



# UVC-tekniikka mansikan kasvitautien torjunnassa - loppuraportti 1.1.2022–31.12.2024

Johanna Riikonen

Juha Backman

Raimo Linkolehto



## **1. Toteuttajan nimi**

Luonnonvarakeskus

Osatoteuttaja: SavoGrow Oy

## **2. Hankkeen nimi ja hanketunnus**

UVC-tekniikka mansikan kasvitautien torjunnassa 183001

## **3. Yhteenveto hankkeesta**

Kemiallisten kasvinsuojeluaineiden käyttöä rajoitetaan voimakkaasti samaan aikaan kun härmä aiheuttaa merkittäviä satotappioita mansikan tunneliviljelyssä. Lyhytaaltainen UVC-säteily sisältää paljon energiaa, ja pieninä annoksina se aiheuttaa DNA-vaurioita monille mikro-organismeille vahingoittamatta itse kasvia. UVC-tekniikka mansikan kasvitautien torjunnassa - hankkeen tavoitteena oli vuosien 2022–2024 aikana kehittää led-tekniikkaa käyttävän, autonomisesti yöaikaan mansikkatunnelissa toimivan UVC-säteilytysrobotin prototyyppi. Tarkoitus oli valmistaa mahdollisimman edullinen ja helppokäyttöinen laite. Robotin avulla voidaan vähentää kasvinsuojeluaineiden käyttöä ja parantaa marjojen laatua. Kasvussa olevien kasvien UVC-säteilytysmenetelmä on Suomessa ja maailmalla vielä kehitysvaiheessa, mutta sen käytön odotetaan yleistyvän lähitulevaisuudessa.

Hankkeessa muodostettiin innovaatioryhmä, johon kuuluivat Luonnonvarakeskus, Kehitysyhtiö SavoGrow Oy, Metsäpellon mansikat Oy ja ELSOR Oy. Prototyyppi suunniteltiin ja valmistettiin Lukessa, led-valaisimen valmistaja ELSOR Oy, ja prototyyppiä testattiin kasvukauden 2023 aikana Kehitysyhtiö SavoGrow Oy:n Marjaosaamiskeskuksen mansikkatunnelissa, ja seuraavan kasvukauden aikana Suonenjoella Metsäpellon mansikat Oy:n tunnelissa.

Robotin suunnittelun lähtökohtina olivat käyttöpaikan vaatimukset, kustannukset ja monikäyttöisyys. Koska valmiita säteilytysrobotteja tai robottialustoja ei ollut saatavilla sopivaan hintaan, hankkeessa muokattiin Kontio-senioriajoneuvo robottialustaksi poistamalla tarpeettomat osat sekä tekemällä tarvittavat lisäykset ja muutokset. Rakentamisessa pyrittiin käyttämään yleisesti saatavilla olevia sekä edullisia komponentteja.

Robotissa on sulautettu ohjausjärjestelmä, joka toimii EPEC 6505 -näytössä ja EPEC EC44 ohjainyksikössä. Ohjelmisto on modulaarinen ja muokattavissa erilaisiin robotteihin sopivaksi. Robotin liikkuminen perustuu GNSS paikannukseen sekä Lidar-tasoskanneriin ja näiden tietoja yhdistävään ohjausalgoritmiin. Robottia on mahdollista ohjata manuaalisesti kauko-ohjaimella sekä automaattitoimintaa on mahdollista valvoa etäyhteyden avulla.

Robotin teknistä suoriutumista testattiin kasvukausien 2023 ja 2024 aikana mansikkatunneleissa. Ensimmäisenä testauskesänä siinä havaittiin lukuisia epäkohtia, joita paranneltiin talven aikana. Toisena testauskesänä tekninen toimivuus todettiin riittäväksi proof-of-concept tasolla, vaikka teknisiä puutteita edelleen havaittiin. Robotti kykeni

autonomiseen toimintaan yöaikana ilman valvontaa. Poikkeustilanteiden havaitseminen ja niistä toipuminen olivat varsinaisen testijakson suurimmat haasteet. Tuhoja robotti ei kuitenkaan aiheuttanut mansikkakasvustoon tai ympäristöön. Robotin vieminen tuoteprototyyppi-tasolle vaatii seuraavaa kehityshanketta.

## **4. Raportti**

### **4.1 Hankeen tavoitteet**

#### **a. ylemmän tason tavoitteet, joiden osa hanke on**

EU:n linjaus torjunta-aineiden käytön suhteen kasvintuotannossa keskittyy vähentämään niiden käyttöä ja edistämään kestävämpiä vaihtoehtoja. Euroopan komission "Farm to Fork" (Pellolta pöytään) -strategian mukaisesti tavoitteena on puolittaa torjunta-aineiden käyttö vuoteen 2050 mennessä. Tämä tarkoittaa vähemmän kemiallisten torjunta-aineiden käyttöä ja siirtymistä vähäriskisempiin, ympäristöystävällisempiin ratkaisuihin.

EU tukee myös biologisten torjuntakeinojen ja innovatiivisten teknologioiden kehittämistä, jotka auttavat viljelijöitä suojelemaan satojaan ilman haitallisten kemikaalien käyttöä. Tavoitteena on edistää kestävää maataloutta, joka tukee ympäristön, terveyden ja biodiversiteetin säilymistä samalla, kun varmistetaan elintarviketurva.

#### **b. hankkeen tavoitteet**

Hankkeen tavoitteena oli kehittää automaattisesti mansikkatunnelissa toimivan UVC-säteilytyslaitteen prototyyppi sekä sen valmistamisen ja käytön kustannusarvio. Hankkeessa luotiin aihio teknologian jatkokehitykselle ja kaupallistamiselle.

### **4.2 Toteutus**

#### **a. toimenpiteet**

Hanke koostui neljästä työpaketista.

*TP 1: Esiselvitykset:* Ulkomaisiin UVC-laitteisiin tutustuminen, hintatietojen ja patenttiasioiden selvittäminen: Työpaketissa tutustuttiin olemassa oleviin tunneleihin-, kasvihuoneisiin- ja avomaaviljelyksille soveltuviin kaupallisiin ratkaisuihin. Selvityksen mukaan tunneliolosuhteisiin soveltuva, kohtuuhintaista valaista kuljetusalustaa ei ollut hankkeen alussa saatavilla. Työpaketissa selvitettiin myös saatavilla olevien UVC-ledien tehoa, laatua, saatavuutta ja hintaa, ja niitä verrattiin loisteputkien ominaisuuksiin. Työpaketti toteutettiin Lukessa, yhteistyössä ELSOR Oy:n kanssa.

*TP 2: UVC-laitteen prototyypin suunnittelu ja rakentaminen:* Perustuen TP 1:ssä tehtyyn selvitykseen, hankkeessa rakennettiin kuljetusalusta Luken henkilöiden toimesta, pyrkien mahdollisimman edulliseen ja yksinkertaiseen laitteeseen, joka soveltuu käytettäväksi epätasaiselle maapohjalle. Hienomekaniikkaa ja CNC-koneistusta vaativat osat teetettiin

ulkopuolella. Laitteen ohjauksessa käytettiin PLC-tyyppistä ohjausta ja anturointi pyrittiin tekemään yksinkertaisilla ja robusteilla antureilla. UVC-valaisinosa suunniteltiin ja valmistettiin Luken ja ELSOR Oy:n yhteistyönä.

*TP 3: UVC-laitteiston testaaminen tutkimusolosuhteissa mansikkatunnelissa:* UVC-laitteistoa testattiin SavoGrow Oy:n Marjaosaamiskeskuksen mansikkatunnelissa Suonenjoella. Laitteen käyttö aloitettiin kesäkuun 2023 alussa, kun mansikan taimet on istutettu. Kasvukauden aikana seurattiin laitteiston teknistä toimivuutta, säteilytyksen vaikutusta marjasadon määrään ja laatuun sekä tarkkaillaan kasvitautilien, erityisesti härmän, esiintyvyyttä. Kasvukauden aikana ja sen jälkeen laitteeseen tehtiin tarvittavat muutokset. Työpaketista vastasivat Luke ja SavoGrow Oy. Eri säteilytystasojen toimivuutta härmän torjunnassa testattiin pienimuotoisesti jo kasvukauden 2022 aikana samassa mansikkatunnelissa.

*TP 4: UVC-laitteiston testaaminen kaupallisen mansikkatilan tunnelissa:* UVC-laitteistoa testattiin kaupallisella mansikkatilalla (Metsäpellon mansikat Oy) heinäkuun 2024 aikana. Työpaketista vastaavat Luke ja Metsäpellon mansikat Oy.

## **b. aikataulu**

Työpaketti 1:een liittyvät selvitykset tehtiin pääasiallisesti kevään 2022 aikana, mutta tietoja päivitettiin koko hankkeen ajan. Kesän 2022 aikana tehtiin pienimuotoista testausta liittyen mansikkakasvustoille annettaviin UVC-säteilyannoksiin ja niiden ajoitukseen. Kuljetusalustan ja led-valaisimen suunnittelu ja rakentaminen tapahtui TP1:n selvitysten jälkeen, ja laite valmistui kasvukauden 2023 alussa. Laitetta testattiin ajalla 12.6.–14.8.2023 joka toinen päivä (pois lukien viikonloput) SavoGrow Oy:n Marjaosaamiskeskuksen tunnelissa. Laitetta kehitettiin sitä mukaa, kun epäkohtia sen toiminnassa löytyi. Suuremmat muokkaukset siihen tehtiin syksyn 2023 ja talven 2023–2024 aikana. Kasvukaudella 2024 laite vietiin Metsäpellon mansikat Oy:n mansikkatunneliin testaukseen, joka tapahtui heinäkuun aikana. Tässä yhteydessä tehtiin myös YouTube-video UVC-robotin esittelyvideo SavoGrow Oy:n YouTube-kanavalle. Testin tulokset purettiin syksyllä 2024. Hankkeen viimeisten kuukausien aikana suoritettiin datan käsittely loppuun, käytiin läpi aiheeseen liittyvää kirjallisuutta ja osallistuttiin Maatalouskonemessujen Innovaatiotorille.

### **c. resurssit**

Hankkeessa hyödynnettiin Luonnonvarakeskuksen, Kehitysyhtiö SavoGrow Oy:n tutkimusympäristöjä, sekä Metsäpellon mansikat Oy:n mansikkatunnetta. Hankkeessa tehty työaika oli yhteensä 2,16 htv, josta Luke 1,91 htv ja SavoGrow Oy 0,25 htv.

#### ***Luonnonvarakeskus:***

Projektipäällikkö, erikoistutkija Johanna Riikonen

Erikoistutkija Juha Backman

Eriyisiantuntija Raimo Linkolehto

Erikoistutkija Minna Kivimäenpää

Tutkija Hanna Ruhanen

Tutkimusinsinööri Aleksi Sirkka

Tutkimusmestari Liisa Kauppinen

Talousasiantuntija Satu Nissinaho

Talousasiantuntija Arja Rautiainen

#### ***Kehitysyhtiö SavoGrow/Marjaosaamiskeskus***

Projektikoordinaattori Raija Kumpula

Viestintäasiantuntija Elina Välkky

Hanketyöntekijä Tanja Strandman

Talousasiantuntija Tanja Linnoaho

### **d. toteutuksen organisaatio**

Hanke toteutetaan Luonnonvarakeskuksessa.

## e. kustannukset ja rahoitus

1.1.-31.10.2022 1.11.22-30.4.2023 1.5.-31.10.2023 1.11.23-30.4.2024 1.5.-31.12.2024

LUKE	Kustannusarvio	1. maksatus	2. maksatus	3. maksatus	4. maksatus	5. maksatus	Maksatukset yhteensä	Jäljellä
Palkat	156 845,34	18 488,09	37 002,54	18 088,38	26 374,45	57 044,62	156 998,08	-152,74
Vuokrat	0,00						0,00	0,00
Ostopalvelut	53 392,13	11 729,50	17 448,53	23 436,00		778,10	53 392,13	0,00
Muut välittömät kustannukset	16 388,17	5 481,84	8 250,22	561,59	1 816,12	278,40	16 388,17	0,00
Välilliset kust (Flat Rate) 24 %	37 642,88	4 437,14	8 880,61	4 341,22	6 329,87	13 690,71	37 679,55	-36,67
<b>Yhteensä</b>	<b>264 268,52</b>	<b>40 136,57</b>	<b>71 581,90</b>	<b>46 427,19</b>	<b>34 520,44</b>	<b>71 791,83</b>	<b>264 457,93</b>	<b>-189,41</b>
Tulot	0,00						0,00	0,00
<b>Hyväksyttävät kustannukset yhteensä</b>	<b>264 268,52</b>	<b>40 136,57</b>	<b>71 581,90</b>	<b>46 427,19</b>	<b>34 520,44</b>	<b>71 791,83</b>	<b>264 457,93</b>	<b>-189,41</b>

31.12.2024 +  
arvio  
lomapalkoista

1.1.-31.10.2022 1.11.22-30.4.2023 1.5.-31.10.2023 1.11.23-30.4.2024 1.5.-31.12.2024

Kehitysyritys Savogrow Oy	Kustannusarvio	1. maksatus	2. maksatus	3. maksatus	4. maksatus	5. maksatus	Maksatukset yhteensä	Jäljellä
Palkat	27 033,23	1 017,30	2 662,38	7 659,59	1 332,53	6 584,40	19 256,20	7 777,03
Vuokrat	600,00			466,66	-266,66		200,00	400,00
Ostopalvelut	600,00			161,00			161,00	439,00
Muut välittömät kustannukset	1 074,11			1 074,11			1 074,11	0,00
Välilliset kust (Flat Rate) 24 %	6 487,98	244,15	638,97	1 838,30	319,81	1 580,26	4 621,49	1 866,49
<b>Yhteensä</b>	<b>35 795,32</b>	<b>1 261,45</b>	<b>3 301,35</b>	<b>11 199,66</b>	<b>1 385,68</b>	<b>8 164,66</b>	<b>25 312,80</b>	<b>10 482,52</b>
Tulot	0,00						0,00	0,00
<b>Hyväksyttävät kustannukset yhteensä</b>	<b>35 795,32</b>	<b>1 261,45</b>	<b>3 301,35</b>	<b>11 199,66</b>	<b>1 385,68</b>	<b>8 164,66</b>	<b>25 312,80</b>	<b>10 482,52</b>

1 652,34

1.1.-31.10.2022 1.11.22-30.4.2023 1.5.-31.10.2023 1.11.23-30.4.2024 1.5.-31.12.2024

LUKE+SavoGrow	Kustannusarvio	1. maksatus	2. maksatus	3. maksatus	4. maksatus	5. maksatus	Maksatukset yhteensä	Jäljellä
Palkat	183 878,57	19 505,39	39 664,92	25 747,97	27 706,98	63 629,02	176 254,28	7 624,29
Vuokrat	600,00			466,66	-266,66		200,00	400,00
Ostopalvelut	53 992,13	11 729,50	17 448,53	23 597,00		778,10	53 553,13	439,00
Muut välittömät kustannukset	17 462,28	5 481,84	8 250,22	1 635,70	1 816,12	278,40	17 462,28	0,00
Välilliset kust (Flat Rate) 24 %	44 130,86	4 681,29	9 519,58	6 179,52	6 649,68	15 270,96	42 301,04	1 829,82
<b>Yhteensä</b>	<b>300 063,84</b>	<b>41 398,02</b>	<b>74 883,25</b>	<b>57 626,85</b>	<b>35 906,12</b>	<b>79 956,48</b>	<b>289 770,73</b>	<b>10 293,11</b>
Tulot	0,00						0,00	0,00
<b>Hyväksyttävät kustannukset yhteensä</b>	<b>300 063,84</b>	<b>41 398,02</b>	<b>74 883,25</b>	<b>57 626,85</b>	<b>35 906,12</b>	<b>79 956,48</b>	<b>289 770,73</b>	<b>10 293,11</b>

1.1.-31.10.2022 1.11.22-30.4.2023 1.5.-31.10.2023 1.11.23-30.4.2024 1.5.-31.12.2024

Rahoitus	Hyväksytty rahoituspäätös	1. maksatus	2. maksatus	3. maksatus	4. maksatus	5. maksatus	Maksatukset yhteensä	Jäljellä
Julkinen rahoitus (EIP)	300 063,84	41 398,02	74 883,25	57 626,85	36 172,78	79 956,48	289 770,73	10 293,11
<b>Yhteensä</b>	<b>300 063,84</b>	<b>41 398,02</b>	<b>74 883,25</b>	<b>57 626,85</b>	<b>36 172,78</b>	<b>79 956,48</b>	<b>289 770,73</b>	<b>10 293,11</b>

266,66

\*peritty takaisin

## **f. raportointi ja seuranta**

Hankkeesta raportointiin puolivuositain rahoittajalle ja ohjausryhmälle, joka kokoontui yhteensä seitsemän kertaa. Ohjausryhmään kuuluivat:

Raisa Haavikko, toiminnanjohtaja, Suonenjoen seudun marjanviljelijäin yhdistys  
Sanna Kauvosaari, elinvoimapäällikkö, Kehitysyhtiö SavoGrow Oy  
Heidi Kumpulainen, laatuasiantuntija, Pakkasmarja Oy  
Paula Lilja, erityisasiantuntija, Ruokavirasto  
Tomi Pousi, asiantuntija, Hedelmän- ja Marjanviljelijäin liitto  
Kaisa Tolonen, rahoittajan edustaja, Hämeen Ely-keskus

Innovaatioryhmän jäsenet:

Pauliina Kovanen, yrittäjä, Metsäpellon Mansikat Oy  
Timo Sorsa, toimitusjohtaja, ELSOR Oy

Toteuttajan edustajat:

Juha Backman, erikoistutkija, Luonnonvarakeskus  
Minna Kivimäenpää, erikoistutkija, Luonnonvarakeskus  
Raija Kumpula, projektipäällikkö, Kehitysyhtiö SavoGrow Oy  
Raimo Linkolehto, erityisasiantuntija, Luonnonvarakeskus  
Satu Nissinaho, asiantuntija, projektitalous, Luonnonvarakeskus  
Johanna Riikonen, erikoistutkija, Luonnonvarakeskus  
Hanna Ruhanen, tutkija, Luonnonvarakeskus

### *Hankeviestintä*

UVC-robottia esiteltiin kohderyhmille Kasvustarttipäivillä Suonenjoella 10.5.2023 ja 8.5.2024, sekä Maatalouskonemessujen Innovaatiotorilla Helsingissä 17.-19.10.2024. Hanketta esiteltiin Luken ja Marjatietoverkoston somekanavilla ja sille luotiin hankekortti AgriHubi-verkostoon.



UVC-robottia esiteltiin Maatalouskonemessujen Innovaatiotorilla 17.-19.10.2024 (Kuva Johanna Riikonen/Luke).

Laitteen käyttöä esitteleviä videoita tehtiin kolme kappaletta:

- Savonia AMK: video ÄlyAgrin vimeo -kanavalle 15.8.2023  
<https://vimeo.com/865526964>
- SavoGrow Oy:n YouTube-kanava: UVC-robotti mansikan härmän torjuntaan. 26.8.2024 <https://www.youtube.com/watch?v=3gWKz-cAG8A>
- Sisu-Lassen YouTube-kanava: Mansikan kasvitautien torjuntaa UVC-tekniikalla 30.9.2024 [https://www.youtube.com/watch?v=JKUS\\_XkV5cU](https://www.youtube.com/watch?v=JKUS_XkV5cU)

Hankkeen toimintaa esiteltiin seuraavissa tilaisuuksissa:

- Kaamosmarjapäivät 14.11.2022
- Spring -tapahtuma Tampereella 29.3.2023
- Digimaatalous-EIP-webinaari 1.11.2023
- Marjanviljelyn koetoimintapäivä 4.9.2024
- Luento Helsingin yliopistossa 5.12.2024
- Valtakunnallisten maaseudun kehittämis- ja EIP-hankkeiden tuloswebinaari 15.4.2025
- Luken sisäiset tilaisuudet ja EIP-tapahtumat

Hankkeen tuloksista tehtiin ammattilehtijulkaisut:

- Nyt kehitetään automaattista UVC-säteilytyslaitetta. Puutarha & kauppa 16/2022: s. 33.
- UVC-säteily kemiallisten kasvinsuojeluaineiden korvaajana. Puutarhakalenteri 2023: 198–200

## **g. toteutusolelutukset ja riskit**

Hakuvaiheessa tunnistimme riskeiksi seuraavat tekijät: 1) testattavaa tautia ei luontaisesti ilmaannu tutkittavaan kasvustoon haitallisina määrinä: Hankkeen tärkein tavoite oli UVC-laitteen tekninen toteutus. Kasvukaudella 2023 suoritettiin testit päiväaikaan käytännön syiden ja laitteen mahdollisimman tarkan toiminnan monitoroinnin vuoksi, vaikka on tiedossa, että UVC-säteily toimii härmää vastaan vain, jos säteilytystä seuraa useamman tunnin pimeä jakso. Tämä ratkaisu tehtiin sillä perusteella, että kehitetyssä laitteessa päädyttiin käyttämään samoja ledejä, joilla aiempien kokeiden mukaan on hyvä teho härmää vastaan. Tämän vuoksi lisää todisteita käytettyjen ledien vasteista härmää vastaan ei tarvittu. Kasvukaudella 2024 Metsäpellon mansikat Oy:n mansikkatunnelissa suoritettuna kokeen aikana kasvustossa ei juurikaan esiintynyt härmää, eli siinä testattiin ainoastaan laitteen teknistä toimivuutta. 2) Myös muut luonnonolosuhteista johtuvat riskit voivat vaikeuttaa laitteen tunnelikokeiden toteuttamista: Hankkeen aikana ei ilmennyt testeihin vaikuttaneita luonnonolosuhteita. 3) Led-tekniikkaan perustuvan laitteiston valmistuksen hinta saattaa muodostua vielä liian korkeaksi, jotta sen hankinta olisi viljelijöille kannattavaa: Prototyypin hinnaksi muodostui arviolta 20 000–30 000 €. Sarjatuotannossa hinta olisi luonnollisesti huomattavasti alempi. 4) Hankkeen aikataulu saattaa olla liian tiukka, jos prosessissa kohdataan paljon vastoinkäymisiä: Työt saatiin tehtyä aikataulussa, vaikka laitteen alun perin suunniteltuun rakenteeseen tehtiin paljon muutoksia.



### 4.3 Yhteistyökumppanit

Hankkeen innovaatioryhmään (EIP-ryhmä) kuuluivat Luken lisäksi Kehitysyhtiö SavoGrow Oy, Metsäpellon Mansikat Oy ja ELSOR Oy. EIP-ryhmä osallistui aktiivisesti hankekokouksiin ja tapaamisiin, ja laite kehitettiin ryhmän asiantuntemuksen avulla. UVC-robotin kuljetusalusta suunniteltiin ja rakennettiin Luken toimesta, ja led-valaisimen rakenne suunniteltiin Luken ja ELSOR Oy:n yhteistyönä. Suunnitteluhetkellä saatavilla olleista UVC-aallonpituutta tuottavista, ELSOR Oy:n hankkimista näyteledeistä valittiin käyttöön sopivin led-tyyppi, ja led-sirut sijoitettiin paneeleihin siten, että niiden tuottama UVC-säteilyn intensiteettitaso vastasi etukäteen Luken tekemien testien perusteella valittua tavoiteintensiteettiä. ELSOR myös valmisti led-valaisimen. SavoGrow Oy mahdollisti robotin ensimmäisen testin tarjoamalla koeympäristön kasvuston ylläpitoineen ja osallistui aktiivisesti hankkeen viestintään. Metsäpellon Mansikat Oy puolestaan mahdollisti toisen testauksen omassa mansikkatunnelissaan ja toi esiin viljelijän käytännön näkökulman hankkeen eri vaiheissa. EIP-ryhmä on myös ideoinut jatkokehitysmahdollisuuksia.

### 4.4 Tulokset ja vaikutukset

Hankkeessa suunniteltiin, valmistettiin ja testattiin UVC-säteilytysrobotti. Hanke edistää UVC-säteilyn käytön siirtymistä kokeiluasteelta käytäntöön. Hankkeen loppuraportti ja hankkeessa kehitettyjen menetelmien kuvaus on saatavilla AgriHubi-sivustolla (<https://maaseutuverkosto.fi/hankeet/uvc-teknikka-mansikan-kasvitautilien-torjunnassa/fi>).

#### ***Robotin suunnittelu ja valmistaminen***

##### *Mekaniikka*

Robotin suunnittelun lähtökohtina oli käyttöpaikan asettamat vaatimukset, laitteen kokonaishinta sekä monikäyttömahdollisuus. Käyttöpaikkana mansikkatunneli on rakennetun ja rakentamattoman ympäristön välimaastossa. Tämä tarkoittaa sitä, että robotilla on käytettävissä maamerkkejä kuten mansikkapöytien jalat, jotka myös määrittelevät robotin maksimileveyden. Alueet, joilla robotti kulkee ovat ihmisten ja muiden koneiden kulkuväyliä. Kulkuväylät ovat kuitenkin vaihtelevalla maapohjalla. Parhaimmassa tapauksessa se on kova ja tasaista kivituhkaa, mutta ajoittain myös pehmeää ja epätasaista nurmikkoa. Edellä mainituista lähtökohdista lähdettiin selvittämään valmiiden robottialustojen ostamisen mahdollisuutta sekä vaihtoehtoa rakentaa robottialusta itse. Osoittautui, että edullisin vaihtoehto on ostaa senioriajoneuvo mekaaniseksi alustaksi ja muokata se käyttötarkoitukseen sopivaksi. Kontio Silverfox Four 2.0 valikoitui käytetyksi perusalustaksi. Muokkaukseen käytettiin ns. hyllyrautaa, jota saa rautakaupoista yleisesti ja edullisesti. Senioriajoneuvosta poistettiin kaikki tarpeettomat, kuten muovikatteet, penkki, ohjauslaitteet ja suurimmaksi osaksi alkuperäiset sähköt. Kääntösädettä pienennettiin tekemällä ohjausgeometriaan mekaanisia muutoksia. Renkaat ja jarrut sekä ajomoottori ovat alkuperäiset. Rakentamisessa robotti ajateltiin modulaarisena monikäyttöisenä alustana, joten UVC-säteilytykseen rakennettiin "toimilaite", joka kiinnitetään robottialustaan tuppiliitoksilla. Mekaanisten

muutosten jälkeen runko maalattiin pulverimaalilla teollisuusmaalaamossa, jotta laitteen käyttöikä olisi mahdollisimman pitkä.

### *Sähköt ja toimilaitteet*

Robotin liikkumiseen käytettiin alun perin senioriajoneuvon alkuperäistä moottoria, moottorinohjainta sekä akustoa. Ensimmäisenä käyttökesänä kuitenkin huomattiin, että robottikäytössä alkuperäisen moottorinohjaimen suojausominaisuudet aiheuttivat pieniin epätasaisuuksiin kiinni jäämistä. Tästä syystä moottorinohjaimeksi vaihdettiin Kelly KLS721S, jonka parametrit pystytään säätämään halutuksi bluetooth-yhteyden välityksellä. Ajoakut ovat alkuperäisen konfiguraation mukaiset viisi sarjaan kytkettyä 12 V lyijyakkua, jolloin ajopiirin jännite on 60 V ja kapasiteetti 20 Ah (1.2 kWh). Muille laitteille on kaksi 12 V AGM akkua sarjaan kytkettynä, jolloin 24 V jännitteellä kapasiteetti on 160 Ah (3.8 kWh). Akkujen kapasiteetti pyrittiin saamaan mahdollisimman suureksi ottaen huomioon laitteessa olevat tilat akustolle. Sähköt (releet, kytkimet johdot, yms.) on rakennettu mahdollisimman pitkälle yleisistä esim. Motonetista löytyvistä komponenteista. Pyörien kääntöön, jarrujen ohjaukseen sekä valaisimen kallistukseen käytetään Linak-karamoottoreita.

### *Elektronikka ja ohjausjärjestelmä*

Robotissa on sulautettu ohjausjärjestelmä, eli työpöydältä tuttua kannettavaa tietokonetta tai vastaavia ei ole käytetty. Robotin äly, eli ohjausohjelmisto, sekä käyttöliittymä ovat EPEC 6505 näytössä, jossa on 5" kosketusnäyttö sekä ARM-pohjainen prosessori Linux-käyttöjärjestelmän ja ohjelmien ajamiseen. Robotti-ohjelmisto on modulaarinen ja muunneltavissa erilaisille roboteille soveltuvaksi. Käyttöliittymässä sekä ohjelman sisäisessä kommunikoinnissa hyödynnetään Qt-kirjastoa, mutta sisäinen kommunikointi on aiottu muuntaa ROS2 - pohjaiseksi myöhemmissä projekteissa. Korkeamman tason ohjaukseen kuuluvat käyttöliittymän lisäksi robotin toimintalogiikka, reitenseuranta sekä ulkoinen kommunikointi. Toimilaitteiden ohjaamiseen, manuaaliohjaukseen, turvallisuuden hallintaan sekä alemman tason säätimiin käytetään PLC-tyyppisiä ohjausyksiköitä (ECU), joiksi valikoitui EPEC EC44 yksiköt niin alustassa, kuin työlaitteessa. Reititin seurannassa tarvittavassa paikannuksessa laitteena käytetään Kindhelm IPESSA Nano GNSS- vastaanotinta. Tässä laitteessa on kaksi vastaanottoantennia tarkan suuntakulman saamiseksi, RTK (Real Time Kinematic) korjauksen vastaanotto, sekä sisäinen IMU (Inertial Measurement Unit). Paikannukseen käytetään myös Lidar SICK TIM571 2D-tasoskanneria, jonka mittauksesta tunnistetaan etäisyys mansikkapöytien jaloista, ja joka toimii myös turvalaitteena törmäyksen estoon. Langattoman verkon (3G/4G) välityksellä robottialusta saa RTK-korjaussignaalin, joka tällä hetkellä on Geotrim Agri -palvelu. Verkon avulla robottialusta muodostaa yhteyden myös taustajärjestelmään, josta voidaan antaa robotille korkean tason komentoja, tallentaa telemetriatietoa sekä päivittää robotin ohjelmisto. Manuaaliohjauksessa käytetään radiokauko-ohjainta, joksi valikoitui hinnan perusteella NOVA-L lähetin sekä RX ES-CAN-HL vastaanotin.

## *Led-valaisin*

Valaisin koostuu kuudesta yhteen liitetystä metallipaneelista (12 × 97 cm, 4,2 A/kpl, yhteensä n. 700 W). Paneelisiin kiinnitettiin ledit (126 led-sirua/paneeli, aallonpituuspiikki 276 nm, Shenzhen Hanhua Opto Co., Ltd., Shenzhen, Kiina). Yksittäisten paneelien asentoa voidaan muuttaa, ja niitä voidaan tarpeen mukaan lisätä tai poistaa. Täten valaisimen muotoa ja kokoa voidaan muunnella helposti. Robottiin on jatkossa mahdollista liittää toinen vastaava led-paneeli, jolloin robotti pystyy säteilyttämään kaksi mansikkariviä samanaikaisesti. Tällöin laitteen ohjelmistoa on kuitenkin muokattava.



Hankkeessa suunniteltu ja valmistettu UVC-säteilytysrobotti työssään mansikkatunneleissa (Kuvat Johanna Riikonen/Luke).

## **Robotin testaaminen**

Robottia testattiin kesällä 2023 SavoGrow Oy:n Marjaosaamiskeskuksen koetunnelissa tutkijan valvoessa robotin toimintaa. Tunneliin järjestettiin koeasetelma, joka koostui kolmesta mansikkapöytärivistä, lajikkeena Magnum (Kuvat). Tunnelin etummaisessa puolikkaassa olevat taimet säteilytettiin joka toinen päivä, pois lukien viikonloput. Robotti pysähtyi jokaisen mansikkalaatikon kohdalle, ja säteilytti sitä 20 sekuntia (UVC-kerta-annos noin 0.02 kJ/m<sup>2</sup>), siirtyen sitten seuraavan mansikkalaatikon kohdalle. Tunnelin takaosan läpi robotti ajoi pysähtymättä/säteilyttämättä, käyden kääntymässä tunnelin ulkopuolella. Marjat poimittiin kesän aikana 8 kertaa, ja kasvuston hämätilannetta seurattiin säännöllisesti. Kasvustoon ilmestyi härmää heinäkuun lopulla, ja koska säteilytys tehtiin käytännön syistä päivällä, sillä ei odotusten mukaisesti ollut vaikutusta härmän leviämiseen.

Robotissa havaittiin useita puutteita ja kehityskohteita, joita korjattiin vuoden 2024 kesän testeihin. Maan epätasaisuudet aiheuttivat robotin hitaasti kulkiessa suuren vastuksen, joka alkuperäisillä moottorinohjaimen suojuuksilla pysäytti robotin liikkeen. Myös Lidar havaitsi esteitä liian herkästi esimerkiksi heinän korsista. Testeissä paneelin etäisyyttä mansikan lehdistä ei pystytty pitämään vakiona, vaan se paikoittain oli jopa kiinni kasvustossa. Syynä oli

paikannustarkkuuden tai reitin suunnittelun puutteet. Edellä mainittujen ongelmien selvittely osoittautui myös hankalaksi, sillä robotti ei tallentanut toiminnastaan lokia.

Talven 2023–2024 aikana kesällä 2023 havaittuja puutteita pyrittiin korjaamaan tekemällä robotiin parannuksia. Robottiin vaihdettiin uusi moottorinohjain, jota pystymme paremmin hallitsemaan. UVC-paneeliin lisättiin ultraäänianturit etäisyyden mittaamiseksi kasvustoon sekä toimintalogiikka etäisyyden pitämiseksi vakiona, jolloin saavutetaan haluttu UVC-säteilyannos kasvuston pinnalle. Talvella tehtiin myös reitinsuunnitteluohjelmisto, joka hyödyntää robotin SLAM-algoritmeilla luomaa karttaa mansikkatunnelista. Reitti voidaan nyt opettaa käsin ajamalla, piirtämällä, laskemalla vakioetäisyydelle mansikkapöydistä jne. Myös robotin telemetriatietojen tallennus ja visualisointi toteutettiin.

Heinäkuussa 2024 robottia testattiin kaupallisella mansikkatilalla. Teknisesti testaaminen onnistui, vaikka testiajoja ei alkuperäisen suunnitelman mukaista määrää tullutkaan. Robotin kulkemisessa on edelleen haasteita, ja tunnelin päihin piti lisätä kivituhkaa, jotta maa olisi riittävän kova ja tasainen robotille. Robotin käynnösten automaattinen laskeminen vaati useamman yrityksen, jotta sopivat käynnöstävät robotille löytyivät. Alkutestaamisen jälkeen robotti osoittautui kuitenkin toimivaksi. Suurin ongelma viljelijän suorittamissa testeissä oli yhteysongelmat robotin kauko-ohjaimeen. Yhteyden katketessa myös robotti pysähtyi ja uudelleen liikkeelle lähteminen vaati käyttäjän toimenpiteitä. Testeissä robotti ei törmännyt mansikkapöytiin, tuhonnut kasvillisuutta tai toiminut muutenkaan ennalta arvaamattomasti. Teknisesti robotin liikkumiseen ja poikkeustilanteiden havainnointiin sekä niihin reagointiin pitää vielä tehdä lisää työtä. Kesällä havaittiin myös, että laitteen käytön prosessia pitää miettiä, miten se olisi päivittäisessä käytössä mahdollisimman helppoa ja joustavaa viljelijälle.

## **5. Esitykset jatkotoimenpiteiksi**

UVC-säteilytys on osoittautunut tehokkaaksi härmän torjunnassa. Sen tekninen toteutus kasvintuotantoympäristöissä toimivaksi on kuitenkin vielä kehitysvaiheessa maailmalla. Vaikka toimivia laitteita on kehitetty useissa eri maissa, niiden käytön kustannustehokkuus on vielä alhainen. Menetelmän käytön reunaehtojen parempi tunteminen (esimerkiksi säteilyn minimiannos ja säteilytysten välisen maksimiaika kullekin kasvilajille) mahdollistaisi suuremman pinta-alan käsittelyn tiettyinä aikoina. Hankkeen aikana suoritettujen testien perusteella robotin helppokäyttöisyyttä olisi syytä kehittää, jotta sen hyöty viljelijälle olisi suurempi. Myös robottien monikäyttöisyyden kasvattaminen lisäämällä siihen erilaisia työvoimaa säästäviä toimintoja kasvattaisi kustannustehokkuutta. Esimerkiksi kuvantamistekniikan avulla olisi mahdollista tunnistaa kasvustojen ravinnepuutoksia, mikä mahdollistaisi täsmälannoituksen toteuttamisen. Hankkeessa kehitetyn UVC-säteilytysrobotin avulla voidaan auttaa alkutuottajia parantamaan sadon laatua, vähentämään kemikaalien käyttöä ja edistämään kestävämpiä viljelykäytäntöjä. Robotti ja itse säteilytysmenetelmä vaativat kuitenkin vielä jatkokehitystä, jotta ne voivat tarjota realistisen vaihtoehdon perinteisille sienitautien torjuntamenetelmille.

## 6. Ohjausryhmän lausunto

Ohjausryhmä on seurannut UVC-tekniikka mansikan kasvitautien torjunnassa -hanketta ja sen etenemistä huolellisesti ja tarkastellut sen loppuraporttia. Hankkeessa valmistettiin itsekulkeva prototyyppi mansikan kasvitautien torjuntaan UVC-tekniikalla.

Hanke on edennyt suunnitelman mukaisesti ja tuottanut tavoitteena olleen laitteiston. EIP-ryhmä kokoontui ja toi hyvin oman asiantuntemuksensa hankkeen käyttöön. Hankkeen tiedottaminen ja osallistuminen EIP-hankkeille tarkoitettuihin tilaisuuksiin on ollut aktiivista. Tuloksena saatu laitteisto on kiinnostanut niin alkutuottajia kuin alan asiantuntijoita ja hankkeelle haetaan jatkokehitysvaroja toisesta kehittämisohjelmasta.

Loppuraportti on kattava ja siihen on kuvattu hankkeen toiminta ja laitteen tekniset ominaisuudet riittävällä tarkkuudella. Hankkeessa kehitetyt menetelmät on kuvattu hankkeen julkaisuissa, jotka ovat saatavilla <https://maaseutuverkosto.fi/hankkeet/uvc-tekniikka-mansikan-kasvitautien-torjunnassa/.fi> -sivustolla.

## 7. Allekirjoitus ja päiväys

Johanna Riihonen, 15.4.2025

Johanna Riihonen, hankkeen yhteyshenkilö ja vastuullinen johtaja