

# NOSLĒGUMA ATSKAITE

Projekts Nr. 22-00-A01612-000018

**“3D fotogrammetrijas pielietošana un energoefektivitāti veicinošu inovāciju ieviešana optimālāku vides apstākļu nodrošināšanai vertikālajā lauksaimniecībā”**

Rīga, 31.01.2025

NACIONĀLAIS  
ATTĪSTĪBAS  
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA

EIROPA INVESTĒ LAUKU APVIDOS  
Eiropas Lauksaimniecības fonds  
lauku attīstībai

**Atbalsta Zemkopības ministrija un Lauku atbalsta dienests**

## Vispārīgā informācija

|                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Projekta numurs, nosaukums:          | Nr.22-00-A01612-000018, “3D fotogrammetrijas pielietošana un energoefektivitāti veicinošu inovāciju ieviešana optimālāku vides apstākļu nodrošināšanai vertikālajā lauksaimniecībā” (turpmāk – Projekts).                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Informācijas sagatavotāji:           | Rinalds Trukšs, Olivier Dal Zuffo, Linda Volkova, Ansis Avotiņš, Pēteris Apse-Apsītis, Andrejs Potapovs, Mārtiņš Marcinkevičs, Reinis Ernestsons, Anta Sparinska, Anita Boldāne.                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Projekta koordinators:               | Elīna Didrihsone (tel. 29744184).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Vadošais partneris:                  | SIA Broccoli (LAD klienta Nr. 08604847, turpmāk – Broccoli)).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Sadarbības partneri:                 | Rīgas Tehniskā universitāte (turpmāk – RTU, kontaktpersona – Ansis Avotiņš, tel. 29138573 ),<br>Bulduru Tehnikums SIA (turpmāk – Bulduri, kontaktpersona - Anta Sparinska, tel. 29446249),<br>Addo Energy SIA (turpmāk – Addo, kontaktpersona - Reinis Ernestsons, tel. 20280018) ,<br>Biedrība “Mežvidu lauksaimniecības un tehnoloģiju parks” (turpmāk – Mežvidi, kontaktpersona - Anita Boldāne, tel. 29193227).<br>Visi kopā turpmāk – Sadarbības grupa. |
| Projekta īstenošana periods:         | 01.09.2022. – 28.02.2025.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Projekta kopējās faktiskās izmaksas: | EUR 343 692,90, t.sk. EUR 309 323,54 ES atbalsts                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Projekta pamatjēdzieni:              | Vertikālā lauksaimniecība, hidroponika, energoefektivitāte, kultūraugu raža, mākslīgais intelekts, mašīnmācība, datu apstrāde, LED apgaismojums, inženiersistēmas.                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

# Darbības un projekta kopsavilkums

## Mērķi

Projekta vispārējais mērķis bija sekmēt lauksaimniecības nozares attīstību, realizējot nacionāli nozīmīgu uz inovācijām vērstu projektu un ieviešot nozarē jaunus tehniskos risinājumus. Projekta specifiskais mērķis jeb EIP sadarbības grupas (turpmāk – Sadarbības grupa) vīzija - **izveidot integrētu un augsti kompetentu starpnozaru konsorciju, lai risinātu vertikālās lauksaimniecības tehnoloģiskās pamatproblēmas - 1) uzlabotu kultūraugu ražu un 2) samazinātu elektroenerģijas patēriņu.**

Sadarbības grupas mērķi projektā **bija** veikt augu monitoringu izmantojot 3D fotogrammetrijas metodi, uz kā pamata izstrādāt inovatīvas metodes un tehnoloģijas ražas un energoefektivitātes palielināšanai vertikālajā lauksaimniecībā. **Visi Projekta mērķi tika sasniegti.** Projekta īstenošanas gaitā **tika** apvienota MI augu monitorēšanas metode ar inovatīviem tehnoloģiju uzlabojumiem **vertikālajā fermā**, tai skaitā, mākslīgā apgaismojuma pilnveidošana **un analīze, elektroenerģijas patēriņa samazināšana, klimata stabilitātes uzlabošana, datu ieguve.**

## Projekta īstenošanas reālais laika grafiks (Gantt tabula)

|   |                                                                                                |         |                   | Kalendārie mēneši |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------------|-------------------|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|   | Aktivitāte                                                                                     | Atb. PP | Ies. PP           | 9                 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | Metodikas izstrāde kultūraugu vizuālai novērtēšanai                                            | VP      | Visi              |                   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2 | Aprikojuma, tehnoloģiju un materiālu iegāde                                                    | VP      | VP, PP2, PP3      |                   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 3 | Kultūraugu monitoringa veikšana kontrolētos apstākļos bāzes datu ieguvei un datubāzes izveidei | VP      | VP, PP4           |                   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 4 | Algoritmu izstrāde iegūto datu kopu apstrādei                                                  | VP      | VP                |                   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 5 | Mākslīgā apgaismojuma tehnoloģiju uzlabojumi                                                   | VP      | VP, PP3           |                   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 6 | Ietekmes novērtējums pēc mākslīgā apgaismojuma tehnoloģiju uzlabojumiem                        | VP      | VP, PP3           |                   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 7 | Elektroenerģijas patēriņa uzlabošanas risinājumi                                               | VP      | VP , PP2          |                   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 8 | Ietekmes novērtējums pēc elektroenerģijas patēriņa uzlabošanas risinājumu ieviešanas           | VP      | VP , PP2          |                   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 9 | Izstrādāto risinājumu testēšana, monitorings un analīze siltumnīcas apstākļos                  | VP      | VP, PP2, PP3, PP5 |                   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |



# Projekta darbību apraksts

## Darbība Nr.1: Metodikas izstrāde kultūraugu vizuālai novērtēšanai

Atbilstoši Projektā iesniegtajam, pirmie trīs projekta mēneši paredzēja visu Sadarbības grupā iesaistīto pušu darbību pie aktivitātes “Metodikas izstrāde kultūraugu vizuālai novērtēšanai”. Tika rīkotas kopīgas plānošanas, kā arī atsevišķas 1:1 tikšanās, lai apkopotu iesaistīto pušu redzējumu par metodikas izstrādes nozīmīgākajiem elementiem. Prioritāri metodikas izstrādē iesaistījās Broccoli un Bulduru, kā arī Mežvidu speciālisti. Par cik Projekta īstenošanas gaitā tika apvienota MI augu monitorēšanas metode ar tehnoloģiju uzlabojumiem mākslīgā apgaismojuma pilnveidošanā vai klimata stabilitātes nodrošināšanā, būtisks pienesums metodika izstrādē tika nodrošināts no tehnoloģiju partneriem Addo un RTU puses.

Sadarbības grupa vienojās, ka pētījumi tiks veikti 11 atsevišķos testa piegājienu. Testa laikā tiks veikts bioloģisko rādītāju salīdzinājums, kā arī LED apgaismojuma ietekme starp testu iterācijām. Laboratorijas parametri tiks pielāgoti, pamatojoties uz mākslīgā intelekta atklājumiem un ieteikumiem.

Galvenie pētāmie augi (baziliks (*Ocimum basilicum L.*), plakanlapu pētersīļu (*Petroselinum crispum var. Neapolitanum*), maurloku (*Allium schoenoprasum*) un koriandra (*Coriandrum sativum*).

Darbība ir pilnībā veiksmīgi īstenota.

Rezultāts – izstrādāta metodoloģija. Uz izstrādātās metodoloģijas pamata veiktas nākamās Projekta aktivitātes.

## Darbība Nr.2: Aprīkojuma, tehnoloģiju un materiālu iegāde

Inženierijas uzdevumos iesaistītās Sadarbības grupas puses (Broccoli, Addo, RTU) tikās, lai izvēlētos nepieciešamo aprīkojumu, materiālus un konceptuāli izveidotu testa vidi atbilstoši metodikai. Plauktu sistēmas, sensori, apgaismojuma elementi, to novietojums, un to parametri tika izstrādāti un izvēlēti, lai atbilstu izstrādātajai metodikai.

Katram no 11 testa cikliem paralēli tika izmantoti a) pieci gabali četru līmeņu vertikāli audzēšanas “torņi”. Katrs tornis aprīkots ar b) sensoriem (CO<sub>2</sub>, vēja ātrums, temperatūra, gaisma, elektroenerģijas patēriņš, mitrums, citi (pēc ieskatiem)) un c) komplektā iekļautu augšanas uzraudzības monitorēšanas videokamera. Visi sensori savus datus pārraida uz t.s. e) “Datu ezeru”, kas savienots ar mākslīgā intelekta uzraudzības sistēmu. f) LED apgaismojuma paneli apvieno dažādas tehnoloģijas un tirgū pieejamo cenu diapazonu, piedāvājot optimālu salīdzināšanas komplektu starp 5 dažādām tehnoloģijām.

Papildus, par pašu līdzekļiem tika nodrošināti bioloģijas materiāli – sēklas, substrāti, barības vielas, higiēnas materiāli (halāti, bāhilas, dezinfekcijas līdzekļi) u.tml.

Aktivitāte pilnībā veiksmīgi īstenota.

Rezultāts – veiktas cenu aptaujas un veiktas visas nepieciešamās piegādes, lai īstenotu Projektu.

## Nr. 3 Kultūraugu monitoringa veikšana kontrolētos apstākļos bāzes datu ieguvei un datubāzes izveidei

Broccoli sadarbojoties ar Bulduru un konsultējoties ar Mežvidu speciālistiem, vienojās un izveidoja mākslīgā klimata parametrus, kuros tiks veikta testa ciklu audzēšana izvēlētajiem kultūraugiem. Paralēli tika uzstādīts tehnoloģiskais slānis (sensori, kamera, daļēji LED apgaismojums, slēgumi), lai varētu izveidot datubāzi ar korektiem datiem mākslīgā intelekta apmācīšanai. “Kultūraugu

monitoringa veikšana kontrolētos apstākļos bāzes datu ieguvei un datubāzes izveidei” darbība caurvija Projektu un sastāv no trim saturiskiem blokiem.

#### **Bioloģijas sadaļa.**

Četru augu tipu (baziliks (*Ocimum basilicum* L.), plakano lapu pētersīļi (*Petroselinum crispum* var. *Neapolitanum*), loki (*Allium schoenoprasum*) un koriandrs (*Coriandrum sativum*)) augšanas īpašības tika novērtētas dažādu apgaismojuma ķermeņu ietekmē klimatiskajā kontrolētā 40” HQ transportēšanas konteinerā, izmantojot hidroponisko barības vielu plēves tehnoloģijas (NFT) (turpmāk – Konteiners). Konteiners ir aprīkots ar 60 m<sup>2</sup> vertikālās lauksaimniecības plauktiem katru 30 cm augstumā un stādu audzēšanas daļu.



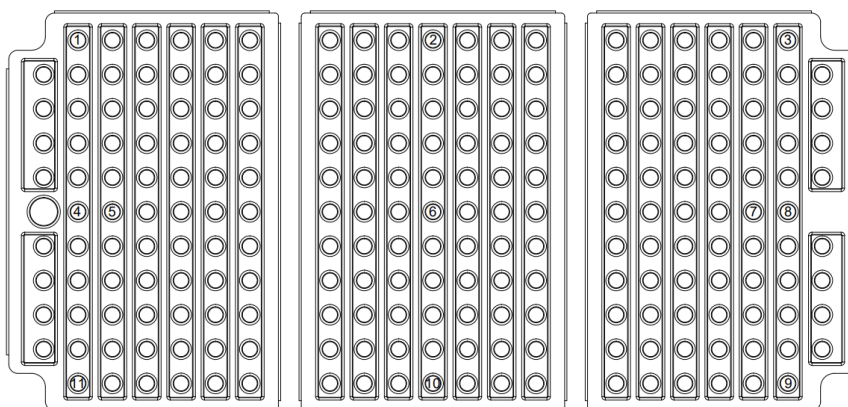
**Konteinera plauktu kopskats.**

Baziliks, pētersīļi un koriandrs tika iesēti ar 4–7 sēklām katrā kūdras tabletē (25 mm, *Jiffy Products S.L. Ltd*), bet loki ar 9–12 sēklām katrā tabletē manuāli. Visi stādi tika turēti vienādos apstākļos (temperatūra, apgaismojums, dienas/nakts intervāls, mitrums, CO<sub>2</sub>) 45 dienas stādu diedzēšanas sistēmā pirms to pārstādīšanas plauktos. Baziliks, pētersīļi un koriandrs tika pārstādīti hidroponiskajā sistēmā ar blīvumu 63 augi uz kvadrātmetru, bet loki – 113 augi uz m<sup>2</sup>.

Sistēmā augi aug pilnībā kontrolētā vidē. Automātiskā sistēma regulē pH (5,8–6,6) un EC (1,7–2,5), ik pēc 20 minūtēm vēja pūtēji nodrošina 10 minūšu garus vēja periodus, relatīvais mitrums (65–85 %), temperatūra (22–24 °C) tiek kontrolēta ar HVAC sistēmu, CO<sub>2</sub> (800–1000 ppm) tiek automātiski nodrošināts no CO<sub>2</sub> tvertnes, apgaismojuma intensitāte tika iestatīta pirms testa, dienas/nakts intervāls noteikts uz 12 h – 12 h.

Katrā plauktā tika izmantoti dažādus apgaismojuma ķermeņu veidi, kopumā piecas dažādas apgaismojuma versijas. Apgaismojuma intensitāte tika kontrolēta, izmantojot vadības un "Casambi" lietotni, un tā tika vienmērīgi iestatīta visās vienībās katrā testā robežās no 180 līdz 275 μmol/m<sup>2</sup>/s katra plaukta centrā.

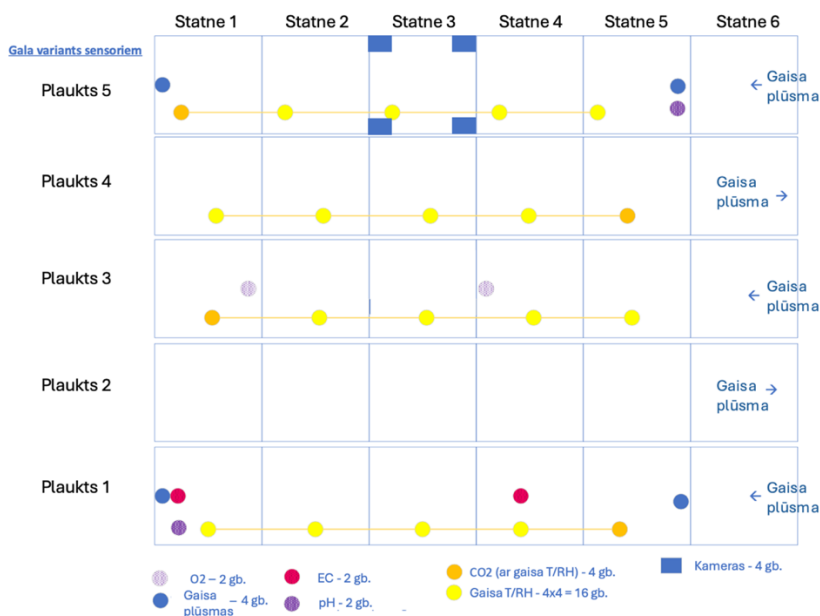
Gaismas ietekme tika novērtēta 27 dienas pēc pārstādīšanas, veicot mērījumus: svaiga auga garums, zaļās auga daļas garums, sakņu garums, kopējā auga masa, zaļās auga daļas masa, sakņu masa un raža uz kvadrātmetru. Mērījumi tika veikti 11 augiem uz kvadrātmetru saskaņā ar iepriekš izstrādātu shēmu (zemāk).



Augu mērījuma shēma.

Infrastruktūras izveidošana datu ieguvei

Otrs saturiskais bloks aktivitātes īstenošanā ietvēra infrastruktūras izvietojumu, t.i. datu ieguvei. Kopumā Projekta gaitā ir izvietoti 30 sensori, 2 jaudas mērītāji, un 4 kameras. Sensoru klāsts ietver sevī - 4 ogļskābās gāzes (CO<sub>2</sub>), kā arī gaisa temperatūras un relatīvā mitruma sensorus; 16 papildus gaisa temperatūras un relatīvā mitruma sensorus; 2 augu minerālvielu šķīduma elektriskās vadītspējas sensorus; 2 augu minerālvielu šķīduma pH sensorus; 2 gaisa skābekļa koncentrācijas sensorus; 4 gaisa plūsmas ātruma sensorus.



Sensoru izvietojuma shēma.



Plaukts aprīkots ar kamerām, LED apgaismojumu un sensoriem.

Pilnu infrastruktūras aprakstu skatīt Pielikuma Nr.1 1.1. sadaļā.

#### Datubāzes izveide

Visbeidzot, datu uzglabāšana un apstrāde. Projekta uzsākšanas un metodikas izstrādes posmā tika identificēta neprecizitāte sākotnējā Projekta dizainā, kā rezultātā bija jārod risinājums masīvu datu apjomu glabāšanai un apstrādei. Rezultātā MI datu uzglabāšana un apstrāde tika ieviesta kā jauna, kritiska pozīcija projekta budžetā. Tika veikts tirgus apskats un izvēlēts Wizata S.A. un Microsoft Azure risinājums. Būtiski, ka izvēlētais risinājums papildus datu uzglabāšanai un apstrādei, nodrošināja daļu funkciju veikšanu, kas sākotnēji projektā tika plānota kā datu analītiķa darbs.

Kameru un sensoru iegūtie dati tiek pārsūtīti un droši glabāti **Microsoft Azure Data Lake**, mērogojamā krātuves risinājumā, kas paredzēts milzīgu strukturētu un nestukturētu datu apjomiem. Šī sistēma nodrošina efektīvu lielu datu kopu pārvaldību un izgūšanu, šajā gadījumā tie ir tūkstošiem attēlu un miljoniem ierakstu.

Piekļuvi šiem datiem nodrošina **Wizata** platforma, kas integrējas ar Azure Data Lake. Wizata arhitektūra atbalsta reāllaika datu ievadi, apstrādi un analīzi, ļaujot lietotājiem vizualizēt un interpretēt datus bez manuālas eksportēšanas nepieciešamības. Platforma atbalsta uzlabotu analītiku un mašīnmācīšanās lietojumprogrammas, piedāvājot rīkus uz datiem balstītai lēmumu pieņemšanai.

Aktivitāte pilnībā veiksmīgi īstenota.

Rezultāts – izveidota kultūraugu monitoringam nepieciešamā datubāze. Ņemot vērā ievērojamo datu apjomu, tieša datu pārsūtīšana nav praktiska. Pielikuma Nr.3 III sekcijā ir papildus informācija, bildes un ekrānšāviņi no datubāzes.

#### Darbība Nr. 4: Algoritmu izstrāde iegūto datu kopu apstrādei

Algoritmi ir būtiski datu transformācijai un analīzei, īpaši apstrādājot lielus datu apjomus no sensoriem un kamerām. Tie nodrošina reāllaika konvertēšanu, filtrēšanu, strukturēšanu un datu interpretāciju, galu galā pārvēršot tos praktiskās atziņās augu augšanas apstākļu optimizēšanai.

Projekta kontekstā ir trīs galvenie datu apjomu veidi: attēli, sensoru dati un manuāli ievadītie dati.

Pirmkārt, attēli tiek iegūti no kamerām Konteinerī un saglabāti mākoņkrātuvē .jpg formātā. MI speciālisti izstrādā algoritmus, lai pārveidotu .jpg attēlus strukturētos datos, ekstrahējot būtiskas īpašības, piemēram, formu, krāsu un tekstūru. Nākamajā solī dati tiek pārsūtīti uz Wizata platformu. Pēc šo darbību secības dati kļūst pieejami Azure platformā tālākai apstrādei un analīzei.

Otrkārt, dati tiek iegūti no sensoriem Konteinerī. Šie dati tiek nosūtīti katru minūti uz projekta partnera RTU serveri. RTU serverī tiek ģenerēti .csv faili. Importēšanas skripts, kas nodrošina šo failu pārsūtīšanu uz Wizata serveriem, vienlaikus normalizē datus, lai tie atbilstu Azure Data Lake struktūrai, nodrošinot konsekveni turpmākajai apstrādei Azure vidē. Pēc šī procesa dati kļūst pieejami Wizata platformā tālākai apstrādei un analīzei.

Treškārt, dati tiek vākti manuāli visā projekta gaitā, lai kalpotu kā salīdzinošais datu kopums mašīnmācīšanās procesam. Biologs veic manuālus mērījumus katra audzēšanas cikla beigās. Šie dati (lapu skaits, garums cm, lapu krāsas intensitāte, vizuālais novērtējums utt.) tiek saglabāti .xls datubāzē. Vēlākajos testēšanas ciklos šie dati tiek eksportēti uz Wizata platformu, lai veiktu papildus analīzi un AI modeļa apmācību, pilnveidojot tā prognozēšanas spējas. Sistēma ietver atgriezeniskās saites mehānismu, kur AI ģenerētās prognozes, balstītas uz attēlu analīzi, tiek nepārtraukti salīdzinātas ar manuāli iegūtajiem mērījumiem. Šis atgriezeniskās saites cikls ļauj modeļa atkārtotu apmācību un uzlabošanu laika gaitā, palielinot nākotnes prognožu precizitāti.

Pētījuma ietvaros algoritmi tika izstrādāti plānotajā termiņā, tomēr to pilnveidošana turpinājās visa Projekta īstenošanas laikā.

Aktivitāte pilnībā veiksmīgi īstenota.

Rezultāts – izveidots MI datu analīzes rīks. Skatīt Pielikuma Nr.3 1. sekcijas 3. daļu. Un Pielikuma Nr.1 1.3. daļu.

## **Darbība Nr. 5: Mākslīgā apgaismojuma tehnoloģiju uzlabojumi**

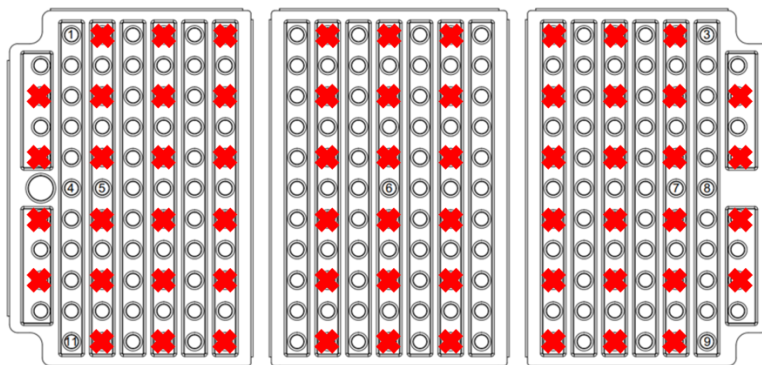
Eksperimenta salīdzinošie dati tika ievākti no vairākām plauktu līnijām, katrā līnijā ir 5 gab. plaukti (~5m<sup>2</sup>), vienas līnijas ietvaros tiek nodrošināti vienādi apstākļi, plauktu līnijas savstarpēji atšķiras tikai ar LED gaismas avotu.



**Attēlā redzami divi augšējie Konteineru plaukti ar dažādiem LED risinājumiem.**

Kopā tika testēti četri dažādi jauni LED gaismas avoti un bāzes modelis (kopā pieci salīdzināmi tehnoloģiski risinājumi). Apgaismojuma intensitātes regulēšanai tiek izmantoti Casambi 0-10V vadības moduļi ar iespēju katram gaismas avota tipam individuāli ieregulēt savu darba režīmu.

Zemāk redzamajā attēlā ir parādīts Konteinerā izmantotais augu audzēšanas trauks. Ar katru aplīti ir apzīmēta vieta, kur var tikt stādīti augi. Tāpēc, lai varētu pilnvērtīgāk novērtēt gaismekļu kvalitāti – spēju dot augiem nepieciešamos apgaismojuma parametrus visa plaukta ietvaros, apgaismojuma intensitātes mērījumi tiek veikti ar sarkanu krustu atzīmētajos punktos.

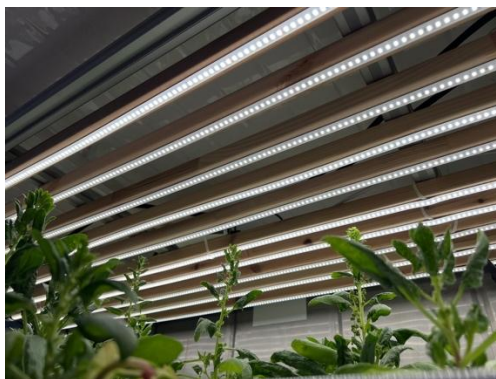


**Augu audzēšanas trauks.**

Tika izvēlēti un uzstādīti pieci apgaismojuma risinājumi: Osram LEDVANCE, Fluence RAZR-M, Sylvania Grow Lux, 4D Bios jaunā tipa gaismekļi, 4D Bios bāzes modelis.

Pētījumam par dažāda veida apgaismojuma ietekmi uz augu ražu, kā par vienu no apgaismojuma veidiem, tika izvēlētas LED lentes. Kaut arī šāds mākslīgā apgaismojuma veids nav tipisks konteineru tipa siltumnīcām un ir, drīzāk, paredzēts iekšējai apgaismojumam, daudzpusīgāka pētījuma veikšanai, tomēr tika izlemts apskatīties kāda būs augu reakcija uz parasto, nevis audzēšanai specializēto, apgaismojumu.

Viena minētā LED lenta ir 5 metrus gara, ar nominālo jaudu 60 W. Tā kā testēšanas nolūkiem katram gaismekļa veidam ir atvēlēti 5 audzēšanas plaukti, tad kopumā uz 5 plauktiem ir uzstādītas 17 lentes, kuru kopējā jauda rezultējas 1020 W. Attiecīgi, uz vienu audzēšanas plauktu ir aptuveni 17 metri lentes ar jaudu 204 W. Apgaismojuma spektrs ir 4000 K neitrāli baltā gaisma, un ietver sevī visus augiem nepieciešamos gaismas viļņu garumus – zilās, zaļās, sarkanās un tālās sarkanās gaismas. Relatīvā spektra pīķis ir zaļās gaismas diapazonā. Nominālais šo LED lentu kalpošanas ilgums ir 50000 h. Staru kūļa leņķis – 110°.



**Uzstādītās OSRAM LEDVANCE LED lentes.**

Otrs šim pētījumam izvēlētais, Fluence ražotāja, gaismekļu veids ir jau konkrēti paredzēts izmantošanai vertikālajā lauksaimniecībā. No specializētajiem audzēšanas gaismekļiem šajā pētījumā tas ir vienīgais apgaismojums ar izteiktu baltās gaismas spektrālo sastāvu.

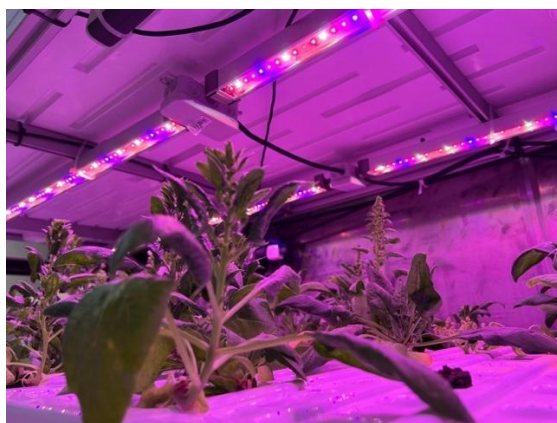
Viens šāds gaismeklis ir 53 collas, jeb 1,35 metrus garš, ar nominālo jaudu 24 W. Uz katru no audzēšanas plauktiem ir uzstādīti 7 šādi gaismekļi, kuru jauda rezultējas 168 W, bet kopumā, uz 5 plauktiem, šī apgaismojuma sistēma ietver 35 gaismekļus ar nominālo jaudu 840 W. Izvēlēta apgaismojuma spektrs ir ļoti līdzīgs iepriekš apskatītajām LED lentām, un datu lapā to sauc par PhysioSpec™ BROAD R3a, kas nozīmē plašu spektrālo sastāvu un arī ietver sevī visus augiem nepieciešamos gaismas viļņu garumus – zilās, zaļās, sarkanās un tālās sarkanās gaismas. Relatīvā spektra pīķis arī šim apgaismojumam ir zaļās gaismas diapazonā, tāpēc rezultējošā gaisma ir baltā krāsā. Nominālais šo gaismekļu kalpošanas ilgums ir uzrādīts vismaz 50000 h. Staru kūļa leņķis – 120°.



**Fluence RAZR-M.**

Par trešo pētāmo apgaismojuma veidu tika izvēlēti Sylvania ražotāja gaismekļi. Tā pat, kā Fluence ražotāja, šie gaismekļi ir specializēti augu audzēšanai, tomēr savā starpā tie atšķiras ar to, ka Sylvania ražotajiem gaismekļiem nav baltās gaismas spektrs, bet gan izteikts rozā (zili-sarkanās gaismas) spektrālais sastāvs.

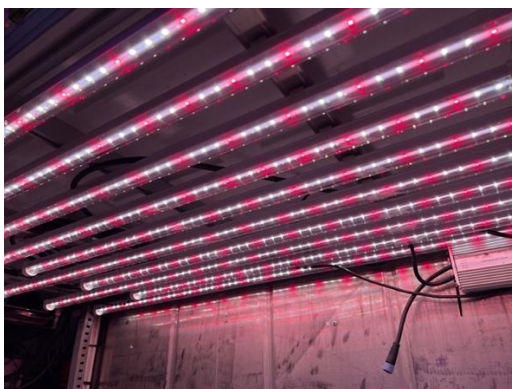
Viens šis gaismeklis ir 0,95 metrus garš, ar nominālo jaudu 63 W. Tā kā šis gaismeklis ir aptuveni 1,5 reizi īsāks, nekā audzēšanas plaukta garums, tad to izvietošana tika realizēta vienlaidus uz visiem 5 plauktiem, nevis uz katru plauktu atsevišķi. Kopumā ir uzstādīti 14 šādi gaismekļi, kuru jauda rezultējas 882 W. Attiecīgi, uz vienu audzēšanas plauktu ir aptuveni 2,8 šādi gaismekļi ar jaudu 176,4 W. Šī apgaismojuma spektrs arī ietver visus augiem nepieciešamos gaismas viļņu garumus – zilās, zaļās, sarkanās un tālās sarkanās gaismas. Tomēr, no abiem iepriekš apskatītajiem apgaismojuma veidiem, šim relatīvā spektra pīķis ir sarkanās gaismas diapazonā un ietver sevī daudzāk mazāk zaļās gaismas, tāpēc rezultējošā gaisma ir izteikti rozā krāsā. Arī šo gaismekļu nominālais kalpošanas ilgums ir uzrādīts 50000 h. Staru kūļa leņķis – 120°.



### **Sylvania Grow Lux.**

Ceturtie pētījuma gaismekļi ir 4D Bios ražotāja jaunā tipa lampas. Arī šie gaismekļi ir izstrādāti lauksaimniecības nolūkiem, un spektrālais sastāvs līdzinās iepriekš apskatītajam Sylvania ražotajam gaismeklī, tomēr šis satur aptuveni 3 reizes vairāk zaļās gaismas.

Viens jaunā tipa gaismeklis ir 1,185 metrus garš, ar nominālo jaudu 16,5 W. Uz vienu audzēšanas plauktu ir izvietoti 10 šādi gaismekļi, kas rezultējas 165 W nominālajā jaudā. Gaismekļu izvietojums visiem 5 plauktiem ir vienāds, tāpēc kopā ir uzstādīti 50 šādi gaismekļi, kuru kopējā jauda ir 825 W. Atšķirībā no iepriekš apskatītajiem gaismekļiem, šī apgaismojuma spektrs ietver sevī tikai zilās, zaļās un sarkanās gaismas viļņu garumus, tālā sarkanā gaisma nav iekļauta. Tā pat, kā Sylvania ražotajam gaismeklī, šim relatīvā spektra pīķis ir sarkanās gaismas diapazonā, taču lielāka zaļās gaismas spektrālā sastāva ietekmē rezultējošais apgaismojums nav tik izteikti rozā krāsā un ir tuvāk baltai gaismai. Atšķirībā no iepriekš apskatītajiem ražotājiem, šo gaismekļu nominālais kalpošanas ilgums ir divreiz mazāks – 25000 h. Staru kūļa leņķis – 120°.



**4D Bios jaunā tipa gaismekļi.**

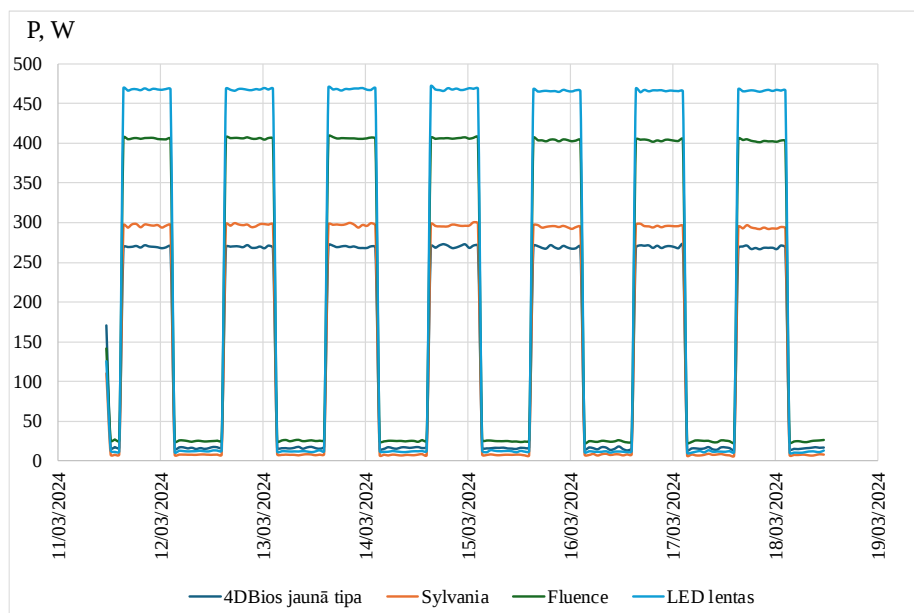
Savstarpējam gaismekļu salīdzinājumam tiek pētas arī vecā tipa 4D Bios ražotāja lampas, kuras jau bija uzstādītas Konteinerī. Šie gaismekļi tika izstrādāti konkrēti šai konteineru tipa siltumnīcai pēc individuāla pasūtījuma.

Vecā tipa jeb bāzes modeļa gaismeklis pēc savas konstrukcijas pilnībā atšķiras no visiem iepriekš apskatītajiem, jo ir paneļa veida, ar izmēriem 0,6 x 1,2 metri. Uz katru audzēšanas plauktu ir izvietots 1 šāds gaismeklis, kura nominālā jauda ir 90 W. Attiecīgi, uz 5 audzēšanas plauktiem ir 5 šādi gaismekļi, kuru kopējā jauda ir 450 W. Šī apgaismojuma spektrālais sastāvs ir stipri līdzīgs Sylvania ražotajam gaismeklī, tas ietver sevī zilās, zaļās un sarkanās gaismas viļņu garumus ar relatīvā spektra pīķi sarkanās gaismas diapazonā, tomēr ir viena atšķirība – vecā tipa lampām nav iekļauta tālās sarkanās krāsas gaisma. Tā kā šiem gaismekļiem zaļā gaisma sastāda tikai ap 5% no relatīvā spektra, tad rezultējošais apgaismojums ir izteikti rozā (zili-sarkanā) krāsā.



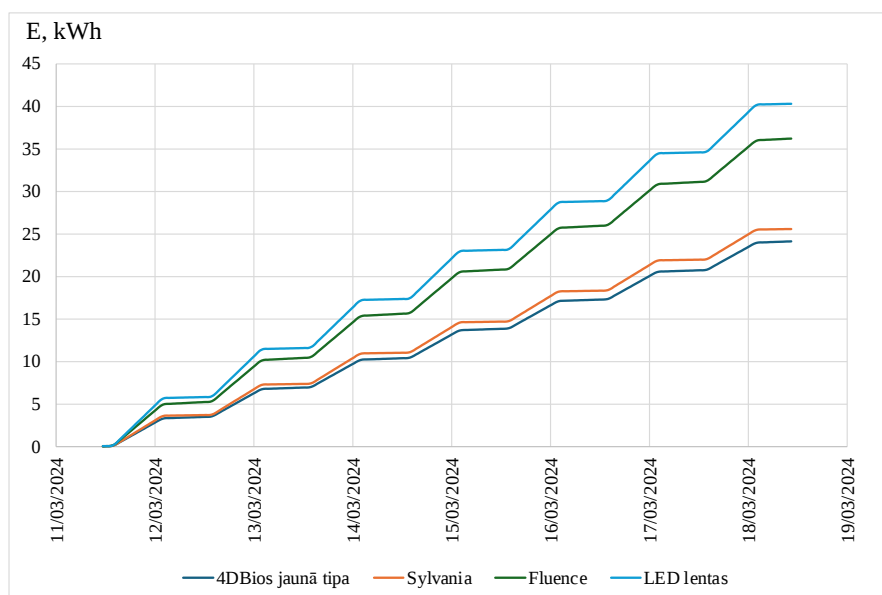
**Vecā tipa 4D Bios gaismekļi.**

No uzstādītajiem konteinerī jaudas mērītājiem ir apkopots četru gaismekļu 1 nedēļas slodzes grafiks zemāk attēlā. Augu gaismošanas cikls apskatītajā periodā ir: 12 stundas diena (gaismekļi ieslēgti) un 12 stundas nakts (gaismekļi izslēgti). Dienas imitēšanas laikā 4D Bios jaunā tipa gaismekļi vidēji patērē 270 W jaudas, Sylvania ražotie gaismekļi par 10% vairāk – 297 W, Fluence par 50,74% vairāk – 407 W, bet LED lentas par 73,33% vairāk – 468 W. Visu gaismekļu ieregulējums ir tāds, lai to rezultējošā apgaismojuma intensitāte uz audzēšanas plaukta būtu vienāda. No šī izriet, ka gaismeklis ar vislielāko efektivitāti ir 4D Bios jaunā tipa, jo, nodrošinot to pašu apgaismojuma intensitāti, tas izmanto vismazāk elektriskās jaudas. Tam seko Sylvania ražotais gaismeklis, tad Fluence, bet viszemākā efektivitāte ir LED lentām.



**Dažādu ražotāju uzstādīto gaismekļu 1 nedēļas slodzes grafiks**

Konteinerī uzstādīto gaismekļu 1 nedēļas elektroenerģijas patēriņa grafiks ir redzams attēlā zemāk. Tā kā darbības laiks visiem gaismekļiem ir bijis vienāds – 84 stundas 7 diennakšu laikā, bet izmantotā jauda katram ir atšķirīga, tad patērētās elektroenerģijas daudzums arī atšķiras. Vislielākais elektroenerģijas patēriņš ir LED lentām, nedēļas laikā tās patērēja 40,28 kWh elektroenerģijas, Fluence gaismekļi par 10,08% mazāk – 36,22 kWh, Sylvania par 36,44% mazāk – 25,60 kWh, bet 4D Bios jaunā tipa gaismekļi par 40,12% mazāk – 24,12 kWh.



**Dažādu ražotāju uzstādīto gaismekļu 1 nedēļas elektroenerģijas patēriņš**

Aktivitāte pilnībā veiksmīgi īstenota.

Rezultāts – ir noteikts efektīvākais apgaismojuma modelis. Pilnīgai un izvērstai informācijai par šo aktivitāti un rezultātu apkopojumam skatīt Pielikuma Nr.1. sadaļu Nr. 4 un 5.

## **Darbība Nr. 6: Ietekmes novērtējums pēc mākslīgā apgaismojuma tehnoloģiju uzlabojumiem**

Aromātiskajiem garšaugiem, piemēram, bazilikam (*Ocimum basilicum L.*), platlapu pētersīļiem (*Petroselinum crispum var. Neapolitanum*), lociņiem (*Allium schoenoprasum*) un kinzai (*Coriandrum sativum*), ir unikālas augšanas prasības, ko ietekmē gaismas kvalitāte un vides apstākļi. Šo vajadzību izpratne ir būtiska, lai maksimāli palielinātu augšanu un uzturvērtību, īpaši kontrolētās vides lauksaimniecībā (CEA).

- Baziliks ir strauji augošs garšaugšs, kas ir ļoti jutīgs pret gaismas kvalitāti. Pētījums, ko veica Zhang et al. (2018), parādīja, ka bazilika augi, kas pakļauti gaismas spektram ar bagātīgu sarkano viļņu garumu (apmēram 620–660 nm), uzrādīja lielāku lapu platību un augstāku hlorofila koncentrāciju, kā rezultātā biomasa palielinājās līdz pat 35%, salīdzinot ar augiem, kas audzēti zemāka sarkanās gaismas līmeņa apstākļos. Kopsell et al. (2014) atklāja, ka konkrēts LED apgaismojums (80% sarkans, 20% zils) ievērojami uzlaboja bazilika ēterisko eļļu saturu, tādējādi pastiprinot tā garšu un tirgus vērtību. Optimāli augšanas apstākļi bazilikam ir temperatūra 18–30 °C, relatīvais mitrums 50–70%, un barības šķīduma pH 5,5–6,5 (Heuvelink, 1999).
- Platlapu pētersīļi labi aug pie sabalansēta gaismas spektra, un pētījumi liecina, ka sarkanās un zilās gaismas attiecība 2:1 veicina optimālu augšanu. Moustakas et al. (2019) pierādīja, ka šāda LED gaisma palielināja lapu biomasu par 50% un hlorofila saturu par 30%, salīdzinot ar dienasgaismas spuldzēm. Turklāt pētersīļi ir jutīgi pret gaismas intensitāti – optimāla augšana notiek pie aptuveni 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , kur biomasa var palielināties līdz 45% (Hernández et al., 2020). Ideāli augšanas apstākļi pētersīļiem ir temperatūra 15–21 °C, relatīvais mitrums 60–70%, un pH diapazons 6,0–7,0 (Sinha et al., 2015).
- Lociņi īpaši reaģē uz gaismas kvalitāti un optimālai augšanai prasa augstu zilās gaismas līmeni. Liu et al. (2020) pētījums parādīja, ka lociņi, kas audzēti 70% zilā un 30% sarkanā gaismas spektrā, uzrādīja 40% lielāku biomasu un spēcīgāku garšu, salīdzinot ar augiem, kas audzēti zem dienasgaismas spuldzēm. Turklāt lociņi gūst labumu no augstākas gaismas intensitātes (400  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), kas var uzlabot augšanas ātrumu un ražu līdz pat 60%. Lociņiem optimāli augšanas apstākļi ir temperatūra 15–25 °C, relatīvais mitrums 50–60%, un pH diapazons 6,0–7,0 (Bock et al., 2019).
- Kinzai, kas ir ļoti jutīga pret gaismas apstākļiem, augšanas efektivitāte būtiski uzlabojas dažādu gaismas spektru ietekmē. Ashraf et al. (2019) pētījums parādīja, ka kinza, kas audzēta LED sistēmā ar sabalansētu spektru (50% sarkans, 50% zils), uzrādīja 35% lielāku biomasu, salīdzinot ar augiem, kas audzēti zem augstspiediena nātrija (HPS) spuldzēm. Pētījums arī atklāja, ka, optimizējot gaismas apstākļus, kinzas ēterisko eļļu saturs palielinājās par 20%, uzlabojot tās aromātiskās īpašības un uzturvērtību. Ideāli augšanas apstākļi kinzai ir temperatūra 20–25 °C, relatīvais mitrums 50–70%, un barības šķīduma pH 6,0–7,0 (Kumar et al., 2015).

Šis pētījums novērtēja piecu apgaismojuma ķermeņu Osram LEDVANCE, Fluence RAZR-M, Sylvania Grow Lux, 4D Bios jaunā tipa gaismekļi, 4D Bios bāzes modelis veiktspēju dažādās gaismas intensitātes robežās (200–260  $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ ) uz četriem galvenajiem kulinārijas augiem: baziliku, pētersīļiem, koriandru un lokiem. Tika analizēti tādi parametri kā raža, masa, garums un augšanas vienmērīgums, lai novērtētu katra apgaismojuma ķermeņa efektivitāti. Gaismas ietekme ražā tiek novērtēta, mērot svaiga auga garumu, zaļā auga daļas garumu, sakņu garumu, kopējo auga masu,

zaļā auga daļas masu, sakņu masu un ražu un stublāju/lapu masu uz kvadrātmētru. Mērījumi tika veikti 11 augiem uz kvadrātmētru, pamatojoties uz iepriekš izstrādāto shēmu.

Tāpat, lai nodrošinātu datu salīdzināmību, visos salīdzināmajos plauktos augi, kas aug dažādu veidu gaismekļos, tika iegūti no viena un tā paša sēklu krājuma, un sēklas dīgušas tādos pašos apstākļos un vienā laikā. Visi stādi tika pārstādīti no diedzētavas uz hidroponisko sistēmu vienlaikus, un visi mērījumi un datu vākšana ražas novākšanas laikā tika veikti vienlaikus, ar tiem pašiem instrumentiem un to veica viena persona, lai nodrošinātu datu salīdzināmību.

Pilnu informācijas izvērsumu par apgaismojuma ietekmi uz ražu skatīt Pielikuma Nr.2. Zemāk pievienojam vispārējus secinājumus.

### Vispārējie secinājumi

- **Labākais maksimālai ražai:** Fluence RAZR-M apgaismojums ir labākais variants ražas palielināšanai visām kultūrām, īpaši pie gaismas intensitātes 200–230  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ . Tas ir īpaši efektīvs bazilikam, pētersīļiem un lociņiem, padarot to par visdaudzpusīgāko izvēli audzētājiem, kuri koncentrējas uz produktivitāti.
- **Labākais vienmērīgumam:** 4D Bios bāzes versijas apgaismojums izceļas ar spēju nodrošināt vienmērīgu augu augšanu pēc svara un garuma visām kultūrām. Tas ir ideāli piemērots audzētājiem, kuri prioritizē konsekveni, īpaši koriandra un pētersīļu audzēšanā.
- **Sabalansēta veikspēja:** Osram LEDVANCE piedāvā līdzsvarotu ražas un vienmērīguma kombināciju, padarot to par uzticamu izvēli koriandram un pētersīļiem vidējas gaismas intensitātes apstākļos.

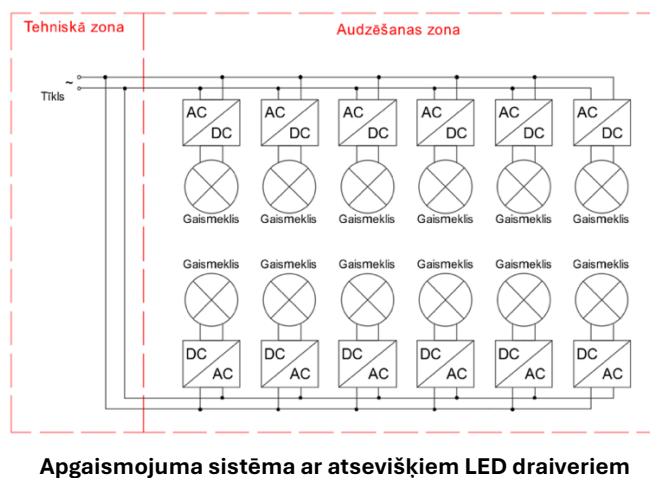
Šie rezultāti uzsvēr nepieciešamību izvēlēties apgaismojumu atbilstoši konkrētajiem audzēšanas mērķiem. Ja prioritāte ir maksimāla raža, tad Fluence RAZR-M ir skaidra izvēle.

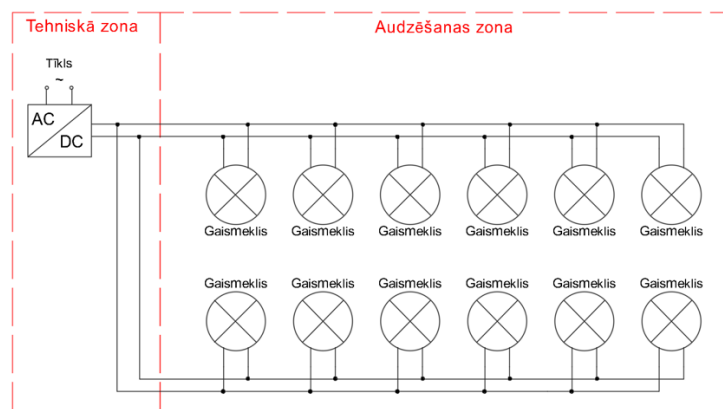
Aktivitāte pilnībā veiksmīgi īstenota. Rezultāts – ir noteikts efektīvākais apgaismojuma modelis. Pilnu informācijas izvērsumu par apgaismojuma ietekmi uz ražu skatīt Pielikumā Nr.2.

## Darbība Nr. 7: Elektroenerģijas patēriņa uzlabošanas risinājumi

### 1.Sava gaismekļa izstrāde, kā potenciāls risinājums

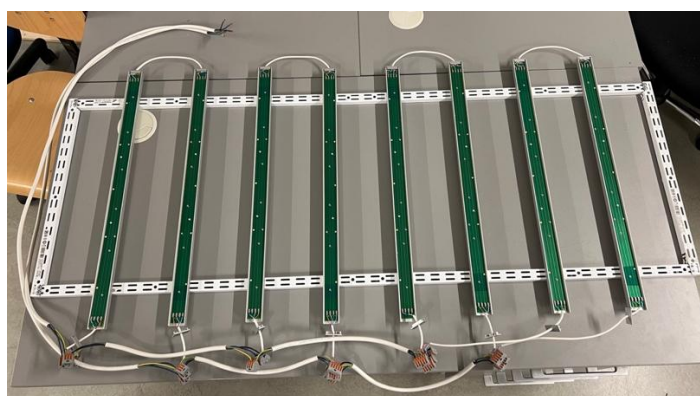
Kā viens no iespējamiem vertikālās lauksaimniecības energoefektivitātes uzlabošanas risinājumiem, tika izstrādāts līdzstrāvas gaismeklis, kas ir balstīts uz līdzstrāvas apgaismojuma koncepta). Šī koncepta pamatā ir aizvītot atsevišķu LED draiveru barošanas sistēmu ar vienotu barošanas avotu, kas ir iznests ārpus audzēšanas zonas un nodrošina visu siltumnīcā esošo gaismekļu darbību, nevis tikai divu-triju, kā tas ir atsevišķu LED draiveru gadījumā.





**Līdzstrāvas apgaismojuma sistēmas koncepts**

Pētījuma gaitā tika secināts, ka šāds līdzstrāvas koncepts var kalpot par apgaismojuma energoefektivitātes uzlabošanu robežās no 2% līdz 25%.

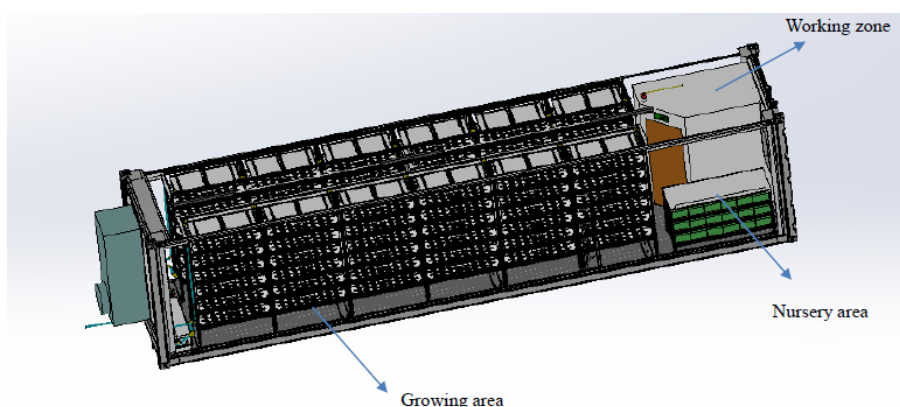


**Izstrādātais plaukta apgaismojums pēc mehāniskās un elektriskās montāžas**

Pilnīgai un izvērstai informācijai par šo aktivitāti un rezultātu apkopojumam skatīt Pielikuma Nr.1. sadaļu Nr. 3.

## 2.HVAC sistēmas uzlabojumi

Viens no elektroenerģijas ietaupījuma potenciālajiem veidiem būtu efektīvas mikroklimata nodrošinošās konteineru sistēmas vai tehnoloģijas nomaiņa uz efektīvāku variantu, nomainot esošo “gaiss-gaiss” variantu:



| Items               | Specification                                            |
|---------------------|----------------------------------------------------------|
| Storage Temperature | -30-60°C                                                 |
| Cooling Capacity    | ≥7.8KW (Condition: Inside 16°C-28°C, Outside -30°C-35°C) |
| Heat Capacity       | 7.8KW                                                    |
| Humidity            | 50%~90%                                                  |
| Noise               | 72dB                                                     |
| CO <sub>2</sub>     | 800ppm~1500ppm                                           |

### Esošās HVAC sistēmas raksturojums.

Šobrīd ir uzstādīts viens 7.8kW jaudīgs HVAC modulis, bet līdzīgi kā ar siltuma vai ūdenssūkņiem mūsdienās, tos var izmantot “kaskādē”, t.i. izmantot divus mazākas jaudas elementus, kur viens nosedz līdz piemēram 5kW, un otrs pieslēdzas tad, kad ir nepieciešama lielāka siltuma vai dzesēšanas jauda. Šajā gadījumā, viens darbojas tuvāk nominālajam/efektīvākajam režīmam (un ar zemāku patēriņu). Kā piemērs uzlabojuma risinājumam varētu būt divi Panasonic Z50TKEA moduļi (gaiss-gaiss tipa).

| 6. HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning) |                                                |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| HVAC Type                                        | Panasonic Z50TKEA; 2 Units                     |
| HVAC Unit Operating Range                        | From -15 °C to 35 °C ; SEER 8.5 – SCOP 4.1     |
| HVAC Unit Power Range                            | 5 kW; Cooling 1 to 6 kW, Heating 1 to 8 kW     |
| HVAC Unit Temperature Precision                  | +/- 1 °C                                       |
| HVAC Unit Humidity Precision                     | +/- 10%                                        |
| Humidifier Type                                  | Ultrasound                                     |
| Humidifier Capacity                              | 1 Litre/ Hour                                  |
| Dehumidifier Exit                                | Pumped in mixing tank                          |
| Number of Interlayer Fans                        | 30                                             |
| Interlayer Fans Voltage                          | 12 Volt                                        |
| Interlayer Fans Flowrate                         | 1 m/ s, blade model                            |
| Circulation Fans                                 | Intake Fan with Filtering, Exhaust fan         |
| Warranty HVAC                                    | 2 years on HVAC unit and 5 years on compressor |

### Potenciālo HVAC uzlabojumu tehniskie parametri.

Nākamais līmenis būtu izveidot “gaiss-ūdens” tipa sistēmu, jo jebkurš uz gaisu bāzēts risinājums būs daudz neekonomiskāks par apkuri/ dzesēšanu ar ūdens plūsmu, jo ūdens siltumvadītspēja ir 23,5 reizes augstāka kā gaisam:

- Gaiss: 0,026 W/m-K;
- Ūdens: 0,61 W/m-K.

Attiecīgi, Konteinerā varētu griestos iekārt kapilāru paneļus, izlikt pa sienām kapilāru plates pa perimetru un starp statņu sāniem. Visu to pieslēgt vienam - gaiss - ūdens siltumsūkņim. Ja pieslēgtu ūdens-ūdens vai ģeotermālajam SS ekonomija būtu vēl lielāka, jo varētu dzesēt faktiski tikai ar cirkulācijas sūkni. Viena konteineru slēgumam tās būtu pārāk lielu izmaksas, bet reālai instalācijai tas būtu optimāli.

Pēc Konteineru un stādu stendu izmēriem sanāk, ka konteineru vidusdaļa, kuru neaizņem stādu stendi, ir ~ 85 cm. Tad ejas vidū, griestos var sakārt kapilāru paneļus - ļoti blīvi ar katra paneļa izmēru - 0,8 x 0,5 m=0,4 m<sup>2</sup>. Konteineru garums ir 12 m, ja tiek iekarinātai paneļi aptuveni 10 m garumā, tad var iegūt apkures/dzesēšanas jaudu ar paneļiem tuvu esošajai 7,8 kW jaudai (kopā ar 1 siltumsūkni, kas būs ārpus konteineru).

Aktivitāte pilnībā veiksmīgi īstenota.

Rezultāts – ir izstrādāti elektroenerģijas patēriņa uzlabošana risinājumi. Papildus ir iegūta objektīva informācija par Konteineru dažādo inženiersistēmu individuālajiem patēriņiem, kas var kalpot par optimizācijas darbību veikšanu. Pilnīgai un izvērstai informācijai par šo aktivitāti un rezultātu apkopojumam skatīt Pielikuma Nr.1. sadaļu Nr. 3.

## **Darbība Nr. 8: “Ietekmes novērtējums pēc elektroenerģijas patēriņa uzlabošanas risinājumu ieviešanas”**

Ietekmes novērtējumu lūdzam skatīt Pielikuma Nr.1 sadaļā 5 un dokumenta pielikumos.

Visu gaismekļu ieregulējums ir tāds, lai to rezultējošā apgaismojuma intensitāte uz audzēšanas plaukta būtu vienāda. No Projektā veiktajiem novērojumiem izriet, ka gaismeklis ar vislielāko elektroenerģijas efektivitāti ir 4D Bios jaunā tipa gaismeklis. Nodrošinot to pašu apgaismojuma intensitāti, tas izmanto vismazāk elektriskās jaudas.

Projekta īstenošanas gaitā bija vairāki elektroenerģijas pārrāvumi. Tas ietekmē gan visu Konteineri un audzēšanas sistēmu, gan arī visu IoT sensoru sistēmu, kas šī iemesla dēļ nepagūst atjaunoties un faktiski “uzkaras”, radot nepieciešamību atjaunot sakarus (un/vai restartēt) tos manuāli uz vietas. Šī ir nozīmīga pieredze, kas ļauj izstrādāt reaģēšanas mehānismus, tos automatizēt un iegūt datus par šādu pārrāvumu ietekmi uz sistēmas darbību un ražu. Projekta ietvaros gan risinājumu izstrāde un pārrāvumu ietekme nav paredzēta un analizēta.

Aktivitāte pilnībā veiksmīgi īstenota.

Rezultāts – ir aprēķināta potenciālā ietekme no elektroenerģijas patēriņa uzlabošanas risinājumiem. Ietekmes novērtējumu lūdzam skatīt Pielikuma Nr.1 sadaļā 5 un dokumenta pielikumos.

## **Darbība Nr. 9: Izstrādāto risinājumu testēšana, monitorings un analīze siltumnīcas apstākļos**

Projekta ietvaros, plašākai un padziļinātākai datu analīzei par kontrolētas vides lauksaimniecības mikroklimatu, Mežvidos tika uzstādīti vairāki sensori: 1 ogļskābās gāzes (CO<sub>2</sub>), 5 gaisa temperatūras un relatīvā mitruma, 1 augu masas svāri, 1 substrāta svāri, 1 ePAR gaismas intensitātes, 2 šķiduma elektriskās vadītspējas un 2 pH, 1 skābekļa (O<sub>2</sub>), 1 gaisa plūsmas, un arī 2 kameras.

Daļa no iepriekš uzskaitītajiem sensoriem - ogļskābās gāzes (CO<sub>2</sub>), gaisa temperatūras un relatīvā mitruma, šķiduma elektriskās vadītspējas, šķiduma pH, gaisa plūsmas - ir tādi paši, kā Broccoli Konteineri uzstādītie. Tomēr daži no Mežvidos uzstādītajiem sensoriem atšķiras - skābekļa (O<sub>2</sub>) un kameras - un daži ir jaunieviesti - augu masas un substrāta svāri un ePAR gaismas intensitātes.

Mežvidu siltumnīcā, 8. rindā pie A staba, ir izvietotas 2 "Reolink" ražotāja kameras ar 180° skata leņķi dažādos augstuma līmeņos - zemāk uzstādītā kamera uzņem bildes tajā punktā, kur uz doto brīdi notiek aktīvāka tomātu attīstība, bet augstāk uzstādītā kamera, galvenokārt, vēro tomātu galotnes. Abas kameras uzņem fotoattēlu ik pēc stundas un saglabā visus uzņemtos attēlus gan lokālā atmiņā kartē, gan nosūta uz izvēlēto datubāzi (failu glabāšanas vietu/serveri).



**Apakšējās kameras uzņemtais fotoattēls 19.12.2024 plkst. 10.00**



**Augšējās kameras uzņemtais fotoattēls 19.12.2024 plkst. 10.00**

Pilnīgai un izvērstai informācijai par šo aktivitāti un rezultātu apkopojumam skatīt Pielikuma Nr.1. 1.2.sadaļu.

Kā nākamais solis, līdzīgi kā Broccoli Konteinerā gadījumā, bija datu uzkrāšana un analīze. Tika testētas vairākas pieejas tomātu noteikšanai attēlos, balstoties uz iepriekšējo pieredzi Konteinerā ar bazilika atpazīšanu. Tomātu noteikšanas eksperiments izcēla sarežģītību, pielāgojot attēlu apstrādes tehnikas reālā lauksaimniecības vidē. Tradicionālās krāsas un formas noteikšanas metodes izrādījās nepietiekamas, tāpēc bija nepieciešamas progresīvākas mašīnmācīšanās pieejas. Būtisks izaicinājums joprojām ir visaptveroša tomātu datu kopuma trūkums, kas būs viens no turpmāko pētījumu mērķiem. Lai izstrādātu pilnībā funkcionālu tomātu noteikšanas sistēmu, būs nepieciešami uzlabojumi aparatūrā, apgaismojuma apstākļos un dziļās mācīšanās modeļos.

Pilnu ziņojuma tekstu skatīt Pielikuma 3 II sadaļā. Pamatsecinājumi no šīs pētījuma darbības uzskaitīti zemāk:

- Krāsu noteikšana nav uzticama gaismas piesārņojuma, spektrālo izmaiņu un mākslīgo atspulgu dēļ.
- Formu noteikšana ir neefektīva šķēršļu, atspulgu un neregulāru formu dēļ.
- Kameru ierobežojumi ietekmē attēla kvalitāti, padarot tomātu noteikšanu grūtāku.
- HDR attēlveidošana var uzlabot skaidrību, taču pašreizējās kameras to neatbalsta.
- Daudzkameru konfigurācijas ar HDR attēlveidošanu var uzlabot datu kvalitāti, taču tās prasa papildu ieguldījumus.
- Esošie mākslīgā intelekta modeļi nenodrošina tomātu noteikšanu, tāpēc nepieciešama pielāgota risinājuma izstrāde.
- Lielas mēroga datu kopas ir būtiskas uzticama mašīnmācīšanās modeļa izstrādei.
- Tomātiem ir unikāli izaicinājumi salīdzinājumā ar baziliku, kas prasa fundamentāli atšķirīgu noteikšanas pieeju.
- Tomātu izsekošana laika gaitā joprojām ir neatrisināts izaicinājums, jo vides izmaiņas apgrūtina konsekventa datu kopas izveidi.
- Datu kopas īpašumtiesības nodrošina biznesa priekšrocības, piedāvājot potenciālu konkurences priekšrocību lauksaimniecības mākslīgajā intelektā.

Aktivitāte pilnībā veiksmīgi īstenota.

Tika veikta izstrādātās sistēmās pielāgošana, testēšana, monitorings un analīze pārnesot vertikālās lauksaimniecības pieeju un atziņas uz siltumnīcu. Pilnīgai un izvērstai informācijai par šo aktivitāti un rezultātu apkopojumam skatīt Pielikuma Nr.1. 1.2.sadaļu un Pielikuma Nr.3 II sekciju.

## **Darbība Nr. 10 Izstrādāto mākslīgā intelekta algoritmu testēšana kontrolētos apstākļos ar citām kultūraugu šķirnēm**

### **Spināti**

Pirmā papildus kultūraugu suga – spināti. Sākotnējie pētījumi tika veikti ar neapmierinošies rezultātiem. Tik izlemts neturpināt izmantot spinātus kā pētāmo kultūraugu tā atšķirīgo prasību dēļ pēc apgaismojuma, dienas/nakts intervāla garuma u.tml.

### **Vasabi**

Kā nākamā kultūraugu suga tika izvēlēts vasabi dēļ tā komercializācijas potenciāla.

Japāņu vasabi, pazīstams kā "Sawa Wasabi" vai "Mizu Wasabi," tradicionāli tiek audzēts applūdušā sistēmā, izmantojot terasētos laukus un tekošu avota ūdeni. Šī audzēšanas metode galvenokārt nodrošina sakneņus, kas ir auga palielinātie stublāji. Vasabi augu augšanas ātrums applūdušā sistēmā ir ļoti lēns. Lai izveidotos raksturīgais sabiezinātais sakneņš, vasabi augiem nepieciešami 18 mēneši. Lai paātrinātu vasabi augu augšanu, ir svarīgi noskaidrot audzēšanas apstākļus, kas tiem ir vispiemērotākie. Vairāki pētījumi ir analizējuši vides faktoru (ūdens temperatūras, O<sub>2</sub> piesātinājuma un daudzuma, gaisa temperatūras) ietekmi uz vasabi augšanu un kvalitāti.

Tradicionālā vasabi audzēšana ir darbietilpīga un prasa specifiskus vides apstākļus, tostarp vēsu temperatūru, ēnojumu un pastāvīgu mitrumu. Turklāt lēnais augšanas temps un uzņēmība pret slimībām rada izaicinājumus tradicionālajām lauksaimniecības metodēm. Pēc zinātniskās literatūras apskata, tika secināts, ka hidroponiskā audzēšana piedāvā risinājumu, nodrošinot kontrolētu vidi, kas var optimizēt augšanu, palielināt ražu un mazināt slimību riskus.

### **Tika izpētīta un izveidota metodika vasabi audzēšanas iestatījumiem.**

- Ūdens kvalitāte: vasabi vislabāk aug tīrā, skābekli bagātā ūdenī ar viegli skābu pH līmeni (5,5–6,5).
- Apgaismojums: vasabi dod priekšroku daļējai ēnai vai filtrētai saules gaismai, kas imitē tā dabisko augšanas vidi zem meža lapotnes. LED audzēšanas gaismas ar regulējamu intensitāti un spektru efektīvi atdarina šos apstākļus.
- Temperatūras un mitruma kontrole: Optimālai augšanai nepieciešama temperatūra ap 15–20 °C ar augstu mitruma līmeni (70–80%). Pētījumi rāda, ka temperatūra virs 20 °C samazina ražu un augšanas ātrumu.
- Barības vielu šķīdums: vasabi nepieciešams sabalansēts barības vielu šķīdums, kas satur būtiskus elementus, piemēram, slāpekli, fosforu, kāliju, kalciju un magniju. Komerčiāli hidroponikas barības vielu maisījumi, kas paredzēti lapu dārzeniem, ir piemēroti vasabi audzēšanai.
- Audzēšanas substrāts: Hidroponikā bieži tiek izmantoti inerti substrāti, piemēram, kokosriekstu šķiedra, perlīts vai akmens vates kubi, lai atbalstītu auga saknes. Audzēšanas substrātam jānodrošina pietiekama aerācija un mitruma saglabāšana.

### **Vasabi sākotnējā diedzēšana**

- Stādu audzētava: 10 cm podiņos sēj 15–20 sēklas vai 3–5 sēklas vienā *Jiffy* substrāta podiņā. Literatūras apskatā, 2019. gadā veiktajā pētījumā tika secināts, ka kopējā svaigā un sausā auga masa bija lielāka stādiem, kas audzēti vermikulītā, salīdzinot ar tiem, kas audzēti akmens vatē, pie dažādām barības vielu koncentrācijām.
- Sēklu dīgšana: temperatūru jāuztur diapazonā no 18–24 °C. Sēklu dīgšanas laikā jānodrošina nepārtrauktu apgaismojumu vai 24 stundu fotoperiodu līdz dīgstu parādīšanās brīdim. Nepieciešama vidēja līdz augstu gaismas intensitāti aptuveni 100–200 μmol/m<sup>2</sup>/s.

- Stādu augšana: Pēc sēklu sadīgšanas uztur nedaudz zemāku temperatūru – 16–22 °C, lai veicinātu veselīgu stādu augšanu. Nepieciešams stabils dienas un nakts cikls: 12–16 stundas gaismas, kam seko 8–12 stundas tumsas. Stādu augšanas laikā mērķē uz vidēju līdz augstu gaismas intensitāti – 100–300  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ .

### **Vasabi pārstādīšana**

Vasabi augi parasti ir gatavi pārstādīšanai hidroponikas sistēmā, kad tie ir izveidojuši veselīgu sakņu sistēmu un pietiekamu lapotni, lai turpinātu augt. Pārstādīšanu ieteicams veikt, kad augi ir sasnieguši 8–10 cm augstumu un tiem ir izveidojusies spēcīga sakņu sistēma.

### **Novākšana**

Vasabi augi parasti tiek novākti, kad tie ir sasnieguši noteiktu lielumu un briedumu, kas parasti notiek pēc 12 līdz 24 mēnešu augšanas, atkarībā no vides apstākļiem un šķirnes īpašībām. Ražas novākšanas brīdī vasabi augu izmērs var būt no neliela līdz vidējam, un galvenā uzmanība tiek pievērsta sakneņu attīstībai un briedumam.

Ražas gatavības pazīmes:

- Sakneņa izmērs: vasabi sakneņi parasti ir gatavi novākšanai, kad tie ir sasnieguši noteiktu izmēru un biezumu, parasti ap 5–10 cm garumu un 2–5 cm diametru.
- Sakneņa tekstūra: Nobrieduši vasabi sakneņi ir stingri un, nogatavojoties, var attīstīt nelīdzenu, mezglainu virsmu. Sakneņu ārējā miza var arī nedaudz mainīt krāsu – no gaiši zaļas līdz bēšai.
- Lapu stāvoklis: Vasabi augu lapotne var sākt dzeltēt vai noplakt, kad sakneņi nogatavojas un tuvojas ražas novākšanai. Tas ir dabisks auga dzīves cikla posms, jo tas vairāk enerģijas novirza sakneņu attīstībai.
- Aromāts un garša: Pilnībā nogatavojušies vasabi sakneņi izdala spēcīgu, asu aromātu un tiem piemīt raksturīga pikanta garša.



**Hidroponikas sistēmā iegūts vasabi.**

Pēc vairākiem atkārtotiem mēģinājumiem, vasabi pētījums tika pārtrauks sekojošu iemeslu dēļ:

- Vasabi ir nepieciešama zemāka gaismas intensitāte, nekā paralēli veiktajos audzēšanas ciklos ar Projektā izvēlētajiem kultūraugiem. Tehnoloģiski sarežģīti Konteinerī bija nodalīt papildus dažādas intensitātes apgaismojumu vienā laikā periodā;
- Plauktu augstums ir nepieciešams lielāks, kā esošie 30 cm. Ņemot vērā paralēli veiktos audzēšanas ciklus ar Projektā izvēlētajiem kultūraugiem, plauktu pārbūvēšana nebija ekonomiski pamatota, taču vasabi optimāla audzēšana esošajos plauktos nebija iespējama;

- Vasabi ir nepieciešama zemāka temperatūra, nekā paralēli veiktajos audzēšanas ciklos ar Projektā izvēlētajiem kultūraugiem. Līdz ar to, paralēli eksperiments nedeva cerētos rezultātus;
- Visbeidzot, vasabi ir pārlietu ilgs audzēšanas cikls, lai varētu veikt vairākus salīdzināmus atkārtojumus esošā Projekta ietvaros.

Aktivitāte tika īstenota, taču pozitīvs rezultāts netika sasniegts.

## Darbība Nr. 11 Projekta vadība

Aktivitāte pilnībā veiksmīgi īstenota.

## Darbība Nr. 12 Informācijas izplatīšana

Projekta īstenošanas gaitā tika izstrādātas divas publikācijas:

- Publikācija “Lighting System Design Challenges for Vertical Farming Containers. Part 1. Perspective from Electrical Design”. Iesniegts žurnāla numuram IEEE Latvia IAS-IES-PELS Joint Chapter, kas bijis piesaistītais žurnāls 2024 IEEE 65th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON) zinātniskās konferences, kas norisinājās Rīgā 2024. gada 10.-12. oktobrī, dalībnieku prezentēto rezultātu publicēšanai;
- Un publikācija “The Impact of Luminaire Type and Light Intensity on Herb Yield and Uniformity in Hydroponic Systems”. Iesniegts ENVIRONMENT. TECHNOLOGY. RESOURCES 16th International Scientific and Practical Conference, kas norisināsies 2025. gada 19. un 20. jūnijā. Konferences rakstu krājums ir indeksēts Scopus datubāzē.

Šī gada 15. janvārī, biedrības “Mežvidu lauksaimniecības un tehnoloģiju parks” telpās Klonešņikos, Mežvidu pagastā, Ludzas novadā tika organizēts klātienē pasākums diskusijas veidā par projekta Nr.22-00-A01612-000018 “3D fotogrammetrijas pielietošana un energoefektivitāti veicinošu inovāciju ieviešana optimālāku vides apstākļu nodrošināšanai vertikālajā lauksaimniecībā” ietvaros iegūtajiem rezultātiem. Mežvidu mājaslapā publicēts atskats uz semināru - <https://www.mezvidi.lv/tpost/2ezpsig061-seminars-par-projekta-3d-fotogrammetrija>.

Prezentācijas, dienas kārtība, apmeklētāju saraksts u.tml. pievienots Projekta nodevumiem.

Papildus, reizi ceturksnī Projekta partneri izvietoja informāciju savās mājaslapās, attiecīgi <https://broccoli-global.com/lv/jaunumi/>, <https://www.mezvidi.lv/jaunumi>, [https://www.rtu.lv/lv/universitate/projekti/atvert?project\\_number=4638](https://www.rtu.lv/lv/universitate/projekti/atvert?project_number=4638), <https://www.addo-energy.com/post/3d-fotogrammetrijas-pielieto%C5%A1ana-un-energoefektivit%C4%81ti-veicino%C5%A1u-inov%C4%81ciju-ievie%C5%A1ana-optim%C4%81l%C4%81ku-vide>, <https://bulduri.lv/3d-fotogrammetrijas-pielietosana-un-energoefektivitati-veicinosu-inovaciju-ieviesana-optimalaku-vides-apstaklu-nodrosinasanai-vertikalaja-lauksaimnieciba/>.

Papildus augstākminētajam, tika veiktas atsevišķas sadarbības partneru iniciatīvas, kā piemēram, sadarbībā ar saimnieks.lv notika intervija, lai izplatītu informāciju par Projektu. Pēc intervijas publikācijas, raksts tiks pievienots projekta atskaitei.

Aktivitāte pilnībā veiksmīgi īstenota.

**Pielikumā:**

Pielikums Nr.1 – Datu ievade un energoefektivitāte.

Pielikums Nr. 2 - Gaismekļa veida un gaismas intensitātes ietekme uz garšaugu ražu un vienmērīgumu hidroponikas sistēmās.

Pielikums Nr.3 - Attēlveidošanas procesa analīze, kultūraugu vizuālās novērtēšanas metodoloģija, datu vadīta pieeja.