorempi firma iältään eikä sillä ollut hankkeen alkaessa yhtä paljon kokemusta data-alustoista kuin 30 MHz:lta. Koska päätös oli pakko tehdä tiettyyn päivään mennessä, valinta kohdistui Pylotiin ja rajanvetona oli ennen kaikkea palveluallttius, jota Pylot osoitti tarjouksessaan ja sitä koskeneissa neuvotteluissa. Pylot-alustan käyttöoikeus hankittiin kolmelle viljelmälle, joista yksi ei loppujen lopuksi sitä ruvennut käyttämään luopuessaan testiviljelmänä toimimisesta.



### *5.2.1.7 Toimenpide 6. Uusien välineiden ja tietöalustan idean liiketoiminnallisten hyötyjen tunnistaminen*

Liiketoiminnallisten hyötyjen tunnistamista tehtiin Phytosense-järjestelmän käyttöä ja sillä tuotetun datan tulkintaa koskeneissa kokouksissa, joita järjestettiin hankkeen aikana Teams-etäyhteydellä 7 kertaa ja läsnäkokouksena kerran, kun 2Grow:n Maxime Dedecker ja Walter sekä Pylotin edustaja Marc Rooijackers vierailivat Suomessa maaliskuussa 2022. Phytosensekokouksissa käytiin läpi Phytosense-järjestelmällä tuotettujen datojen mittaushistoriaa ja 2-Grown Maxime Dedecker kommentoi antureiden tuottamaa dataa. Maxime tutustui aina ennen kokouksia viljelmien datoihin ja valmisteli mittausjaksojen tulosten tarkastelut.

Kokousten välillä Maxime ja muut 2-Grow neuvojat kommentoivat eri mittauspaikkojen dataa viikoittain Digitomkun ja 2-Grown yhteisessä WhatsApp-ryhmässä. Samoin he ilmoittivat, jos anturit tarvitsivat huolto- tai korjaustoimia. Whatsapp-ryhmässä oli yhteensä 15 jäsentä eli viljelijöiden, hankehenkilökunnan ja 2Grow:n edustajien lisäksi myös kasvihuoneviljelyn neuvojat.

Hyötyjä tunnistettiin ja niistä keskusteltiin testiviljelmien edustajien kanssa Phytosensekokousten ulkopuolella, kun heidän kanssaan tulkittiin kasvifysiologisilla antureilla ja porometrimittauksilla tuotettua dataa, haettiin tomaattinäytteitä ja asennettiin ja huollettiin antureita. Näissä keskusteluissa nousi esiin viljelmäkohtaisia seikkoja ja kysymyksiä, joita ei välttämättä tullut kokouksissa esiin. Viljelmäkäynneillä etenkin viljelijäkonsultti mietti viljelijöiden kanssa antureitten tuottaman informaation soveltamista ja tuki viljelijöitä päätöksenteossa.

### *5.2.1.8 Toimenpide 7. Hankkeen hallinto ja koordinointi*

Hankkeen omistaja ja sen päähallinnoija oli ÖSP. Hankkeelle nimettiin hankepäällikkö (Vänninen), joka edusti hankkeessa Lukea ja vastasi hankkeen toteutuksen koordinoinnista ja ja yhteyksistä muihin hankkeisiin ja asiantuntijatahoihin. Hankkeen päähallinnointi hoidettiin ÖSP:n kanslian toimesta. Partneriorganisaatioissa oli hanketta varten omat taloussihteerit. ÖSP:n ja hankepartnereiden välillä tehtiin sopimukset, joissa määriteltiin roolit ja vastuut sekä tuotosten omistajuudet ja hyödyntämisoikeudet ja -ehdot. Datojen omistajuudesta ja käyttöoikeuksista tehtiin erilliset sopimukset ÖSP:n ja testiviljelmien kanssa. Hankkeella oli kymmenhenkinen ohjausryhmä, jolle hanke raportoi ja jolta se sai palautetta seitsemän kertaa.

## 5.2.2 Aikataulu

Hankkeelle haettiin rahoitusta toukokuussa 2019 ja rahoituksen varmistuttua hakemusta täydennettiin syksyn 2019 aikana. Hankkeen alkamispäiväksi on merkitty tukipäätöksessä 1.8.2019, mutta varsinainen hanketoiminta alkoi vasta 1.1.2020. Syksy 2019 kului hankehakemuksen täydentämisessä ja ennen vuodenvaihdetta tehty vähäinen työ testiviljelmien mittausspesifikaatioiden keräämiseksi laitettiin Luken muiden hankkeiden piikkiin. Hankkeen päättymispäiväksi oli määritelty alun perin 31.10.2021. Hankkeelle haettiin lokakuussa 2021 8 kk:n jatkoaikaa 30.6.2022 saakka. Perusteluna oli, että data yhdeltä viljelyjaksolta ei vielä riittänyt analyysien tekemiseen. Jatkoajalla kerättiin datat kummaltakin tomaattiviljelmältä myös toiselta viljelyjaksolta ja tuotettiin videot kasvifysiologisista antureista ja niillä saatujen datojen tulkinnoista.

## 5.2.3 Resurssit

Hankkeessa tarvittiin osaamista tomaatin viljelystä, kasvutekijöistä, kasvihuonefysiikasta, antureista ja ylipäätään digitalisaatiosta, isojen datamassojen käsittelystä ja big data -analytiikasta, viestinnästä ja hankejohtamisesta – ja tietenkin siinä piti voida tehdä töitä kaupallisilla viljelmillä.

Hankkeen omistaja ÖSP tarjosi hankkeen käyttöön rahoituksen ennen kustannusten maksatuksen hakemista rahoittajalta ja hankehallinnon resurssit (kanslisti Lena Hallvar). Sama koski myös muita hankepartnereita palkanmaksun osalta hankkeessa työskennelleille asiantuntijoille.

Luken erikoistutkija Vänninen vastasi hankkeen koordinoinnista hankepäällikkönä, osallistui brix-mallien tuottamiseen käytettävien muuttujien valintaan ja tulosten tulkintaan ja tuotti materiaalia tuloksista tiedottamista varten. Vänninen oli paneutunut tomaatin laadun syntymiseen Innoväxthus- ja Lyftkraft-hankkeissa ja hänen tämä osaamisensa tuli käyttöön etenkin primääriä ja sekundäärisiä muuttujia valittaessa ja analyysien tuloksia tulkittaessa. Luken tutkija Timo Kaukorannalla oli kokemusta ja tietoa kasvihuonefysiikasta ja hän keräsi ja koosti materiaalia mm. VPD-käsitteestä ja sen hyödyntämisestä käytännön viljelyssä hankkeessa tuotettavia tietoisukirjoituksia varten. Hän osallistui myös Lukesta analyysien suunnitteluun ja materiaalin tuottamiseen tiedottamista varten.

Novian vastuulla oli NIR-sensorin kalibrointiin tarvittavien regressiomallien tuottaminen (matematiikan ja kemian lehtori Tom Lillhonga, projektitutkija Viveka Öling-Wärnå). Novialla oli kokemusta NIR-antureiden kemometrisestä kalibroinnista ja käytöstä erilaisten aineiden kemiallisen koostumuksen määrittämiseen Compositional Data Analysis –osaamisensa ansiosta (Dahlbacka et al., 2014; Lillhonga et al., 2015; Lillhonga and Geladi, 2011, 2005).

Novialla oli myös valmiiksi hankittuna desktop-tyyppinen NIR-sensori, jonka avulla kerätyllä datalla tuotettiin ensimmäiset kemometriset regressiomallit jo ensimmäisen hankevuoden aikana.

ÖSP palkkasi hankkeelle projektityöntekijän (Mattfolk), joka vastasi datansiirron suunnittelusta yhteistyössä Pylotin kanssa sekä Vännisen ja Palmujoen kanssa kasvimittauksista ja tomaattinäytteiden keruusta brix-analyysejä varten. Mattfolk avusti paprikanviljelijää ylikasteluveden mittausjärjestelmän kuntoon laittamisessa. Kahdesta ilmastosäätelyjärjestelmästä Ridderin Synopta teetti paljon töitä ennen kuin kaikki viljelmän A data saatiin siirrettyä Pylot-alustalle tai muuten data-analyytikon käyttöön. Hankkeen loppuvaiheessa siirto onnistui nopeasti kopioimalla viljelijän tietokoneessa olevaan ohjelmaan kertynyt kahden vuoden data Excel-tiedostoiksi. Sitä ennen käytettiin paljon aikaa jatkuvasti kertyvän datan real-time siirtämisen yrittämiseen Pylot-alustalle siinä kuitenkaan onnistumatta. Aalto-yliopiston IT-insinööriopiskelija Sampo Vänninen teki hankkeen loppuvaiheessa ja jatkoajalla tuntitöitä datojen siirtämiseksi testiviljelmä A:n tietokoneelta data-analyytikolle.

Viljelykonsultti Palmujoki, jolta ostettiin työtä ostopalveluna, toimi linkkinä hankkeen ja testiviljelmien välillä etenkin hankkeen jatkoajalla, ideoi ja suunnitteli toimintaa ja tulkitsti analyysituloksia viljelyn näkökulmasta. Hän myös etsi aktiivisesti yhteyksiä sensoritoimittajiin, teki kasvimittauksia ja vastasi brix-mittauksia varten tarvittavien tomaattinäytteiden keräämisestä. Palmujoella oli myös käytännönläheistä tietoa kasvifysiologiasta. Sen osaamista vahvistettiin hankkeen aikana yksinkertaisesti perehtymällä aiheeseen syvemmin Plant Empowerment -konsepti oppimateriaalina. Sekä viljelyä, viljelijöitä että uutta teknologiaa tunteva henkilö on tämäntyyppisissä hankkeissa ehdoton etu. Testiviljelmien omistajat mielsivät viljelyneuvojan luontevammaksi keskustelukumppaniksi kuin hankepäällikön, joten työnjako muotoutui tämän mukaisesti: hankepäällikkö oli hankintojen ja vastaavien portinvartija, viljelyneuvoja hankintojen asentamisesta ja käytöstä viljelmien suuntiin neuvotteleva toimija ja palautteen kerääjä.

Tampereen yliopisto osallistui hankkeeseen data-analytiikkaosaamisellaan. Tietotekniikan tutkijatohtori Jari Pohjola teki tilastolliset analyysit Vännisen, Palmujoen ja Kaukorannan ohjeistuksen mukaan muuttujien valinnan osalta. Analyysimenetelmien valinnassa Pohjola sai tukea yliopistonsa informaatiotekniikan ja viestinnän muilta data-asiantuntijoilta. Projektipäällikkö Petri Linna oli hankkeen alkuvaiheessa Digitomkun hankehenkilökunnan tukena aikaisemmalla EIP-hankekokemuksellaan.

Kolme testiviljelmää mahdollistivat Digitomkku-hankkeen toteutuksen: he olivat keskeinen resurssi. Viljelijät olivat kiinnostuneita koko ajan hankkeen etenemisestä muiden töidensä ohella, antoivat sovitusnäytteet ja tehdä kasvimittauksia (viljelmä B teki ne itse ja Palmujoki syötti datan Pylotiin) ja osallistuivat innovaatioryhmän kokouksiin mielellään antaen palautetta, tehden kysymyksiä ja ohjaten 2Grow:n edustajia seuraavien kokousten sisällön suunnittelussa.

## 5.2.4 Toteutuksen organisaatio

Digitomkun idea muotoutui Innoväxthus ja Lyftkraft-hankkeissa viljelijöiden ja pakkaamoiden kanssa käydyissä keskusteluissa, joissa nousivat esille digitalisaation tilanne ja mahdollisuudet kasvihuoneviljelyssä. Syksyllä 2017 Innoväxthus-hanke koosti luennon digitalisaation tilanteesta kasvihuonetuotannossa. Joulukuussa 2018 järjestetyissä Innoväxthus-hankkeen minityöpajoissa asiaa käsiteltiin isomman viljelijäjoukon kanssa ja järjestettiin Palmujoen aloitteesta Kauppapuutarhaliiton Pohjanmaan piirin kanssa aihetta käsitellyt seminaari. Inspiraatiota haettiin myös USA:ssa syksyllä 2018 järjestetystä Photo-X-kongressista, jossa puitiin tekovalon käyttöä monipuolisesti ja Vänninen pääsi puhumaan sikäläisten kasvu- ja kasvihuonefirmojen kanssa. Joillakin oli jo käytössä tuhansittain sensoreita kasvatus- ja kasvihuoneiden olosuhdeseurantaan.

Keväällä 2019 kirjoitettiin kaksi artikkelia tekoälyn mahdollisuuksista tomaatin laadun parantamisessa (Palmujoki, 2019; Vänninen, 2019). Artikkelit toimivat pohjana Digitomkku-hakemukselle toukokuussa 2019. Rahoitus myönnettiin, hakemusta täydennettiin syksyn 2019 kuluessa ja hanketyöt alkoivat 2020 tammikuussa. Koska Digitomkku oli osa Innoväxthus-hankkeessa luodun kehittämissuunnitelman toteuttamista, hankkeen omistajaksi ja hallinnoijaksi tuli ÖSP sen puutarhaneuvoston päätöksellä.

Hankepartnereiden ja ÖSP:n välillä solmittiin syksyn 2019 kuluessa sopimukset rooleista ja vastuista ja tulosten hyödyntämisen ehdoista. Hankkeen omistaja ÖSP vastasi hankkeen hallinnoinnista rahoittajaan ja partnereihin päin. Kanslisti Lena Hallvarin apuna olivat partneriorganisaatioiden taloussihteerit.

EIP-hankkeissa keskeinen toimija ovat [operationaaliset ryhmät](#), jonka jäsenet yhdessä kehittävät innovaatiota. Digitomkussa innovaatioryhmään kuuluivat seuraavat henkilöt:

- Kaksi tomaattiviljelmää (Handelsträdgråd Oy Gulin Ab, Handelsträdgård Martin Sigg Ab) ja yksi paprikaviljelämä (yksityinen elinkeinoharjoittaja Hans Granborg).
- Digitomkun hankehenkilökunta (projektipäällikkö Vänninen, projektityöntekijät Mattfolk (ÖSP) ja Öling-Wärnå (Novia), kemometrisen kalibroinnin asiantuntija Lillhonga (Novia), viljelykonsultti Palmujoki, data-analyttikko Pohjola)
- 2Grow-firman edustajia 1-3 henkilöä, joista Maxime Dedecker joka kerta pääasiassaan konsulttina.
- Kasvihuoneeneuvojat (Mikael Dahlqvist/Närpes Grönsaker, Rolf Westerholm/Kekkilä Oy, kokouksesta riippuen 1-2 henkilöä)
- Pylot-firman edustajat (markkinointipäällikkö Marc Rooijackers ja koodarit)

Viimeisellä kerralla oli mukana myös kurkunviljelijä, jonka piti alun perin osallistua testiviljelmänä Digitomkkuun.

Koko hankehenkilöstö kokoontui ensimmäisenä vuonna muutamia kertoja suunnittelemaan hankkeen yksityiskohtia. Ydinhankeryhmä Närpiössä piti koko hankkeen ajan viikoittaisia hankekokouksia.

## 5.2.5 Kustannukset ja rahoitus

Hankkeen kokonaiskustannusarvio oli 350 000 euroa. Rahoitus tuli kokonaan Hämeen ELY-keskuksen kautta Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelman kautta.

Alkuperäisessä tukipäätöksessä 22.11.2019 hankkeen hyväksytty kokonaiskustannusarvio jakautui seuraaville kustannusmomenteille:

### Hankkeen hyväksytty kustannusarvio

Alla on esitetty hankkeen hyväksytty kustannusarvio:

Kustannuslaji	Haettu euroa	Hyväksytty euroa
Palkat	188 873,39	188 873,39
Vuokrat		16 900,00
Ostopalvelut	33 874,00	46 716,00
Muut välittömät kulut	81 923,00	52 181,00
Laskennalliset yleiskustannukset, 24 %	45 329,61	45 329,61
Kustannukset yhteensä	350 000,00	350 000,00
Kustannukset yhteensä vähennettynä tuloilla	350 000,00	350 000,00
	Haettu yht. : 350 000,00	Hyväksytty yht. : 350 000,00

Hankkeen hyväksytty Rahoitussuunnitelma oli seuraavanlainen (EIP-hankkeisiin ei tarvita omarahoitusta):

### Hankkeen hyväksytty rahoitussuunnitelma

Hankkeen hyväksytty rahoitus on yhteensä 350 000,00 euroa alla esitetyn rahoitussuunnitelman mukaisesti.

Rahoituslaji	Haettu euroa	Hyväksytty euroa
Haettava tuki / avustus	350 000,00	
EU-osuus		147 000,00
Valtio		203 000,00
Julkinen tuki yhteensä	350 000,00	350 000,00
Rahoitus yhteensä	350 000,00	350 000,00
Kokonaisrahoitus	350 000,00	350 000,00
	Haettu yht. : 350 000,00	Hyväksytty yht. : 350 000,00

Alkuperäisessä hakemuksessa tuensiirto jakautui partnereiden kesken seuraavasti:

### Tuen siirtäminen

Tukipäätökseen sisältyy maaseudun kehittämislain (28/2014) 15 §:n mukainen tuen siirtäminen. Tukea siirretään käytettäväksi tuettavan hankkeen toteuttamista varten seuraavasti:

Siirron saajan nimi	Tuen siirron saajan tuen osuus	Sopimuspäivämäärä	Alv:n sisältyminen	Yrityksen Y-tunnus / ry-tunnus
Tampereen korkeakoulusäätiö sr	57 451,00	2019-07-21	kyllä	2844561-8
Luonnonvarakeskus	49 468,00	2019-07-22	kyllä	0244629-2
Ab Yrkeshögskolan vid Åbo Akademi (Novia)	46 130,00	2019-10-22	kyllä	2059910-2

Tuensiirron jaossa todettiin tukipäätöksen tultua virhe, koska hakemukseen oli vahintossa aitettu vahingossa virheellinen versio tuen jakautumisesta partnereiden kesken. Virheen korjaamiseksi jouduttiin tekemään muutoshakemus jo syksyllä 2019. Tukipäätös muutoshakemukseen saatiin 10.1.2020. Kokonaiskustannusarvio pysyi samana kuin alkuperäisessä hakemuksessa, mutta kustannuslajien jakautumista eri momenttien kesken tarkennettiin myös muilta osin kuin tuensiirron jaon osalta, koska hankkeen työnjaon ja palvelujen oston suunnittelussa oli jo menty eteenpäin:

### Hankkeen hyväksytty kustannusarvio

Alla on esitetty hankkeen hyväksytty kustannusarvio:

Kustannuslaji	Haettu euroa	Hyväksytty euroa
Palkat	188 873,39	188 873,39
Vuokrat	16 900,00	16 900,00
Ostopalvelut	46 716,00	46 716,00
Muut välittömät kulut	52 181,00	52 181,00
Laskennalliset yleiskustannukset, 24 %	45 329,61	45 329,61
Kustannukset yhteensä	350 000,00	350 000,00
Kustannukset yhteensä vähennettynä tuloilla	350 000,00	350 000,00
	Haettu yht. : 350 000,00	Hyväksytty yht. : 350 000,00

Muutoshakemuksen tukipäätöksessä 10.1.2020 rahoitussuunnitelma pysyi ennallaan ja partnereiden välinen tuensiirto oli korjattu oikeaksi:

### Tuen siirtäminen

Tukipäätökseen sisältyy maaseudun kehittämislain (28/2014) 15 §:n mukainen tuen siirtäminen. Tukea siirretään käytettäväksi tuettavan hankkeen toteuttamista varten seuraavasti:

Siirron saajan nimi	Tuen siirron saajan tuen osuus	Sopimuspäivämäärä	Alv:n sisältyminen	Yrityksen Y-tunnus / ry-tunnus
Tampereen korkeakoulusäätiö sr	59 394,00	2019-07-21	kyllä	2844561-8
Luonnonvarakeskus	52 168,00	2019-07-22	kyllä	0244629-2
Ab Yrkeshögskolan vid Åbo Akademi (Novia)	37 212,00	2019-10-22	kyllä	2059910-2

Hankkeelle haettiin 8 kk:n pidennystä lokakuussa 2021. Muutospäätös saatiin 2.11.2021. Muutoshakemuksen tukipäätöksessä hyväksytyssä kustannusarviossa on huomioitu kustannuslajien välinen ”tilanteen eläminen” hankkeen toteutuksen aikanaa (esim. antureiden, data-alustan ja niiden pilvipalveluiden hankinnat oli jo tehty ja niihin kulunut

rahamäärä tiedossa), joten hyväksytyt kustannusarvio oli tarkentunut edellisestä vastaavasta:

#### Hankkeen hyväksytyt kustannusarvio

Alla on esitetty hankkeen hyväksytyt kustannusarvio:

Kustannuslaji	Haettu euroa	Hyväksytyt euroa
Palkat	198 729,04	198 729,04
Ostopalvelut	35 936,00	35 936,00
Muut välittömät kulut	67 640,00	67 640,00
Laskennalliset yleiskustannukset, 24 %	47 694,96	47 694,96
Kustannukset yhteensä	350 000,00	350 000,00
Kustannukset yhteensä vähennettynä tuloilla	350 000,00	350 000,00
	Haettu yht. : 350 000,00	Hyväksytyt yht. : 350 000,00

Hankkeen hyväksytyt rahoitussuunnitelma 2.11.2021 näytti alla olevan mukaiselta. Tuensiirtomäärät Novialle ja Lukelle pysyivät samoina kuin 10.1.2020 mukaisessa jaossa, mutta Tampereen yliopistolle siirrettiin ÖSP:n osuudesta lisää 4554 euroa data-analyysojen tekemiseksi hankkeen jatkoajalla:

#### Hankkeen hyväksytyt rahoitussuunnitelma

Hankkeen hyväksytyt rahoitus on yhteensä 350 000,00 euroa alla esitetyn rahoitussuunnitelman mukaisesti.

Rahoituslaji	Haettu euroa	Hyväksytyt euroa
Haettava tuki / avustus	350 000,00	
EU-osuus		147 000,00
Valtio		203 000,00
Julkinen tuki yhteensä	350 000,00	350 000,00
Rahoitus yhteensä	350 000,00	350 000,00
Kokonaisrahoitus	350 000,00	350 000,00
	Haettu yht. : 350 000,00	Hyväksytyt yht. : 350 000,00

#### Tuen siirtäminen

Tukipäätökseen sisältytään maaseudun kehittämislain (28/2014) 15 §:n mukainen tuen siirtäminen. Tukea siirretään käytettäväksi tuettavan hankkeen toteuttamista varten seuraavasti:

Siirron saajan nimi	Tuen siirron saajan tuen osuus	Sopimuspäivämäärä	Alv:n sisältyminen	Yrityksen Y-tunnus / ry-tunnus
Luonnonvarakeskus	52 168,00	2019-07-22	kyllä	0244629-2
Ab Yrkeshögskolan vid Åbo Akademi (Novia)	37 212,00	2019-10-22	kyllä	2059910-2
Tampereen korkeakoulusäätiö sr	63 948,00	2019-07-21	kyllä	2844561-8

Hankkeen lopullinen kustannuskertymä 1.1.2020-30.6.2022 oli seuraava:

	Budget hela projektiden	Totalt 2020 - 2021	Totalt 1-6.2022	TOTALT
Löner	198 729,04	179 380,54	22 673,02	202 053,56
Köptjänster	35 936,00	32 729,73	10 937,74	43 667,47
Andra direkta kostnader	67 640,00	60 239,39	3 432,36	63 671,75
Beräknad allm konstnad 24%	47 694,96	43 051,31	5 441,52	48 492,83
Totalkostnader	350 000,00	315 400,97	42 484,64	357 885,61

	ÖSP tot. 2020 -2021	Luke tot. 2020- 21	Tuni tot 2020 - 21	Novia tot 2020-21	Totalt alla 2020 -21
Löner	73 173,18	35 071,57	47 882,60	23 253,19	179 380,54
Köptjänst	32 729,73	0,00	0,00	0,00	32 729,73
Andra direkta kostnader	51 076,83	0,00	0,00	9 162,56	60 239,39
Beräknade allmänna kostnader	17 561,56	8 417,17	11 491,82	5 580,76	43 051,31
	174 541,30	43 488,74	59 374,42	37 996,51	315 400,97

	ÖSP 1.1. - 30.6.2022	Luke 1.1. - 30.6.2022	Tuni 1.1. - 30.6.2022	Novia 1.1. - 30.6.2022	Summa 1-6.2022
Löner	10 378,78	7 814,01	4 480,23	0,00	22 673,02
Köptjänst	10 937,74			0	10 937,74
Andra direkta kostnader	3 432,36			0	3 432,36
Beräknade allmänkostnader	2 490,91	1 875,36	1 075,26	0,00	5 441,52
	27 239,79	9 689,37	5 555,49	0	42 484,64

Kokonaisbudjetti ylittyi 7885,61 eurolla johtuen seuraavista syistä:

- 1) Tiedotukseen varatut ostopalvelut ylittyivät noin 2000 eurolla, koska ilmaisena palveluna Boden-hankkeelta hankittavaksi suunniteltu videoiden kuvaaminen ja editointi jouduttiin koronatapauksen takia ostamaan viime hetkellä maksullisena palveluna helmikuussa 2022. Kuvaamista ei voitu lykätä, jotta videot valmistuisivat ennen webi-kahviloita. Myös muita ostopalveluja (antureiden lisenssimaksut, SCADS:n konsulttipalvelut) ostettiin noin 5000 eurolla yli suunnitellun budjetin, jotta datankeruuvaihe ja tiedotusvaihe saatiin vietyä läpi.
- 2) NIR-sensori päätettiin hankkia hankkeen loppuvaiheessa, kun sopiva oli pitkällisten etsintöjen ja koronasta aiheutuneiden toimitusviivästysten takia löydetty marraskuussa 2021. Osa laitteen pilvipalvelumaksusta (785 euroa) meni yli Novian budjetin, jolla laite hankittiin. Tästä huolimatta laite päätettiin hankkia, koska sen katsottiin olevan tarpeellinen hankkeen jälkeenkin tomaatintuotannon laadun kehittämistyössä.
- 3) Hankkeen jatkoajalle laskettu palkkabudjetti ei täysin pitänyt, rahaa oli budjetoitu liian vähän lomakorvauksiin sekä ÖSP:n että Tunin osalta. Ylitys palkkojen osalta noin 3000 euroa, mikä näkyi myös flat rate-kokonaissumman pienenä suurentumisena yli budjetin.

Muissa suorissa kustannuksissa budjetti alittui noin 4000 eurolla, joka pienensi budjetin kokonaisylityksen em. 7885,61 euroon. Ylityksistä ÖSP kattaa 5893,61 euroa, Luke 1010,11 euroa, ja Tuni 981,91.

## 5.2.6 Raportointi ja seuranta



Hanke raportoi ohjausryhmälle seitsemän kertaa hankkeen aikana. Ohjausryhmä oli aktiivinen ja antoi palautetta ja ehdotuksia hankkeen etenemiselle. Hanke hyötyi oikeasti ohjausryhmän työstä. Ohjausryhmässä hankkeen omistajaa edusti ÖSP:n vt. toiminnanjohtaja Johanna Smith. Kasvihuonetuottajia edustivat kauppapuutarhurit Ulla Paavola Närpiön Pirttikylästä, Juha Jyrä Kurikasta, toimitusjohtaja Sebastian Anttila Porissa sijaitsevasta Agrifuturasta ja kootusti kasvihuoneviljelyn asiantuntija Lassi Remes Kauppapuutarhaliitosta. Neuvontaa edustivat aluevastaava ja tekninen asiantuntija Rolf Westerholm Kekkilästä ja ProAgrian Keskusten Liiton tietohallinnon ja kansainvälisten asioiden johtaja Jussi Juhola. Opetusta edusti ylilehtori Arto Vuollet Hämeen ammattikorkeakoulusta ja tutkimusta erikoistutkija Titta Kotilainen Lukesta. Rahoittajan edustajana toimi ylitarkastaja Lassi Hurskainen Hämeen ELY-keskuksesta.

Ohjausryhmän hyväksytyä väliraportit ja loppuraportit ÖSP haki maksatuksia kertyneistä kustannuksista kaksi kertaa vuodessa ja toimitti maksut kustannusdokumenttien mukaisesti partnereille.

Hankkeesta raportoitui hankkeen omistajalle (ÖSP:n puutarhaneuvosto) kerran vuodessa.

Hanke tuotti videoita, faktaesitteitä ja artikkeleita, joista suurin osa on tallennettu nettiin (taulukko 5) ja joihin pääsee käsiksi sivuston <https://vakra.fi/digitomkku> kautta. Loppuraportti tallennetaan vakra.fi -sivustolle. Hankkeessa tuotetaan vielä lokakuun loppuun mennessä lehtiartikkeleita Uuden tekniikan päivän erikoisnumeroon (Puutarha&Kauppa). Hankkeen tuloksia esitellään Kauppapuutarhaliiton Akatemiassa 29.11.2022.

### 5.2.7 Toteutusolehdukset ja riskit

Kolmesta tärkeimmästä etukäteen tunnistetusta riskistä tärkein oli, ettemme tienneet datan laatua etukäteen. Dataa tuli monesta lähteestä per testiviljelmä. AI-pohjaisten analyysimenetelmien onnistuminen on oleellisesti kiinni datan laadusta (miten puutteellista, täsmällistä jne. se on) Jos datan laadussa on heikkouksia, on tehtävä paljon esityötä, jotta datat saadaan analyysikuntoon. Viljelmiltä saatu data oli loppujen lopuksi pääosin hyvää ja ehyttä. Joitain muista arvoista paljon poikkeavia arvoja poistettiin kuten on kuvattu kohdassa Datan analysointi. Phytosense-dataan tuli viljelmällä B ikävästi parin kuukauden pituinen aukko syksyn 2021 aikana, koska mahlavirtausanturista oli jäänyt uuteen kasvustoon vaihdon yhteydessä puuttumaan kosteutta eristävä kangas eikä sen puuttumista tajuttu ennen kuin anturipaketti avattiin outojen lukemien takia. Tälle ei voinut mitään. Anturin asennuksessa olisi pitänyt olla huolellisempi.

Löydetäänkö osaamisprofiililtaan sopiva kenttätyöntekijä, joka osaisi ruotsiakin?

Rekrytoitavan kenttätyöntekijän pitäisi olla koulutukseltaan insinööri, tuntee tietotekniikkaa ja mittauslaitteita sekä ymmärtää kokonaisarkkitehtuurin käsitteet. Kasvihuonealalla on niukkuutta tällaisista osaajista. Hakijoita oli tehtävään niukasti eikä rekrytointi onnistunut

aivan tavoitteiden mukaisesti. Datansiirtoon liittyneet ongelmat viljelmällä A aiheuttivat pitkään harmaita hiuksia eikä työ ensin edistynyt millään. Tiheät sairauspoissaolot aiheuttivat myös ylimääräistä työtä muulle hankehenkilökunnalle ja veivät voimavaroja heidän omilta vastuualueiltaan. Ongelmana yhtälössä oli, että hankepääällikkö ei ollut tietotekniikan eikä ohjelmoinnin asiantuntija. Hänen oli pakko luottaa siihen, että työt hoituvat delegoimalla, mutta tässä kuviossa se ei täysin onnistunut. Hankkeen loppupuolella palkatun opiskelijan tietotaidot olisivat olleet lähempänä tarvittavia, mutta asia selkeni vasta tuolloin. Onneksi datat saatiin loppujen lopuksi siirrettyä analyysikäyttöön varsin kivuttomasti hankepääällikön ja opiskelijan yhteistyöllä. Tässä kuvattu riski oli vakavin ja sen toteutuminen liittyi siihen, että hankepääällikön olisi pitänyt ottaa heti alussa ohjelmointia ja tietotekniikkaa hyvin ymmärtävä assistentti avustamaan päätöksenteossa.

Oppimisalustan prototyyppi ei herätä laajempaa kiinnostusta? Tämä riski liittyi suunnitelmaan luoda hankkeessa oma yhteinen tietokanta viljelmiltä kerätylle datalle. Sitä ei kuitenkaan tarvinnut tehdä, koska data-alusta oli saatavana palveluna. Riskin toteutumisen sijaan opittiin paljon data-alustoista ja niiden mahdollisuuksista ja puutteista, joita kokonaisvaltaiseen viljelmien datan hyödyntämiseen liittyi.

Datan eheyskysymyksien lisäksi myös datan luonne viljelmien poikkeusolosuhteiden vuoksi oli riski, joka jouduttiin kokemaan. Viljelmällä A kaksi tutkimusvuotta olivat hyvin samanlaiset olosuhteiltaan ja siellä tulokset olivatkin selkeämmät ja helpommat tulkita. Viljelmällä B vaihtui lajike ja toisella jaksolla kasvustoon tuli pepinovirus, joka yhdessä punaista valoa paljon sisältävien uusien lamppujen kanssa johti keskitalvella kasvuston heikentymiseen ja erilaiseen oireiluun. On selvää, että tällaisessa tilanteessa tomaattien sokeripitoisuus peittyi näiden häiriötekijöiden alle. Silti saatu data osoitti, että poikkeusoloissa voidaan saada selville asioita, joita ei normaalioloissa nähdä. Tämä koski ennen kaikkea CO<sub>2</sub>:n roolia tomaattien sokeripitoisuuden määräytymisessä.

## 6 YHTEISTYÖKUMPPANIT

Ulkomaisina pääyhteistyökumppaneina olivat hollantilainen [Pylot](#) (data-alusta) ja belgialainen [2Grow](#) ([Phytosense-järjestelmä](#) ja tuki sen käytölle). Eri antureita tarjoaviin yrityksiin luotiin tietysti yhteyksiä antureiden ja niiden vaatimien pilvipalveluiden hankinnan yhteydessä, tärkeimpinä [MeterGroup](#) ja [Apogee Instruments](#), mutta myös [Sendot](#), [Sigrow](#) ja [LetsGrow](#), joiden digitaalisiin ratkaisuihin tutustuttiin hankkeen aikana tai joita käytettiin samaan aikaan käynnissä ollessa [Jaustra-hankkeessa](#). Näin laajennettiin koko ajan tietämystä sensoriteknologian nykytilanteesta ja tulevasta kehityksestä. Apua saatiin myös ilmastonsäätöohjelmien toimittajilta, kun ratkottiin datansiirtohaasteita viljelijöiden koneista Pylot-alustalle.

Viestintään ostettiin palveluja tai saatiin apua kolmelta kotimaiselta taholta. Närpiöläinen yritys Grafen kuvasi videot Digitomkun youtube-kanavalle Vännisen ja Palmujoen käsikirjoituksen mukaisesti ja vastasi videoiden leikkauksesta. Toisena kotimaisena yhteistyötahona oli Työtehoseuran vetämä hanke ”[Kestävää kehitystä maatalouteen uusilla teknologioilla](#)”, jonka sivuston [Digimaatalous.fi](#) kautta toteutettiin ja vietiin ko. alustalle suomenkielisen webikahvilan esitykset. Yrkesakademien [Boden-hankkeen](#) kanssa (Kim Blåfield) tehtiin myös yhteistyötä yhden videon kuvaamiseksi ja ruotsinkielisen webikahvilan esitysten tallentamiseksi. [J-S Suomen](#) kanssa tuotettiin pieni interaktiivinen esite hankkeen loppuraportin mainostamiseksi. Siinä yhteydessä laadittiin lista koti- ja ulkomaisista anturi- ja data-alustafirmoista, jotka tuottavat digitaalisia ratkaisuja kasvihuonekäyttöön. Lista on tämän loppuraportin liitteenä.

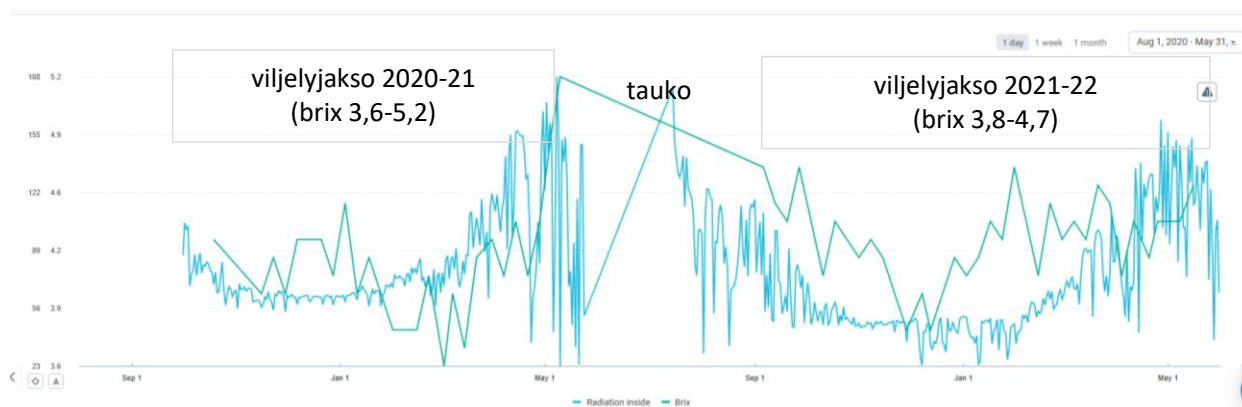
Nettisivusto <https://vakra.fi> perustettiin yhteistyössä Lyftkraft- ja Jaustra-hankkeiden kanssa. Sama koski webropol-ohjelmiston käyttökustannusten sekä toimistotilojen vuokrien jakamista.

## 7 TULOKSET JA VAIKUTUKSET

### 7.1 KASVIHUONEOLOSUHTEIDEN JA KASVIEN FYSIOLOGISEN TILAN VAIKUTUS TOMAATTIEN SOKERIPITOISUUTEEN: MALLIT

#### 7.1.1 Brix-arvojen vaihtelu kokeen aikana

Tomaattien brix-arvojen vaihtelua toisella testiviljelmistä suhteessa kasvihuoneen sisällä vallinneeseen säteilyn määrään ( $W\ m^{-2}$ ) havainnollistavat kuvat 9 ja 10.



Kuva 9. Tomaattien keskimääräisen brix-arvon (vihreä viiva) vaihtelu suhteessa kasvihuoneen sisällä vallinneeseen säteilyn määrään (sininen viiva) viljelmällä B. Kuvakaappaus Pylot-data-alustalta. Viljelyssä oli noin kuukauden tauko kesä-heinäkuussa 2021 (suora viiva tauko-sanon alapuolella = ei

dataa). Brix-mittaukset käynnistyivät syyskuussa ensimmäisten tomaattien kypsyttyä. Tomaattilajike vaihtui toiseksi jälkimmäisellä jaksolla.



Kuva 10. Brix-arvojen vaihtelu viljelmällä A kahtena viljelyjaksona. Sama lajike molemmilla jaksoilla.

Vaikka säteilyn määrässä on selvät vuodenaikaistrendit niin brix-arvot eivät seuraa sitä kuin pääpiirteissään ja trendien sisällä on vaihtelua. Kasvihuoneessa on siis muitakin tekijöitä, jotka brixiiin vaikuttavat.

### 7.1.2 Brixin selittäjät viljelmällä A

Ensin selittävien muuttujien ja Brix-arvojen välille laskettiin korrelaatiot. Niitä löytyi, mutta selkeitä johtopäätöksiä ei niiden perusteella voitu tehdä. Varsinainen data-analyysi tehtiin kahdella regressiomenetelmällä: askeltava (stepwise) ja LASSO (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator). Selkeimmät tulokset saatiin LASSO-menetelmällä. Viljelmän A aineistona käytettiin molempien vuosien yhdistettyä dataa. Viljelmällä B vaihtuivat toisena vuonna sekä lajike että lampputyyppe ja kasvustosta todettiin keskellä talvea lievä pepinovirusaastunta. Olosuhteet olivat jälkimmäisellä jaksolla näistä syistä niin erilaiset, että analyysit tehtiin kahdelle tutkimusvuodelle erikseen.

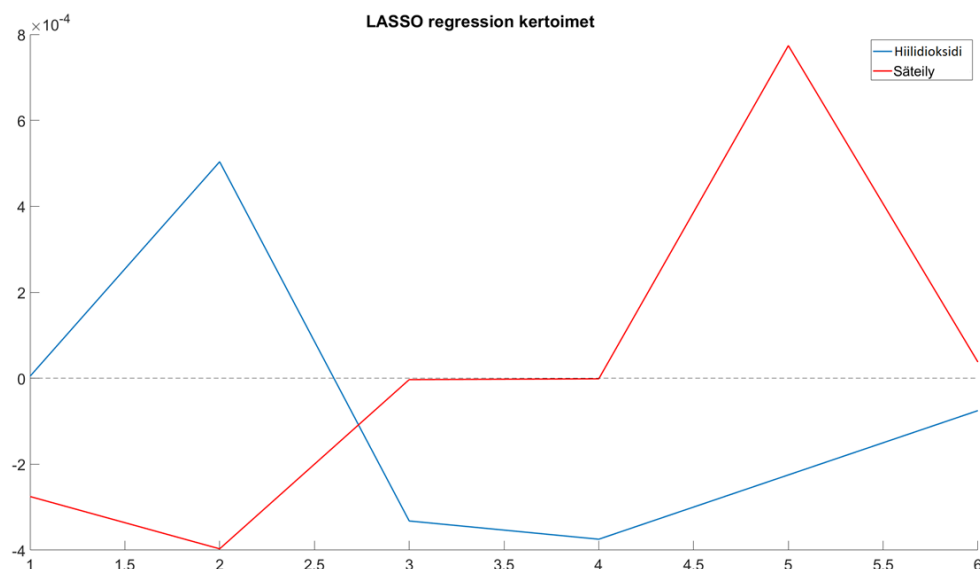
Regressioanalyysien mukaan molemmilla koeviljelmillä oli useita tekijöitä, jotka vaikuttivat brix-arvoon kypsymistä edeltävien kuuden viikon aikana. Regressioanalyysin tuloksia saatiin selkeämmiksi valitsemalla mukaan vain sellaisia tekijöitä, joiden merkitsevyys oli vähintään 0,01 (kuva 11).

Askeltava	LASSO
VPD (vesihöyryn kyllästyspaineen vajeus)	Säteily (ulko)
Lehden koko	Hiilidioksidi
	Kasvin mahlavirta

Kuva 11. Viljelmällä A brixiiin vaikuttaneet merkitsevät tekijät askeltavan regressioanalyysin ja LASSO-regression tulosten mukaisesti.

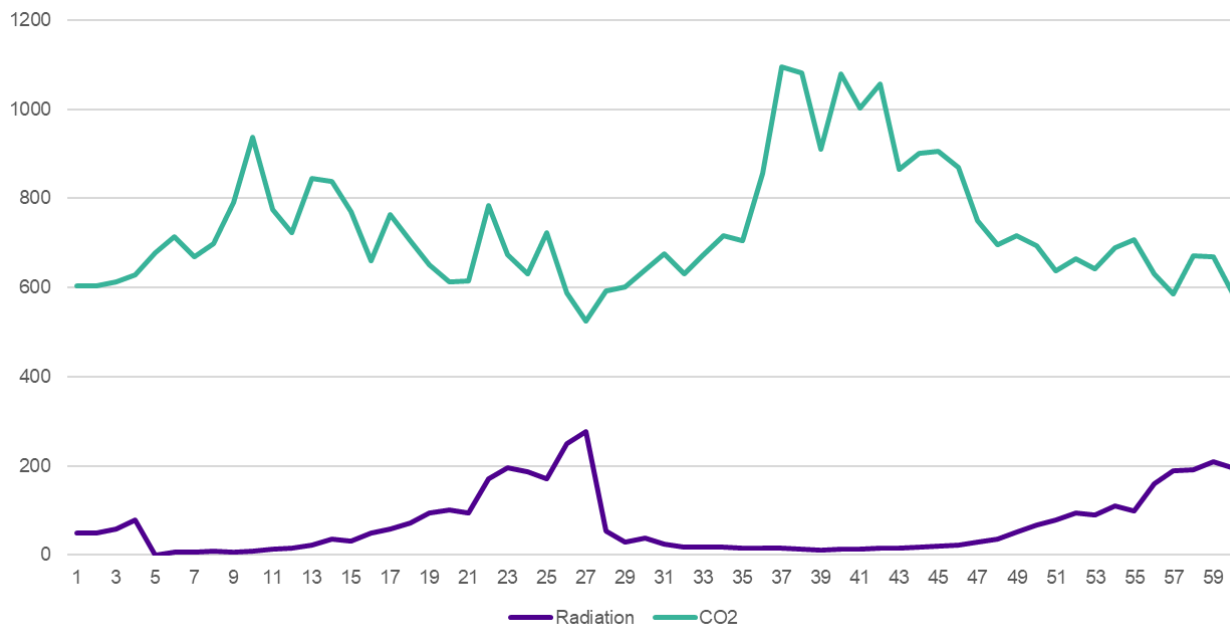
LASSO-analyysin mukaan fotosynteesin nopeuteen vaikuttivat viljelmällä A ulkosäteilyn määrä, kasvihuoneen CO<sub>2</sub>-pitoisuus ja mahlavirtaus. Askeltava regressioanalyysi nosti esiin ilmankosteuden ja lehtien koon. Brixiiä selittivät siis sekä kasvihuoneen ilmasto-olot että kasvien haihdutus ja yhteyttävän lehtipinta-alan koko.

Viljelmällä A CO<sub>2</sub>:n ja säteilyn vaikutuksen merkitys ja keskinäinen tärkeys eri vaiheissa tomaattien kypsymistä vaihteli kuvan 12 mukaisesti. CO<sub>2</sub>:n merkitys oli positiivinen eli vaikutus brixiiin oli suurentava erityisesti vaiheessa, jossa hedelmien solut ovat jo muodostuneet ja ne kasvavat. Silloin olosuhdetekijöiden vaikutus kasvuun on suuri. Säteilyn merkitys puolestaan hyppää korkealle ja positiiviseksi tomaattien tultua kypsymisvaiheeseen. Ideaalitila olisi, että myös CO<sub>2</sub>:n vaikutus olisi positiivinen läpi koko tomaattien kasvuvaiheen ja ainakin kypsymisvaiheen alussa, mutta viljelmän A aineistossa näin ei ollut.



Kuva 12. Säteilyn ja CO<sub>2</sub>:n vaikutus brixiiin tomaattien kehityksen aikana viljelmällä A: muuttujien saamat kertoimet eri viikkoina ennen brixin mittaamista viikolla 6.

Säteilyn ja CO<sub>2</sub>-pitoisuuden käänteinen suhde viljelmällä A käy selvästi ilmi kuvasta 13. Kuinka saada pidettyä kasvihuoneen CO<sub>2</sub>-pitoisuus valon ja lämpötilan edellyttämällä tasoilla silloinkin, kun lämpötila nousee liikaa ja pitäisi tuulettaa, jolloin CO<sub>2</sub> karkaa ulos?



Kuva 13. Ulkosäteilyn ja CO<sub>2</sub>:n välinen suhde viljelmällä A tutkimusjaksojen aikana. Kun säteilyä oli paljon niin CO<sub>2</sub>:ia oli vähän ja toisin päin. CO<sub>2</sub>:n käytön hyötysuhde jää pieneksi, mikä on kustannuskysymys, koska CO<sub>2</sub> ostetaan valmiina tuotteena ja se maksaa. Optimoinnin paikka.

### 7.1.3 Brixin selittäjät viljelmällä B

Viljelmällä B tehtyjä havaintoja punaisten aallonpituuksien voimakkaasti dominoiman valotuksen aiheuttamista kasvuongelmista ei voi ohittaa, vaikka kokemusta onkin vasta yhdeltä viljelmältä. Kasvuongelmien esiintuloa kärjisti pepinoviruksen samanaikainen esiintyminen. Varsinaiset virusoireet kasveissa olivat lievät, mutta talvikuukausien pimeys ja punaivalentainen valotus yhdessä aiheuttivat voimakkaita nekroosilaikkuoireita lehtien reunoihin. Tilanteen seurauksena hedelmien keskipaino aleni todella rajusti verrattuna normaaliin keskipainon alenemistrendiin tomaatin talviljelyssä. Myös varsi ylimmän kukkivan tertun alapuolella oheni ja mahlavirtaus heikkeni huomattavasti.

Viljelmällä B brixin selittäjät olivat erilaiset jaksolla 1 ja 2 (kuva 14). Ensimmäisellä jaksolla askeltava regressio nosti esiin säteilyn määrän myös tällä viljelmällä. Sen lisäksi vaikutti lämpötila ja uutena tekijänä verrattuna viljelmään A kasvualustan johtokyky. LASSO-regressio puolestaan nosti tärkeimmäksi selittäviksi tekijöiksi samat kuin viljelmällä A eli säteilyn ja CO<sub>2</sub>-pitoisuuden. Mikään kasvimitausmuuttujista ei ollut selittävien tekijöiden joukossa viljelmällä B toisin kuin viljelmällä A, jossa mahlavirtaus ja lehden pituus selittivät

brixiä. Toisena vuonna ainoastaan CO<sub>2</sub>-pitoisuus selitti brixiä viljelmällä B molemmilla analyysimenetelmien mukaan. CO<sub>2</sub>-pitoisuus kävi maksimissaan 1600 ppm:ssä syksyn ja talven aikana (kuva 15), jolloin kasvit eivät huonon kuntonsa vuoksi selvästikään pystyneet hyödyntämään annettua lisämäärää.

### • Viljelmä B 2020-21:

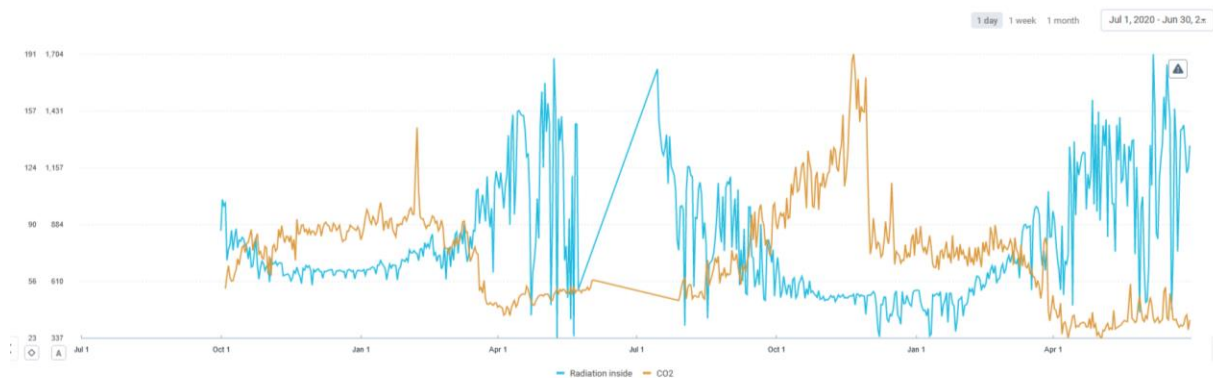
Askeltava	LASSO
Lämpötila	Säteily (sisä- ja ulko)
Säteily (sisä)	Hiilidioksidi
Kasvialustan johtokyky	

### • 2021-22:

Askeltava	LASSO
Hiilidioksidi	Hiilidioksidi

Kuva 14. Brixiä selittävät tekijät viljelmällä B.

Säteily ja CO<sub>2</sub>-pitoisuus olivat toistensa peilikuvia myös viljelmällä B (kuva 19). Kun valoa olisi ollut paljon, CO<sub>2</sub> karkasi tuulettamisen takia luukkujen kautta ulos. Talvella rajoittavaksi tekijäksi CO<sub>2</sub>:n hyödyntämiselle tuli valon määrä ja ehkä myös laatu sen lisäksi, että kasvien heikentynyt kunto talvella 2021-22 esti CO<sub>2</sub>:n hyödyntämistä.

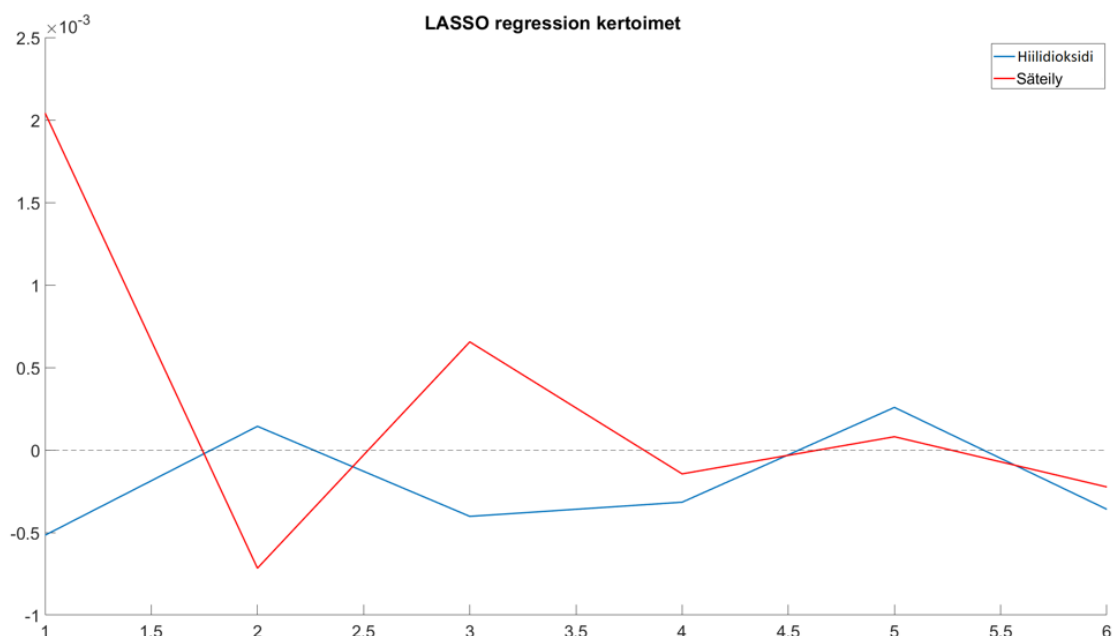


Kuva 15. Säteilyn teho ( $\text{W m}^{-1}$ ) kasvihuoneen sisällä ja CO<sub>2</sub>-pitoisuus viljelmällä B. Viljelytauko heinäkuussa 2021.

LASSO-regression antamat kertoimet säteilyn ja CO<sub>2</sub>:n merkitykselle brixiin muotoutumiseen eri vaiheissa tomaattien kehittymistä näkyvät kuvassa 16. Vaikutus on erilainen kuin viljelmällä A. Viljelmällä B sekä säteilyn että CO<sub>2</sub>:n merkitys oli kertoimien suuruudella mitattuna vaimeampi ja niiden vaikutuksen suunta liikkui koko ajan positiivisesta negatiiviseen tomaattien kehityksen aikana. Viljelmällä B säteily vaikutti positiivisesti kahdessa vaiheessa: raakileiden solujen jakautumisvaiheessa (valon tiedetään stimuloivan

solujen jakaumista) sekä raakileiden voimakkaan kasvuvaiheen aikana, jolloin raakileiden pitää pystyä ”imemään” paljon assimilaatteja (tässä vaiheessa taas CO<sub>2</sub>:n vaikutus oli lievästi negatiivinen viljelmällä B). Kypsymisvaiheessa sekä säteilyllä että CO<sub>2</sub>:llä oli viljelmällä B positiivinen vaikutus brixiiin. Viljelmällä A säteily oli selvästi tärkein tomaattien kypsymisvaiheessa, kun taas CO<sub>2</sub>:n vaikutus oli silloin negatiivinen.

Eri tekijöiden merkitys ja ajallinen painotus niiden vaikutuksessa tomaattien brixiiin ei siis ollut samanlainen molemmilla viljelmillä. Vastaavantyyppistä kasvihuonekohtaista vaihtelua eri tekijöiden painotuksessa on osoitettu olevan myös määrällisen sadon muodostumisessa (Alwis et al., 2019). Yleisen mallin tuottaminen niin että malli pätyisi kaikissa olosuhteissa samalla tavalla näyttää olevan vaikeaa. Tärkeimmät brixiiin vaikuttavat abioottiset tekijät olivat kuitenkin Digitomkun testiviljelmillä samat eli säteily ja CO<sub>2</sub>. Sen lisäksi selittäviä tekijöitä olivat myös lämpötila ja kasvualustan johtokyky, joiden tiedetään vaikuttavan brixiiin (taulukko 2).



Kuva 16. Säteilyn ja CO<sub>2</sub>:n vaikutus brixiiin tomaattien kehityksen aikana viljelmällä B: muuttujien saamat kertoimet eri viikkoina ennen brixin mittaamista viikolla 6.

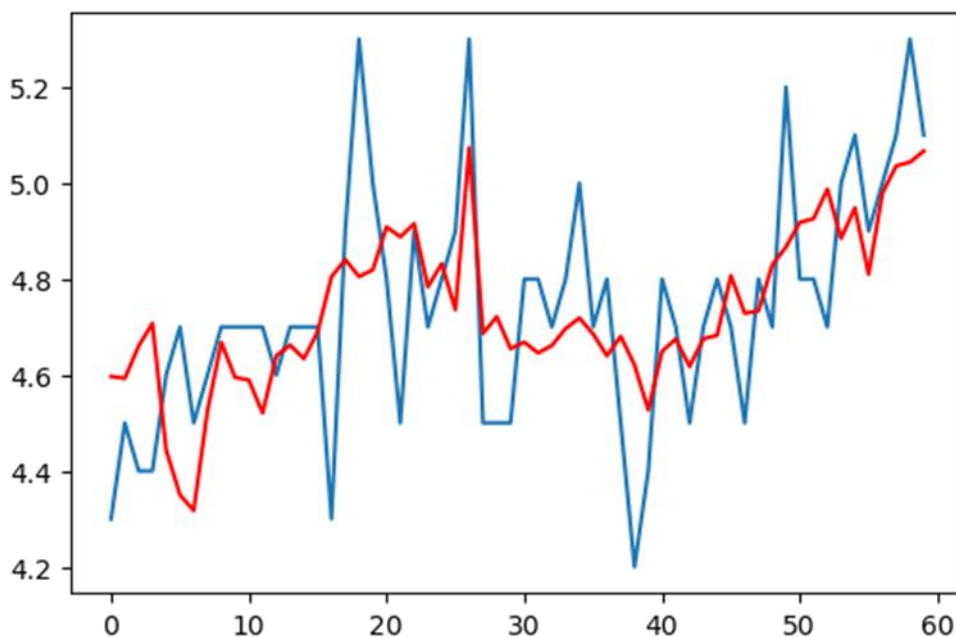
Kasvimittauksin määritetyistä sekundäärisistä muuttujista vain mahlavirtaus ja lehden koko nousivat esiin brixiiin vaikuttavina tekijöinä viljelmällä A. Tietyt kasvimittaukset kertovat vegetatiivisen ja generatiivisen kasvun välisestä suhteesta, joka heijastaa sitä, minkä verran tomaatti siirtää yhteyttämistuotteita hedelmiin ja missä määrin kasvi ylläpitää ja rakentaa niillä vihreää biomassansa ja juuristoaan (taulukko 3). Yhteyttämisenopeus on siis ratkaisevaa syntyvän kuiva-aineen kokonaismäärälle, mutta ei suoraan vaikuta siihen, mikä on lehdistä hedelmiin siirtyvän kuiva-aineen prosentuaalinen osuus eli source/sink -suhde.



Merkillepantavaa on, että uusien terttujen ilmaantumisenopeus ja kasvien hedelmäkuorma eivät tulleet brixin vaikuttavien merkitsevien tekijöiden joukkoon valitsemallamme tiukalla merkitsevyystason kriteerillä.

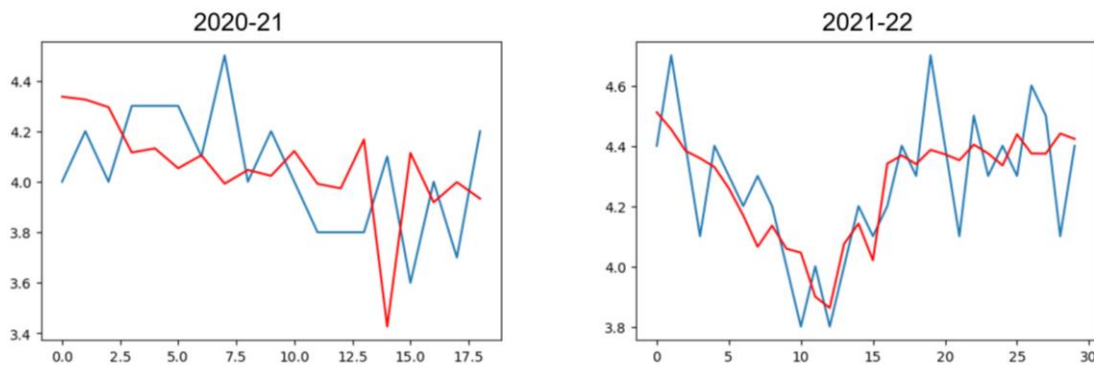
#### 7.1.4 Brixin ennusteet

Lasso-ohjelman avulla lasketut ennusteet brixin muodostumiselle antoivat paljon selkeämmän kuvan brixin vaikuttavista tekijöistä (kuva 18). Muuttujat, joiden avulla Lasso ennusti bixiä viljelmällä A em. tarkkuudella olivat siis ulkosäteily, CO<sub>2</sub> ja mahlavirtaus. Kuvan ennuste on laskettu käyttämällä opetusdatana koko muuta datasettiä paitsi kyseistä Brix-mittausta vastaavaa dataa. Keskvirhe tällä tavalla laskettuna on hieman yli 5 %. Brixin mitatuilla arvoilla virhe mitattuun on vain  $\pm 0,1 - \pm 0,2$  %-yksikön suuruusluokkaa.



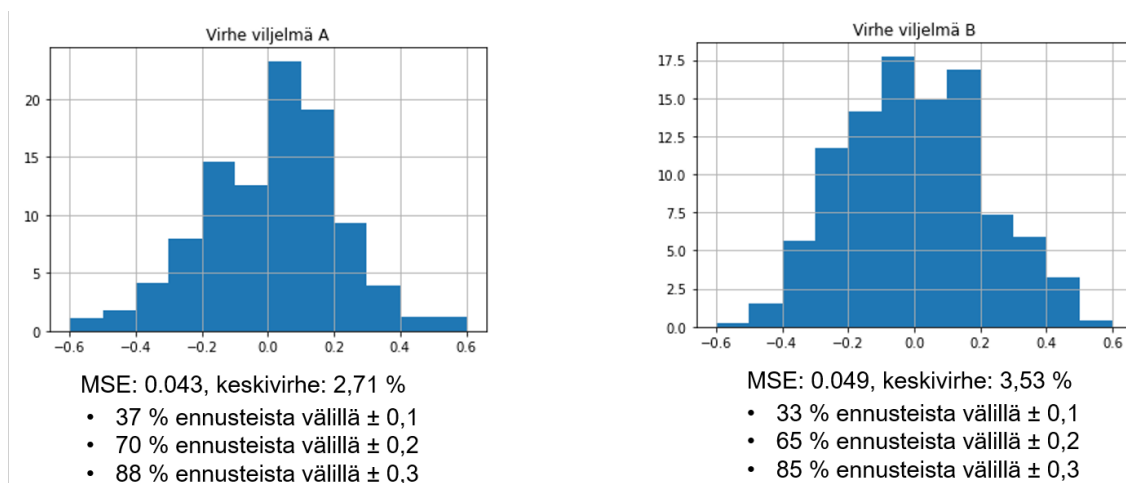
Kuva 18. Brix-ennusteet viljelmälle A Lasso-mallinnuksella. Sininen viiva = mitatut brix-arvot. Punainen = ennuste brixille. Malli ennustaa hyvin trendiä, mutta myös joitain minimi- ja maksimiarvoja. Kahden vuoden data.

Viljelmälle B tuotetut ennusteet ovat kuvassa 19.



Kuva 19. Brix-ennusteet viljelmälle A Lasso-mallinnuksella. Sininen viiva = mitatut brix-arvot. Punainen = ennuste brixille. Malli ennustaa hyvin trendiä etenkin 2021-22, mutta minimi- ja maksimikohtien ennustaminen 2020-21 ei anna yhtä hyviä tuloksia.

Kun LASSOa opetettiin valitsemalla satunnaisesti datan joukosta 80 % opetusdataa ja 20 % testaus- eli validointidataa ja toistettaessa tämä valinta 100 kertaa nähtiin, että ennusteiden keskivirheet ovat varsin siedettävissä rajoissa (kuva 20). Brix-asteikolle vietyinä virheet ovat 0,1-0,3 %-yksikön luokkaa. Ihmisen suu ei pysty tämän suuruista eroa tomaattien sokeripitoisuudessa tuntemaan.



Kuva 20. Brix-ennusteiden keskivirheet käytettäessä ohjelman opettamiseen 80 % datasta ja validointiin 20 % datasta.

### 7.1.5 Maistajien ostohalukkuus tomaateille

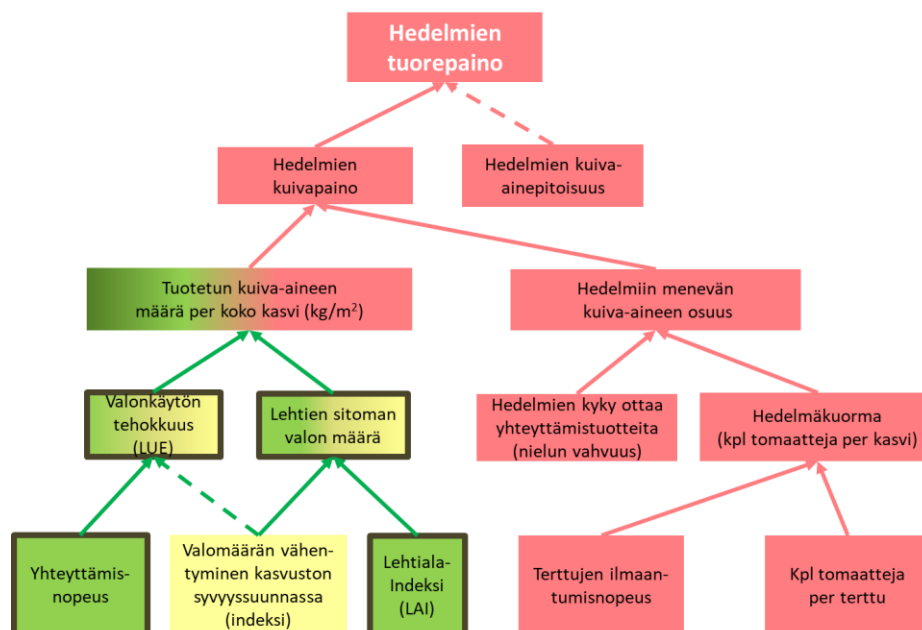
Maisteltujen tomaattien brixit maaliskuun 2022 viimeisellä viikolla olivat kolmesta tomaatista mitattuna 4,85-5,1 (keskiarvo 5) toiselta viljelmältä ja 4,15-4,6 (keskiarvo 4,3) toiselta. Ihmisen makuaste pystyy selvästi erottamaan toisistaan noin yhden brix-yksikön eron tomaattien sokeripitoisuudessa. Käytännössä kahden viljelmän tomaattien brix-arvot eivät siksi merkittävästi eronneet toisistaan.

Maistajien ostohalukkuudet olivat kuitenkin tomaateille aivan erilaiset. Kummallekin tomaatille oli maistajien ostohalukkuus positiivinen, mutta Brix-arvoltaan hieman paremmat tomaatit saivat maistajilta vain 23,1 mielipidepistettä ja matalamman sokeripitoisuuden tomaatit 69,2 pistettä. Koska brixit olivat näytteissä niin lähellä toisiaan, myös muut tekijät kuin sokeripitoisuus vaikuttivat sensoriseen kokemukseen. Selityksenä voi olla sokereiden ja happojen erilainen määräsuhde (jota ei määritetty) tai lajikkeiden väliset erot kiinteydessä, jauhoisuudessa, vetisyydessä tai ylipäätään suutuntumassa. Brix ei siis ole ainoa kriteeri, jonka perusteella ostohalukkuus määräytyy, joskin se on yksi keskeisistä kriteereistä (taulukko 6).

Kyseisessä makutestissä oli mukana kaikkiaan kuusi eri viljelmiltä kerättyä tomaattinäytettä. Niistä yksi oli samaa lajiketta kuin toisen testiviljelmän 23,1 pistettä kerännyt näyte, mutta sai pisteitä yhtä paljon kuin Digitomkun toisen testiviljelmän 69,2 pistettä kerännyt näyte. Viljelmien välillä voi siis olla todella suuria eroja siinä, minkä makuisia tomaatteja ne tuottavat, vaikka ne olisivat samaa lajikettakin. Sama ilmiö tuli esiin Lyftkraft-hankkeen makustesteissäkin, kun neljää lajiketta viljeltiin eri tiloilla (Vänninen & Sunabacka, 2021).

#### 7.1.6 Tulosten tarkastelu: merkitsevät tekijät ovat avaintekijöitä tomaatin kuiva-aineen tuotannolle

Molemmilla viljelmällä kerätty data heijasteli perustavanlaatuisia tekijöitä (säteily, CO<sub>2</sub>, lämpötila, VPD), jotka vaikuttavat tomaattien yhteyttämiskykyyn suoraan tai epäsuorasti. Siitä päästään edelleen kuiva-aineen kokonaismäärään, joka vaikuttaa oleellisesti myös hedelmiin kertyvän kuiva-aineen määrään (kuva 21). Biomassan eli kuiva-aineen kertyminen tomaattikasveihin riippuu – olettaen että kasvien vesitalous on kunnossa - pääasiassa siitä valon määrästä, jonka kasvit pystyvät sieppaamaan ja käyttämään yhteyttämisenä, sekä CO<sub>2</sub>-pitoisuudesta, jota tarvitaan hiilihydraattien muodostamiseen yhteyttämisenä. Siepatun valon määrä puolestaan riippuu lehtipinta-alasta ja kasvuston rakenteesta. (Osorio et al., 2014; Heuvelink et al., 2018). Tomaatti-kasvuston kokonaiskuiva-aineen tuotanto kasvaa lineaarisesti, kun siepatun PAR-valon määrä per päivä suurenee nolasta 400 MJ:een m<sup>-2</sup>. Yhteyttämisenopeus suurenee lineaarisesti, kun valon intensiteetti (PPFD) kasvaa nolasta 600-700 mikromooliin m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Higashide, 2022).



Kuva 21. Teoreettinen malli tomaatin sadon määrään ja laatuun vaikuttavista hierarkkisista tekijöistä (Higashide, 2013 mukaan). Tummalla reunoitetut tekijät ovat niitä, jotka tai joihin vaikuttavat tekijät selittivät brixia Digitomkun testiviljelmillä.

Jos valon määrä pidetään vakiona, tomaatin lehtien yhteyttämisenopeus vaihtelee CO<sub>2</sub>-pitoisuuden mukaisesti. Nyrkkisääntö on, että kun CO<sub>2</sub>-pitoisuus nousee 400:sta 800:aan ppm:ään, myös kasvien valonkäyttötehokkuus suunnilleen kaksinkertaistuu. Valonkäyttötehokkuus (LUE eli Light Use Efficiency) ilmaistaankin kuiva-aineen tuotantona per MJ PAR-valoa ja se heijastaa CO<sub>2</sub>:n päiväkohtaista pitoisuutta.

Valonkäyttötehokkuus on eri asia kuin se valon osuus, jonka kasvit pystyvät kasvihuoneeseen tulevasta valosta lehdillään sieppaamaan. Siepattujen fotoneiden määrään (intercepted light) vaikuttaa lehtien koko, joka on proxy-muuttuja lehtialaindeksille (LAI). Siepattujen fotoneiden määrään vaikuttaa myös se, miten nopeasti valon määrä vähenee valon tunkeutuessa kasvustoon syvyysuunnassa eli Light Extinction Coefficient (LEC). Sitä emme Digitomkussa mitanneet.

LEC riippuu pitkälti kasvuston rakenteesta, käytännössä lajikkeen morfologisista ominaisuuksista ja erityisesti lehtien asennosta, mutta myös lehtien määrästä. Pystysuuntaiset lehdykät mahdollistavat valon tunkeutumisen syvälle kasvustoon, koska ne eivät asetu päällekkäin estämään valon pääsyä alaspäin. Etenkin viljelmän A lajikkeella lehdykät ovat hyvin näkyvästi pystyasennossa (kuva 22).



Kuva 22. Viljelmän A tomaattilajike, jonka lehdykät nousevat lehtiruodista voimakkaasti pystyyn ja ovat niin jäykkiä, että pysyvät pystyssä eivätkä peitä toisiaan (siniset nuolet).

Nykyajan tomaattilajikkeiden suurentunut hedelmätuotanto onkin tulosta siitä, että on kasvatettu lajikkeiden LUE-parametria (fysiologinen parametri, joka kuvaa yhteyttämiskykyä valonkäyttötehokkuuden kautta) ja pienennetty LEC-parametriä (morfologinen parametri eli sellainen kasvuston rakenne, että valo pääsee tunkeutumaan syvälle syvyysuunnassa). Siksi Alankomaissa jalostettujen lajikkeiden tomaattisadon sekä tuore- että kuivapaino on kasvanut vuosi vuodelta 1950-luvulta lähtien. Toisaalta hedelmien kuiva-ainepitoisuus ei ole kasvanut! Jalostus on siis suosinut kilomääräisen sadon kasvattamista, mutta tomaattien brix-arvoon se ei ole vaikuttanut eikä siihen, mikä osuus kuiva-aineen kokonaismäärästä kulkeutuu hedelmiin. (Higashide & Heuvelink, 2009).

Mahlavirtaus on proxy- eli lähimuuttuja kasvien haihduttamiselle, joka sekini indikoi fotosynteesin nopeutta. Haihduttamiseen vaikuttaa suuresti kasviuoneilmaston vesihöyryn kyllästyspaineen vaje eli VPD – tekijä, jonka askeltava regressioanalyysi nosti merkitseväksi brixiin vaikuttaneeksi tekijäksi viljelmällä A. Suhteellinen ilmankosteus 60-90 % on useimmille tomaattilajikkeille paras, mutta ei yksinään kerro mitään kasvien haihduttamisesta. VPD sen sijaan indikoi haihduttamista, tomaatin kasvua, sadon määrää ja hedelmien sokeripitoisuutta, pölytyksen onnistumista ja kasvien kalsiumin saannin tehokkuutta.

VPD on moottori veden liikkumiselle juurista lehtiin. VPD suurena sisältää sekä lämpötilan että kosteuden yhtäaikaisen vaikutuksen kasveihin ja kertoo myös, milloin veden kondensoituminen lehdille alkaa ja siten, milloin tiettyjen kasvitautien vaara on suurimmillaan. VPD:llä on osoitettu olevan yhteys myös valonkäytön tehokkuuteen. Tomaatilla VPD-optimalalue on 0,4-0,8 kPa. Jos VPD ylittää 1,25 kPa, tulisi sumutuslaitteisto käynnistää ilman kosteuttamiseksi. (Shamshiri et al., 2018). Yli 1,25 kPa:n VPD:ssä tomaatin hedelmät hengittävät niin voimakkaasti ja vesi ohjautuu enenevästi haihdutukseen lehtien kautta. Silloin tomaattien vesipitoisuus laskee ja sen myötä niiden sokeripitoisuus nousee (Leonardi et al., 2000). Vaikutus on silloin sama kuin kasvualustan johtokyvyn nostaminen korkeaksi, jolloin kasvien vedenotto vaikeutuu ja hedelmien vesipitoisuus pienenee, mikä näkyy liukoisen kuiva-aineiden pitoisuuden kasvuna. Tosin vedenpuute kasvualustan kautta vaikuttaa myös niin, että tärkkelystä siirtyy tavallista suuremmalla tehokkuudella lehdistä hedelmiin niiden kehityksen alkuvaiheessa ja se on käytettävissä myöhemmin sokereiden lähteenä (Beckles et al., 2012). Viljelmällä B kasvualustan johtokyky tuli esiin brixiiin vaikuttavana tekijänä. Tätä yhteyttä on aineistosta tutkittava vielä tarkemmin.

Kokeellisesti on muualla osoitettu, että kun CO<sub>2</sub>-pitoisuus pidettiin vakiona 500 ppm:ssä, ilman kosteuttaminen sumuttamalla nosti lehtien valonkäytön tehokkuuden 1,5-1,6-kertaiseksi verrattuna tilanteeseen, jossa ilmaa ei kosteutettu. CO<sub>2</sub>:n lisääminen (600, 1000 ja 1600 μmol mol<sup>-1</sup> PAR-valoa) ja samanaikainen ilman sumuttaminen vedellä (RH 80%) lisäsivät kasvien kuiva-aineen tuotantoa, lehtien valonkäytön tehokkuutta, lehtien kokoa ja lehtialaindeksiä sekä lehtien ja varren tuore- ja kuivapainoa (Higashide et al., 2015). Uusien terttujen ilmaantumisnopeus kasvoi CO<sub>2</sub>:n lisäämisen ja ilman kosteuttamisen myötä, samoin hedelmien määrä per terttu. Eri tutkimuksissa on osoitettu, että 100 μmol·mol<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>-lisä suurentaa tomaatin valonkäytön tehokkuutta noin 15 % (Nederhoff, 1994; Higashide et al., 2015). Hedelmien tuorepaino sen sijaan pieneni kaikilla tutkituilla kolmella lajikkeella CO<sub>2</sub>-lisäyksen ja ilman vesisumutuksen myötä. Kasvihan jakoi suurentuneen kuiva-aineen tuotantonsa suuremman hedelmämäärän kesken. Siitä huolimatta kokonaissato oli tuorepainona mitattuna suurempi annettaessa CO<sub>2</sub>-lisä ja sumutettaessa ilmaa vedellä. Hedelmiähän muodostui enemmän ja kuiva-aineen kokonaistuotanto oli suurempi lehtien tehostuneen valonkäytön ansiosta.

Hedelmiin kulkeutuvien sokereiden suhteellista osuutta CO<sub>2</sub>-pitoisuuden nosto – yhdessä sumutuskäsittelyjen kanssa - ei kuitenkaan lisää (Higashide et al., 2015). Ho & Grimbly (1990) osoittivat, että CO<sub>2</sub>-pitoisuuden noustessa hedelmiin voi siirtyä yhteyttämisen tehostuessa myös vettä enenevässä määrin. Toisin sanoen hedelmien koko voi kasvaa veden takia ilman että hedelmien kuiva-ainepitoisuus kasvaa, koska hedelmiin enenevästi kertyvä vesi laimentaa kuiva-ainepitoisuutta. Vastaavia tuloksia ovat saaneet myös Blanc (1986) ja Bertin et al. (2000).

Kevät- ja kesäoloissa tomaattien suurempi brix-pitoisuus ei johdu välttämättä pelkästään lisääntyneestä auringonvalosta ja siitä seuraten suurentuneesta hiilen sitomisesta, vaan siihen vaikuttaa myös veden virtauksen vähentyminen hedelmiin, mistä seuraa sokereiden

konsentroitumista. Kesällä kasvihuoneessa on yleensä kuivempaa ja kuumempaa, jolloin kasvit haihduttavat enemmän eikä vettä kulje samassa määrin hedelmiin kuin muina vuodenaikoina. Tässä tulee siis kuvaan mukaan VPD. Guichard et al. (1999) osoittivat, että kun VPD suureni 1.0:sta 2.5 mb:iin päivällä, tomaatin hedelmiin kulkeutui 25 % vähemmän vettä ja hedelmien transpiraatio suureni jopa 27 %. Siten veden nettokertyminen hedelmiin väheni noin 30 %. Korkea VPD vähentää ksyleemistä hedelmiin kulkeutuvan veden määrää niin että vain 9 % kokonaisvedestä päätyy hedelmiin. Nämä tulokset heijastavat koko kasvin haihduttamisen määrää ja siten varren vesipotentiaalia. Viljelmällä A mahlavirtauksen määrä selitti brixia askeltavan regressioanalyysin tulosten mukaan, ja mahlavirtaushan heijastaa kasvin haihdutusta.

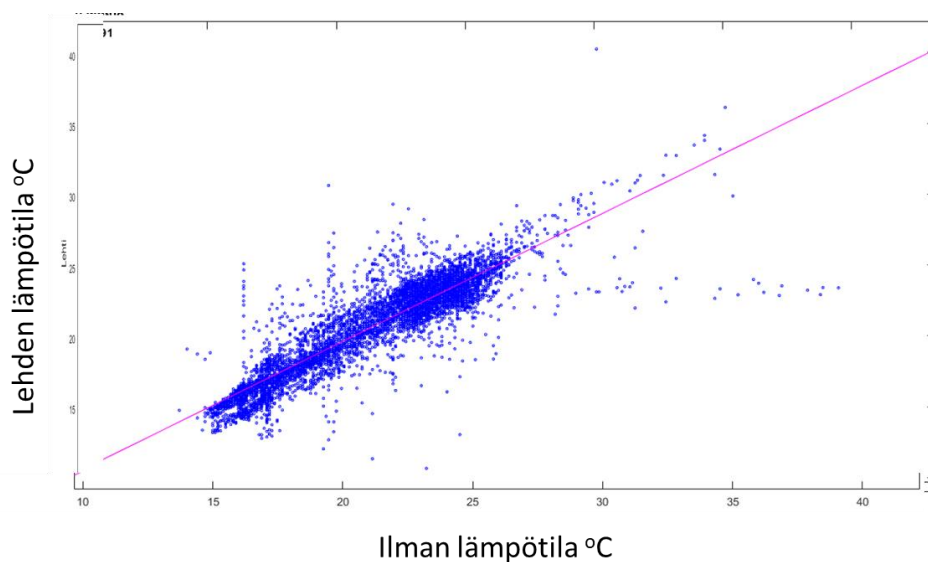
### 7.1.7 Jatkoanalyysit

Tomaatin hedelmien kasvupotentiaali määräytyy solunjakautumisvaiheessa, jonka tuloksena on tietty määrä soluja. Solujen kasvuvaiheessa kasvupotentiaali sitten toteutuu riippuen kasvihuoneen valo-, CO<sub>2</sub>-, lämpötila- ja kosteusoloista sekä source/sink tasapainosta. Kolmas eli kypsymisvaihe on sitten lähes pelkkää biokemiallista muutosta, joka riippuu aikaisemmissa vaiheissa varastoituneista yhdisteistä ja kypsymisvaiheen ympäristöolosuhteista. Hedelmien laatu määräytyy siis pikkuhiljaa koko niiden kehitysvaiheen ajan. Mutta ensimmäinen askel tomaattien laadun muodostumisen hallintaan on vaikuttaminen kasvien kuiva-aineen kokonaistuotantoon ja juuri sitä kuvaavat tekijät tulivat esille brixiin merkittävästi vaikuttavina tekijöinä viljelmällä A. Hedelmien vesipitoisuus ja sen myötä hedelmien keskikoko on sitten toinen tekijä, joka vaikuttaa brixiin.

Hedelmien keskikoko ei ollut vielä muuttujana tähän mennessä tehdyissä analyyseissä, mutta sen vaikutus tutkitaan myöhemmin. Hedelmien keskikoko muuttui sekä viljelmällä A että B tietyn trendin mukaisesti ympärivuotisessa tomaatin viljelyssä, jossa viljely alkaa keskellä kesää tai loppukesästä ja ensimmäisen tomaatit kypsyvät syys-lokakuussa.

Tähän mennessä emme ole vielä analysoineet, mitkä tekijät selittävät brixia lokahelmikuussa, jolloin luonnonvalo on todella vähän. Brix-arvoissa on kuitenkin vaihtelua tänäkin aikana. Tälle ajalle osuus myös hedelmien keskipainon kehityksessä selvä huippu ja siitä alkava ”alamäki” kohti kevättä vuodenvaihteen jälkeen. Dataa on paljon ja se kannattaa hyödyntää mahdollisimman tarkkaan.

Tomaatin lehtien lämpötilaa seurattiin toisena viljelyjaksona infrapunaradiometrillä. Ilman ja lehden lämpötilan välistä erotusta ei ole vielä käytetty selittävänä muuttujana, mutta sen mahdollinen merkitys brixille tutkitaan jatkossa. Lehden ja ilman lämpötila korreloivat voimakkaasti keskenään, mutta joitain poikkeavuuksia on (kuva 23).



Kuva 23. Ilman (x-akseli) ja lehden (y-akseli) välinen korrelaatio viljelmällä A 2021-22.

## 7.1.8. Kuinka hyödyntää tuloksia käytännössä?

### 7.1.8.1. Hiilidioksidin pitäminen kasvihuoneen sisällä

Viljelijän olisi voitava vaikuttaa keskeisten kasvutekijöiden väliseen tasapainoon niin, että kasvien saatavilla olisi kulloiseenkin säteilymäärään sopiva määrä vettä, ravinteita ja CO<sub>2</sub>:ia. Samalla kasvien tulisi tuottaa lämpötilan säätelyn tuloksena sopiva määrä uusia lehtiä ja kukkaterttuja per aikayksikkö ja siirtää tehokkaasti yhteyttämistuotteita lehdistä hedelmiin.

Viljelmällä A brix-arvo nousi yli 5:n vain maaliskuusta eteenpäin, mikä kuvastaa luonnonvalon määrän merkitystä tomaattien sokeripitoisuudelle. Brix-arvon nousua rajoittaa silloin kuitenkin CO<sub>2</sub>: luonnonvalon lisääntyessä nousee myös kasvihuoneen lämpötila, joten tuulettaminen tihenee ja CO<sub>2</sub> karkaa sen myötä ulos. Talvella CO<sub>2</sub>-pitoisuus on helppo pitää korkeana, mutta silloin sen hyödyntämistä haittaa valon puute ja mitä todennäköisimmin myös puutteet valon laadussa. Syksyllä 2022 koettiin myös tilanne, jossa sähkö olisi ollut käytännössä ilmaista ja valotusta olisi voitu siksi antaa täysillä, mutta samaan aikaan oli toimitusvaikeuksia CO<sub>2</sub>:n suhteen!

Yhteyttämisenopeus kasvaa parantamalla kolmea kasvutekijää: lämpötilaa, kosteutta ja hiilidioksidia. CO<sub>2</sub>:n hyödyntämistä voi parantaa viljelemällä korkeammassa lämpötilassa silloin, kun luonnonvaloa on runsaasti saatavilla. Tämä strategia perustuu valon intensiteetin ja lämpötilan väliseen suhteen pitämiseen aina samana (optimaalinen valo-lämpötila-tasapaino). Kun tuuletuslämpötilaa nostetaan, CO<sub>2</sub>:a menetetään vähemmän, koska tuuletuskertoja on vähemmän. Ilmankosteutta tulee kuitenkin korkeammassa lämpötilassa suurentaa. Ilmaraot pysyvät auki, koska suurempi ilmankosteus vähentää haihduttamista,



jolloin kasveilla ei ole tarvetta sulkea ilmarakojaan suojellakseen itseään kuivumiselta. Kun tällaiseen säätämiseen lähdetään, Phytosensen mahlavirtausanturi on hyvä keino seurata, miten kasvien vedenoton ja haihduttamisen käy, kun säädetään lämpötilaa, ilmankosteutta ja tuuletusta. Lehden lämpötilaa mittaava infrapunaradiometri on tässä yhtälössä myös hyvä seurantalaitte. Jotta Plant Empowerment -strategiasta saataisiin täysi hyöty, täytyisi olla käytettävissä myös päätöksentekoa tukeva tieto siitä, miten hyvin tasapainoilassa avainkasvutekijät ovat keskenään. LetsGrow-yrityksen data-alustan moduulit, mm. ilmarakojen johtavuus -moduuli vastaa tähän tarpeeseen.

Loka-helmikuun välisenä aikana rajoittavana tekijänä on kuitenkin valon määrä ja mitä todennäköisimmin myös laatu. Latvojen tasalla valon intensiteetti oli molemmilla viljelmillä pelkän tekovalon kanssa alle  $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  eli selvästi alle sen rajan, jossa tomaatin yhteyttämisnopeus vielä tehostuu valon määrän kasvaessa. Tekovalotus on kuitenkin kustannuskysymys eikä valon määrää voi rajattomasti nostaa.

Valon laatuun vaikuttaminen voisi tuoda osaratkaisun yhteyttämisen tehostamiseen ja ehkä myös source/sink-suhteeseen vaikuttamiseen jälkimmäisen hyväksi. Suomen talviolioissa on edelleen epäselvyyttä kahdesta asiasta: 1) mikä on paras yhteyttämistä dominoivien aallonpituuksien jakauma lamputissa ja 2) mikä merkitys on kaukopunaisella aallonpituuksilla (700-750 nm) kasvien yhteyttämislle ja erityisesti tomaattien sokeripitoisuudelle, joka nyt jää talvella alhaisemmaksi kuin keväällä ja kesällä? Talvella luonnonvalossa ei juuri ole kaukopunaista eikä sitä ole toistaiseksi kuin harvoissa lampputyypeissä (ks. kuvat 2 ja 3).

### 7.1.8.2. Tekovalon aallonpituuskoostumukseen vaikuttaminen

Kaukopunan talviaikaisia vaikutuksia meidän oloissamme ei ole tutkittu. Muualla kaukopunaisella on havaittu olevan suuri määrä vaikutuksia tomaattien kasvuun ja hedelmän-tuotantoon:

- se pidentää kasvien lehtinivelvälejä tai suurentaa lehtialaa, jolloin nuoren kasvuston arkkitehtuuri muuttuu niin että enemmän valoa pääsee tunkeutumaan syvemmälle kasvustoon.
- se tehostaa nettoyhteyttämistä, koska kaukopunainen stimuloi klorofyllimolekyylissä elektroneja vastaanottavan ja eteenpäin siirtävän PSI-reaktiokeskuksen toimintaa yhdessä lyhempien aallonpituuksien kanssa, jotka vaikuttavat PSII:een – PS1 ja PSII:n välinen yhteistyö on silloin synergististä.
- se aikaistaa kukintaa ja suurentaa sekä hedelmien määrää että usein niiden kokoakin.
- Mutta mikä tärkeintä: kaukopunan ansiosta tomaattikasvit voivat allokoida hedelmiin suhteessa enemmän sekä liukenemattomia rakenteellisia että liukoisia makuun vaikuttavia kuiva-aineita (sokereita ja sitruunahappoa). Kuluttajat pystyvät

havaitsemaan tästä johtuvan maun parantumisen (Dorokhov et al., 2021; Fanwoua et al., 2019; Ji et al. 2020; Kim et al., 2020).

Alankomaiden (Fanwoua et al., 2019; Ji et al., 2019; Kalaitzoglou et al., 2019), USA:n Indianan (Kim et al., 2020), Japanin (Jiang et al., 2017), Kanadan (Hao et al., 2016) ja Kiinan (Zhang et al., 2019) korkeudella kaukopunalisällä on saatu kasvihuonekokeissa tehostettua kuiva-aineen ja sokereiden siirtymistä tomaatteihin nimenomaan talvisaikaan. Kokeissa luonnonvaloa oli 12-18 % kokonaisvalon määrästä, mutta luonnonvalon absoluuttinen määrä on ko. alueilla talvella suurempi kuin Suomessa; silti lamppujen kaukopunalisä tuotti tuloksia. Italiassa (Palmitessa et al., 2020) ja huhtikuulle jatkuneessa kokeessa Indianassa USA:ssa (Dzakovich et al., 2017) vastaavaa tulosta ei saatu, koska auringonvalossa luontaisesti oleva kaukopuna peitti lisäkaukopunan vaikutuksen talvellakin.

### 7.1.8.3. *Kannattaako manuaalisia kasvimittauksia tehdä?*

Guichard et al. (2004) mukaan korrelaatiot tomaatin laadun ja kasvun aikaisten ilmastotekijöiden välillä eivät yksinään pysty selittämään hedelmien laatua, vaan täytyy ymmärtää myös vegetatiivisen ja generatiivisen kasvun välisen tasapainon dynamiikka, joka ilmentää veden ja hiilen virtausta hedelmiin. Kasvimittauksista vain mahlavirtaus ja lehtien koko tulivat valitsemallamme tiukalla tasolla esiin merkitsevinä brixiiin vaikuttajina. Löyhemmillä merkitsevyytasoilla merkitseviä tekijöitä olivat myös varren paksuus ja ylimmän tertun etäisyys latvasta.

Kasveista mitattujen parametrien ja brixin välistä suhdetta on tutkittava vielä tarkemmin ottamalla mukaan brixiiä selittäviksi tekijöiksi vain kasvifysiologiset mittaustulokset. Niiden vaikutus saattaa olla keskeisten abioottisten tekijöiden isomman vaikutuksen peitossa, joten ne eivät tulleet merkitsevinä esiin nyt tehtyjen analyysien kriteereillä. Jatkoanalyyseissä tutkimme, mitkä abioottiset tekijät vaikuttavat mahlavirtaukseen ja varren paksuusvaihteluun ja miten mahlavirtauksen ja varren paksuusvaihtelun datasta laskettu kasvien työstressi-indeksi korreloi muiden kasvimittausten kanssa.

E erityisen kiinnostavaa on tutkia, miten hedelmäkuorma ja terttujen ilmaantumisnopeus mahdollisesti vaikuttavat brixiiin, kun selittävinä tekijöinä ovat vain kasvimittaukset. Hedelmien määrä ja uusien terttujen ilmaantumisnopeus ovat hierarkkisessa kuivapainon tuotantomallissa keskeisiä tekijöitä (kuva 111).

Kasvimittausten hyödyntäminen päätöksenteossa on hieman harmaata aluetta, koska usein tulokset ovat lajikekohtaisia ja niiden tulkinta edellyttää käytännön kokemusta ja pitempiaikaisia mittauksia samoista lajikkeista. Mittauksista voi laskea myös erilaisia indeksejä, jotka vaihtelevat neuvojittain. Kasvimittauksia suositellaan, mutta yleensä suosituksissa ei ole tarkkoja ohjearvoja tulosten tulkinnassa. Taulukossa 3 on muutamia

yleisiä ohjearvoja, joiden toteutumista Digitomkun testiviljelmien datasta voidaan vielä jatkoanalyysissä tarkastella.

## 7.2. KALIBROINTIMALLIT HONELAB NIR-SENSORILLE TOMAATTIEN BRIXIN MITTAAMISEEN

Novian Sentronic-NIR-sensorilla tuotettiin ensimmäiset regressiomallit pyöreiden tomaattien NIR-mittauksia varten. Korrelaatio NIR-sensorilla mitattujen brix-arvojen ja refraktrometrillä mitattujen arvojen välillä oli noin 0,9 (kuva 112). Tulosten mukaan myös happopitoisuuden mittaus onnistuu hyvin NIR-sensorilla, mutta lykopeenin suhteen mallit eivät toimineet riittävän hyvin.

HoneLabin NIR-sensoria varten tuotetusta datasta nähtiin, että kirsikka- ja keskikokoisilla luumutomaateilla spektridata oli samanlaista riippumatta siitä, oliko skannaus tehty pelkästään laitteen valoa käyttäen vai sitä lisävalolla täydentämällä. Suuremmilla, pyöreillä tomaateilla spektrit olivat erilaiset ilman lisävaloa ja sen kanssa ja lopullisten mallien tuottaminen vaatii vielä lisämittauksia. Pienempien tomaattien brix-mittauksia varten kalibrointimallit on syötetty laitteen pilvipaluuun ja laite on valmiina käytettäväksi.

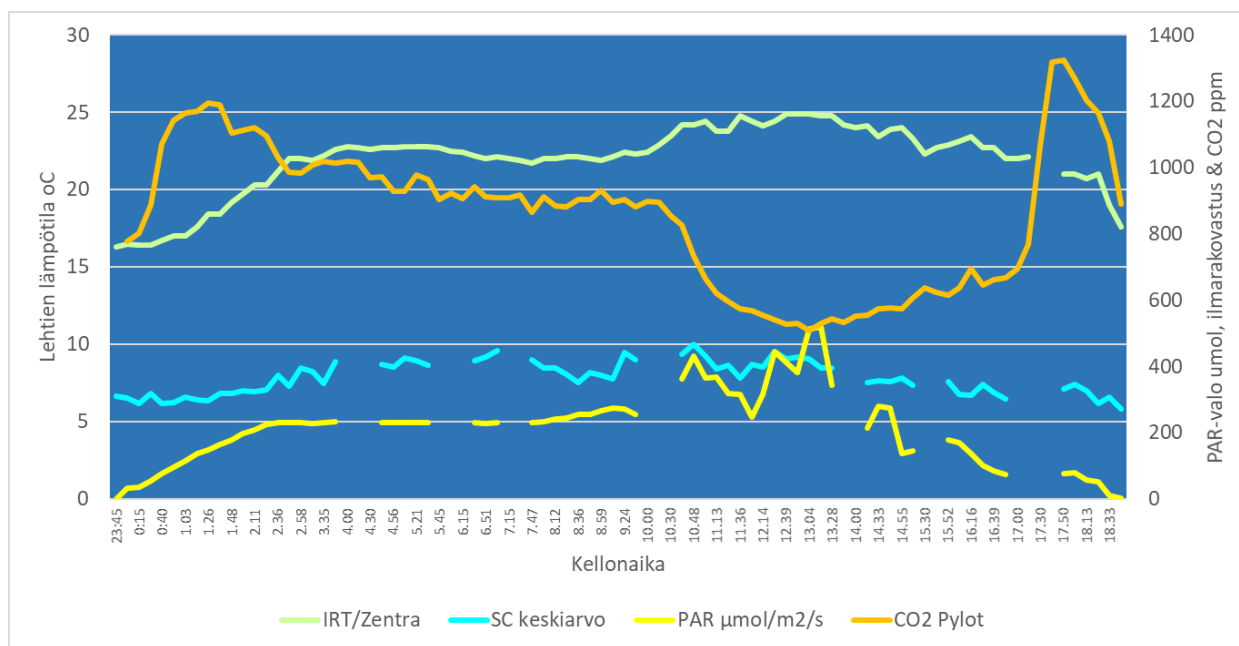
## 7.3. ILMARAKOJEN TOIMINTA VUOROKAUDEN ERI AIKOINA

Porometrimittaukset ovat manuaalisesti tehtyinä työläisiä, jos tavoitteena on saada kuva kasvien ilmarakojen toiminnasta läpi koko valoisan ajan. Mittauksia tehtiin siksi vain kolmena vuorokautena: kerran viljelmällä A ja kaksi kertaa viljelmällä B.

Viljelmällä B näkyi molemmilla kerroilla sama ilmiö valojen syttymisvauhdin ja ilmarakojen kaasunjohtavuuden välillä: kun valointensiteetti vähitellen kasvoi, ilmarakojen kaasunjohtavuus ei lisääntynyt heti samassa suhteessa, vaan saavutti yöaikaisen (tekovalotetun jakson) maksiminsa vasta noin 2-3 tunnin kuluttua siitä, kun tekovalotuksen intensiteetti oli saavuttanut maksiminsa (kuva 15). Lehtien lämpötila nousi kauniisti samaa tahtia suhteessa valotuksen voimakkuuden vähittäiseen kasvuun. CO<sub>2</sub>:n syöttö havaitussa määrin aamuöisinä valotustunteina oli ehkä turhan suurta suhteessa kasvien kykyyn käyttää sitä. Sen määrä alkoi laskea siinä vaiheessa, kun ilmarakojen kaasunjohtavuus oli saavuttanut maksiminsa jatkuen sen jälkeen suhteellisen tasaisena iltapäivän alkupuolelle asti. Keskipäivän molemmin puolin CO<sub>2</sub>:n määrä tuli yhteyttämistä rajoittavaksi tekijäksi, koska tuuletusluukkuja on avattava välillä. Avaamistarve näkyi lehtien lämpötilan loivana kohoamisena keskipäivän molemmin puolin. Luukkujen avautumistiheyttä rukattiin hieman myöhemmin harvemmaksi, kun havaittiin luukuista laskeutuvan kylmän ilmamassan

kylmentävä vaikutus lehtiin, mikä hyydytti hetkellisesti myös mahlavirtauksen. Rukkauksen jälkeisenä aikana ei kuitenkaan tehty porometrimittauksia.

Porometrimittausten perusteella viljelijä voi miettiä etenkin CO<sub>2</sub>:n annon ajoitusta, kasvuston jäädyttämistä muilla keinoin kuin tuuletusluukkuja avaamalla (minkä hän tekikin) ja valotuksen käynnistämisen dynamiikkaa. Jälkimmäiseen porometrimittaukset eivät vielä antaneet ratkaisuvihjeitä, mutta toivat esiin kasvien käyttäytymisen valotuksen käynnistyessä – asia, jota sekä tomaatin että kurkun viljelijät jatkuvasti pohtivat.



Kuva 15. Porometrimittaukset viljelmällä B 1.-2.10.2021. IRT/Zentra = lehden lämpötila infrapunaradiometrillä mitattuna. SC = ilmarakojen kaasunjohtavuus neljästä kasvista laskettuna keskiarvona (mittaukset porometrillä). PAR μmol/m<sup>2</sup>/s = säteilyn hetkellinen määrä mikromooleina. CO<sub>2</sub> Pylot = hiilidoksidipitoisuus ppm.

## 7.4. LIIKETOIMINNALLISET HYÖDYT ANTUREIDEN KÄYTÖSTÄ

### 7.4.1. Phytosense: tärkeää dataa, mutta toistaiseksi ilman tulkintaa helpottavaa automaattista käyttöliittymää

Kolme tekijää vaikuttaa ratkaisevasti tomaatin hedelmien kasvuun ja sokeripitoisuuteen: yhteyttämisen voimakkuus, sokereiden siirtyminen lehdistä hedelmiin ja kasvien vesitalous (De Swaef et al., 2013). Phytosense-järjestelmä kaksine antureineen antaa itse asiassa tietoa kaikista em. kolmesta tekijästä joko suoraan tai epäsuorasti, kunhan dataa osaa tulkita. Se edellyttää melko yksityiskohtaistakin tietämystä tomaatin fysiologiasta ja jopa metaboliasta

sekä siitä, miten kasvien vesi- ja hiilitalous ovat kietoutuneet toisiinsa ja vaikuttavat kasvien kasvuun. Koska Phytosensen painotus on kasvien vesitaloudessa, täytyy ymmärtää veden virtauksen mekanismit ja dynamiikka kasveissa. Mahlavirtaus ja varren paksuusvaihtelu ovat kiinteästi yhteydessä toisiinsa ja tällä yhteydellä on omat indikaattorinsa, jotka osoittavat kasvin vesitalouden olevan kunnossa ja toisaalta indikaattorit, jotka kertovat, ettei kasvi saa tarpeeksi vettä, ei kuljeta vettä tehokkaasti eikä ole tarpeeksi generatiivinen sadontuottovaiheessa.

Phytosensen kokeilu testiviljelmillä osoitti, että se kerää arvokasta dataa, jota voitiin kokeilun aikana hyödyntää kasvien kasvun säätelyssä, mutta datan tehokkaan hyödyntämisen tiellä on vielä eräitä esteitä liittyen datan tulkintaan ja antureiden käyttöön.

Phytosense-järjestelmän käytössä olisi auttanut etukäteen hyvin mietitty infopaketti kasvien vesitaloudesta ja veden liikkeistä ksyleemi- ja nilasoluissa, juuripaineesta, haihduttamisesta ja varren paksuusvaihtelun ja mahlavirtauksen välisestä käänteisestä suhteesta ja sen anomaliaista. Näin datan tulkinnalle olisi tukevampi pohja.

Testiviljelmät kaipasivat referenssiarvoja, joihin verrata kulloistakin tilannetta: onko se hyvä vai huono, pitääkö kastelua aikaistaa tai myöhentää tai tihentää, antaa enemmän tai vähemmän vettä? Referenssiarvojen käyttöä hankaloittaa se, että 2Grown edustajien mukaan kasvit Suomen ympärivuotisen tuotannon olosuhteissa käyttäytyvät eri tavalla kuin Belgiassa, josta 2Grow:lla on eniten kokemusta. Nyt kerätty data on itse asiassa arvokasta tässä mielessä ja sitä kannattaa analysoida hankkeen jälkeen vielä lisää. Näin saataisiin yksityiskohtaisemmin näkyviin, millä tavalla kasvien mahlavirtaus Suomen oloissa käyttäytyy verrattuna eteläisempiin leveysasteisiin.

Jos tietoa ja tulkintakykyä on tarpeeksi, Phytosense-antureiden tuottaman datan avulla on mahdollista vaikuttaa sekä hedelmien määrään että laatuun. Nykyisellään Phytosense-dataa voidaan käyttää laatuun vaikuttamiseksi huolehtimalla siitä, että päivittäinen kasvu pysyy nollan kieppeillä sadontuottovaiheessa ja että työstressi olisi luokkaa 0,04 tai yli. Kuinka ylläpitää hyvää työstressiä talviolissa, jossa valon määrä on rajallinen ja hyvää työstressin tasoa ei senkään takia ole helppo saavuttaa? Kasvuputkien lämpötilaa nostamalla voidaan kuivattaa ilmaa ja siten vaikuttaa haihdutukseen ja nopeuttaa kasvien lehtien ja terttujen tuotantoa, mutta jos samalla ei voida nostaa valon määrää, hyötyjä ei saada toivotulla tavalla, koska valo ja lämpö eivät ole tasapainossa keskenään. Lehtiä poistamalla voidaan lisätä kasvien hyvää työskentelystressiä: vähäisempi lehtimäärä joutuu työskentelemään enemmän tyydyttääkseen hedelmien hiilitarpeet.

Digitomkussa päästiin Phytosense-antureiden käytössä sille tasolle, että viljelijät tekivät pieniä muutoksia kasteluohjelmiinsa. Innovaatioryhmän kokouksissa kävimme läpi viljelmiltä kertynyttä dataa 2Grow:n Maxime Dedeckerin avustuksella. Phytosensen mahlavirran mittaus- ja varrenpaksuusanturin mittaustulokset näkyvät Phytosense-alustalla graafisena käyränä. Netin kautta saatoimme muutaman minuutin viiveellä nähdä, kuinka nopeasti kasvi reagoi ilmastollisiin olosuhteisiin – esimerkiksi paprikanviljelijä suihkutti kasveja vedellä ja

katsoi mitä siitä seurasi: mahlavirtaus pienei lähes välittömästi, koska suihkutuspää jähdytti kasveja kuumana kesäpäivänä.

Kokoukset olivat siis opettavaisia. Molempien antureiden mittaustuloksia kuvaavat käyrät antoivat uuden näkökulman kasvun ohjaukselle, jossa päähuomio on ollut ilmasto-olosuhteiden hallinnassa ja hyvin rajallisessa määrin joissain kasvuston manuaalimittauksissa. Nyt pääsimme näkemään, miten myös kasvi kokee eri asiat.

Mahdollisia syitä kasvien toiminnan muutoksiin on kuitenkin usein monia, ja aluksi kun Maximella ei ollut käytössä olosuhdedataa tarkasteltavalta ajanjaksolta hänen arvauksensa mahlavirtauskäyrän muutosten syistä eivät aina osuneet kohdalleen. Saatuaan pääsyn olosuhdedataan Pylot-alustan kautta tämä ongelma poistui.

Huolimatta yhteisistä kokouksista ja whatsapp-ryhmästä, jonka kautta Maxime myös tulkitsti kaikkien kolmen viljelmän käyriä testiviljelijät kokivat hankkeen lopussa, että yhteistä tulkintaa olisi pitänyt tehdä vielä enemmän. Pääasiassa opimme kertyneestä datasta mitä olisi pitänyt tehdä. Ennakovaan säätelyyn ei vielä päästy. Viljelijöiden tekemät pienet muutokset kasteluohjelmiin olivat ensimmäiset askeleet ennakoivan säätelyn suuntaan, missä näkyi datasta oppiminen ja oppimisen ennakoiva hyödyntäminen.

Kokouksiin osallistunut kurkunviljelijä antoi hyvän esimerkin niistä haasteista, joita viljelijöillä on heidän pyrkiessään maksimoimaan taloudellista hyötyä kasvien kasvun säätelyn kautta. Kun kurkun tuottajahinta nousee paremmalle tasolle, kasvien sadontuotannosta halutaan saada nopeasti enemmän irti. Seurauksena valomäärän nopeasta lisäämisestä kasveihin on tullut lehtien polttovioituksia talvisaikaankin. Liika valo on kasveille itse asiassa myrkyä. Kasvien fysiologia ei taivu mihin tahansa, ellei niitä valmistella olosuhteiden muutokseen.

Vastaava tilanne syntyi eräällä tomaattiviljelmällä, kun taimet istutettiin blokkihuoneeseen keskellä kesää ja viljelijä halusi hyödyntää vallitsevia paljon valon olosuhteita maksimaalisesti eikä käyttänyt varjostusverhoja. Nuoret taimet eivät kestäneet sitä valomäärää, jolle ne altistuivat. Seurauksena ensimmäisen terttukerroksen sadon menetys. Valosta aiheutuneiden vointusten seuraukset näkyivät hedelmien sisäisessä rakenteessakin (kuva 24).

Phytosense-anturit, yhteyttämisen tasoa lehdistä suoraan mittaavat anturit tai lehtien lämpötilan jatkuva seuranta olisivat saattaneet varoittaa edellä kuvattujen vaaratilanteiden kehittymisestä etukäteen.



Kuva 24. Liialta valosta johtuvia polttovioituksia erään tomaattiviljelmän nuorissa tomaattikasveissa kesällä 2020 (vas.). Oikealla olevassa kuvassa ylempänä terve raakile, alhaalla vioittunut. Ensimmäisen tertun hedelmistä tuli koko kasvihuoneessa vioittuneita: halkaisupinnassa näkyi perikarpissa kauttaaltaan tumma juova. Fluorometrimittausten perusteella vioittuneissa hedelmissä liialta valolta suojaavien yhdisteiden määrät olivat selvästi koholla ja typpitasapaino-indeksi alhainen verrattuna terveisiin. Myös UV-valon fluoresenssi oli vioittuneissa hedelmissä aivan erilainen kuin terveissä.

Yhteenvedona johtopäätökset Phytosense-järjestelmän käyttökokemuksista ja liiketaloudellisista hyödyistä:

1. Phytosense-data kertoo tärkeistä asioista, mutta tulkinnan helpottamiseksi toimittajafirman kannattaisi tuottaa esimerkiksi animoitu opas kasvien mahlavirtauksesta ksyleemissä ja nilassa, varren paksuusvaihtelun käyttäytymisestä eri mahlavirtaustasoilla ja referenssiarvoista, joita on tällä hetkellä saatavilla päätöksenteon tueksi.
2. Järjestelmä hyötyisi valtavasti automaattisesta ohjauspaneelistä, joka kertoisi datan perusteella ja referenssiarvoihin perustuen, mitä toimenpiteitä kulloinkin kannattaisi tehdä. 2Grow kehittääkin parhaillaan ensimmäistä ohjauspaneelia tähän tarpeeseen. Haasteena voi olla, että referenssiarvot ovat erilaisia eri maantieteellisillä alueilla johtuen erityisesti erilaisesta valon määrästä eri vuodenaikoina. Digitomkussa kerättyä dataa voidaan hyödyntää jatkossa referenssiarvojen kehittämiseksi Suomen olosuhteisiin.
3. Viljelijät olisivat kaivanneet vieläkin tiheämpiä kokouksia datojen tulkinnan oppimista varten. Phytosense-dataa on voitava käyttää yhdessä ilmasto-olosuhteita kuvaavien datojen kanssa (valo, lämpö, kasteluohjelma, CO<sub>2</sub>, ilmankosteus tai VPD). Ilman niitä tulkinta on vaikeaa. Pylotin data-alustan hyödyllisyys tuli ilmi kokouksissa siinä

vaiheessa, kun Phytosense-datakin oli saatu siirrettyä sinne: alusta mahdollistaa useiden muuttujien samanaikaisen tarkastelun. Uusien antureiden tehokas käyttö edellyttää siis muitakin datan keruuta ja hyödyntämistä parantavia uudistuksia viljelmillä.

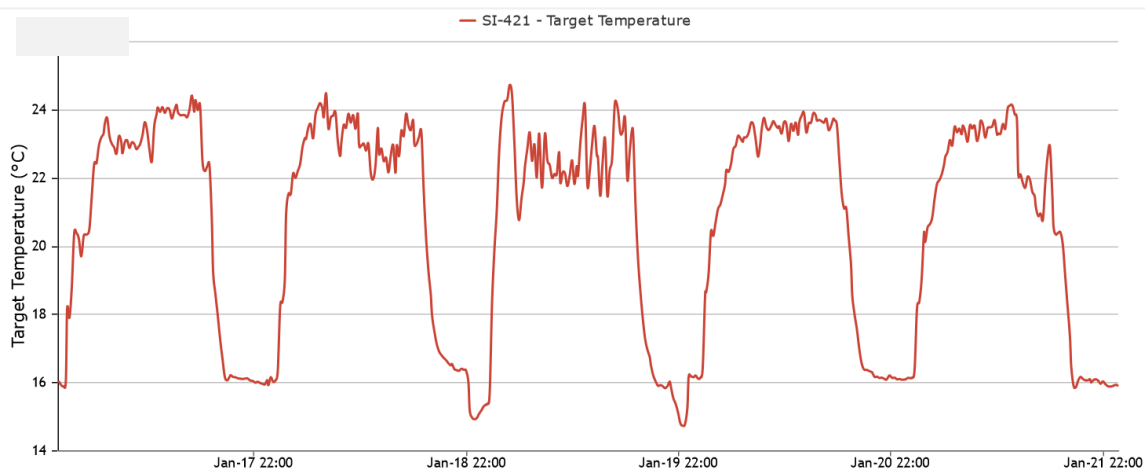
4. Järjestelmässä on jo muutamia hyödyllisiä indikaattoreita ja referenssiarvoja, joiden perusteella viljelijä pystyy olemaan perillä kasvien generatiivisuuden tai vegetatiivisuuden asteesta. Mahlavirtauksen ja työstressi-indikaattorin korrelaatioita kasveista mitattuihin muuttujiin (taulukko 3) tulisi tutkia ja selvittää, millaisella viiveellä mahlavirtauksen taso tai stressi-indikaattori ennustavat esimerkiksi latvan kasvua tai latvasta mitattua varren paksuutta. Hedelmäkuorman välinen korrelaatio Phytosense-muuttujiin tulisi myös selvittää. Näiden korrelaatioiden tutkimiseen Digitomkun toteuttajat saivat jo pienen rahasumman Rikalan puutarhasäätiöltä vuodeksi 2022. Tulosten perusteella voidaan kehittää referenssiarvoja nimenomaan Suomen olosuhteissa käytettäviksi.
5. Järjestelmän antureista dendrometri on hyvin herkkä töytäisyyille, joita kasveihin väistämättä kohdistuu niitä hoidettaessa, tomaatteja poimittaessa ja kasveja alaslaskettaessa. Dendrometrin täytyy pystyä mittaamaan muutaman mikrometrien muutoksia varren paksuudessa, joten pienetkin häiriöt voivat vaikuttaa datan tarkkuuteen. Jokin ratkaisu tarvitaan häiriöiden estämiseksi.
6. 2Grow-firman kanssa käytyjen keskustelujen perusteella arvioitiin, että noin 1 ha:n ja sitä suuremmat kasvihuoneyritykset saavat kustannus-hyöty-suhteella mitattuna eniten irti Phytosense-anturijärjestelmästä. Tämä edellyttää kuitenkin, että joko yritys pystyy panostamaan uuden oppimiseen 2Grow:n opastuksella tai järjestelmään integroidaan päätöksentekoa helpottava käyttöliittymä.

Liitteessä 1 on esimerkkejä Phytosense-datasta ja datojen tulkitsemisesta.

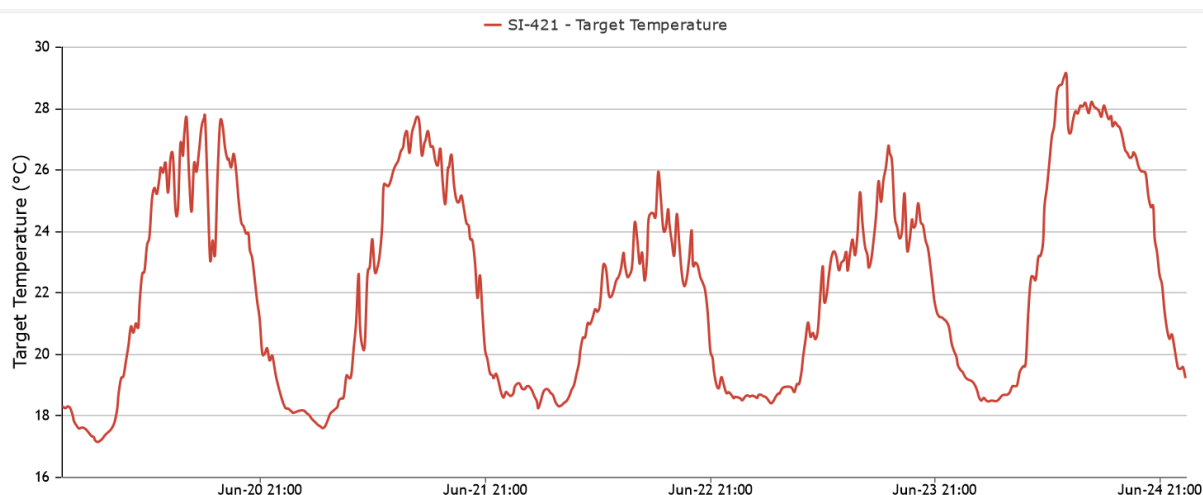
#### 7.4.2. Infrapunaradiometri

Lehden lämpötilan jatkuva mittaus (kuvat 17 ja 18) kiinnosti testiviljelijöitä kovasti. Data antaa yksinkertaisen viestin: jos lehtien lämpötila on hieman alempi kuin ympäröivän ilman, kasvi haihduttaa normaalisti jäädyttäen siten itseään. Jos lehtien lämpötila nousee korkeammaksi kuin ympäröivän ilman, kasvi saa esim. liikaa valoa, jonka ylimääräisiä fotoneita se ei pysty poistamaan riittävällä tehokkuudella fluoresenssina ja lehdet lämpenevät. Tilanne edellyttää kasvuston jäädyttämistä avaamalla luukut, suihkuttamalla kasveja vedellä tai järjestämällä ylimääräistä ilmankiertoa niin että konvektio siirtää lämpöä pois lehdistä.





Kuva 25. Esimerkki infrapunaradiometrin tuottamasta datasta tomaatin lehtien lämpötiloista tammikuulta 2022. Huomaa profiilin toistuvuus: kasvihuoneen olosuhteet ovat hyvin tasaiset päivästä toiseen, koska luonnonvaloa ei juurikaan ole, joten ulkoa tuleva säteily ei pääse juurikaan vaikuttamaan lämpötilaan.



Kuva 25. Infrapunaradiometrin tuottamaa dataa lehtien lämpötilasta kesäkuulta 2022. Huomaa korkeammat maksimilämpötilat y-akselilla verrattuna kuvaan 17 sekä epätasaisempi profiili.

Lehtien lämpötiloja seuraamalla testiviljelmällä löydettiin myös tilanne, joissa toisella testiviljelmistä energiaverhojen avaamisen yhteydessä aamulla myös tuuletusluukut avautuivat, jolloin kylmää ilmaa valahti nopeasti kasvuston päälle jäähdyttäen kasvit. Tämä toistui muutamana päivänä peräkkäin ja havaittiin sekä Phytosensen mahlavirtausdatassa (kuva 26) että lehtien lämpötilan äkillisenä alenemisena (kuva 27). Kasvit saivat kylmähokin. Jos käytössä olisi ollut myös fotosynteesin tasoa suoraan mittaava anturi, shokin seuraukset kasvien yhteyttämiselle olisi nähty suoraan.

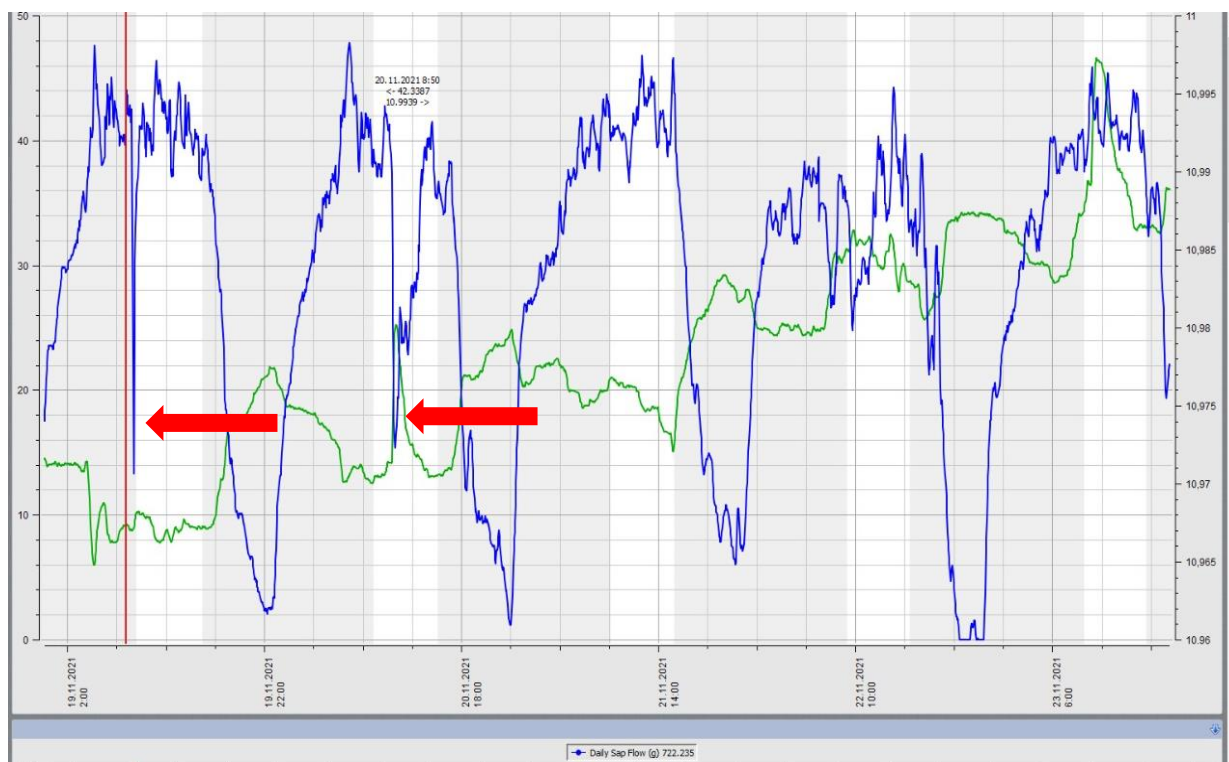
Viljelijä muutti ensin ilmastonsäätöohjelman asetusarvoja, mutta se ei tuottanut toivottua tulosta. Vasta kun asetusarvojen lisäksi verhojen ja luukkujen toiminnan säätelyyn liitettiin

mukaan influenssi-toiminto, jonka avulla energiaverhojen ja tuuletusluukkujen haitallinen yhteistoiminta estettiin, ongelma poistui. Viljelijä muutti kasvuston jäähdyttämisen- ja luukkujen avaamiskäytäntöjä ja sai kasvuston kylmyysongelman kuriin.

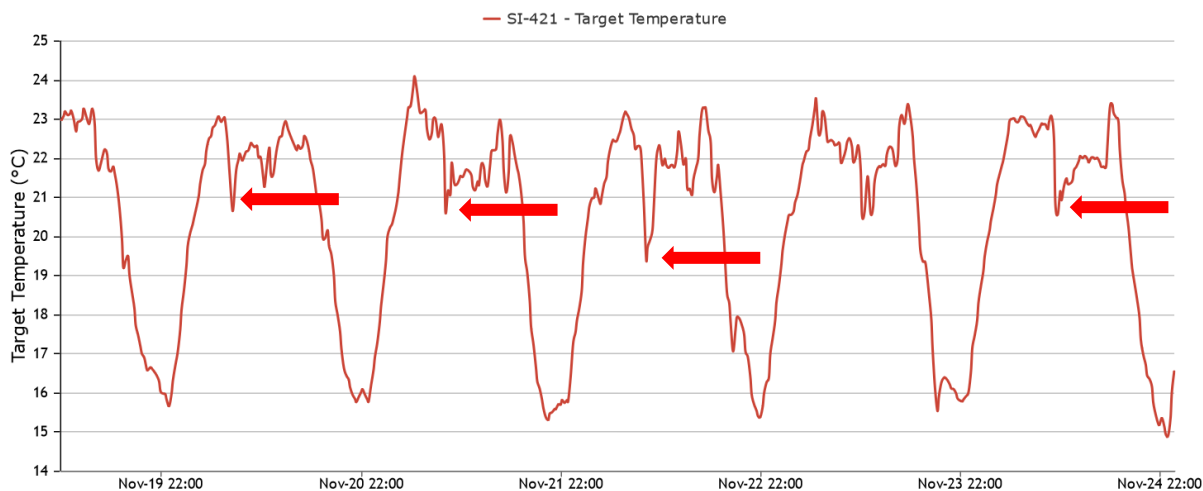
Viljelijän mukaan hän oppi tapauksesta, että mikään sensori yksinään ei anna täydellistä tietoa kasvuston tilanteesta. Tarvitaan useampia sensoreita kertomaan kasvien fysiologisista reaktioista olosuhteisiin ja niiden muutoksiin.

Vastaava kylmyysongelman havaittiin myös toisella testiviljelmällä talvikuukausina, mutta siellä ilmastonsäätöjärjestelmä ei anna samanlaista mahdollisuutta vaikuttaa eri tekijöiden säätöihin yhtä aikaa influenssi-periaatteella.

Lehtien lämpötilan ja mahlavirtauksen reagointi kasvustoon laskeutuneeseen kylmään ilmassaan oli hyvä esimerkki siitä, kuinka fokus kasvihuoneen ilmastonsäätelyssä on perinteisesti ollut energia- ja vesitasapainon seurauksissa kuten lämpötilassa ja ilmankosteudessa - ilman että nähdään kasvien reagoiteja niihin suoraan. Kun käytössä oli mahlavirtausanturi ja lehtien lämpötilaa mittaava infrapunaradiometri, fokus siirtyikin niihin syihin, jotka vaikuttavat kasvien energia- ja vesitasapainoon. Tässä esimerkissä se oli tuuletuksen ja energiaverhojen toisiinsa liittyvä käytötapa.



Kuva 26. Mahlavirtausdata 19.-23.11.2021, jolloin punaisten nuolten kohdalla havaittiin tuuletusluukkujen ja energiaverhojen yhtäaikainen avautuminen johti kylmän ilmassaan laskeutumiseen kasvustoon (19. ja 20.11.). Lehtien lämpötila aleni 2-3 astetta (kuva alla). Mahlavirtaus reagoi välittömästi.



Kuva 27. Infrapunaradiometrin datassa lehtien lämpötilassa näkyy äkillinen lasku ajalla 19.-20.11.2021 (2 ensimmäistä punaista nuolta vasemmalla), jolloin myös nestevirtaus laski nopeasti ja voimakkaasti (kuva 19). Verhojen ja tuuletusluukkujen avautumisen synkronointia rukattiin häiriön havaitsemisen jälkeen useamman päivän ajan. Lehtien lämpötilassa näkyi rukkaamisjaksonkin aikana nopeita 2-3 asteen laskuja, mutta kaikkien kohdalla mahlavirtaus ei enää reagoanut yhtä jyrkästi.

Testiviljelijät halusivat jatkaa infrapunaradiometriä käyttäen myös hankkeen jälkeen: selkeä merkki siitä, että niiden koettiin tuottavan hyötyä, jonka tulkinta oli suoraviivaista eikä edellyttänyt monimutkaisen uuden tiedon omaksumista.

### 7.4.3. Muita kasvifysiologisia antureita

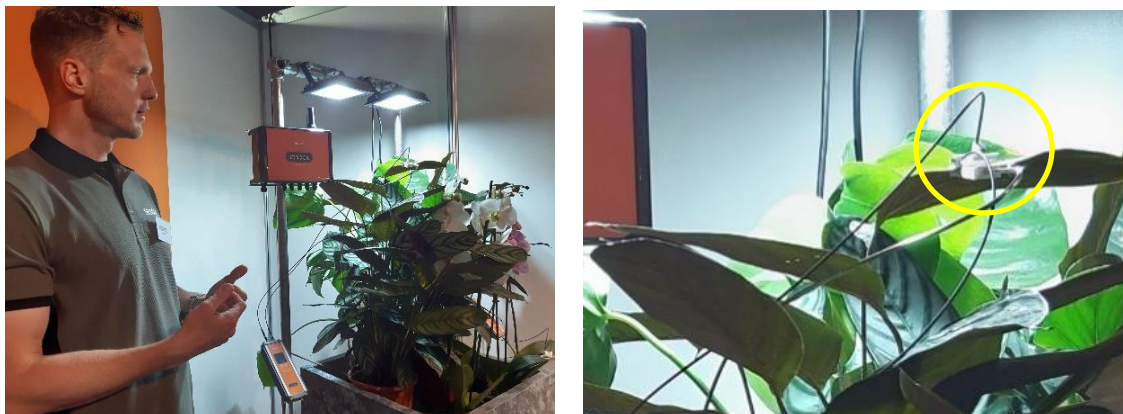
Hankkeessa luotiin yhteyksiä kotimaisiin ja ulkomaisiin anturitoimittajiin. HortiContact-messujen yhteydessä luotiin yhteydet [Sigrow-yritykseen](#), joka toimittaa monisensori-ratkaisuja ilmarakojen aktiivisuuden seurantaan (kuva 28).



Kuva 28. Sigrow:n ratkaisu kasvuston lämpötilan kameraperusteiselle (kesk. kuva) seurannalle, jonka avulla ollaan selvillä ilmarakojen toiminnasta – siis haihduttamisen ja yhteyttämisen intensiteetistä. Settiin kuuluu kamera, PAR-anturi ja kasvualustan vesi- ja lämpöolosuhteita mittaava monisensori (kuva oik.). Kameran ja harmaan verranpallon avulla (kuva oik.) systeemi laskee kasvuston

lämpötilan ja sen eron suhteessa ympäröivän ilman lämpötilaan, mikä kertoo ilmarakojen toiminnasta. Se on jo askel kohti kasvien fotosynteesitason ymmärtämistä. Kuvat: Irene Vänninen.

[Sendot](#) puolestaan myy klipsityyppisiä klorofyllin fluoresenssia mittaavia ratkaisuja kasvien fotosynteesitason seurantaan (kuva 29).



Kuva 29. Sendot toimittaa klipsiantureita, joiden sininen led-valo osuttaa voimakkaan valonsäteen kasvin pintaan ja saa takaisinsyötteenä fluoresoivaa valoa. Palautteen avulla pystytään laskemaan, toimiiko lehden fotosynteesikoneisto parhaalla teholla vai huonommin. Lehteen kiinnitetty klipsianturi suurennettuna oikeanpuoleisessa kuvassa (keltaisen ympyrän sisällä).

LetsGrow (kuva 30) on jo kymmenkunta vuotta toiminut tutkijoiden alun perin perustama yritys, jonka valikoimiin kuuluu monipuolinen data-alusta ja erilaisia moduuleja siihen. LetsGrow on kehittänyt järjestelmän, jonka avulla voidaan seurata energian, veden ja yhteyttämisuotteiden välistä tasapainoa ja tehdä tarvittaessa korjauksia kasvihuoneen säätöihin, jotta tasapaino saadaan palautettua. Järjestelmä perustuu Plant empowerment -nimiseen optimointikonseptiin, josta on saatavissa myös [kirja](#). Konseptin perusideoita hyödynnettiin eri materiaalien tuotannossa Digitomkussa (taulukko 5).



Kuva 30. LetsGrown uusin innovaatio ovat silmälasit, joihin kiinnitetyn kameran avulla viljelijä voi siirtää oman näkymänsä liveinä esimerkiksi neuvojan nähtäväksi kulkiessaan kasvihuoneessa. Kasvuston yhteinen tarkastelu tulee silloin mahdolliseksi. Oikeanpuolimmaisessa kuvassa ylhäällä on 2Grow-yrityksen Phytoclip: anturi, joka mittaa nestevirtausta ohutvartisista kasveista, joihin tomaatilla käytetty isompi sensori on liian painava.

#### 7.4.4. Data-alustat

Pylot-data-alustan tavoitteena on auttaa viljelijää ennen kaikkea seuraamaan, miten hänen satotavoitteensa toteutuvat valitulla tuotantostrategialla. Hän voi tehdä benchmarkkausta aikaisempiin vuosiin ja muihin tuotantohuoneisiin. Mahdollisuus siirtää alustaan kasvihuoneesta kerätyt moninaiset datat ja luoda uusiakin muuttujia oli Digitomkun toteutumisen kannalta välttämätöntä. Monimuuttujaisen data-alustan hyödyt olivat hyvin selvät silloin, kun Phytosense-datasta tulkittiin mahlavirtauksen muutosten syitä. Eri käyrien vertaaminen eri kuvista tekee vertailusta todella vaikeaa, mutta kun muuttujat ovat samassa kuvassa, selvimpien korrelaatioiden näkeminen käyristä on suoraviivaista ilman analyysejäkin.

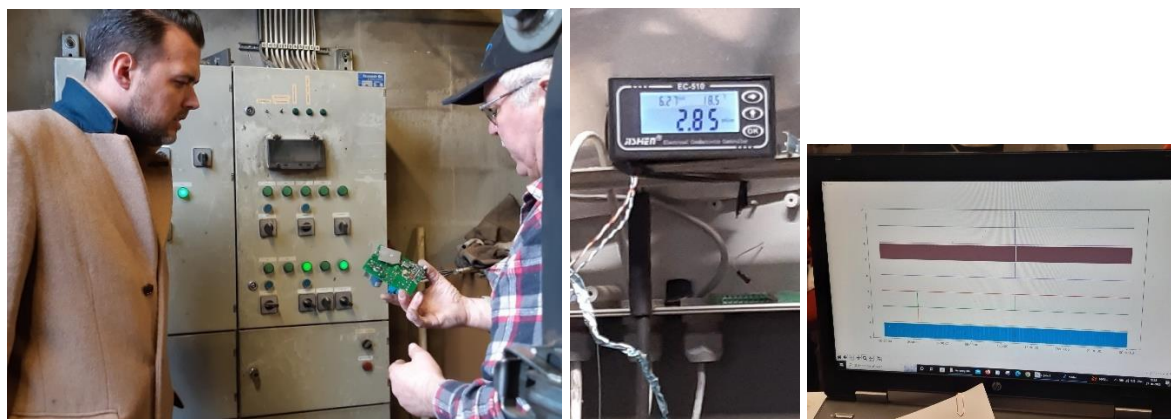
Data-alustan hyödyntäminen edellyttää kuitenkin uuden oppimista, kiinnostusta eri muuttujien merkitykseen ja – kuten lehtien lämpötilan alenemisen seuraukset mahlavirtaukselle osoittivat – myös säätöjen fokuksen siirtämistä niihin syihin, jotka määräävät kasvien vesi- ja energiatalouden ja yhteyttämisen välistä tasapainoa kussakin kasvihuoneessa. Perinteisesti on keskitytty säätämään olosuhteita vaikuttamalla seurauksiin kuten lämpötilaan ja ilmentösteuteen ja CO<sub>2</sub>-pitoisuuteen. Syihin vaikuttaminen edellyttää uutta ymmärrystä syy- seuraussuhteista, mutta myös uusia mahdollisuuksia vaikuttaa syihin tarvitaan.

Pylot tuotti Vännistä haastattelemella nettisivuilleen [referenssiartikkelin](#) data-alustan käytössä Digitomkku-hankkeessa.

#### 7.4.5. Ylikastelun mittauslaitteisto paprikaviljelmällä

Paprikan viljelijä hankki ensin halpoja antureita ja verkkoratkaisuja Kiinasta, mutta hankitut sensorit eivät osoittautuneet käyttökelpoisiksi sellaisinaan, vaan niitä varten tarvittiin datansiirtomahdollisuus. Hän keskitti sitten voimavaransa vain kastelun tarkentamiseen (kuva 31). Tavoitteena oli saada ylikasteluveden määrän mittauksessa tarvittavat pumput toimimaan kasvihuoneen eri kasteluryhmissä ja data kulkemaan tietokoneeseen havainnoitavaksi päätöksentekoa varten. Kokeilujen ja yritysten ja erehdysten kautta pumput saatiin vihdoon toimimaan, joskin pumppujen ongelmana on hiekka, jota niihin ajan mittaan kertyy ja häiritsee pumppujen toimintaa. Paprikariveissä oli aikaisemmin vain tensiometrit, joiden perusteella kasteluja ajoitettiin. Ylikasteluveden määrä verrattuna

annetun veden määrään näyttää, paljonko kasvit oikeasti vettä käyttävät (haihduttaminen ja biomassa) ja paljonko päätyy kasvihuoneesta pois.



Kuva 31. Paprikan viljelijä Hans Granborg selostaa itse suunnittelemaansa lämpökeskuksen ratkaisuja 2Grow:n Wouter de Bruyckerille, joka kollegoineen tutustui Digitomkun testiviljelmiin maaliskuussa 2022. Keskellä kasvualueen EC:n seurannan näyttö. Oikealla näkymä tietokoneen ruudulta, jossa pystyviivat osoittavat kastelun alkamisajankohtia kussakin kasteluyksikössä paprikahuoneessa.

## 7.5 TULOSTEN VAIKUTUKSET

Lasso-ohjelmalla tuotettuja brixin ennustemalleja voidaan hyödyntää tomaatin laatua koskevilla tutkimuksilla, joissa malleja täytyy validoida ja niiden muuttujia ja parametrejä tarkentaa. Tarkennettuja malleja voidaan käyttää sopivaan ohjelma-alustaan liitettynä ennustamaan kypsymässä olevien tomaattien sokeripitoisuutta kasvihuoneesta kerätyn datan avulla. Periaatteessa tomaatteihin kehittymässä oleviin tomaatteihin voisi liittää ennusteiden mukaisia laatuominaisuuksia, joiden avulla myyntiä voisi ajatella jopa suunnattavan asiakkaille, jotka arvostavat hyvänmakuisia tomaatteja. Nykyisessä muodossaan mallit eivät vielä tällaiseen ennustamiseen sovellu, mutta osoitimme, että suhteellisen karkeillakin mittauksilla Digitomkussa saatiin esille tekijöitä, jotka selittävät tomaatin sokeripitoisuutta. Tulevaisuudessa voi olla mahdollista seurata ja ennustaa tomaattien sokeripitoisuuden kehittymistä ja ohjata kasvien kasvua siihen suuntaan, että saavutetaan tietty sensorisen laadun taso. Tällöin on oltava käytössä myös nopea menetelmä sokeripitoisuuden mittaamiseen suoraan kasveissa olevista hedelmistä, ja tätä tavoitetta ajatellen hankkeessa kehitettiin kalibrointimallit NIR-sensorille.

NIR-sensorille tuotetut kalibrointimallit mahdollistavat hankkeessa hankitun sensorin käyttämisen jatkotutkimuksissa, joissa halutaan seurata tomaattien sokeripitoisuutta. Hankkeen toimijat ovat jo hakeneet rahoitusta tutkimukseen, jolla halutaan selvittää kaukopunaisen valon vaikutusta tomaattien brix-tasoon pimeimpinä kuukausina.

Hankkeessa koottu tieto viljelijöitä kiinnostavista kysymyksistä (mm. valojen sytyttämisen dynamiikka) on jo siirretty haussa olevaan, Luken koordinoimaksi suunniteltuun hankkeeseen, jolle on haettu jo rahoitusta.

Syksyllä alkoi EU-hanke Quanti-Farm (<https://quantifarm.eu>), jossa tutkitaan digitaalisten ratkaisujen arvoa alkutuottajille. Digitomkun testipetiviljelijät suostuivat olemaan mukana QuantiFarmissakin testiviljelminä. QuantiFarm-hankkeessa digitaalisten välineiden viljelijähyötyjä yritetään myös kvantifioida eli muuttaa rahaksi, mitä ei Digitomkussa voitu tehdä. Viljelijällä täytyy olla mahdollisuus harkita digiprofiiliaan kunnolla ennen hankintoja ja tätäkin varten QuantiFarm tuottaa tietoa, jonka osaksi Digitomkussa saadut kokemukset siirtyvät.

QuantiFarm-hankkeen kanssa tehtiin podcast (tulee saataville [Agrihubiin syksyn 2022 aikana](#)). Podcastissa avataan EU:ssa tekeillä olevien datasäädöksen, datanhallintasäädöksen ja datamarkkinasäädöksen sisältöä yleistajuisesti: mitä ne tarkoittavat alkutuottajan kannalta, joka tuottaa monien muiden toimijoiden havittelemaa dataa, jonka lisäarvon ko. muut toimijat aikanaan palauttavat alkutuottajalle uusien ja parempien sovellusten muodossa. Reilun datan käytön tulee koitua myös alkutuottajan hyödyksi ja siihen em. säädökset tähtäävät.

Verkostoituminen useiden anturitoimittajien kanssa johti hankkeen aikana mm. siihen, että eräs isohko salaattiviljelmä hankki käyttöönsä fotosynteesin tehokkuutta mittaavan klipsisanturin. Kokeilevat pioneerit ovat tärkeitä uusien menetelmien leviämisen edistäjiä: muut viljelijät odottavat vertaistietoa nimenomaan kollegoiltaan ennen kuin tekevät päätöksiä uusista hankinnoista, etenkin jos niihin liittyy uuden oppimista, johon kaikki eivät ole yhtä valmiita. Toiveet yksinkertaisista ratkaisuista, jotka suoraan kertovat, mitä kerätyn datan perusteella pitää muuttaa ja säätää uudelleen ovat ymmärrettäviä. Toiveiden toteutumista kohti pääsee kuitenkin vain ymmärtämällä esimerkiksi sitä, ovatko kasvien käyttäytymistä kuvaavat referenssiarvot samanlaisia eri olosuhteissa. Sitä ne eivät välttämättä ole. Nyt kerätty data auttaa mukana olleita yrityksiä kuten 2Growta kehittämään referenssiarvoja Suomen olosuhteisiin.

Viljelijöiden kiinnostus kasvifysiologiaan antureihin ei ole toistaiseksi Suomessa vielä kovin suurta. Edistyksellisimmät yritykset ovat niitä jo hankkineet ominkin päin tai Digitomkun siivittämänä – mm ohjausryhmässä ollut yksi tomaattien tuottaja teki niin. Suomen kasvihuoneyritysten koot asettavat rajoituksia antureiden käytölle, koska niihin investoitu raha ja aika täytyisi saada takaisin joko rahassa tai parantuneena viljelyvarmuutena. Noin hehtaarin koko katsottiin Digitomkussa kokeiltujen laitteiden osalta olevan raja-arvo, jonka suuruisten kannattaa antureihin panostaa.

Puheohjattu Noptera-sovellus manuaalisesti kerätyn datan dokumentointiin tuli hankkeen tiedotuksen ansiosta tutkimuslaitostenkin tietoon ja otettiin käyttöön Luonnonvarakeskuksessa kenttäkokeista kerätyn datan dokumentointiin. Toinen

testiviljelmistä käytti sitä myös koko hankkeen ajan. Nopteran käyttö maksaa jonkin verran per kuukausi, joten sen käytöstä saatavien hyötyjen pitää olla viljelijälle selvät.

Paprikaviljelijän ratkaisu täsmäkastelun kehittämisestä hyödyttää myös Pohjanmaan kasvihuoneklusterissa käynnissä olevaa Vattre-hanketta (<https://vakra.fi/vattre>), jolla edistetään kasteluveden kierrätysratkaisujen käyttöönottoa alueella. Paprikaviljelijän esimerkki osoittaa, että myös pienet viljelmät voivat kehittää ratkaisuja, jotka edistävät sekä kasvin tuotantoa että säästävät tuotantopanoksia ja vähentävät niiden päätymistä ympäristöön.

Digitomkun tavoitteissa mainittu nettipohjainen yhteinen oppimisalusta toteutui hankkeessa Pylot-data-alustan muodossa. Se mahdollisti innovaatioryhmän kokouksissa testiviljelmien datojen tarkastelun ja alusta toimi yhteisen oppimisen välineenä. On kuitenkin selvää, että viljelijät eivät halua jakaa tuotantoaan koskevaa dataa kenen kanssa tahansa. He voivat jakaa sitä esimerkiksi neuvojien kanssa voidakseen neuvotella heidän kanssaan tuotannon ohjauksesta. Vertaisoppiminen on myös tärkeää, joten viljelijät saattavat haluta jakaa dataansa myös toisten viljelijöiden kanssa. Data-alustoissa voidaan määritellä, kenellä on pääsy datoihin ja millaisilla oikeuksilla. Digitomkku demonstroi, mitä tällainen jakamismahdollisuus kasvihuoneyritykseltä edellyttää: data-alustan hankkimista palveluna ja eri datalähteiden intergroimista siihen niin että data siirtyy automaattisesti viljelijän tietokoneesta data-alustaan.

Datajohdetun viljelyn keskeisiä termejä on koottu liitteeseen 2 IoT-ratkaisuista kiinnostuneille viljelijöille, neuvoille ja opiskelijoille.

Mahlavirtausdataa (g vettä/h kasvin läpi) voidaan hyödyntää jatkossa myös arvioitaessa karkeasti, paljonko kasvien läpi virtaa vettä päivässä, viikossa tai koko kasvujakson kuluessa. Mahlavirtaus mittaamalla todennetaan se vesimäärä, joka kuluu haihdutukseen ja jää hedelmiin ja vihreisiin kasvinosiin. Alankomaissa on arvioitu, minkä osuuden tomaattikasvi käyttää haihduttamiseen, mikä osuus menee hedelmiin ja vihreisiin osiin ja paljonko päätyy ympäristöön ylikasteluvesien mukana tai menee uudelleenkiertoon (van Tuyll et al., 2022). Tiedossa on nyt kahdelta viljelmältä haihdutukseen ja kasveihin jäävän veden määrät sekä samanaikaisesti kerätyn viikkosadon määrät. Näitä dataa voidaan käyttää lähtökohtana estimoitaessa esimerkiksi ylikasteluvesien absoluuttisia määriä tomaattiviljelmiltä per tuotettu tomaattikilo. Estimointeja tehtäessä voidaan tutkia, miten ylikasteluprosentin vaihtelu vaikuttaa vesi- ja ravinnepäästöihin, kun tunnetaan myös tomaattien samaa lannoiteliuoksen koostumus viljelyn eri vaiheissa. Mahlavirtausdatan tarkkuutta voidaan arvioida vertaamalla sitä viljelijöiden muiden digitaalisten järjestelmien dokumentoimaan datan kasteluveden määristä.



## 8 VIITTEET

- Alwis, S. D., Zhang, Y., Na, M., & Li, G. (2019). Duo attention with deep learning on tomato yield prediction and factor interpretation. In Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence (pp. 704-715). Springer, Cham.
- Eriksson, Taina; Halla, Hilka; Jokinen, Kari; Jokinen, Leena; Kalliomäki, Helka; Karhu, Salla; Koivisto, Anu; Koponen, Aki; Mattila, Tiina; Saarimaa, Riikka; Suojala-Ahlfors, Terhi; Särkkä, Liisa; Varho, Vilja (2018). Elinvoimaa puutarhasektorin uudistumiseen ja kasvuun : Voimakas-hankkeen (2015–2017) tulokset, johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 5/2018.
- Beckles, D. M., Hong, N., Stamova, L., & Luengwilai, K. (2012). Biochemical factors contributing to tomato fruit sugar content: a review. *Fruits*, 67(1), 49-64.
- Bertin, N., Guichard, S., Leonardi, C., Longuenesse, J.-J., Langlois, Y., Navez, B. (2000). Seasonal evolution of quality of fresh glasshouse tomatoes under Mediterranean conditions, as affected by air vapour pressure deficit and plant fruit load, *Ann. Bot.* 85: 741–750.
- Blanc, D. (1986). The influence of cultural practises on the quality of the production in protected cultivation with special references to tomato production, *Acta Hort.* 191: 85–98.
- Chen, J., Kang, S., Du, T., Guo, P., Qiu, R., Chen, R., & Gu, F. (2014). Modeling relations of tomato yield and fruit quality with water deficit at different growth stages under greenhouse condition. *Agricultural Water Management*, 146, 131-148.
- Chitwood, D. H., Ranjan, A., Kumar, R., Ichihashi, Y., Zumstein, K., Headland, L. R., Ostria-Gallardo, E., Aguilar-Martinez, J. A., Bush, S., Carriedo, L. et al. 2014. Resolving distinct genetic regulators of tomato leaf shape within a heteroblastic and ontogenetic context. *Plant Cell* 26: 3616–3629.
- De Swaef, T., Driever, S. M., Van Meulebroek, L., Vanhaecke, L., Marcelis, L. F., & Steppe, K. (2013). Understanding the effect of carbon status on stem diameter variations. *Annals of botany*, 111(1), 31-46.
- De Swaef, T., Verbist, K., Cornelis, W., & Steppe, K. (2012). Tomato sap flow, stem and fruit growth in relation to water availability in rockwool growing medium. *Plant and Soil*, 350(1), 237-252.
- De Swaef, T., & Steppe, K. (2010). Linking stem diameter variations to sap flow, turgor and water potential in tomato. *Functional Plant Biology*, 37(5), 429-438.
- Dorokhov, A.S., Smirnov, A.A., Semenova, N.A., Akimova, S.V., Kachan, S.A., Chilingaryan, N., Glinushkin, A.P., Podkovyrov, I.Y., 2021. The effect of far-red light on the productivity and photosynthetic activity of tomato. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 663, 012044. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/663/1/012044>.
- Dzakovich, M.P., Gómez, C., Ferruzzi, M.G., Mitchell, C.A., (2017). Chemical and Sensory Properties of Greenhouse Tomatoes Remain Unchanged in Response to Red, Blue, and Far Red Supplemental Light from Light-emitting Diodes. *HortScience* 52, 1734–1741. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12469-17>
- Fanwoua, J., Vercambre, G., Buck-Sorlin, G., Dieleman, J.A., de Visser, P., Génard, M., (2019). Supplemental LED lighting affects the dynamics of tomato fruit growth and composition. *Sci. Hortic.* 256, 108571. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108571>
- Hanssens, J. (2015). Decision support for tomato growers based on plant responses, modelling and greenhouse energy consumption (Doctoral dissertation, Ghent University). 251 p.
- Hao, X., Little, C., Zheng, J.M., Cao, R., (2016). Far-red LEDs improve fruit production in greenhouse tomato grown under high-pressure sodium lighting. *Acta Hort.* 95–102.

- Hemming, S., Zwart, F. D., Elings, A., Petropoulou, A., & Righini, I. (2020). Cherry tomato production in intelligent greenhouses—Sensors and AI for control of climate, irrigation, crop yield, and quality. *Sensors*, 20(22), 6430.
- Hemming, S., de Zwart, F., Elings, A., Righini, I., & Petropoulou, A. (2019). Remote control of greenhouse vegetable production with artificial intelligence—greenhouse climate, irrigation, and crop production. *Sensors*, 19(8), 1807.
- Heuvelink, E. (1995). Dry matter partitioning in a tomato plant: one common assimilate pool? *Journal of Experimental Botany*, 46(8), 1025-1033.
- Heuvelink, E., Li, T., Dorais, M. (2018). Crop growth and yield. In: Heuvelink, E. *Tomatoes*, 2<sup>nd</sup> edition, CABI, 103-147.
- Higashide, T., & Heuvelink, E. (2009). Physiological and morphological changes over the past 50 years in yield components in tomato. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 134(4), 460-465.
- Higashide, T. (2022). Review of Dry Matter Production and Growth Modelling to Improve the Yield of Greenhouse Tomatoes. *The Horticulture Journal*, UTD-R019.
- Higashide, T., Yasuba, K. I., Kuroyanagi, T., & Nakano, A. (2015). Decreasing or non-decreasing allocation of dry matter to fruit in Japanese tomato cultivars in spite of the increase in total dry matter of plants by CO<sub>2</sub> elevation and fogging. *The Horticulture Journal*, MI-010.
- Higashide, T. (2013). Greenhouse tomato yield and solar radiation. In: T. Higashide (ed.). *Tomatoes: Cultivation, Varieties and Nutrition*. Nova Science Publishers, New York, p. 3-18.
- Ho, L. C., Grimby, P. (1990). The physiological basis for tomato quality. *Grower* 22: 33–36.
- Jan, N. E., & Kawabata, S. (2011). Relationship between fruit soluble solid content and the sucrose concentration of the phloem sap at different leaf to fruit ratios in tomato. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 80(3), 314-321.
- Ji, Y., Ocaña, D.N., Choe, D., Larsen, D.H., Marcelis, L.F.M., Heuvelink, E., (2020). Far-red radiation stimulates dry mass partitioning to fruits by increasing fruit sink strength in tomato. *New Phytol.* 228, 1914–1925. <https://doi.org/10.1111/nph.16805>
- Ji, Y., Ouzounis, T., Courbier, S., Kaiser, E., Nguyen, P.T., Schouten, H.J., Visser, R.G.F., Pierik, R., Marcelis, L.F.M., Heuvelink, E., (2019). Far-red radiation increases dry mass partitioning to fruits but reduces *Botrytis cinerea* resistance in tomato. *Environ. Exp. Bot.* 168, 103889. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103889>
- Jiang, C., Johkan, M., Hohjo, M., Tsukagoshi, S., Ebihara, M., Nakaminami, A., Maruo, T., (2017). Photosynthesis, plant growth, and fruit production of single-truss tomato improves with supplemental lighting provided from underneath or within the inner canopy. *Sci. Hortic.* 222, 221–229. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.04.026>
- Jones, H.G., (2004). Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *J. Exp. Bot.* 55, 2427–2436.
- Kalaitzoglou, P., van Ieperen, W., Harbinson, J., van der Meer, M., Martinakos, S., Weerheim, K., Nicole, C.C.S., Marcelis, L.F.M., (2019). Effects of Continuous or End-of-Day Far-Red Light on Tomato Plant Growth, Morphology, Light Absorption, and Fruit Production. *Front. Plant Sci.* 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00322>
- Kasimatis, C. N., Psomakelis, E., Katsenios, N., Katsenios, G., Papatheodorou, M., Vlachakis, D., ... & Efthimiadou, A. (2022). Implementation of a decision support system for prediction of the total soluble solids of industrial tomato using machine learning models. *Computers and Electronics in Agriculture*, 193, 106688.

- Kläring, H. P., & Krumbein, A. (2013). The effect of constraining the intensity of solar radiation on the photosynthesis, growth, yield and product quality of tomato. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 199(5), 351-359.
- Leonardi, C., Guichard, S., & Bertin, N. (2000). High vapour pressure deficit influences growth, transpiration and quality of tomato fruit. *Scientia Horticulturae*, 84(3-4), 285-296.
- Li, T., Heuvelink, E. P., & Marcelis, L. F. (2015). Quantifying the source–sink balance and carbohydrate content in three tomato cultivars. *Frontiers in Plant Science*, 6, 416.
- Mamatha, H., Srinivasa Rao, N. K., Laxman, R. H., Shivashankara, K. S., Bhatt, R. M., & Pavithra, K. C. (2014). Impact of elevated CO<sub>2</sub> on growth, physiology, yield, and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) cv. Arka Ashish. *Photosynthetica*, 52(4), 519-528.
- Meng, Z., Duan, A., Chen, D., Dassanayake, K. B., Wang, X., Liu, Z., ... & Gao, S. (2017). Suitable indicators using stem diameter variation-derived indices to monitor the water status of greenhouse tomato plants. *PLoS one*, 12(2), e0171423.
- Mesa, T., Polo, J., Arabia, A., Caselles, V., & Munné-Bosch, S. (2022). Differential physiological response to heat and cold stress of tomato plants and its implication on fruit quality. *Journal of Plant Physiology*, 268, 153581.
- Osorio, S., Ruan, Y. L., & Fernie, A. R. (2014). An update on source-to-sink carbon partitioning in tomato. *Frontiers in plant science*, 5, 516.
- Palmitessa, O.D., Leoni, B., Montesano, F.F., Serio, F., Signore, A., Santamaria, P., (2020). Supplementary Far-Red Light Did Not Affect Tomato Plant Growth or Yield under Mediterranean Greenhouse Conditions. *Agronomy* 10, 1849. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121849>
- Palmujoki, E., (2019). Tekoäly tuli kasvihuoneisiin. *Puutarha&Kauppa* 23(9): 10.
- Pimenta, T. M., Souza, G. A., Brito, F. A., Teixeira, L. S., Arruda, R. S., Henschel, J. M., ... & Ribeiro, D. M. (2022). The impact of elevated CO<sub>2</sub> concentration on fruit size, quality, and mineral nutrient composition in tomato varies with temperature regimen during growing season. *Plant Growth Regulation*, 1-12.
- Rowland, S. D., Zumstein, K., Nakayama, H., Cheng, Z., Flores, A. M., Chitwood, D. H., ... & Sinha, N. R. (2020). Leaf shape is a predictor of fruit quality and cultivar performance in tomato. *New Phytologist*, 226(3), 851-865.
- Shamshiri, R. R., Jones, J. W., Thorp, K. R., Ahmad, D., Man, H. C., & Taheri, S. (2018). Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato: a review. *International Agrophysics*, 32(2), 287-302.
- Tanaka, A., Fujita, K. (1974). Nutrient-physiological studies on the tomato plant. IV. Source-sink relationship and structure of the source-sink unit. *Soil Science and Plant Nutrition* 20, 305-15.
- van Tuyl, A., Boedijn, A., Brunsting, M., Barbagli, T., Blok, C., & Stanghellini, C. (2022). Quantification of material flows: A first step towards integrating tomato greenhouse horticulture into a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 134665.
- Vänninen, I., (2019). Tekoälyllä makua tomaattiin - miten? *Puutarha&Kauppa* 23(9): 11.
- Vänninen, I. & Sunabacka, M. (2021). Lyftkraft för Österbottens växthuskluster genom kundorientering (1.1.2019-15.5.2021) (projekt 84587). Slutrapport 14.9.2021. 53 s. Saatavuus: <https://vakra.fi/wp-content/uploads/Lyftkraft-slutrapport-FARDIG-med-packade-bilder.pdf>
- Windt, C. W., Gerkema, E., Van As, H. (2009). Most water in the tomato truss is imported through the xylem, not the phloem: a nuclear magnetic resonance flow imaging study. *Plant Physiol* 151:830–842.
- Zhang, Ya-ting, Zhang, Yu-qi, Yang, Q., Li, T., (2019). Overhead supplemental far-red light stimulates tomato growth under intra-canopy lighting with LEDs. *J. Integr. Agric.* 18, 62–69. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62130-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62130-6)

## 9 LIITE 1. ESIMERKKEJÄ PHYTOSENSEN MAHLA-VIRTAUS- JA DENDROMETRI-ANTUREILLA KERÄTYSTÄ DATASTA JA SEN TULKINNASTA

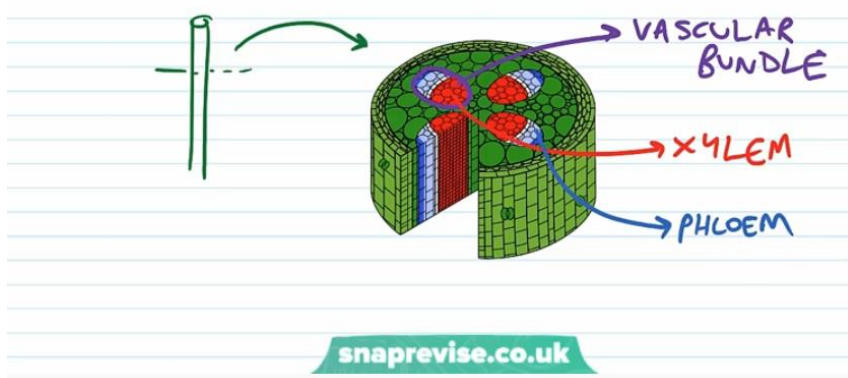
Mahlavirtaus-anturin (kuva 1) periaate on, että vartta vasten oleva termoelementti lämmittää varren sisällä kulkevaa vettä ja termoelementin ala- ja yläpuoliset anturit mittaavat varressa kulkevan veden määrän perustuen sen lämpötilaeroon ennen ja jälkeen termoelementtiä. Folio on ulommainen kerros, joka suojaa termoelementtiä ympäristön lämpötilan vaikutuksilta. Dendrometrissä on herkkä jousi, joka reagoi varren paksuuden pieniinkin muutoksiin.



Kuva 1. Mahlavirtausanturi (oik.) ja dendrometri (vas.) asennettuna tomaatin varteen.

Tomaatin varressa ksyleemi- ja nilasolut ovat vieretysten (kuva 2). Ksyleemi kuljettaa vettä kasvissa juurista ylöspäin. Nilassa kulkevat yhteyttämistuotteet veden mukana sekä ylöspäin että alaspäin riippuen siitä, mitä kasvin elimiä kukin yhteyttävä lehti ruokkii. Nesteen siirtyminen ksyleemi- ja nilasolujen välillä sivusuunnassa on mahdollista osmoottisten voimien ansiosta. Kun sokereiden määrä nilasoluissa kasvaa suuremmaksi, laimeampaa nestettä sisältävistä ksyleemisoluista siirtyy nilasoluihin vettä. Varren paksuusvaihtelut johtuvat ennen kaikkea ksyleemissä virtaavan veden määrän vaihtelusta, joka näkyy Phytosense-datassa lähes välittömästi.

- The **phloem transports sugars** and **assimilates**



Kuva 2. Ksyleemisolut (xylem) ja nilasolut (phloem) ovat tomaatin varressa vieretysten toisissaan kiinni. Kuvan lähde: <https://youtu.be/srKLATk0zOM>

Varren paksuus eli käytännössä nestejännitys reagoi normaalitilanteessa ksyleemissä virtaavan vesimäärän vaihteluun heti. Mahlavirtauksen määrä ja varren paksuus ovat toistensa peilikuvia silloin, kun kasvin vesitalous on kunnossa ja vettä on kasvialustassa riittävästi kasvin tarpeisiin (kuva 3). Kun kasvilla on päiväsaikaan hyvä työstressi, sen varsi hoikkenee. Haihduttamisen ollessa voimakasta vettä ei kerry varsisolukoihin varastoon, vaan se virtaa kohti latvaa. Yöllä kasvit eivät haihduta, joten varren vesivarastot täyttyvät eli kasvi palautuu päivän työstä. Työstressi ei tarkoita negatiivista asiaa, vaan hyvätasoinen työstressi kertoo, että kasvi tekee sen mitä sen odotetaan tekevän sadon tuottamiseksi.

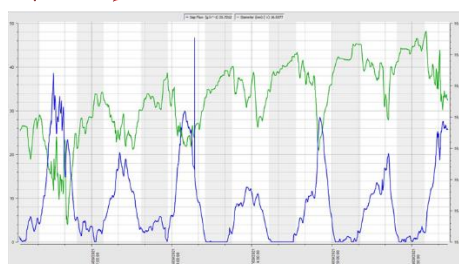
Haihtumisimu nostaa vesimolekyylit koheesion avulla ylös ksyleemisoluissa: valo, lämpö, ilmankosteus, tuuli...

- Kun kasvialustassa on vettä riittävästi, mahlavirtaus ja varren paksuus ovat toistensa peilikuvia: vesi virtaa ksyleemissä kasvin läpi eikä päädy varren soluihin varastoon. Hyvä työstressi kasvilla!
- Kun haihtuminen vähenee → tomaatin varsi paksunee. Miksi? Juuret eivät pysty heti reagoimaan lehtien vähentyneeseen veden tarpeeseen fyysisistä syistä (lehtien ja juurten välinen hydraulinen vastus). Vedentulo juuristosta jatkuu vielä hetken entisellään. Vettä varastoituu varren solukoihin → varsi paksunee.
- Jos varsi ei välittömästi paksune haihtumisen vähetessä? Kasvialustassa on liian niukasti vettä kasvien tarpeisiin nähden. Varsi paksuuntuu viiveellä. Vesistressi!

Juuripaine (osmoosi) nostaa vettä ylös ksyleemiin juurisolujen puoliläpäisevän kalvon läpi: kasvialustan pitoisuus ja EC.



Lehtien tuottama sukroosi siirtyy lehtisoluihin ja varren nilasoluihin ja niiden kautta hedelmiin ja juuriin, joita lehdet ruokkivat. Nilan siiviläsoluissa yhteyttämistuotteita kulkee sekä ylös- että alaspäin.



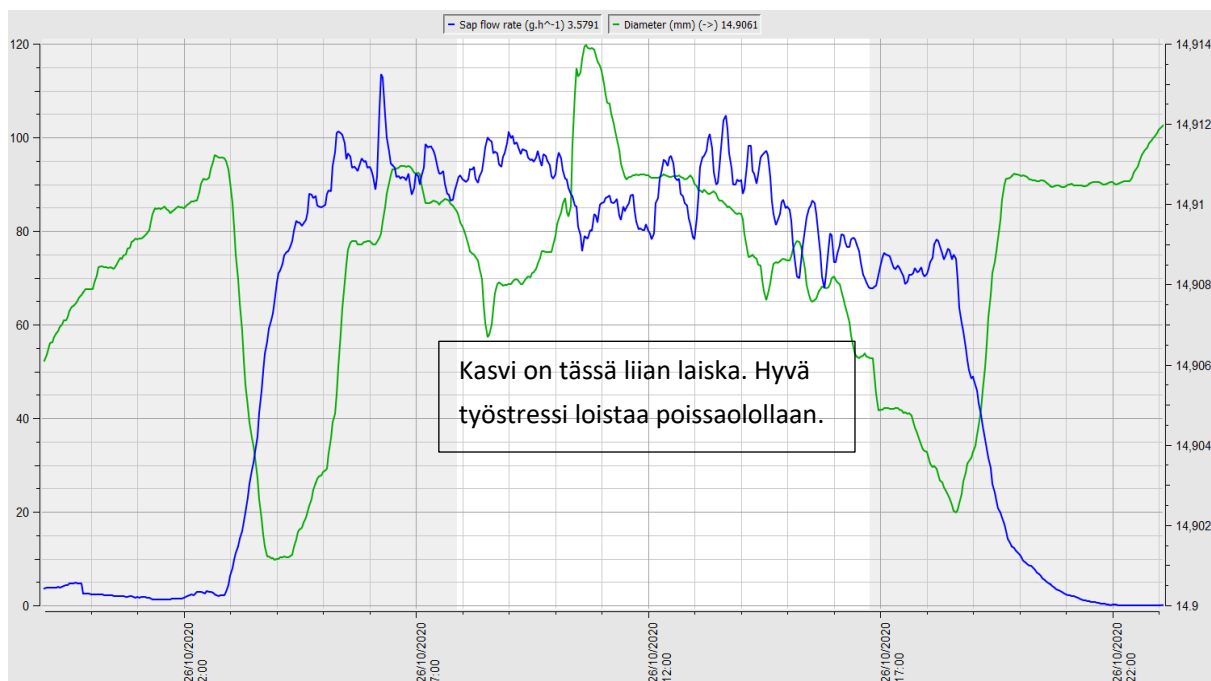
Mahlavirtaus ja varren paksuus toistensa peilikuvia, kun haihtuminen normaalia ja vettä kasvialustassa tarpeeksi

Kun lehdistä siirtyy sukroosia nilaan, nilanesteestä tulee väkevämpää kuin ksyleeminesteestä. Vettä siirtyy silloin osmoottisesti sivusuunnassa ksyleemisoluista nilan siiviläsoluihin. Tällöinkin varsi paksunee. Tätä paksuuntumista ei pysty suoraan erottamaan ksyleemisoluissa olevan veden aikaansaamasta paksuusvaihtelusta, vaan se saadaan esiin mallintamalla.

Kuva 3. Tiivistelmä veden liikkeistä tomaattikasveissa ja vaikutuksista varren paksuuteen. Veden kulku tomaatin ksyleemisoluissa juurista latvaan (turkoosi pitkä nuoli) ja nilasoluissa kahteen suuntaan (punainen pitkä nuoli ja sen "sivuhaarot"). Mahlavirtausanturi mittaa turkoosia veden virtausta. Kun sokereiden määrä nilasoluissa kasvaa kasvin ladatessa niitä lehdistä nilaan kuljetettaviksi muihin kasvin osiin, siitäkin aiheutuu vaihtelua varren paksuudessa. Ksyleemisoluista siirtyä vettä väkevyydeltään suurempiin nilasoluihin osmoosin ansiosta.

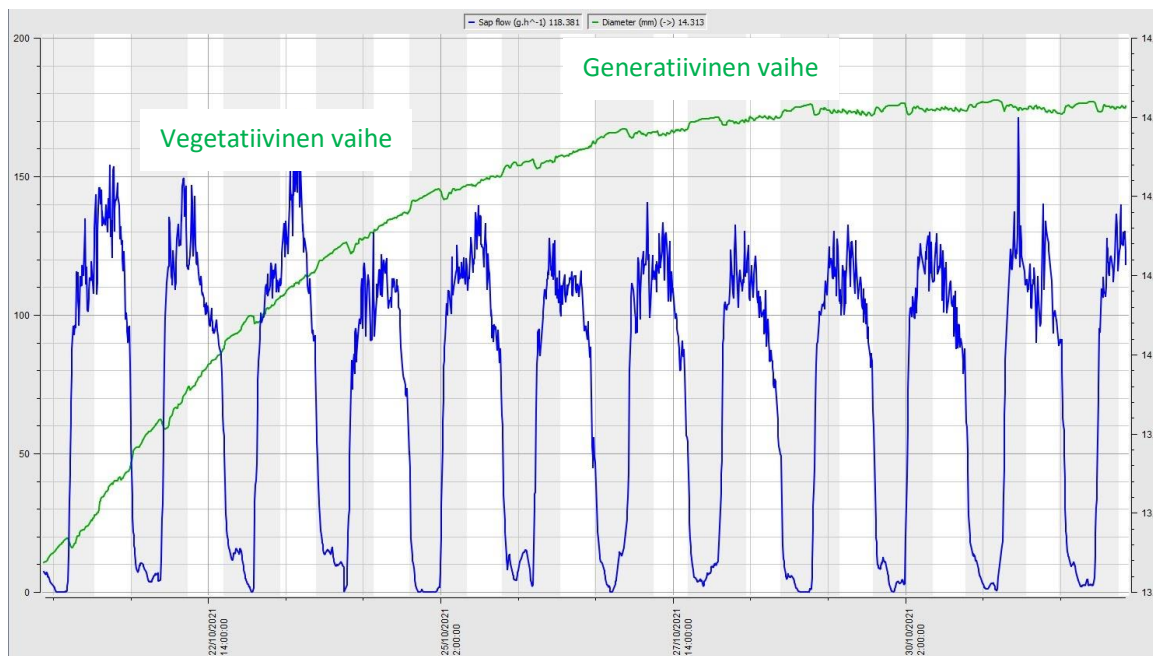
Jos varsi ei ohene mahlavirtauksen kasvaessa päivällä, jotain on pielessä. Kasvi on liian laiska suhteessa siihen, mitä siltä odotetaan (kuva 4). Se, mitä varren paksuudelle tapahtuu, kun mahlavirtauksen määrä muuttuu, kertoo kasvin vedensaannin mahdollisuuksista eli vesistressin tasosta (tässä stressillä on negatiivinen merkitys). Kun mahlavirtaus eli siis haihduttaminen vähenee, nestejännitys ksyleemisoluissa suurenee heti eli varsi paksunee. Näin käy siksi, että juuristosta tulee jonkin aikaa vettä entiseen tapaan fyysikaalisista syistä eli sitä tulee enemmän kuin kasvi pystyy haihduttamaan. Ylimääräinen vesi varastoituu silloin varren soluihin ja varsi paksunee.

Jos taas varsi ei paksune heti haihdutuksen vähetessä kertoo se, että kasvualustassa ei ole tarpeeksi vettä kasvin tarpeisiin. Varren varastosolut eivät täyty heti, vaan vasta viiveellä. Tämä "anomalia" kertoo, että kasvi kärsii vesistressistä, vaikka se ei vielä näykään kasvien nuutumisenä (kuva 4 yllä). Phytosense-datasta voi siis nähdä asioita, jotka ovat ihmissilmälle näkymättömiä.



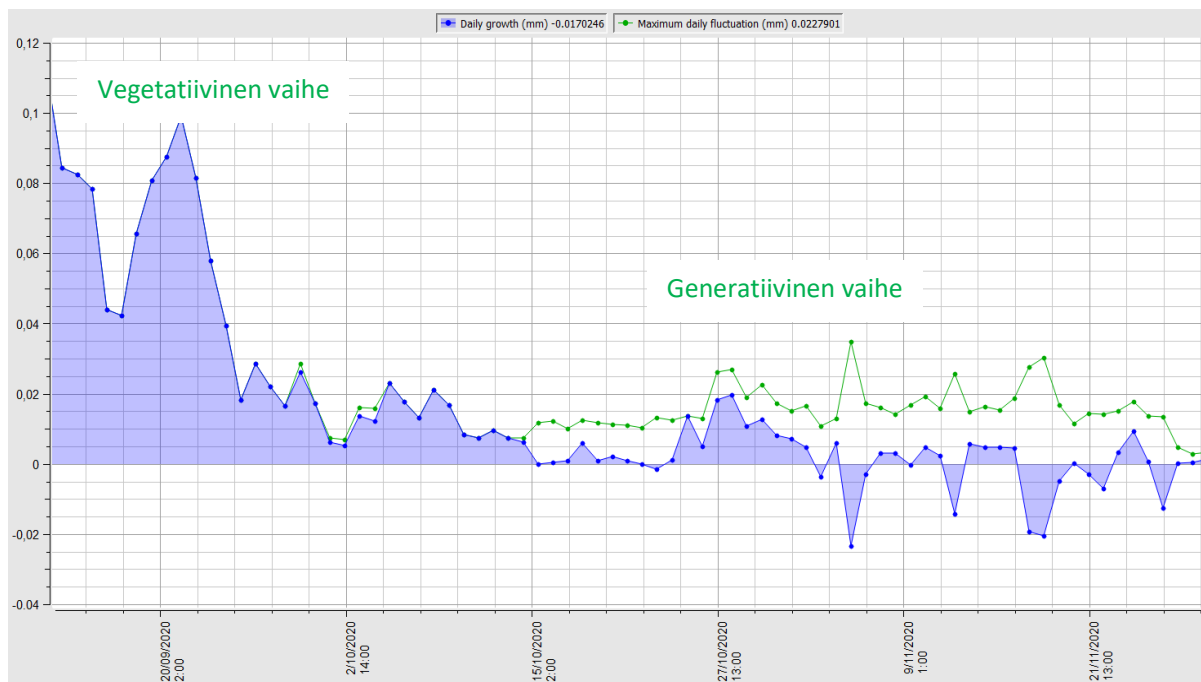
Kuva 4. Tomaatin varren paksuus ei tässä kuvassa ole mahlavirtauksen peilikuva. Keskipäivän jälkeen (kuvan keskiosassa) varren paksuus seuraili mahlavirtauksen määrää eikä suurentunut mahlavirtauksen pienetessä. Kasvualustassa ei todennäköisesti ollut aivan tarpeeksi vettä suhteessa kasvin tarpeisiin.

Nestejännityksestä johtuva paksuusvaihtelun lisäksi varren paksuus muuttuu myös sen kasvaessa vegetatiivisessa vaiheessa. Kun tomaatti alkaa kantaa satoa, sen varsi tyven lähellä ei enää paksune varsinaisen radiaalikasvun takia, paksuus ainoastaan vaihtelee nestejännityksen vaihtelun myötä (kuva 5).



Kuva 5. Dendrometri mittaa tomaatin varren paksuskasvua vegetatiivisessa vaiheessa, kun kasvissa ei vielä ole hedelmiä. Kun kasvi alkaa tuottaa satoa (generatiivinen vaihe), varren paksuus saavuttaa tasannevaiheen ja datassa näkyy vain nestejännityksen vaihtelusta aiheutuvia pientä heittelyä. Data lokakuun loppupuolelta marraskuun alkupuolelle. Mitä tasaisempi vihreä viiva on generatiivisessa vaiheessa, sitä parempi sadontuotolle.

Varren päivittäisen paksuuden suurimman ja pienimmän arvon erotus kertoo kunkin päivän maksimivaihtelun varren paksuudessa (vihreä viiva kuvassa 6). Kun erotus on vähintään 0,04, kasvi ahkeroi niin kuin sen kuuluukin, mikä näkyy päiväsaikaan varren ohenemisena. Kertoimen ollessa pienempi kuin 0,04 kasvi on "laiskuustilassa" ja tuottaa enemmän vihreää biomassaa kuin satsaa hedelmien tuotantoon. Talvisaikaan kasvien työstressin tason havaittiin Phytosense-datan perusteella olevan usein liian heikkoa.



Kuva 6. Päivittäinen kasvu vegetatiivisessa vaiheessa (korkeat siniset ”vuoret” vasemmalla) on generatiivisessa vaiheessa (oikealla) muuttunut 0-akselin molemminpuoliseksi vaihteluksi, kun varsinaista paksuskasvua ei enää tapahdu. Vihreä viiva kuvaa varren paksuusvaihtelun minimin ja maksimin erotusta. Hyvää työtä tekeville kasveille sen tulisi olla vähintään 0,04.

Veden siirtyminen ksyleemistä nilasoluihin osmoottisesti suurentaa myös varren paksuutta, mutta sitä ei nykyisellään pysty erottamaan ksyleemisolujen nestejännityksestä. Nilaan kulkeutuu vettä ksyleemistä sivusuunnassa silloin, kun kasvi lataa lehdistä sokereita nilaan kuljetettavaksi hedelmiin ja juuriin. Nilaneste väkevoityy sokereista ja laimeampaa nestettä sisältävistä ksyleemisoluista siirtyy osmoosin takia vettä nilasoluihin. Hedelmäkuorman suuruus vaikuttaa siihen, miten paljon kasvi ”lataa” sokereita lehdistä nilaan ja edelleen hedelmiin.

Nilan sokeripitoisuuden kasvusta ja vähenemisestä johtuvat muutokset varren paksuudessa ovat hitaampia kuin ksyleemissä liikkuvasta vedestä johtuvat. Tomaatin lehdet pyrkivät tasapainoon hiilihydraattien tuotannossa ja käytössä: jos yhteyttäminen vähenee myös hiilihydraattituotteiden siirtyminen nilaan ja edelleen hedelmiin vähenee. Olosuhteiden muuttuessa kasvit tarvitsevat 2-10 päivää aikaa sopeuttaakseen toimintansa niihin. Tämä koskee myös hiilihydraattien siirtämistä lehdistä hedelmiin niin että kasvi saavuttaa uuden tasapainon niiden tuotannossa ja kulutuksessa. Sopeutumisaikana kasvi hyödyntää lehteen varastoituneita hiilivarantoja eikä pelkästään senhetkistä hiilihydraattien tuotantomäärää. Nilan sokeripitoisuus ei siksi vähene heti rajusti, vaan lehtiin kertyneet hiilivarannot loiventavat muutosta.

Mahlavirtauksen mittausta termoelementin sisältävän anturin avulla selitetään lyhyesti täällä: <https://www.youtube.com/watch?v=luLweCEliZY>



Sukroosin massakuljetusta lehdistä hedelmiin ja juuriin selitetään oivasti näissä youtbue-videoissa:

<https://www.youtube.com/watch?v=vXMKoCBuBSU>

<https://youtu.be/srKLATk0zOM>

## 8. LIITE 2. KESKEISIÄ TERMEJÄ ANTUREIHIIN JA DATAJOHDETTUUN TUOTANTOON LIITTYEN

Suomi	Ruotsi	Englanti
algoritmi	algoritm	algorhitm
analytiikka, ennustava analytiikka	analytik, prognostisk analytik	analytics, predicting analytics
anturi, sensori	givare, sensor	sensor
arkkitehtuuri	arkitektur	architecture
data-alusta: ohjelma, jonka avulla kerätään yhteen paikkaan kaikki haluttu data kasvihuoneesta. Esimerkkejä: Pylot, LetsGrow, 30Mhz.	data plattform: ett program för att samla in alla data från växthus. Exempel: Pylot, LetsGrow, 30Mhz.	data platform: a program for collecting all data from a greenhouse to one place. Examples: Pylot, LetsGrow, 30 Mhz.
dataintegraatio	data integration	data integration
datankeruu	datainsamling	collection of data
datajohdettu viljely	datastyrd odling	data-driven cropping, data-driven farming
dendrometri	dendrometer	dendrometer
digitaalihaksonen	digital tvilling	digital twin
energiatasapaino (kasvihuoneessa)	energibalans (i växthus)	energy balance (in the greenhouse)
esineiden internet (IoT)	sakernas internet	Internet of Things (IoT)
fluoresenssi: klorofyllimolekyylin palautuminen fotonin virittämästä tilasta perustilaan siten, että molekyyli emittoi jotain toista aallonpituutta olevan fotonin.	fluorescens: : återgången av klorofyllmolekylen från det fotonexciterade tillståndet till grundtillståndet så att molekylen avger en foton med en annan våglängd.	fluorescence: : the return of the chlorophyll molecule from the photon-excited state to the ground state so that the molecule emits a photon of a different wavelength.
fluorometri (laite, jolla klorofyllin fluoresenssi voidaan mitata)	fluorometer	fluorometer
fotokemiallinen sammutus: virittyneiden klorofyllimolekyylin paluu perustilaan siten, että molekyylin absorboima foton siirtyy ensin klorofyllimolekyylilta toiselle ja päättyy viimein fotosysteemiin, jossa sen energia mahdollistaa yhteyttämisen biokemialliset reaktiot.	fotokemisk släckning: återgången av de exciterade klorofyllmoleky-lerna till grundtillståndet, så att fotonen som absorberas av molekylen först överförs från en klorofyllmolekyl till en annan och slutligen hamnar i fotosystemet, där dess energi möjliggör biokemiska reaktioner av fotosyn-tesen.	Photochemical quenching: the return of the excited chlorophyll molecules to the ground state, whereby the photon absorbed by the molecule is first transferred from one chlorophyll molecule to another and finally ends up in the photosystem, where its energy enables biochemical reactions of photosynthesis.
generatiivinen kasvu	generativ tillväxt	generative growth
hermoverkkolaskenta	neuronnät kalkyl	neural network computing
höyrynpaine-ero	ångtrycksskillnad	Vapour Pressure Difference

höyrypaineen vaje	Ångtrycksunderskott (ångtrycks-deficit)	Vapour Pressure Deficit (VPD)
ilmarako	klyvöppning	stoma (pl. stomata)
influenssi, vaikutin: kasvihuone-ilmaston osatekijöiden, esim. CO <sub>2</sub> -pitoisuuden (=output) säätely niin, että huomioidaan useiden tekijöiden yhteisvaikutus ko. osatekijään vaikutettaessa. Esim. CO <sub>2</sub> :n annon lopettamisessa voidaan huomioida ulkosäteily ja sisälämpötila määritettäessä sitä tuuletusluukkujen avautumiskulmaa, jossa CO <sub>2</sub> :n anto loppuu. Kyseessä on MISO-kontrolleri (Multiple-Input-Single-Output), jolloin se luukkujen avautumiskulma, jossa CO <sub>2</sub> :n anto loppuu, vaihtelee olosuhteiden mukaan.	influen, effekt: reglering av komponenter av växthusklimatet, t ex CO <sub>2</sub> -koncentrationen (=output) så att effekten av flera faktorer beaktas samtidigt när komponenten påverkas. Till exempel, vid bestämning av den öppningsvinkeln av luckorna där tillförseln av CO <sub>2</sub> avslutas beaktas effekten av extern strålning och intern temperatur (=input). Det är fråga om MISO-kontroller (Multiple-Input-Single-Output), i vilket fall öppningsvinkeln för avslutning av CO <sub>2</sub> -tillförseln varierar dynamiskt i stället för att vara konstant.	influence: regulation of components of the greenhouse climate, e.g. the CO <sub>2</sub> concentration (=output) so that the effect of several factors is taken into account at the same time when the component is affected. For example, when determining the opening angle of the vents where the application of CO <sub>2</sub> to the greenhouse stops, the effect of external radiation and internal temperature (=inputs) are taken into account simultaneously. These are MISO (Multiple-Input-Single-Output) controls, in which case the opening angle of vents where application of CO <sub>2</sub> stops varies dynamically instead of being constant.
infrapunaradiometri	infrarödradiometer	infrared radiometer
iso data, massadata	massdata, Big Data	Big Data, mass data
kaasunjohtavuuskyky	gasledningsförmåga	
kasvifysiologia	växtfysiologi	plant physiology
kasvimittaus	plantregistrering	crop registration
kasvin stressi	växtstress	plant stress
klorofyllin fluoresenssi	fluoresens av klorofyl	chlorophyll fluorescence
klorofyllin fluoresenssikiinetiikka: osa klorofyllimolekyylien absorboimasta valoenergiasta "vuotaa" takaisin ulos fluoresenssina (eli toisina aallonpituuksina kuin absorboitu fotoni). Kun seurataan fluoresenssia ajassa eli mitä aallonpituuksia elektroninsiirtoketjusta "vuotaa" ulos, saadaan käsitys siitä, miten hyvin elektroninsiirtoketju toimii suhteessa sen maksimaaliseen suorituskykyyn. Tulos kertoo kasvin stressitasosta.	fluorescens kinetik av klorofyll: en del av ljusenergin som absorberas av klorofyllmolekylerna "läcker" tillbaka ut som fluorescens (d.v.s. som andra våglängder än den absorberade fotonen). När man följer fluorescensen över tid, dvs vilka våglängder som "läcker" ut ur elektrontransportkedjan får man en uppfattning om hur väl elektrontransportkedjan fungerar i förhållande till dess maximala prestanda. Resultatet indikerar växtens stressnivå.	chlorophyll fluorescence kinetics: part of the light energy absorbed by the chlorophyll molecules "leaks" back out as fluorescence (i.e. as different wavelengths than the absorbed photon). When you follow the fluorescence over time, i.e. which wavelengths "leak" out of the electron transport chain, you get an idea of how well the electron transport chain works in relation to its maximum performance. The result indicates the stress level of the plant.
koneoppiminen: data-analyysimenetelmä, joka tuottaa automatisoidusti dataan perustuvia malleja. Tekoälyn haara, jossa järjestelmät oppivat datasta, tunnistavat siitä säännönmukaisuuksia ja tuottavat päätöksentekotietoa ilman ihmisen apua.	maskininärläring: : en dataanalysmetod som automatiskt genererar databaserade modeller. En gren av artificiell intelligens där system lär sig av data, känner igen regelbundenheter i den och producerar beslutsfattande information utan mänsklig hjälp.	machine learning: : a data analysis method that automatically generates data-based models. A branch of artificial intelligence where systems learn from data, recognize regularities in it and produce decision-making information without human help.
kosteustasapaino (kasvihuoneessa)	fuktbalans (i växthus)	water balance, humidity balance (in the greenhouse)

langaton	trådlös	wireless
loggeri (datan keruuta varten antureista välitettäväksi eteenpäin datatietokantaan tietokoneessa tai pilvipalvelussa)	loggare (för datainsamling från givare så att data kan överföras vidare till datoren eller molntjänst)	logger (for data collection so that it can be sent further to the computer or cloud service)
lähi-infrapunasensori (NIR-sensori)	närinfraröd givare	Near Infrared Sensor (NIR)
lämpöhävikkielementti (mm. mahan virtaukseen suoraan kasveista)	värmeavledande element	thermal dissipation element
mahan virtausnopeus	savflödes hastighet	sap velocity
mahlavirtaus	savflöde	sap flow
neuroverkko: biologian innoittama ohjelmointitapa, jonka avulla tietokoneohjelma oppii havaintodatasta niin ettei ohjelmalle tarvitse syöttää valmiina kaikkien datojen välisten suhteiden kuvauksia.	neuronnät: en programmeringsmetod inspirerad av biologi, med vilken ett datorprogram lär sig av observationsdata så att man inte behöver mata in för programmet färdiga beskrivningar av sambanden mellan all data.	neural network: a programming method inspired by biology, with which a computer program learns from observational data so that the program does not need to be fed ready-made descriptions of the relationships between all the data.
neuroverkkolaskenta	neuronnät kalkylering	neural network calculation
PAR-anturi	PAR-givare	PAR-sensor
PAR-linja-anturi	PAR-linjegivare	PAR line sensor
Phytosense-anturijärjestelmä	Phytosense-givarsystem	Phytosense sensor system
pilvilaskenta	molnkalkyl	cloud computing
porometri	porometer	porometer
prosessiohjattu viljely	process-styrd odling	process-driven cropping/farming
pyranometri (auringonsäteilyn mittalaite)	pyranometer (instrument för mätning av solstrålning)	pyranometer (sensor for measuring solar radiation)
syväoppiminen	djuinlärning	deep learning
tekoäly	konstintelligens	artificial intelligence
vegetatiivinen kasvu	vegetativ tillväxt	vegetative growth
yhteyttämistuotteiden tasapaino (kasveilla)	balans av assimilater (av växter)	assimilate balance (of plants)

Kiitokset Arto Vuolle (HAMK) ja Karl-Johan Bergstrand (SLU) termien ruotsinkielisten käännösten tarkastamisesta.



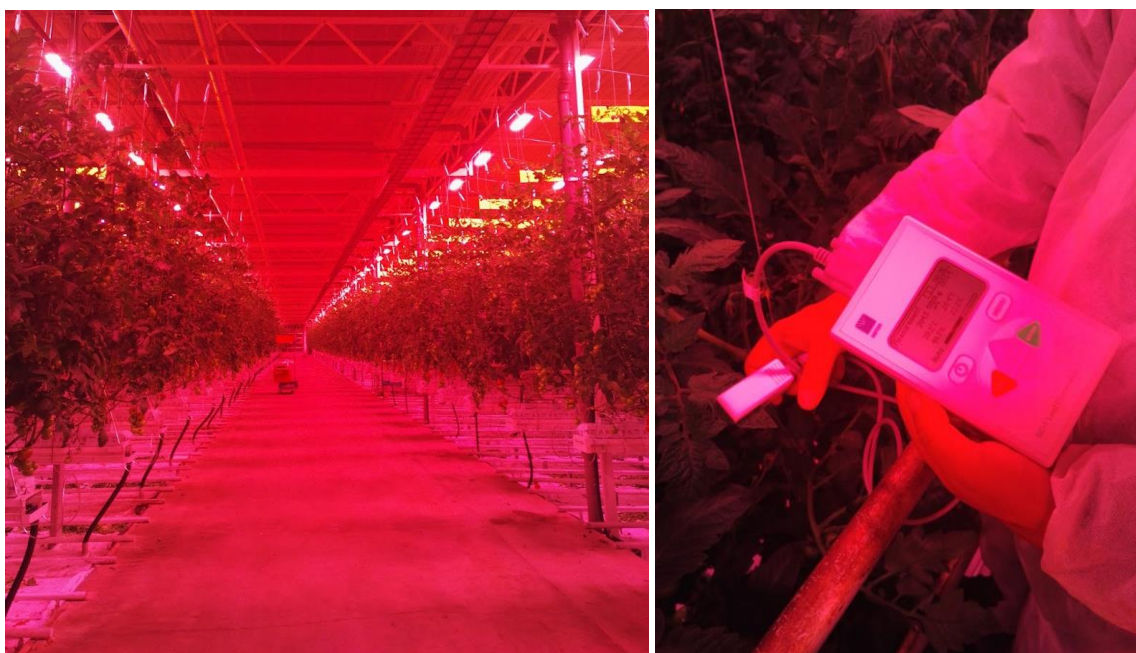
Maxime Dedecker/2Grow (harmaapuseroisen Martin Siggin takana), Marc Rooijackers/Pylot, Irene Vänninen ja Wouter de Bruycker/2Grow tutustumassa Jonathan Siggin (vas.) Siggarden ja Martin Siggin Handelsträdgård Ab tomaattiviljelmiin maaliskuussa 2022. Kuva: Esa Palmujoki.



Funtsintaa kasvihuoneessa. Martin Sigg ja Esa Palmujoki. Kuva: Irene Vänninen.



Digitomkun ohjausryhmän jäsenet tutustumassa tomaatin talviljelyyn Stefan Gulinin tomaattihuoneessa syksyllä 2021. Selin Titta Kotilainen (Luke), vasemmalle hänestä Stefan, Titan takana viljelijä Ulla Paavola, hänestä oikealle viljelijä Juha Jyrä ja oikealla HAMK:n kasvihuoneviljelyn yliopettaja Arto Vuollet. Kuva: Irene Vänninen.



Yöllinen led-valotettu kasvihuone ympäristönä porometrimittauksille lokakuussa 2021. Kuvat: Irene Vänninen.