

DATU IEVADE un ENERGOEFEKTIVITĀTE

Projekts Nr.22-00-A01612-000018

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

NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA
EIROPA INVESTĒ LAUKU APVIDOS
Eiropas Lauksaimniecības fonds
lauku attīstībai

Atbalsta Zemkopības ministrija un Lauku atbalsta dienests

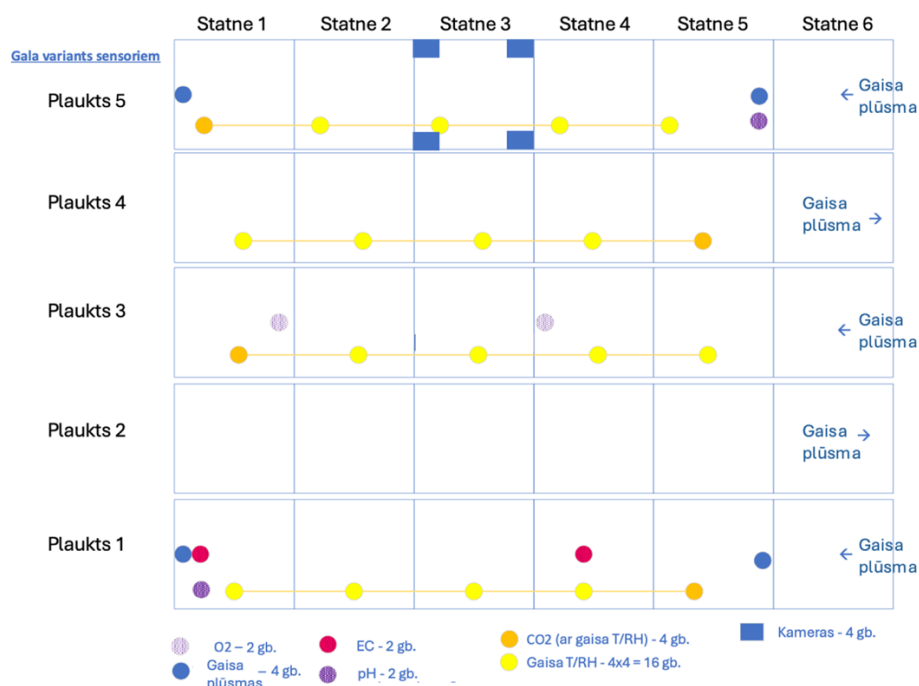
Saturs

1	Sensori.....	3
1.1	Konteinera tipa siltumnīcā "Broccoli"	3
1.1.1	Gaisa temperatūras un relatīvā mitruma (RH/T) sensori (16 gab.)	4
1.1.2	Augu minerālvielu šķīduma elektriskās vadītspējas sensori (2 gab.)	4
1.1.3	Augu minerālvielu šķīduma pH sensori (2 gab.)	5
1.1.4	Gaisa skābekļa koncentrācijas sensori (2 gab.)	6
1.1.5	Jaudas mērītāji (2 gab.).....	9
1.1.6	Kameras (4 gab.)	10
1.2	Vertikālajā lauksaimniecībā "Mežvidi"	15
1.2.1	Skābekļa (O ₂) sensors	15
1.2.2	Kameras	16
1.2.3	Augu masas pieauguma (TWS) un substrāta svara (LSM) sensoru moduļi .	19
1.2.4	ePAR gaismas intensitātes sensors.....	20
1.3	Sensoru sistēma un datu komunikācija ar WIZATA sistēmu.....	23
2	WIZATA platforma	25
3	DC-LED gaismekļa izstrāde un testēšana	33
3.1	Īss apraksts par izstrādāto gaismekli.....	33
4	Dažādu gaismekļu mērījumi konteinerī (reālā vidē).....	38
4.1	OSRAM LEDVANCE LED lenta P 1500 P LS P -1500/940/5/IP67	38
4.2	Fluence RAZR-M, 53", R, BW3	40
4.3	Sylvania GRO-LUX® LED LINEAR FULLSPECTRUM+ MODULE.....	40
4.4	4DBios jaunā tipa lampas 16 W LED Tube Light 9SLD-016TCSSE-0000.....	41
4.5	Vecā tipa 4DBios lampas	42
4.6	Iegūto datu analīze	42
5	Elektroenerģijas patēriņa datu analīze	46
5.1	Pirmais posms.....	46
5.2	Otrais posms	49
6	Energoefektivitātes paaugstināšanas iespējas HVAC sistēmai (konteinerī)	56
	Pielikumi	58
	Pielikums Nr.1. LED lampu intensitātes un spektra mērījumi	59
	Pielikums Nr.2. Līdzstrāvas elektroapgādes arhitektūras izstrāde.....	63
	Pielikums Nr.3. Konteinerī ievietotā IoT sensoru un LED apgaismojuma barošanas līnijas.	76

1 Sensori

1.1 Broccoli vertikālā ferma

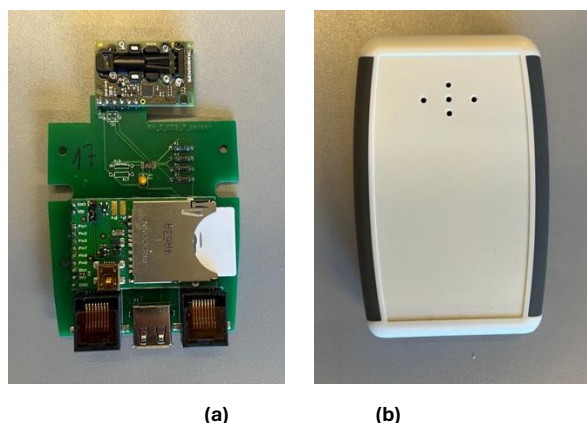
Projekta ietvaros partnera vertikālajā klimatiskajā kontrolētā 40" HQ transportēšanas konteinerā fermā, kura izmanto hidroponisko barības vielu plēves tehnoloģijas (NFT) (turpmāk – Konteiners), tika izvietoti 30 sensori (atbilstoši 1.-1. att. izvietojuma plānam), 2 jaudas mērītāji, un 4 kameras. Sensoru klāsts ietver sevī - 4 ogļskābās gāzes (CO_2), 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.



Attēls 1-1. . "Broccoli" Konteineri uzlikto sensoru izvietojuma plāns

1.1.1 Ogļskābās gāzes (CO_2) sensori (4 gab.)

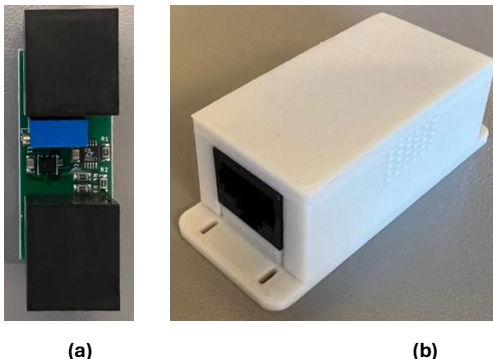
Izstrādātais ogļskābās gāzes sensors mēra šīs gāzes koncentrāciju gaisā, papildus arī gaisa temperatūru un relatīvo mitrumu. Dati un mērvienības, ko sūta minētais sensors: ogļskābās gāzes koncentrācija gaisā - daļiņas uz miljonu (*parts per million - ppm*), gaisa temperatūra - celsija grādi ($^{\circ}\text{C}$), gaisa relatīvais mitrums - procenti (%).



Attēls 1-2. Izstrādātais ogļskābās gāzes (CO_2) sensors: (a) - elektronika; (b) - korpusā

1.1.2 Gaisa temperatūras un relatīvā mitruma (RH/T) sensori (16 gab.)

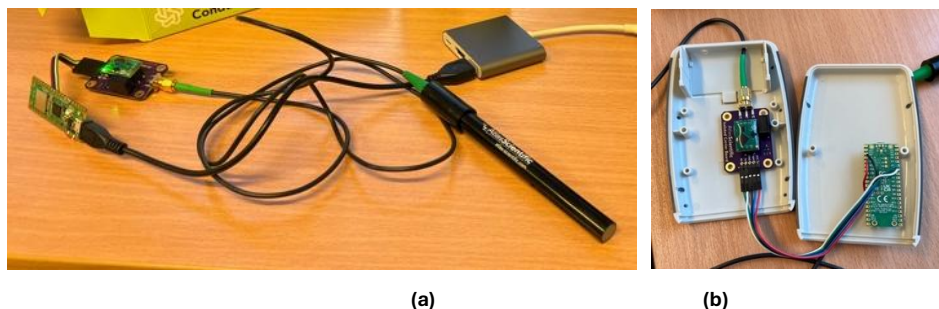
Papildus mērījumu punktiem - kvalitatīvākai gaisa temperatūras un relatīvā mitruma sadales noteikšanai konteīnera ietvaros, tika izstrādāti un izvietoti attiecīgi sensori (1.-3. att.). Konteīnerī šie sensori ir saslēgti 4 virknēs, kur katrā no tām ir pa 4 šādiem sensoriem un viens CO₂ sensors virknes sākumā. Dati un mērvienības, ko sūta minētais sensors: gaisa temperatūra - celsija grādi (°C), gaisa relatīvais mitrums - procenti (%).



Attēls 1-3. Izstrādātais gaisa temperatūras un relatīvā mitruma sensors: (a) - elektronika; (b) - korpusā

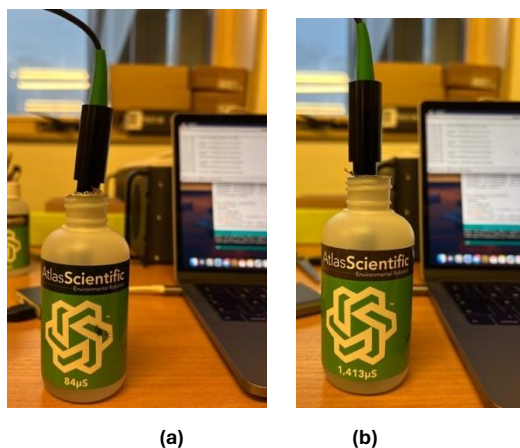
1.1.3 Augu minerālvielu šķīduma elektriskās vadītspējas sensori (2 gab.)

Augu minerālās barošanas šķīduma kvalitātes noteikšanai tika uzstādīts elektriskās vadītspējas sensors, kas mēra minerālvielu šķīduma elektrisko vadītspēju. Šis rādītājs tiešā veidā atspoguļo minētā šķīduma sāļu koncentrāciju, lai turpmāk šos rādījumus varētu izmantot augu barības vielu dozēšanai un absorbcijas pakāpes raksturošanai. Dati un mērvienības, ko sūta minētais sensors: šķīduma elektriskā vadītspēja - mikrosīmensi uz centimetru ($\mu S/cm$).



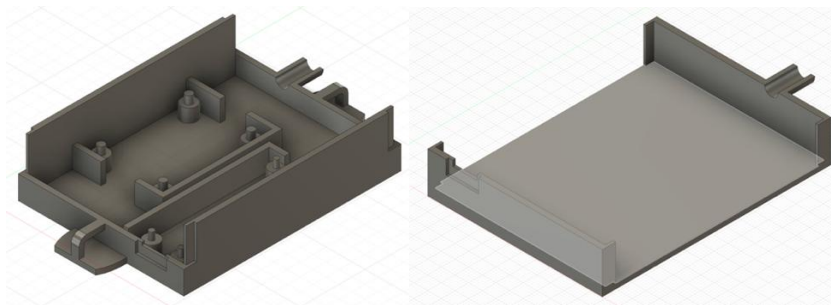
Attēls 1-4. Augu minerālvielu šķīduma elektriskās vadītspējas sensors: (a) - mērīšanas zonde ar elektroniku; (b) - korpusa pirmā versija

Pirms sensoru uzstādīšanas tie tika kalibrēti pēc ražotāja norādītajām instrukcijām ar komplektā iekļautajiem dažādu sāls koncentrācijas šķīdumiem (1-5. att.).



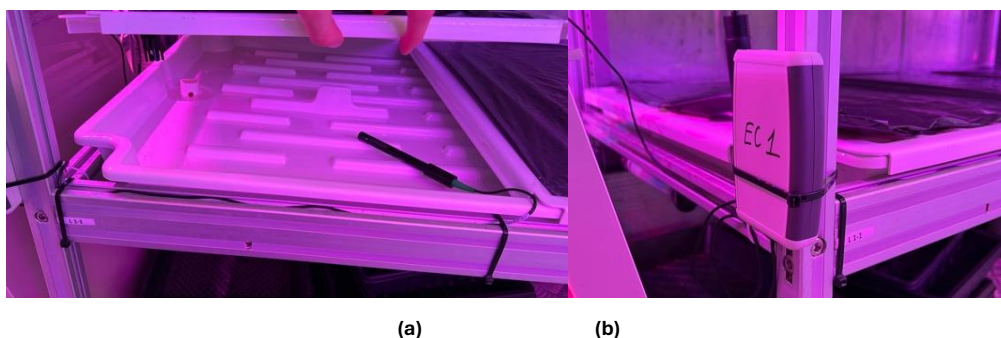
Attēls 1-5. Augu minerālvielu šķīduma elektriskās vadītspējas sensoru kalibrēšana: (a) - pie $84 \mu S/cm$; (b) - pie $1413 \mu S/cm$

Šiem sensoriem tika arī izstrādāts jauns korpuss, kurš saturētu šo sensoru elektroniskās komponentes. Konteinerī sensori tika atstāti ar vecajiem korpusiem (1-4.att. (b)), bet otrā testēšanas vietā - Mežvidu siltumnīcā - ar jaunizstrādātajiem korpusiem (1-6. att.).

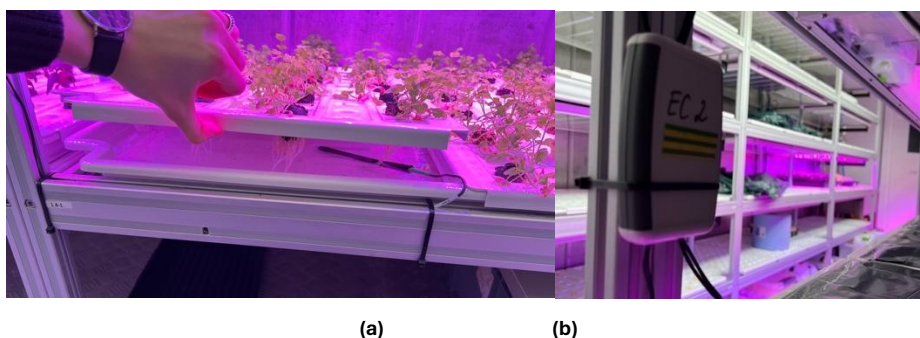


Attēls 1-6. Augu minerālvielu šķīduma elektriskās vadītspējas sensoru korpusa izstrāde

Konteinerī elektrisko vadītspēju sensoru mērīšanas zondes ir iegremdētas minerālvielu šķīduma vannās, bet elektronika, kas ir korpusā, ir piestiprināta pie viena no tuvākajiem statnes stabiem (1-7.-1-8. att.).



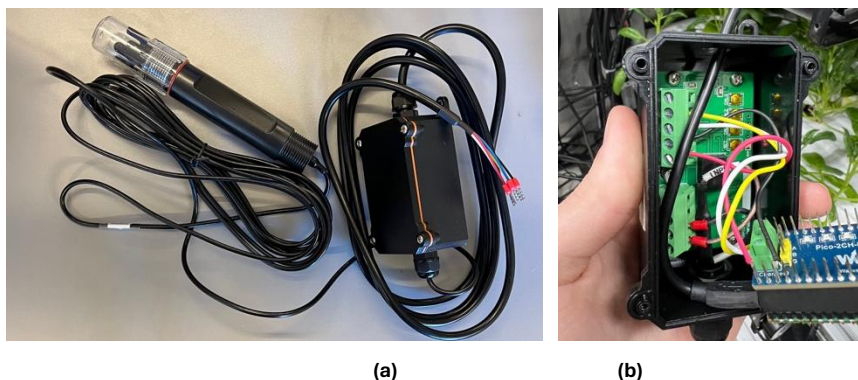
Attēls 1-7. Augu minerālvielu šķīduma elektriskās vadītspējas sensora uzstādīšana (1. statne, 1. plaukts): (a) - mērīšanas zonde vannā; (b) - elektronika pie statnes staba



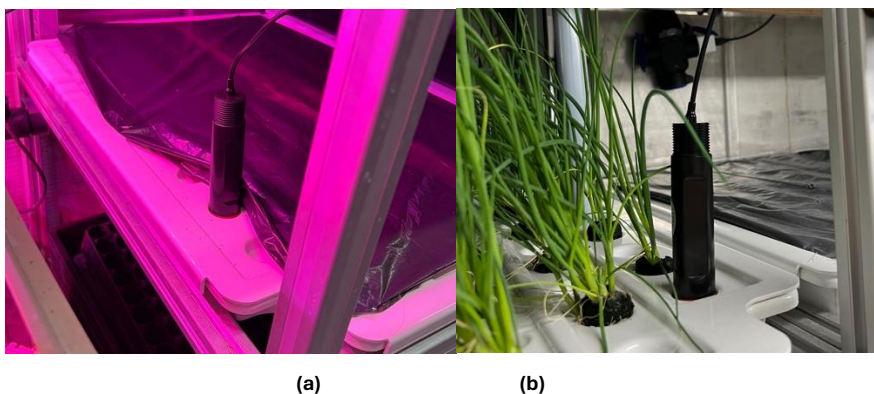
Attēls 1-8. Augu minerālvielu šķīduma elektriskās vadītspējas sensora uzstādīšana (4. statne, 1. plaukts): (a) - mērīšanas zonde vannā; (b) - elektronika pie statnes staba

1.1.4 Augu minerālvielu šķīduma pH sensori (2 gab.)

Augu minerālās barošanas šķīduma kvalitātes otrais rādītājs ir tā pH līmenis, kas raksturo, vai minerālvielu šķīdums ir ar skābu vai sārmainu vidi. Tā noteikšanai tika uzstādīti pH sensori. Dati un mērvienības, ko sūta minētais sensors: šķīduma pH līmenis - skaitlis (1). Šie sensori ir rūpnīcā kalibrēti, tāpēc laboratorijas apstākļos šis posms nebija nepieciešams.



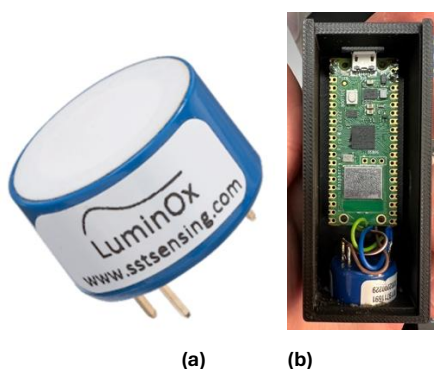
Attēls 1-9. Augu minerālvielu šķīduma pH sensors: (a) - mērīšanas zonde ar elektroniku korpusā; (b) - elektronika korpasa iekšā
 Konteinerī pH sensoru mērīšanas zondes ir iespraustas minerālvielu šķīduma vannās, bet elektronika, kas ir korpusā, ir piestiprināta pie viena no tuvākajiem statnes stabiem (1-10. att.).



Attēls 1-10. Augu minerālvielu šķīduma pH sensoru uzstādīšana: (a) - 1. statne, 1. plaukts; (b) - 5. statne, 5. plaukts

1.1.5 Gaisa skābekļa koncentrācijas sensori (2 gab.)

Augu optimālo augšanas apstākļu nodrošināšanai svarīgs ir arī klimata skābekļa koncentrācijas līmenis, tāpēc tā noteikšanai tika uzstādīti skābekļa (O_2) sensori. Dati un mērvienības, ko sūta minētais sensors: skābekļa koncentrācija - procenti (%). Šie sensori ir rūpnīcā kalibrēti, tāpēc laboratorijas apstākļos šis posms nebija nepieciešams.



Attēls 1-11. Gaisa skābekļa koncentrācijas sensors ar mikrokontrolleri: (a) - pats skābekļa sensors; (b) - elektronika korpasa iekšā

Konteinerī skābekļa sensori ir piestiprināti 3. plaukta līmenī pie statņu stabiem, viens no sensoriem starp 1. un 2. statni, bet otrs starp 3. un 4. statni (1-12. att.).



(a)

(b)

Attēls 1-12. Gaisa skābekļa koncentrācijas sensoru uzstādīšana: (a) - 1.-2. statne, 3. plaukts; (b) - 3.-4. statne, 3. plaukts

1.1.6 Gaisa plūsmas ātruma sensori (4 gab.)

Gan vienmērīgai dažādu klimata parametru (temperatūras, mitruma, oglekļa dioksīda gāzes, u.c.) sadalei pa visu konteineri, gan augu optimālo augšanas apstākļu nodrošināšanai, imitējot vēju, konteinerī ir uzstādīti plaukta tangenciālie ventilatori. Lai varētu noteikt to radītās gaisa plūsmas ātrumu, tika uzstādīti attiecīgi sensori. Dati un mērvienības, ko sūta minētais sensors: gaisa plūsmas ātrums - metri sekundē (m/s). Šie sensori ir rūpnīcā kalibrēti, tāpēc laboratorijas apstākļos šis posms nebija nepieciešams.

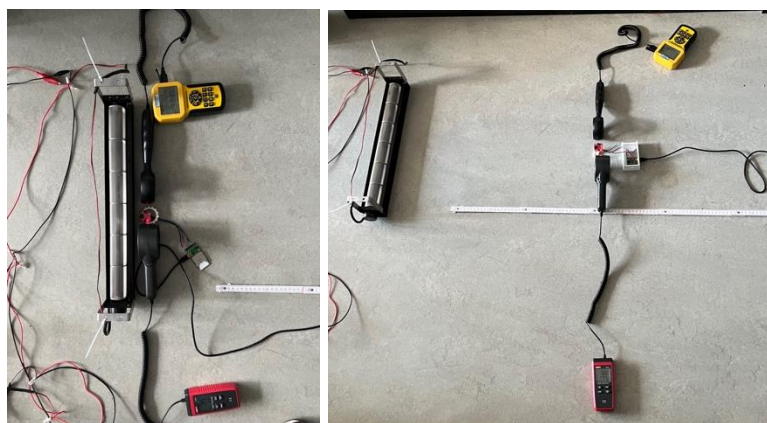


(a)

(b)

Attēls 1-13. Gaisa plūsmas ātruma sensors: (a) - korpuss; (b) - elektronika korpusa iekšā

Laboratorijas apstākļos tika veikta arī šī sensora (1-13.att.) testēšana gan ar konteinerī uzstādītajiem ventilatoriem, gan ar cita veida ventilatoriem (1-14. att.), un iegūtie dati tika salīdzināti ar 2 dažādu ražotāju rokas anemometriem (*UNI-T UT363S* un *Vogel digital anemometer*).



(a)

(b)

Attēls 1-14. Gaisa plūsmas ātruma sensora testēšana Nr.1: (a) - 0 cm attālumā no ventilatora; (b) - 60 cm attālumā no ventilatora

1.1.6.1. tabula

Gaisa plūsmas ātruma sensora 1. testēšanas rezultāti

Attālums, cm	Gaisa plūsma, m/s		
	UNI-T	Vogel	Gaisa plūsmas ātruma sensors
0	3,7 - 3,9	3,9 - 4,1	3,2 - 3,3 (ar korpusu); 4,15 - 4,3 (bez korpusa)
20	3,8 - 4,0	3,9 - 4,1	2,6 - 2,8 (ar korpusu); 3,1 - 3,3 (bez korpusa)
60	2,8 - 3,0	3,1 - 3,2	2,2 - 2,4 (ar korpusu); 2,4 - 2,5 (bez korpusa)
140	2,5 - 2,67	2,3 - 2,5	0,8 - 1,8 (ar korpusu); 0,8 - 1,8 (bez korpusa)

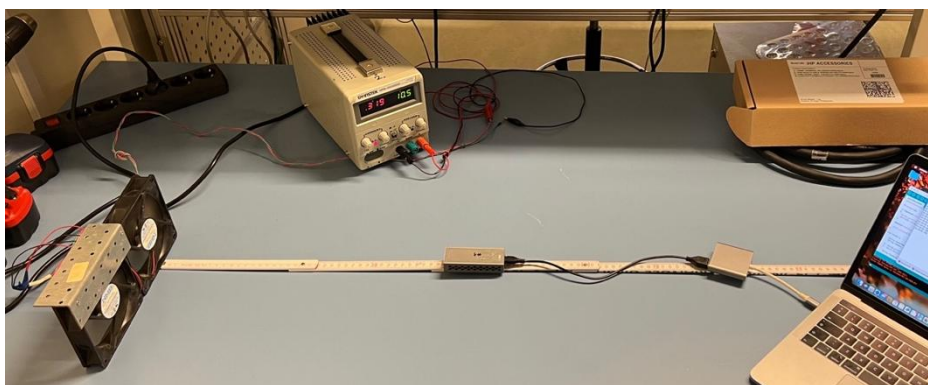
Pirmās testēšanas rezultāti parādīja, ka sākotnēji izstrādātais gaisa plūsmas sensora korpuss stipri traucē gaisa plūsmai, kā rezultātā stipri tiek ietekmēti šī sensora dati, tāpēc korpusa dizains tika pārstrādāts un gala variants ir tāds, kāds redzams 1-13. att. (a).



(a)



(b)



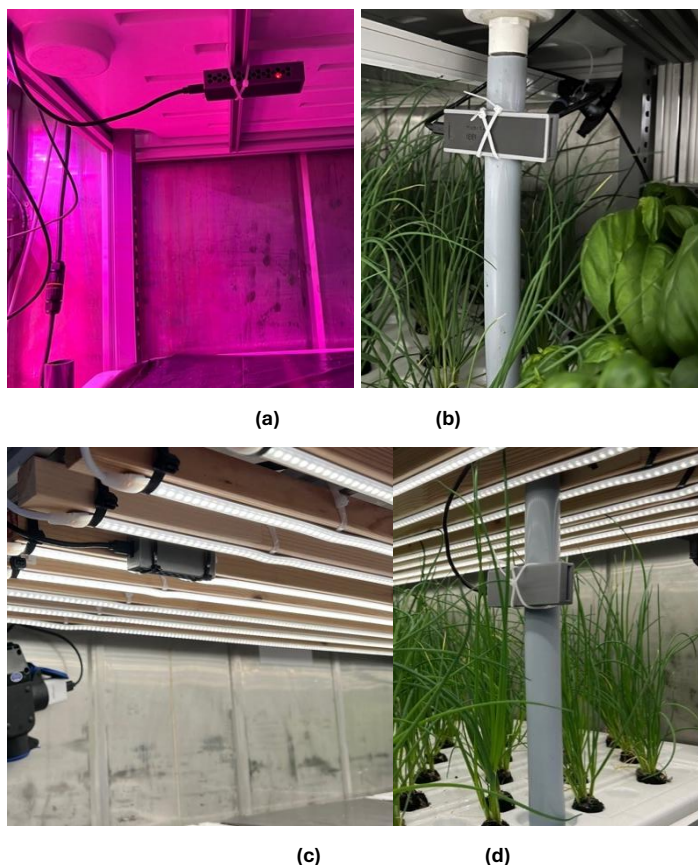
(c)

Attēls 1-15. Gaisa plūsmas ātruma sensora testēšana Nr.2: (a) - ar UNI-T ražotāja anemometru; (b) - ar Vogel ražotāja anemometru; (c) - ar izstrādāto gaisa plūsmas sensoru

1.1.6.2. tabula

Gaisa plūsmas ātruma sensora 2. testēšanas rezultāti

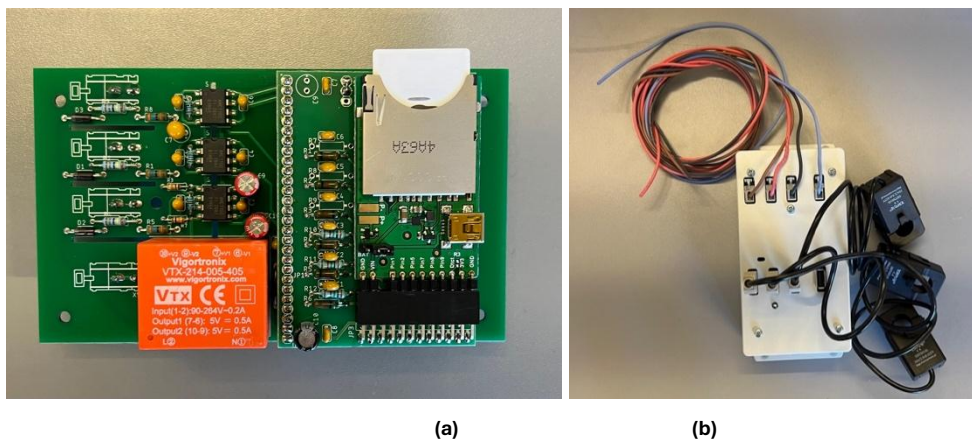
Attālums, cm	Gaisa plūsma, m/s		
	UNI-T	Vogel	Gaisa plūsmas ātruma sensors
20	2,3 - 2,4	2,1 - 2,2	2,3 - 2,6
40	2,0 - 2,1	1,7 - 1,8	1,9 - 2,3
60	1,8 - 1,9	1,5 - 1,6	1,6 - 2,0
80	1,7 - 1,8	1,2 - 1,4	1,3 - 1,6
100	1,5 - 1,6	1,1 - 1,2	0,9 - 1,4



Attēls 1-16. Gaisa plūsmas ātruma sensoru uzstādīšana konteinerī: (a) - 1. statne, 1. plaukts; (b) - 5. statne, 1. plaukts; (c) - 1. statne, 5. plaukts; (d) - 5. statne, 5. plaukts

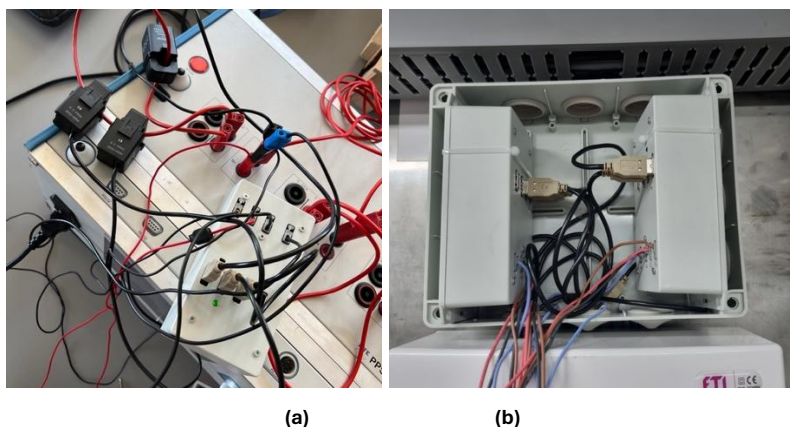
1.1.7 Jaudas mērītāji (2 gab.)

Dažādu Konteinerī uzstādīto ražotāju LED lampu faktiskā elektroenerģijas patēriņa noteikšanai, tika izstrādāti un uzstādīti 2 jaudas mērītāji, kur pie katra no tiem var pieslēgt līdz pat 3 patērētājiem. Dati un mērvienības, ko sūta minētais sensors: 1. patērētāja spriegums - volti (V), 2. patērētāja spriegums - volti (V), 3. patērētāja spriegums - volti (V), 1. patērētāja strāva - ampēri (A), 2. patērētāja strāva - ampēri (A), 3. patērētāja strāva - ampēri (A), 1. patērētāja aktivā jauda - vati (W), 2. patērētāja aktivā jauda - vati (W), 3. patērētāja aktivā jauda - vati (W).



Attēls 1-17 Jaudas mēritājs: (a) - elektronika; (b) - korpusā ar strāvmaiņiem

Laboratorijas apstākļos tika veikta šo mēritāju kalibrācija ar augstas precizitātes maiņstrāvas barošanas avotu (1-18. att. (a)).



Attēls 1-18. Jaudas mēritājs: (a) - kalibrācija laboratorijas apstākļos; (b) - uzstādīšana konteinerī

1.1.8 Kameras (4 gab.)

Konteinerī, 3. statnes 5. plauktā, ir izvietotas 4 kameras - pa vienai katrā stūrī, kuras uzņem fotoattēlu ik pēc stundas (1-19. att.). Kameras saglabā visus uzņemtos attēlus gan lokālā atmiņā, gan nosūta uz Wizata datubāzi.

Bilžu glabāšana Wizata pusē notiek izmantojot *Azure Blob Storage*. Lai rastos iespēja ar to mijiedarboties, jāveic sekojoši soļi:

Solis 1:

Vienplates datorā ir jāinstalē *azure-storage-blob* pakotne, ierakstot terminālī komandu:

```
pip install azure-storage-blob
```

Solis 2:

Pēc tam ir nepieciešams izveidot konfigurācijas failu (*config.ini*), ierakstot terminālī komandu (failu jā saglabā vienā mapē ar zemāk aprakstītajiem *Python* skriptiem):

```
nano config.ini
```

Atvērtajā failā jāievieto sekojošo saturu tekstarā, pielāgojot savienojuma virkni un konteineru nosaukumu:

```
[blob_storage]
```

```
connection_str=DefaultEndpointsProtocol=https;AccountName=broccoliexte  
rnalstorage;AccountKey=r+zIJjOQmMtWMkuByU9ndVVd+mx/QS1tCnvp17Vp8UFf8as
```

```
uB51L98qbkvoym26wtmVIyDysFe0I+AStuFrzwm==;EndpointSuffix=core.windows.net
images_container_name=pictures
```

Solis 3:

Izveidojam zemāk redzamo *Python* skriptu, bilžu uzņemšanai un nosūtīšanai. Drošībai, katrai kamerai tiek izveidots individuāls skripts (Takelimage_1.py, Takelimage_2.py, Takelimage_3.py un Takelimage_4.py, saglabājot tos - */home/pi/BROCOLI_project*). Atšķirīgās skripta daļas katrai kamerai atzīmētas ar sarkanu.

Skripti:

```
import smtplib, ssl
import RPi.GPIO as GPIO
import time
from time import sleep
import cv2
import datetime
from smtplib import SMTPException
import configparser
from azure.storage.blob import BlobServiceClient
import os
```

Iegūstam pašreizējo datumu un laiku

```
date = datetime.datetime.now().strftime("%d_%m_%Y_%H:%M")
```

IP kameras URL (katrai kamerai individuāls)

```
ip_camera_url = 'rtsp://admin:admin123@192.168.100.13:554/1/1'
cap = cv2.VideoCapture(ip_camera_url)
ret, frame = cap.read()
```

Pievieno ūdenszīmi ar datumu uz attēla (katrai kamerai individuāls)

```
watermarked_frame = cv2.putText(frame, date, (10, 30),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1, (0, 0, 255), 2, cv2.LINE_AA)
image_path_1 = '/home/pi/BROCOLI_project/-IMAGE-/VeeZoom_3/Cam-3_' +
date + '.jpg'
cv2.imwrite(image_path_1, watermarked_frame)
cap.release()
cv2.destroyAllWindows()
```

Azure Blob Storage konfigurācija

```
config = configparser.ConfigParser()
```

```

config.read('config.ini')

connection_str = config['blob_storage']['connection_str']
images_container_name = config['blob_storage']['images_container_name']

# Izveidojiet BlobServiceClient
blob_service_client =
BlobServiceClient.from_connection_string(connection_str)

# Nodrošiniet, ka konteiners eksistē
container_client =
blob_service_client.get_container_client(images_container_name)
try:
    container_client.create_container()
except Exception as e:
    # Konteiners, iespējams, jau eksistē
    print(e)

# Funkcija, lai augšupielādētu failu
def upload_image(file_path, blob_name):
    blob_client =
    blob_service_client.get_blob_client(container=images_container_name,
    blob=blob_name)

    with open(file_path, "rb") as data:
        blob_client.upload_blob(data)
    print(f'Image {file_path} uploaded to {blob_name}')

# Augšupielādē attēlu uz Azure Blob Storage (katrai kamerai individuāls)
upload_image(image_path_1, f"Cam-3_{date}.jpg")

```

Solis 4:

Jāorganizē minēto *Python* skriptu automātiskā palaišana reizi 1h (vai ar citu periodu).

Šim nolūkam tika izmantots *Crontab* (*CRON TABLE*) , kas ir konfigurācijas fails *Unix* līdzīgās operētājsistēmās, piemēram, *Linux*, kas nosaka, kad konkrētas komandas vai skripti tiek automātiski izpildīti. Tas ir daļa no *cron* sistēmas, kas nodrošina uzdevumu plānošanu, ļaujot izpildīt skriptus vai komandas automātiski (<https://crontab.guru/>).

Lai iestatītu automātisku skriptu palaišanu ik stundu, izmantojot *cron* (*crontab*) terminālī ievadiet komandu, lai atvērtu *crontab* redaktoru:

```
crontab -e
```

Pievienojam jaunu ierakstu:

```
0 * * * * /home/pi/job_TakeImage_1.sh
0 * * * * /home/pi/job_TakeImage_2.sh
0 * * * * /home/pi/job_TakeImage_3.sh
0 * * * * /home/pi/job_TakeImage_4.sh
```

0 - norāda minūšu skaitu (0. minūte katrā stundā).

* - norāda, ka tas attiecas uz visām stundām, dienām, mēnešiem un nedēļas dienām.

Saglabājiēt failu un izejiet no redaktora. Ja izmantojat nano, to var izdarīt ar Ctrl + O, Enter, un pēc tam Ctrl + X.

Pārbaudiet, vai ieraksts ir pievienots, izmantojot komandu:

```
crontab -l
```

Pārliecinieties, ka skriptam ir izpildīšanas tiesības (piemēram pirmajai kamerai):

```
chmod +x /home/pi/job_TakeImage_1.sh
```



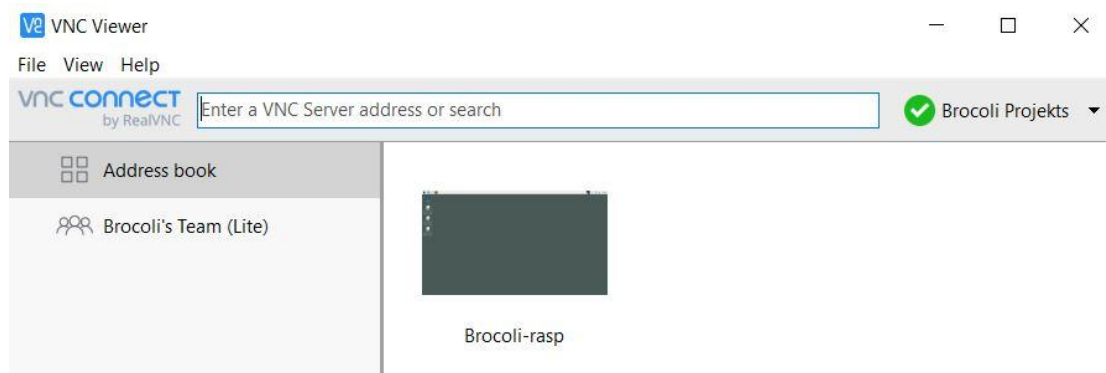
Attēls 1-19. kameras uzņemtais attēls 14.01.2024. plkst. 22:00

Lai pie kamerām varētu pieslēgties lokāli, katrai kamerai ir sava adrese LAN tīklā:

#1	192.168.100.11 [admin admin123]
#2	192.168.100.12 [admin admin123]
#3	192.168.100.13 [admin admin123]
#4	192.168.100.14 [admin admin123]

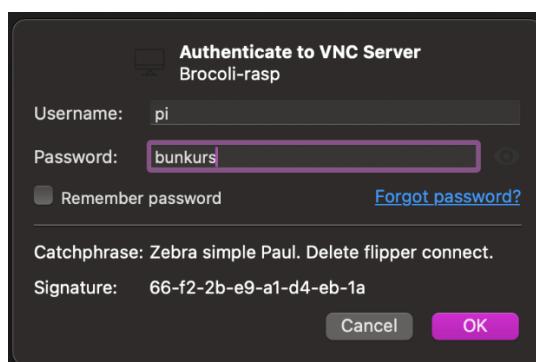
Tomēr attālināto piekļuvi nodrošina "Raspberry" mikrokontrolle. Lai attālināti varētu pieslēgties pie kamerām, apskatīties uzņemtās un atmiņas kartē saglabātās bildes, kā arī veikt jebkādas programmatiskās izmaiņas, uz datora ir nepieciešams instalēt "RealVNC Viewer" datorprogrammu.

Programmas ielogošanās dati: *Login*: projekts.brocoli@gmail.com; *parole*: Bulduri123. Pēc autorizācijas "RealVNC Viewer" programmā paveras iespēja piekļūt pie "Raspberry" mikrokontrollera, kas atbild par uzstādīto kameru kontroles algoritmu (1-20. att.).



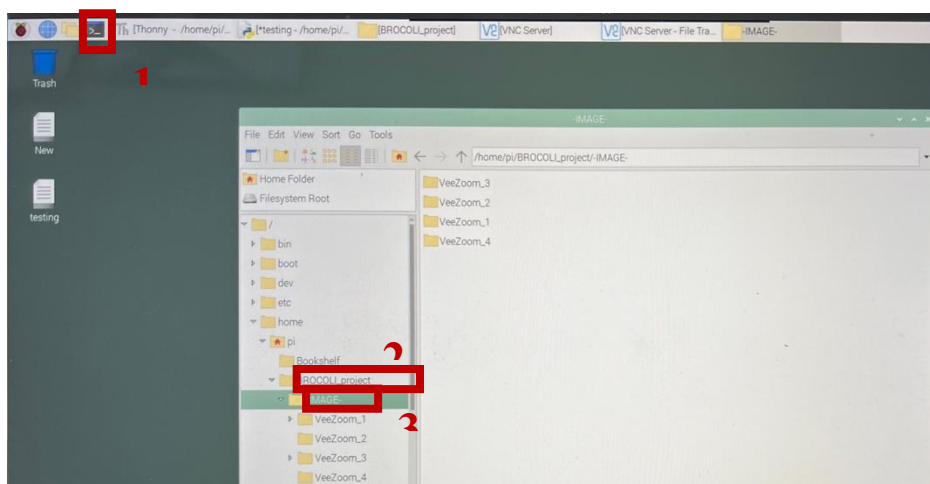
Attēls 1-20. att. Kameru piekļuve, izmantojot "RealVNC Viewer" datorprogrammu

Pēc dubultklikšķa ar peles kreiso taustiņu uz "Brocoli-rasp", tiks pieprasīta paša mikrokontrollera autorizācija (1-21. att.), tā autorizācijas dati: *Login*: pi; *parole*: bunkurs.



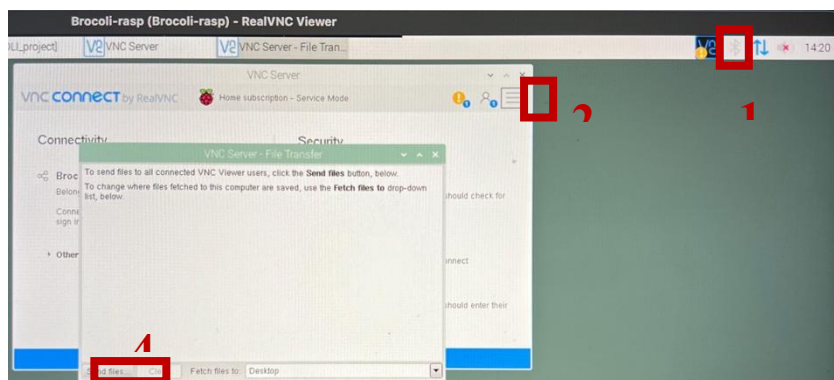
Attēls 1-21. "Raspberry" mikrokontrollera autorizācija

Turpmāk ir redzama mikrokontrollera darba virsma un soli, kā apskatīt atmiņas kartē saglabātās kameru bildes (1-22. att.). Pirmais solis ir atvērt failu menedžeri (*angl.*, *File Manager*), 2. solis - atvērt "BROCOLI_project" mapi, 3. solis - atvērt "-IMAGE-" mapi. Pēc šiem soļiem ir redzamas visu četru kameru saglabāto bilžu mapes - "VeeZoom_(1-4)".



Attēls 1-22. 1.1.8.4. att. "Raspberry" mikrokontrollera darba virsma

Uzņemto bilžu pārsūtīšanas instrukcija no "Raspberry" mikrokontrollera atmiņas kartes uz datoru ir redzama 1-21. attēlā. 1. solis - atvērt "VNC Server - Service Mode", 2. solis - atvērt "Menu", 3. solis - nospiegt uz "File Transfer...", kas parādās pēc nospiešanas uz "Menu", 4. solis - nospiegt uz "Send files..." un izvēlēties atsevišķas bildes vai veselas kameru uzņemto bilžu mapes, un pārsūtīt uz sava datora darba virsmu.



Attēls 1-23. Bilžu pārsūtīšana no atmiņas kartes uz datoru

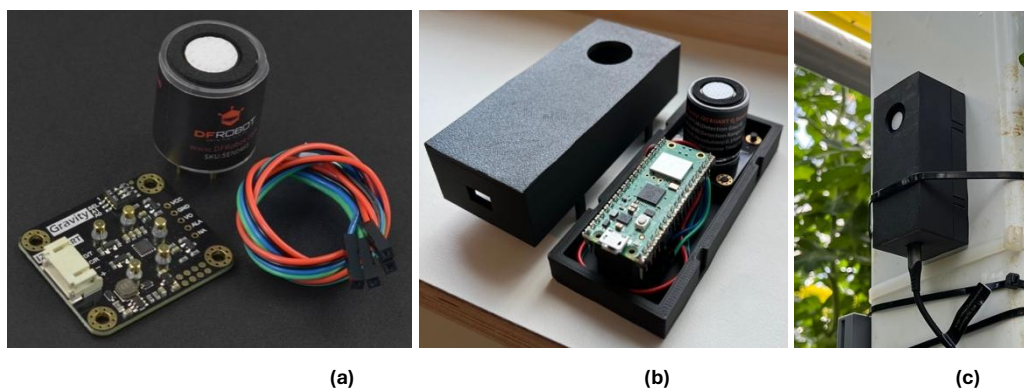
1.2 Vertikālajā lauksaimniecībā "Mežvidi"

Projekta ietvaros, plašākai un padziļinātākai datu analīzei par kontrolētas vides lauksaimniecības mikroklimatu, Mežvidos tika uzstādīti vairāki sensori: 1 ogļskābās gāzes (CO_2), 5 gaisa temperatūras un relatīvā mitruma, 1 augu masas svāri, 1 substrāta svāri, 1 ePAR gaismas intensitātes, 2 šķīduma elektriskās vadītspējas un 2 pH, 1 skābekļa (O_2), 1 gaisa plūsmas, un arī 2 kameras.

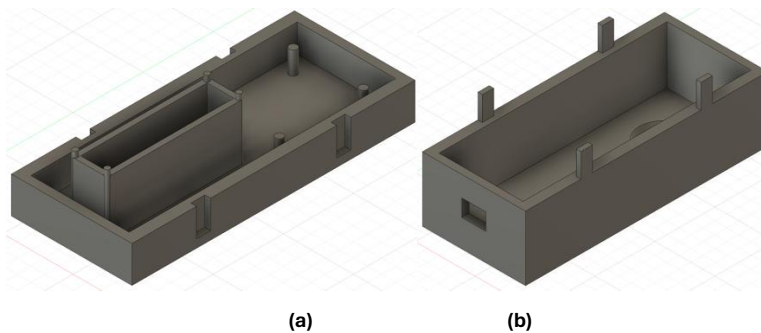
Daļa no iepriekš uzskaitītajiem sensoriem - ogļskābās gāzes (CO_2) (skat. 1.1.1. nod.), gaisa temperatūras un relatīvā mitruma (skat. 1.1.2. nod.), šķīduma elektriskās vadītspējas (skat. 1.1.3. nod.), šķīduma pH (skat. 1.1.4. nod.), gaisa plūsmas (skat. 1.1.6. nod.) - ir tādi paši, kā Broccoli Konteinerī uzstādītie. Tomēr daži no "Mežvidos" uzstādītajiem sensoriem atšķiras - skābekļa (O_2) un kameras - un daži ir jaunieviesti - augu masas un substrāta svāri un ePAR gaismas intensitātes.

1.2.1 Skābekļa (O_2) sensors

Ilgas iepriekš izmantotā skābekļa sensora piegādes dēļ, tika izvēlēts jauns šī vides parametra sensors - DFRobot ražotāja (1-24. att. (a)) un, attiecīgi, tam tika izstrādāts jauns korpuss (1-25. att.). Izvēlētais sensors, tā pat kā iepriekš izstrādātie, mēra skābekļa koncentrāciju 0-25% robežās. Dati un mērvienības, ko sūta šis sensors: skābekļa koncentrācija gaisā - procenti (%).



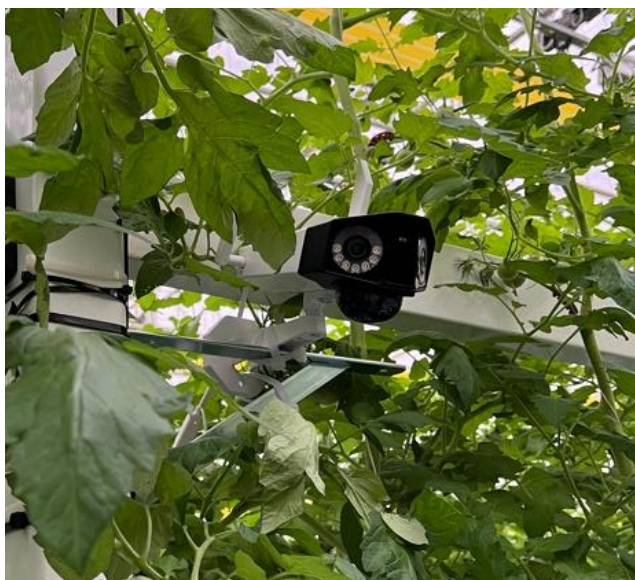
Attēls 1-24. Jaunizstrādātais skābekļa sensors: (a) - pats sensors; (b) - korpusā; (c) - uzstādīts "Mežvidu" siltumnīcā



Attēls 1-25. Jaunā skābekļa sensora korpusa izstrāde: (a) - apakša; (b) - augša

1.2.2 Kameras

Mežvidu siltumnīcā, 8. rindā pie A staba, tika izvietotas 2 "Reolink" ražotāja kameras (1-26. att.) ar 180° skata leņķi dažādos augstuma līmeņos - zemāk uzstādītā kamera uzņem bides tajā punktā, kur uz doto brīdi notiek aktīvāka tomātu attīstība (1-27. att.), bet augstāk uzstādītā kamera, galvenokārt, vēro tomātu galotnes (1-28. att.). Abas kameras uzņem fotoattēlu ik pēc stundas un saglabā visus uzņemtos attēlus gan lokālā atmiņās kartē, gan nosūta uz izvēlēto datubāzi (failu glabāšanas vietu/serveri).



Attēls 1-26. "Mežvidos" uzstādītā "Reolink" ražotāja kamera



Attēls 1-27. Apakšējās kameras uzņemtais fotoattēls 19.12.2024 plkst. 10.00



Attēls 1-28. Augšējās kameras uzņemtais fotoattēls 19.12.2024 plkst. 10.00

Abām šīm kamerām, ja tām ir nodrošināts stabils bezvadu internets (WiFi), var pieslēgties jebkurā brīdī, izmantojot ražotāja mobilo vai datora aplikāciju "Reolink".

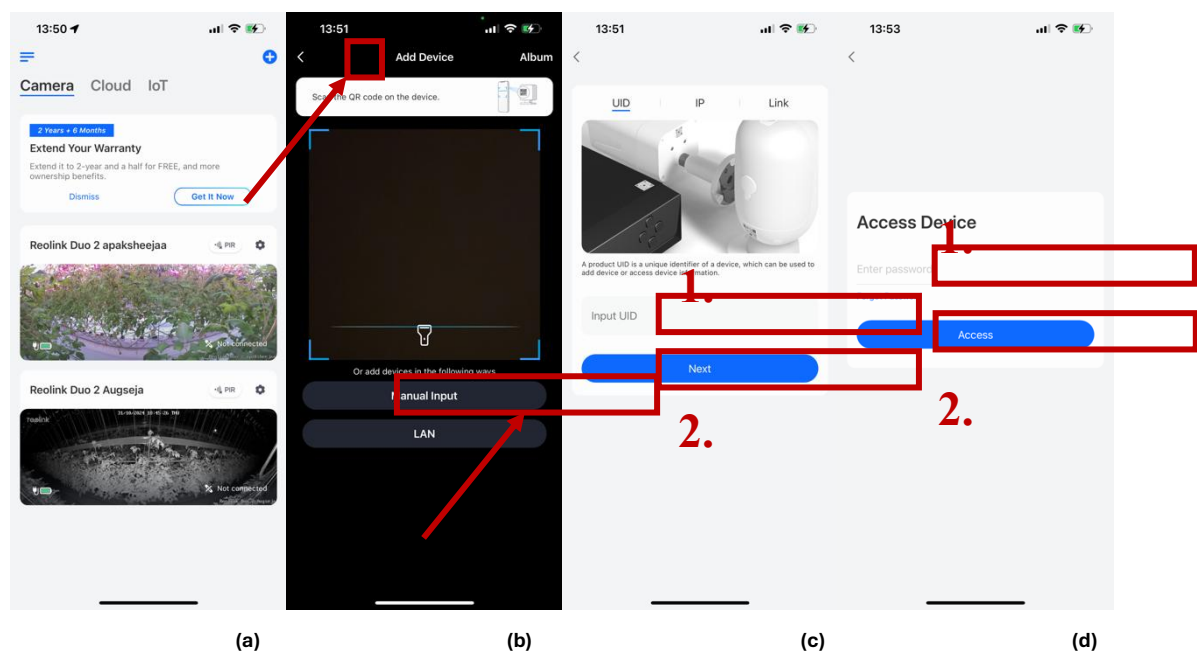
Instrukcija, lai izveidot savienojumu ar uzstādītajām kamerām:

1. solis: lejupielādēt "Reolink" aplikāciju mobilajā telefonā;
2. solis: atvērt "Reolink" aplikāciju;
3. solis: nospiegt uz plusa zīmi augšējā labajā stūrī (1-29. att. (a));
4. solis: nospiegt uz "Manual input", lai manuāli pievienot ierīci (1-29. att. (b));
5. solis: ievadīt kameras unikālo ID (UID) (1-29. att. (c)):

Apakšējai kamerai UID - **95270008EHFD16ID**

Augšējai kamerai UID - **95270007IBTX12XM**

6. solis: nospiegt "Next" (1-29. att. (c));
7. solis: ievadīt paroli - abām kamerām tā ir vienāda - **Admin123** (1.2.2.4. att. (d));
8. solis: nospiegt "Access" (1-29. att. (d)).



Attēls 1-29. 1.2.2.4. att. Pieslēgšanās instrukcija uzstādītajām kamerām "Mežvidos" no mobilā telefona: (a) - 3. solis; (b) - 4. solis; (c) - 5. un 6. solis; (d) - 7. un 8. solis

Kolidz ir veiksmīgi izveidots savienojums starp kamerām un mobilo telefonu vai datoru, ir iespēja skatīties notiekošo reāllaikā un piekļūt iepriekš uzņemtajiem fotoattēliem, kā arī mainīt iestatījumus.

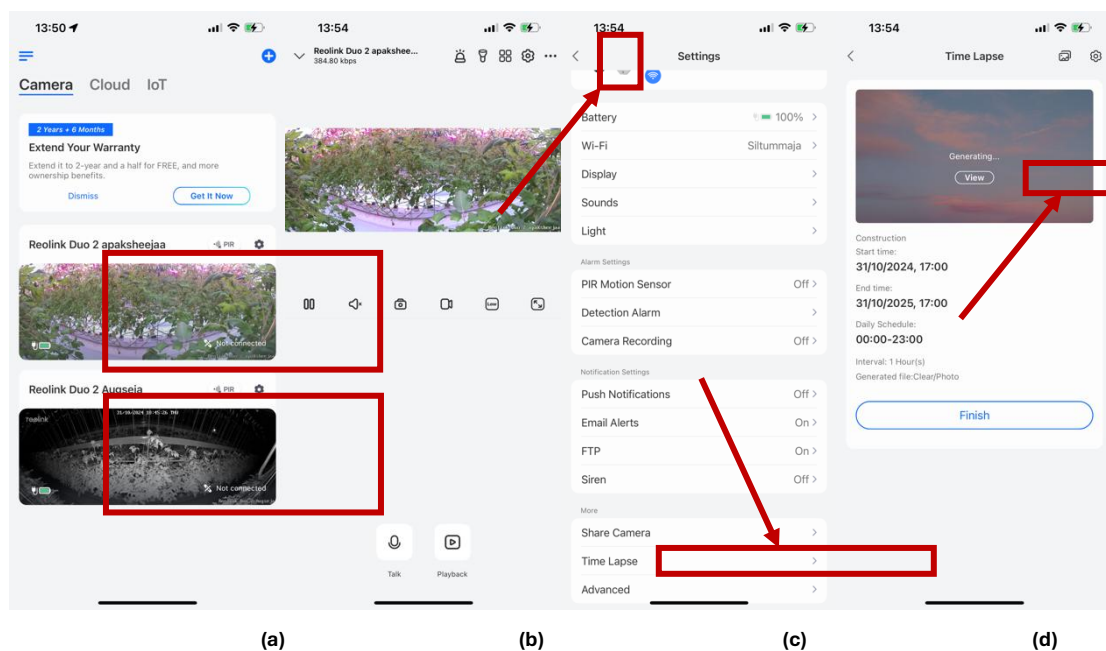
Instrukcija, lai apskatīt uzņemtos fotoattēlus no mobilā telefona:

1. solis: nospiežam uz augšējās vai apakšējās kameras bildes, atkarībā no tā, kuras kameras bildes gribam skatīties (1-30. att. (a));

2. solis: nospiežam uz zobrauta ikonas, lai piekļūtu iestatījumiem (1-30. att. (b));

3. solis: izvēlamies "Time Lapse", kas atbild par ciklisku fotoattēlu uzņemšanu (1.2.2.5. att. (c));

4. solis: nospiežam uz "View", lai apskatīt iepriekš uzņemtos attēlus (1-30. att. (d)).



Attēls 1-30. 1.2.2.5. att. Instrukcija, lai apskatīt uzņemtos fotoattēlus "Mežvidos" no mobilā telefona: (a) - 1. solis; (b) - 2. solis; (c) - 3. solis; (d) - 4. solis

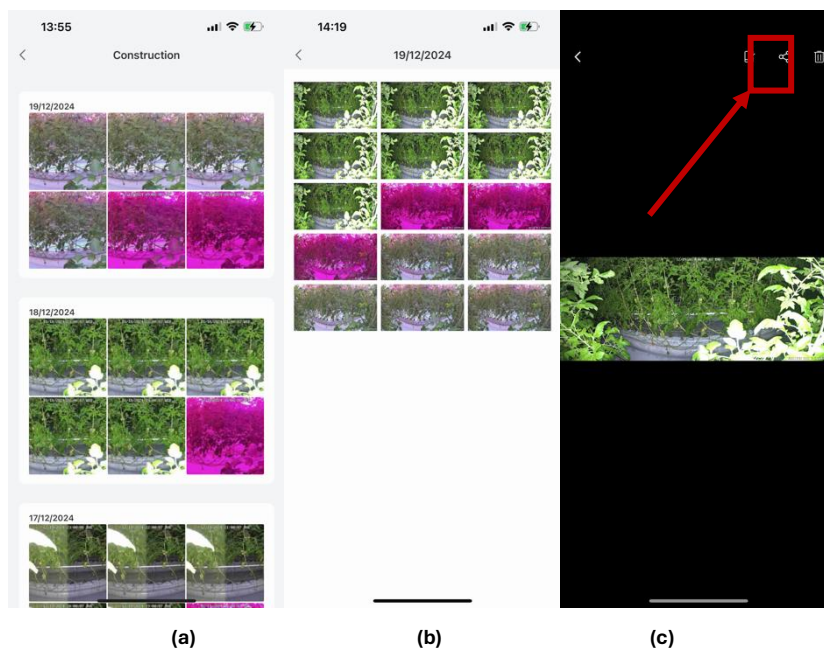
Pēc 1-31. att. (d) soļa izpildes atvērsies fotoattēlu krājums, kas ir sadalīts pa diennaktīm (1-31. att. (a)). Iepriekš uzņemtos fotoattēlus, kuri ir saglabāti kameras atmiņas kartē, var arī lejupielādēt mobilajā telefonā vai datorā.

Instrukcija, lai lejupielādēt iepriekš uzņemtos fotoattēlus mobilajā telefonā:

1. solis: izvēlamies datumu, kurā ir uzņemta interesējošā bilde (1-31. att. (a));

2. solis: izvēlamies mūs interesējošo bildi (1-31. att. (b));

3. solis: spiežam uz mobilā telefona ikonu (1-31. att. (c)).



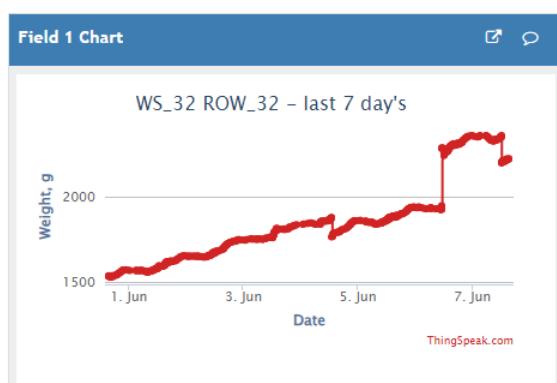
Attēls 1-31. att. Instrukcija, lai lejupielādēt uzņemtos fotoattēlus mobilajā telefonā:
(a) - 1. solis; (b) - 2. solis; (c) - 3. solis

Pēc iepriekš uzskaitīto soļu izpildes izvēlētais fotoattēls tiks saglabāts mobilā telefona galerijā. Visas iepriekš aprakstītās instrukcijas ir izmantojamas arī datora lietošanas gadījumā.

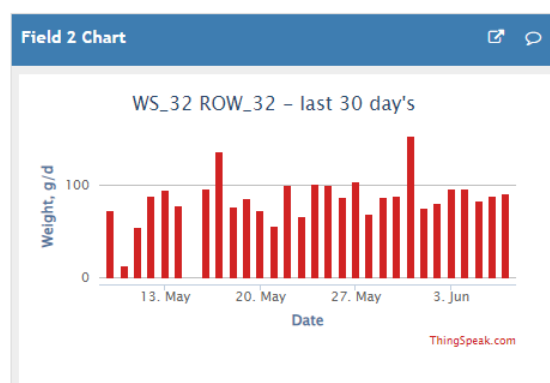
1.2.3 Augu masas pieauguma (TWS) un substrāta svara (LSM) sensoru moduļi

Papildus tiek izmantoti arī Mežvidos esošie (IRIS projekta ietvaros izveidotie) svara pieauguma sensori, kuru dati tiek sūtīti uz WIZATA sistēmu. TWS un LSM konstrukcijai tiek pielietota viena un tā pati principiālā shēma un atšķiras tikai moduļos pielietoto svaru sensori (WS) pēc maksimālā darba svara parametra, kas LSM gadījumā ir 50kg, bet TWS gadījumā 10 vai 20 kg, lai nodrošinātu optimālu WS izejas signāla vērtību, kā arī programmnodrošinājums, iegūto svaru sensora datu atbilstoši apstrādei un interpretācijai.

Tika realizēta arī šo sensoru datu attēlošana serverī, kur TWS ir redzams pēdējo 7 dienu rādījums (1-32. att. (a)) un katras diennakts nomērītā un aprēķinātā auga masas (ražas) pieauguma vērtība (1-32. att. (b)).



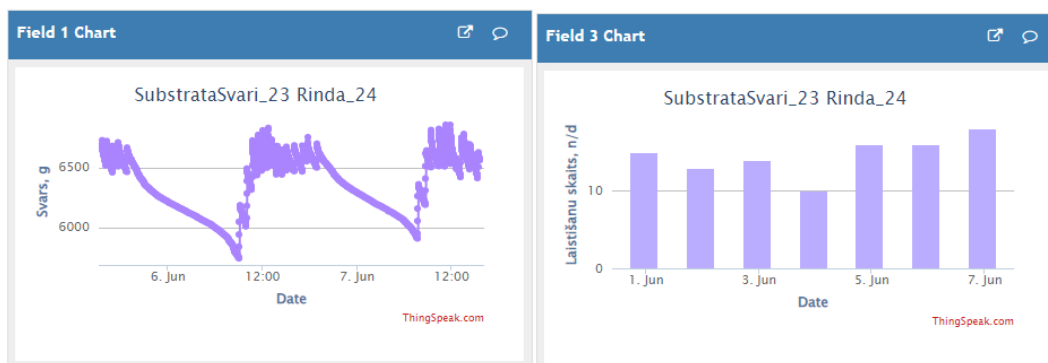
(a)



(b)

Attēls 1-32. att. TWS rādījumi serverī: (a) - pēdējo 7 dienu augu masas svaru mērījumi; (b) - pēdējo 30 dienu aprēķinātais masas (ražas) pieaugums

Savukārt no LSM sensora tiek attēloti sensora rādījumu dati par pēdējām 2 diennaktīm (1-33. att. (a)) un laistīšanas reižu skaits diennaktī (1-33. att. (b)), kas ticis fiksēts ar sensoru palīdzību pēdējās nedēļas laikā.



(a)

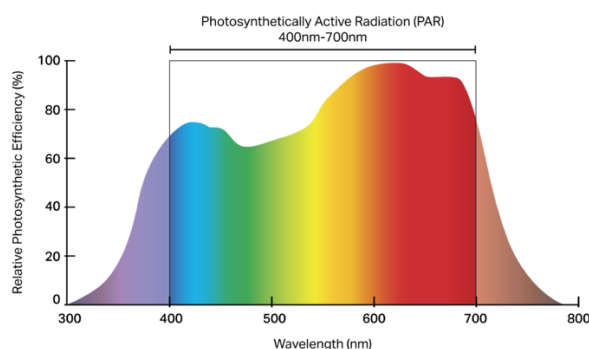
(b)

Attēls 1-33. LSM rādījumi serverī: (a) - pēdējo 2 diennakšu svara mērījumi; (b) - pēdējo 7 dienu laistīšanas reižu skaits diennaktī

1.2.4 ePAR gaismas intensitātes sensors

Papildus tiek izmantots arī Mežvidos esošais (IRIS projekta ietvaros izveidotais) gaismas intensitātes (ePAR) sensors, kura dati tiek sūtīti uz WIZATA sistēmu.

Fotosintēzi iespaidojošo starojumu sauc par fotosintētiski aktīvo starojumu (*PAR* - *photosynthetically active radiation*) un vēsturiski tas tiek noteikts kā kopējais starojums gaismas diapazonā no 400 līdz 700 nm (1-34. att.).



Attēls 1-34. att. PAR gaismas diapazons

PAR praktiski vienmēr skaitliski tiek noteikts kā fotosintētisko fotonu blīvums (PPFD) un mērvienības ir pieņemtas kā mikromoli uz kvadrātmetru sekundē ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Tomēr nedrīkst aizmirst to, ka ultravioletais un infrasarkanais starojums uzreiz aiz PAR diapazona (400 līdz 700 nm) arī zināmā veidā spēj ietekmēt auga attīstību, piemēram ziedēšanas periodā.

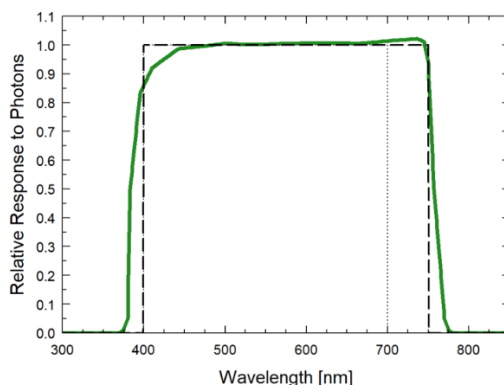
Pats ePAR sensors ir Apogee ražotāja ePAR sensors (1-35. att.).



Attēls 1-35. ePAR SQ-600 sensors

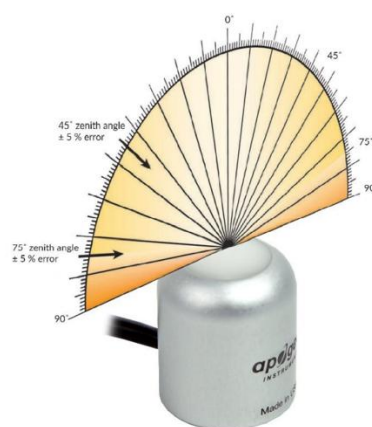
Izvēlētais sensors darbojas diapazonā no 383 līdz 757 nm ($\pm 5\text{nm}$) (1-36. att.), kas tieši ļauj pieskaitīt to pie ePAR sensoriem.

Spectral Response



Attēls 1-36. att. ePAR sensora SQ-615-SS jutības diapazons

Ražotājs norāda, ka sensora precizitāte sasniedz 2% pie 45 grādu gaismas krišanas leņķa un $\pm 5\%$ precizitāti pie 75 grādu leņķa (1-37. att.).



Attēls 1-37. att. Sensora precizitāte pie dažādiem gaismas krišanas leņķiem

Konteinera apgaismojuma mērījumiem tika izmantots ePAR sensors ar datu logera funkciju. Tas ir portatīvs sensora modulis PAR momentānās un kumulatīvās vērtības mērīšanai, ar mērķi veikt minēto PAR parametru automātisku fiksāciju, piemēram, izsekojot industriālās siltumnīcas augu rindas pie dažādiem apgaismojumu veidiem vai dažādos laika momentos, izmantojamā apgaismojuma lampu degradācijas efekta izpētei. Modulis aprīkots ar spiedpogu mērījumu uzsākšanai un apturēšanai (viena īsa pogas nospiešana), kā arī jauna log faila uzsākšana (viena ilga pogas nospiešana) (1-38. att.). Dati par veiktajiem mērījumiem tiek sūtīti pa seriālo portu izmantojot UART interfeisu uz datoru, kur arī iespējama turpmākā log faila (1-39. att.) saglabāšana un pēcapstrāde.



Attēls 1-38. Izstrādātais portatīvais PAR sensora modulis

Click button to start or pause measurement's
or hold button for 1 sec. to stop measurments!

Starting New Measurments

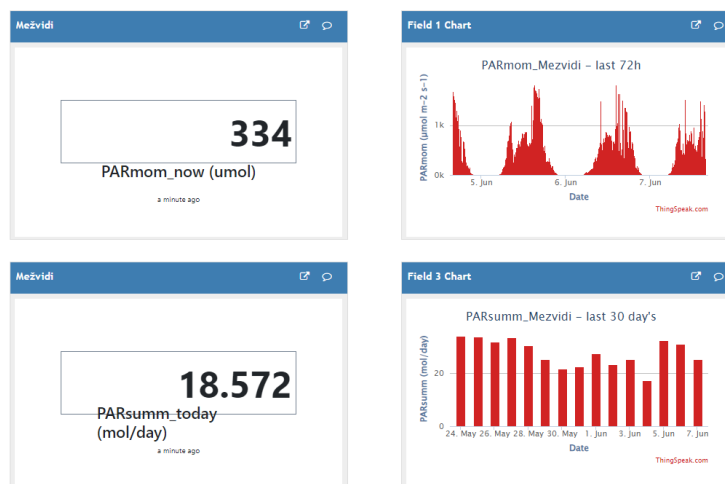
no	PARmom	PARsumm
1	19	19
2	19	38
3	26	64
4	32	96
5	21	117
6	32	149
7	30	179
8	31	210

Stop Measurments

Measurments count: 8 Average PAR: 26 Summ PAR: 210

Attēls 1-39. Log faila piemērs

Aktuālie ePAR sensora dati serverī izskatās sekojoši (att. 1.2.4.7.).



Attēls 1-40. ePAR sensora rādījumi serverī

Šajā gadījumā tiek attēlota tekošās diennakts kumulatīvā vērtība, sensora rādījumu grafiks par pēdējām 3 diennaktīm, pēdējā iesūtītā diennakts kumulatīvā vērtība un laiks cik sen tas ir noticis, kā arī diennakts kumulatīvās vērtības par pēdējo mēnesi (grafikā attēlots mazāk sakarā ar pārtraukumu sensora darbībā).

1.3 Sensoru sistēma un datu komunikācija ar WIZATA sistēmu

Katrs sistēmas sensors izmanto atbilstošā parametra sensora elementu-integrālo shēmu, mikrokontrolleri un WiFi datu komunikācijas moduli.

Vides parametra - gaisa plūsmas ātruma, skābekļa (O_2), šķīduma skābuma (pH), šķīduma elektriskās vadītspējas (EC), gaisa temperatūras (T), gaisa relatīvā mitruma (RH) un ogļskābās gāzes (CO_2) vērtības iegūst ik pa 60 sekundēm. Elektriskās jaudas patēriņa datus iegūst ik sekundi. Sensori komunicē ar WiFi rūteri, kas savukārt, ar mobilo datu pārraides palīdzību ir pieslēgts internetam.

Konstruktīvo īpatnību dēļ - sensori un WiFi rūteris atrodas metāla konteinerā iekšpusē - bieži ir traucēta vai apgrūtināta komunikācija, tās stabilitāte. Šeit liela nozīme ir WiFi rūtera novietojumam konteinerā iekšpusē, lai minimizētu radiosignāla atstarošanos. Vienlaikus WiFi rūterim ir jāatrodas vietā, kur ir maksimāli iespējamais GSM (mobilo datu) signāls.

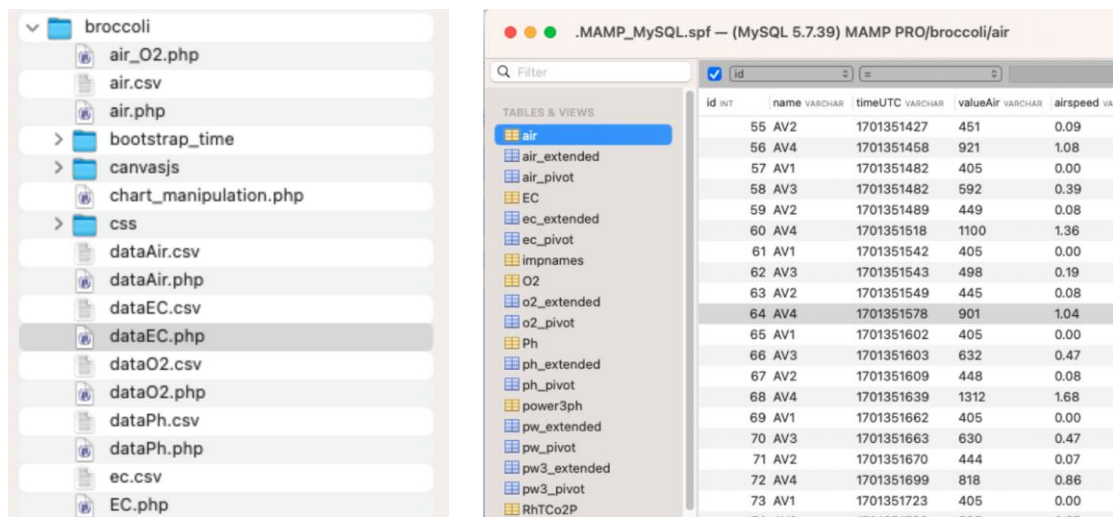
Dati no temperatūras, relatīvā mitruma un CO_2 (RH/T- CO_2) sensora ir kodēti JSON (JavaScript Object Notation) formātā, savukārt no citiem sensoriem - CSV (Coma Separated Values). Šie divi dažādie kodējumi liek veikt papildus kodējuma manipulācijas:

- Datus no RH/T- CO_2 sensoriem tieši sūta gan uz Wizata interfeisu JSON formatā, gan uz lokālo MySQL serveri izmantojot speciāli izveidotu failus, kas veidoti PHP (PHP: Hypertext Preprocessor) programmēšanas valodā.
- Datus no citiem sensoriem sūta uz lokālā servera PHP faili, kur, sekojoši, 1) datus ievieto lokālajā MySQL datubāzē un 2) konvertē no CSV formāta uz JSON formātu un sūta uz Wizata interfeisu:

```
$conn = mysqli_connect('xxxxxxx','xxxxxxx','xxxxxxx','broccoli');
// saņem datus
$separator = "\r\n";
$line = strtok($_POST['dataEC'], $separator);
while ($line !== false) {
    $explodeLine = explode("",$line);
    list($timeUTC,$name,$valueEC) = $explodeLine;
// ievieto datubāzē
    $qry = "insert into EC (timeUTC,name,valueEC) values
('".$timeUTC."','".$name."','".$valueEC."')";
    mysqli_query($conn,$qry);

    $line = strtok( $separator );
// konvertē no CSV uz JSON
    $data = array(
        'sensor'=>'EC',
        'name' => $name,
        'UTC' => $timeUTC,
        'airspeed' => $valueEC
    );
    $json_data = json_encode($data);
    $ch = curl_init();
    curl_setopt($ch, CURLOPT_URL, 'https://xxxxxxx');
    curl_setopt($ch, CURLOPT_POST, true);
    curl_setopt($ch, CURLOPT_POSTFIELDS, $json_data);
    curl_setopt($ch, CURLOPT_HTTPHEADER, array(
        'Authorization' =>'xxxxxxxxxxxxx',
        'Content-Type'=>'application/json'));
// nosūta uz Wizata
    $result = curl_exec($ch);
    curl_close($ch);
}
mysqli_close($conn);
```

Katram sensoru tipam ir sava PHP lapa un sava tabula MySQL datubāzē (1-41. att.).



Attēls 1-41. Webservera un datubāzes ekrānšāviņi

Sensoru datu grafiskais attēlojums ir redzams katra sensoru tipa weblapā:

- šķīduma skābums (pH) - <https://remotelab.lv/broccoli/ph.php>;
- šķīduma vadītspējas (EC) - <https://remotelab.lv/broccoli/ec.php>;
- gaisa plūsmas ātrums - <https://remotelab.lv/broccoli/air.php>;
- skābekļa saturs (O₂) - <https://remotelab.lv/broccoli/o2.php>;
- gaisa temperatūras, mitruma un CO₂ (RH/T-CO₂) - <https://remotelab.lv/broccoli/rht.php>;
- patēriņa elektriskās jaudas katrai fāzei - <https://remotelab.lv/broccoli/pw3.php>;
- patēriņa elektriskās jaudas summāri - <https://remotelab.lv/broccoli/pw.php>;

Ērtākai grafiku aplūkošanai iespējams izmantot arī kopējo weblapu- <https://remotelab.lv/broccoli/>.

2 WIZATA platforma

Wizata ir tiešsaistes datu apstrādes platforma, uz kuru tiek nosūtīti dati no Projektā uzstādītajiem sensoriem, kur turpmāk tie tiek izmantoti datu analīzei un mākslīgā intelekta (AI - *Artificial Intelligence*) apmācīšanai. Šim nolūkam Wizata platformā ir izveidots digitālais dvīnis (2.1.-2.6. att.), kurā izvietotie virtuālie objekti atbilst kādam no reālajiem objektiem Konteinerā vai Mežvidu siltumnīcas vidē.

Šī platforma nodrošina ērtu un uzskatāmu kopskatu par Konteinerī esošo klimatu un tā parametriem, kas tiek mēriti. Papildus tajā ir matemātiskie rīki, ar kuru palīdzību var viegli apskatīties kāda parametra vidējo vērtību stundas, dienas, vai pat nedēļas laikā, kā arī daudz ko citu. Platformā ir arī iespējams iestatīt paziņojumus uz telefonu vai e-pastu, lai atbildīgais personāls tiek informēts par kaut kādām pēkšņām vai nevēlamām pārmaiņām siltumnīcas klimatā.

Pirmām kārtām šajā platformā tiek izveidots digitālais dvīnis, kur katram sensoram tiek piešķirts attiecīgs objekts, kurā tiek uzkrāti šī sensora dati (2.1.-2.6. att.).



2.1. att. "Wizata" platformā izveidotā "Broccoli" un "Mežvidu" siltumnīcu sensoru digitālā dvīņa kopējā bilde

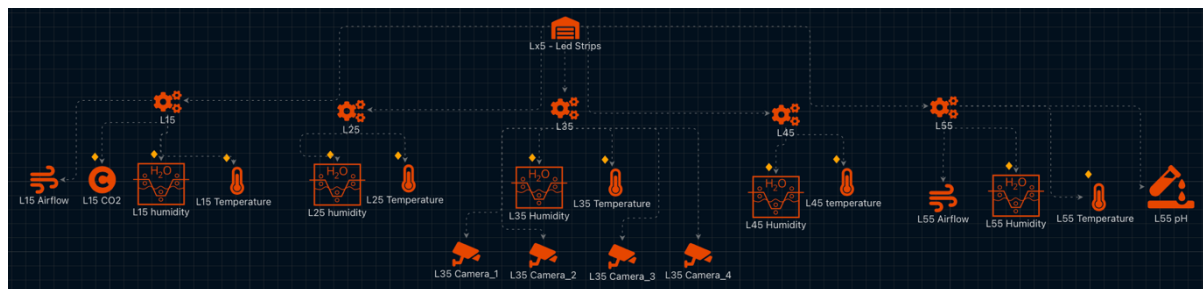
Lai varētu skaidrāk saskatīt izveidotā digitālā dvīņa objektus, kopējā bilde (2.1. att.) tiek sadalīta smalkākos attēlos (2.2.-2.6. att.) pēc dažādām lokācijas vietām - "Broccoli" un "Mežvidu" - kā arī pēc siltumnīcu atsevišķajiem apgabaliem - Broccoli Konteinerī pēc plauktu līmeņiem.

Tā kā Mežvidu siltumnīcā sensori ir izvietoti tikai vienā vietā - 8. rindā pie A staba, tad šai siltumnīcai ir tikai viens apgabals, jeb zona (2.2. att.). Tomēr šī zona sastāv no 6 sensoru izvietojanas līmeņiem (augstumiem), kuri tiek attiecīgi arī digitālajā dvīnī apzīmēti ar "mehānisma" objektiem (0.-5._level). Savukārt katrā līmenī ir izveidoti sensoru objekti, kas interpretē fizisko izvietojumu Mežvidu siltumnīcā. Sīkāk par digitālā dvīņa objektiem ir paskaidrots zemāk.

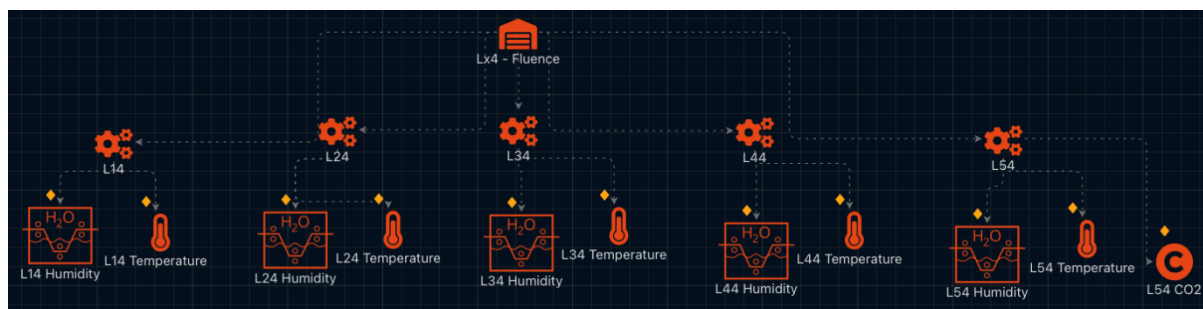


2.2. att. "Mežvidu" siltumnīcas digitālais dvīnis

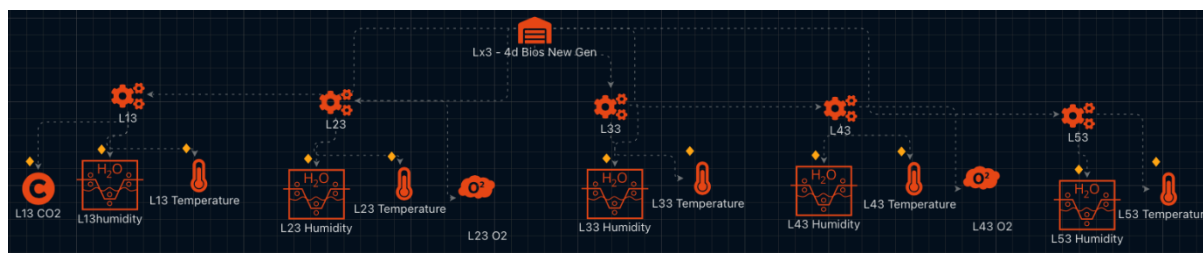
Savukārt Konteinerī sensori ir izvietoti 4 dažādos plauktu līmeņos, jeb apgabalos, attiecīgi tāpēc šai siltumnīcai ir 4 digitālā dviņa zonas (2.3.-2.6. att.). Atšķirībā no Mežvidu siltumnīcas, Broccoli Konteinerī zonas sīkāk ir sadalītas pa statnēm (horizontāli), nevis vertikāli pēc augstuma. Sensoru objektu izveidošana ir analoga Mežvidu siltumnīcai.



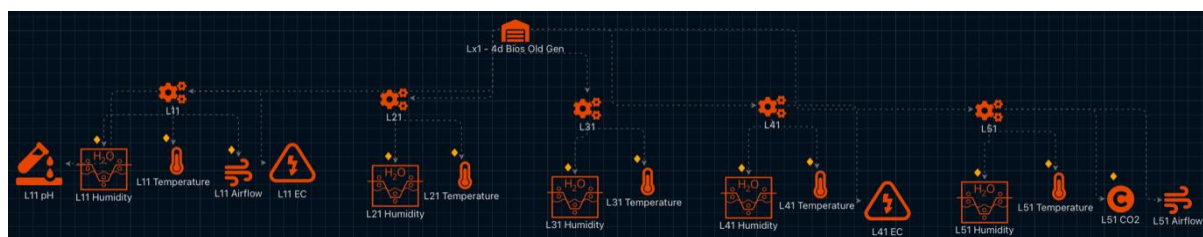
2.3. att. "Broccoli" konteinerā 5. plaukta līmeņa dvīnis



2.4. att. "Broccoli" konteinerā 4. plaukta līmeņa dvīnis



2.5. att. "Broccoli" konteinerā 3. plaukta līmeņa dvīnis



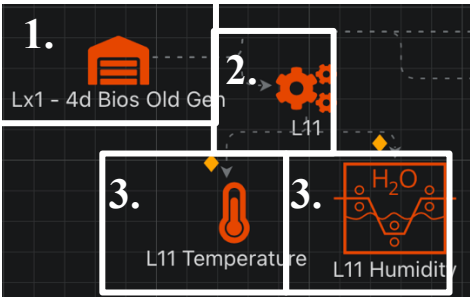
2.6. att. "Broccoli" konteinerā 1. plaukta līmeņa dvīnis

Digitālā dviņa struktūru (2.7. att.) veido "zona" (*angl. Area*), "mehānisms" (*angl. Machine*) un "iekārta" (*angl. Equipment*). Ar objektu "zona" tiek apzīmēts viens plaukta līmenis visu 5 pētījumiem paredzēto statņu platumā. Katram "zonas" objektam digitālajā dvīnī ir piešķirts to mākslīgā apgaismojuma lampu nosaukums, kuras tiek izmantotas šajā plauktu līmenī augu kultivēšanai, piemēram, "Lx1 - 4d Bios Old Gen" nozīmē 4D BIOS ražotāja vecā tipa lampas 1. plauktu līmenī.

Ar objektu "mehānisms" iepriekš minētā "zona" tiek sadalīta smalkākos apgabalos, jeb statņu intervālos viena plaukta līmeņa ietvaros, piemēram, objekts "L11" apzīmē 1. statnes 1. plaukta līmeņa apgabalu (visos objektu nosaukumos 1. cipars apzīmē statni, bet 2. cipars - plauktu līmeni).

Savukārt ar objektu "iekārta" tiek apzīmēti paši sensori, piemēram, "L11 Temperature" apzīmē temperatūras sensoru, bet "L11 Humidity" apzīmē relatīvā mitruma sensoru 1. statnes 1. plaukta līmenī.

Datu hierarhijas veidošanai tiek izmantoti savienojumi, kas norāda uz katra objekta piederību kādam lielākam objektam, piemēram, "L11 Temperature" un "L11 Humidity" "iekārtas" objekti ir savienoti ar "L11" "mehānisma" objektu, jo tas nozīmē, ka reālā vidē - konteinerī - 1. statnes 1. plaukta līmenī ir izvietots 1 temperatūras un 1 relatīvā mitruma sensors. Savukārt "L11" "mehānisma" objekts ir savienots ar "Lx1 - 4d Bios Old Gen" "zonas" objektu, kas nozīmē, ka 1. statnes 1. plaukta līmeņa apgabals ir daļa no visas 1. plaukta līmeņa zonas (5 statņu platumā).



2.7. att. Digitālā dvīņa struktūra: 1. - "zona", 2. - "mehānisms", 3. - "iekārta"

Otrajā solī ir nepieciešams identificēt katru sensoru, no kura nāk dati uz šo platformu. Kā arī piešķirt tam: atbilstošu nosaukumu; iepriekš izveidotā digitālā dvīņa objektu; klimata mērīšanas parametru (temperatūra, mitrums, u.c.); mērvienības (celsija grādi, procenti, u.c.); ikonu un krāsu, kuru vēlāk varēs redzēt instrumentu panelī (2.9. att.), lai varētu vieglāk atšķirt sensoru mērāmos parametrus.

☐	Name	Business Type	Input Mode	Twin Unit	Category	Unit	Labels	Updated	Created	
☐	L-5-4-Temperature Added from SensorMonitorJob	Telemetry	none	L54 Temperat...	Temperatu...	C	-	1 Mar 2024 at 17:27:39 ^{5d} Mārtiņš Marcinkēvičs	4 Jan 2024 at 12:59:01 ^{2mo}	Edit Delete
☐	L-5-4-CO2 Added from SensorMonitorJob	Telemetry	none	L54 CO2	Concentra...	PPM	-	1 Mar 2024 at 17:27:03 ^{5d} Mārtiņš Marcinkēvičs	4 Jan 2024 at 12:59:01 ^{2mo}	Edit Delete
☐	L-5-4-Humidity Added from SensorMonitorJob	Telemetry	none	L54 Humidity	Humidity	pct	-	1 Mar 2024 at 17:26:15 ^{5d} Mārtiņš Marcinkēvičs	4 Jan 2024 at 12:59:01 ^{2mo}	Edit Delete
☐	L-4-4-Humidity Added from SensorMonitorJob	Telemetry	none	L44 Humidity	Humidity	pct	-	1 Mar 2024 at 17:25:33 ^{5d} Mārtiņš Marcinkēvičs	4 Jan 2024 at 13:07:01 ^{2mo}	Edit Delete
☐	L-2-4-Humidity Added from SensorMonitorJob	Telemetry	none	L24 Humidity	Humidity	pct	-	1 Mar 2024 at 17:24:44 ^{5d} Mārtiņš Marcinkēvičs	4 Jan 2024 at 13:07:01 ^{2mo}	Edit Delete
☐	L-4-4-Temperature Added from SensorMonitorJob	Telemetry	none	L44 Tempera...	Temperatu...	C	-	1 Mar 2024 at 17:23:52 ^{5d} Mārtiņš Marcinkēvičs	4 Jan 2024 at 13:07:01 ^{2mo}	Edit Delete
☐	L-1-4-Temperature Added from SensorMonitorJob	Telemetry	none	L14 Temperat...	Temperatu...	C	-	1 Mar 2024 at 17:23:05 ^{5d} Mārtiņš Marcinkēvičs	4 Jan 2024 at 13:07:01 ^{2mo}	Edit Delete
☐	L-1-4-Humidity Added from SensorMonitorJob	Telemetry	none	L14 Humidity	Humidity	pct	-	1 Mar 2024 at 17:22:26 ^{5d} Mārtiņš Marcinkēvičs	4 Jan 2024 at 13:07:01 ^{2mo}	Edit Delete

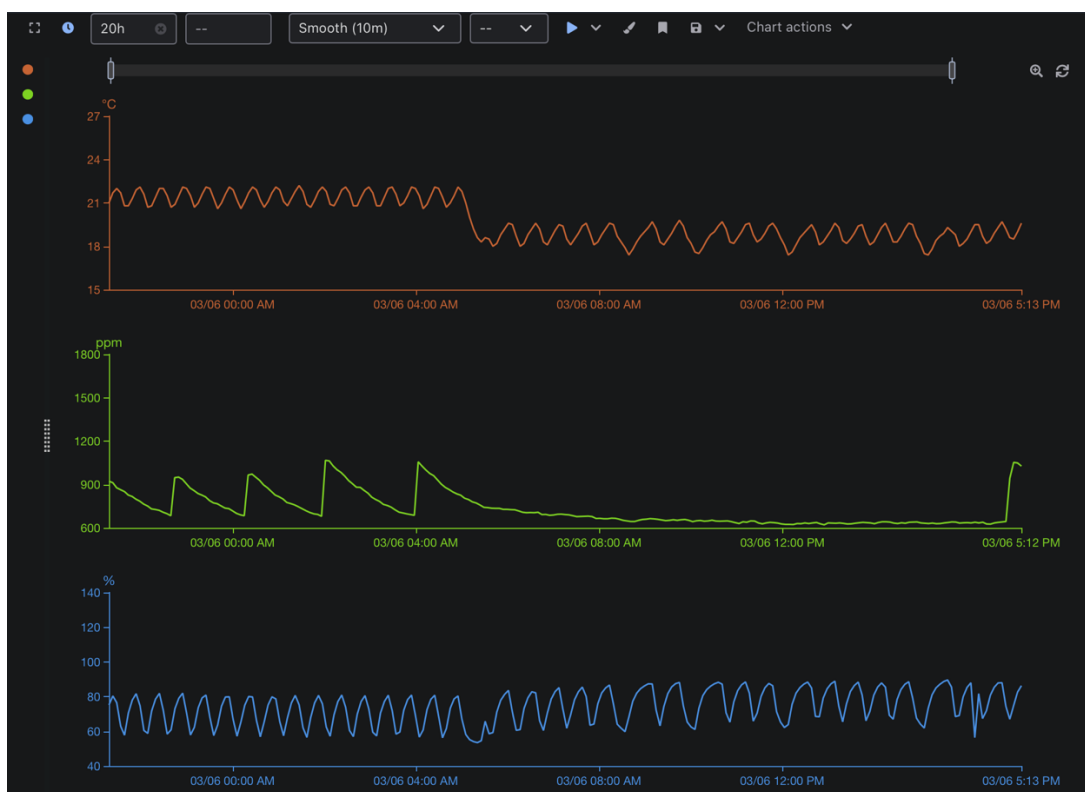
2.8. att. Sensoru identificēšana un parametru piešķiršana

Instrumentu paneli ir iespējams rediģēt pilnībā pēc savas patikas un nepieciešamības. Tajā var izvietot: katra sensora pēdējo mērījumu datus; vidējās, minimālās, maksimālās, u.c. vērtības sevis izvēlētajā laika periodā; kā arī loģisko funkciju rezultātus un daudz ko citu. Tas ir ērts veids kā uzskatāmi var pārbaudīt svarīgākos klimata parametrus, neejot datu glabātuves un grafiku sadaļā.



2.9. att. Instrumentu panelis

Ja ir vēlēšanās sīkāk analizēt uzkrātos datus par klimatu, ir nepieciešams atvērt izpētes sadaļu (2.10. att.). Tajā ir iespējams apskatīties katra sensora pilno datu vēsturi grafiskā veidā. Grafīkam var iestatīt ne tikai laika periodu, kurā ir vēlēšanās apskatīties datus, bet arī datu punktu atspoguļošanas metodi (faktisko mērījumu; vidējo/minimālo/maksimālo vērtību kādā smalkākā laika solī), un daudz ko citu.



2.10. att. Sensoru datu grafiki: oranžā līkne - temperatūras; zaļā līkne - oglekļa dioksīda koncentrācijas; zilā līkne - relatīvā mitrums

Visu uzstādīto sensoru informācija - fiziskais izvietojums siltumnīcās, nosaukumi gan RTU, gan Wizata platformā, sensoru tipi un mērvienības - ir apkopota 2.1.-2.2. tabulās.

2.1. tabula

Sensoru izvietojums konteinerī, nosaukumi dažādās platformās, tipi un mērvienības

Vieta konteinerī	Nosaukums Wizata platformā	Nosaukums RTU platformā	Sensora tips	Mērvienības
Statne 1, Plaukts 1	L-1-1-Temperature	#42	Temperatūras	°C
Statne 1, Plaukts 1	L-1-1-Humidity	#42	Relatīvā mitruma	%
Statne 2, Plaukts 1	L-2-1-Temperature	#42	Temperatūras	°C
Statne 2, Plaukts 1	L-2-1-Humidity	#42	Relatīvā mitruma	%
Statne 3, Plaukts 1	L-3-1-Temperature	#42	Temperatūras	°C
Statne 3, Plaukts 1	L-3-1-Humidity	#42	Relatīvā mitruma	%
Statne 4, Plaukts 1	L-4-1-Temperature	#42	Temperatūras	°C
Statne 4, Plaukts 1	L-4-1-Humidity	#42	Relatīvā mitruma	%
Statne 5, Plaukts 1	L-5-1-Temperature	#42	Temperatūras	°C
Statne 5, Plaukts 1	L-5-1-Humidity	#42	Relatīvā mitruma	%
Statne 5, Plaukts 1	L-5-1-CO2	#42	CO2	PPM
Statne 1, Plaukts 3	L-1-3-Temperature	#43	Temperatūras	°C
Statne 1, Plaukts 3	L-1-3-Humidity	#43	Relatīvā mitruma	%
Statne 1, Plaukts 3	L-1-3-CO2	#43	CO2	PPM
Statne 2, Plaukts 3	L-2-3-Temperature	#43	Temperatūras	°C
Statne 2, Plaukts 3	L-2-3-Humidity	#43	Relatīvā mitruma	%
Statne 3, Plaukts 3	L-3-3-Temperature	#43	Temperatūras	°C
Statne 3, Plaukts 3	L-3-3-Humidity	#43	Relatīvā mitruma	%
Statne 4, Plaukts 3	L-4-3-Temperature	#43	Temperatūras	°C
Statne 4, Plaukts 3	L-4-3-Humidity	#43	Relatīvā mitruma	%
Statne 5, Plaukts 3	L-5-3-Temperature	#43	Temperatūras	°C
Statne 5, Plaukts 3	L-5-3-Humidity	#43	Relatīvā mitruma	%
Statne 1, Plaukts 4	L-1-4-Temperature	#64	Temperatūras	°C
Statne 1, Plaukts 4	L-1-4-Humidity	#64	Relatīvā mitruma	%
Statne 2, Plaukts 4	L-2-4-Temperature	#64	Temperatūras	°C
Statne 2, Plaukts 4	L-2-4-Humidity	#64	Relatīvā mitruma	%
Statne 3, Plaukts 4	L-3-4-Temperature	#64	Temperatūras	°C
Statne 3, Plaukts 4	L-3-4-Humidity	#64	Relatīvā mitruma	%
Statne 4, Plaukts 4	L-4-4-Temperature	#64	Temperatūras	°C

Statne 4, Plaukts 4	L-4-4-Humidity	#64	Relatīvā mitruma	%
Statne 5, Plaukts 4	L-5-4-Temperature	#64	Temperatūras	°C
Statne 5, Plaukts 4	L-5-4-Humidity	#64	Relatīvā mitruma	%
Statne 5, Plaukts 4	L-5-4-CO2	#64	CO2	PPM
Statne 1, Plaukts 5	L-1-5-Temperature	#47	Temperatūras	°C
Statne 1, Plaukts 5	L-1-5-Humidity	#47	Relatīvā mitruma	%
Statne 1, Plaukts 5	L-1-5-CO2	#47	CO2	PPM
Statne 2, Plaukts 5	L-2-5-Temperature	#47	Temperatūras	°C
Statne 2, Plaukts 5	L-2-5-Humidity	#47	Relatīvā mitruma	%
Statne 3, Plaukts 5	L-3-5-Temperature	#47	Temperatūras	°C
Statne 3, Plaukts 5	L-3-5-Humidity	#47	Relatīvā mitruma	%
Statne 4, Plaukts 5	L-4-5-Temperature	#47	Temperatūras	°C
Statne 4, Plaukts 5	L-4-5-Humidity	#47	Relatīvā mitruma	%
Statne 5, Plaukts 5	L-5-5-Temperature	#47	Temperatūras	°C
Statne 5, Plaukts 5	L-5-5-Humidity	#47	Relatīvā mitruma	%
Statne 1, Plaukts 1	L-1-1-Airflow	AV1	Gaisa plūsmas ātruma	m/s
Statne 5, Plaukts 1	L-5-1-Airflow	AV2	Gaisa plūsmas ātruma	m/s
Statne 1, Plaukts 5	L-1-5-Airflow	AV3	Gaisa plūsmas ātruma	m/s
Statne 5, Plaukts 5	L-5-5-Airflow	AV4	Gaisa plūsmas ātruma	m/s
Statne 1, Plaukts 1	L-1-1-pH	SensorPh-01	pH	[1]
Statne 5, Plaukts 5	L-5-5-pH	SensorPh-00	pH	[1]
Statne 1, Plaukts 1	L-1-1-EC	Sensor-EC1	Elektriskās vadītspējas	μS/cm
Statne 4, Plaukts 1	L-4-1-EC	Sensor-EC2	Elektriskās vadītspējas	μS/cm
Statne 1-2, Plaukts 3	L-2-3-O2	SensorO2=00	O2	%
Statne 3-4, Plaukts 3	L-4-3-O2	SensorO2=01	O2	%
Statne 3, Plaukts 5	Camera1	VeeZoom_1	Kamera	[bilde]
Statne 3, Plaukts 5	Camera2	VeeZoom_2	Kamera	[bilde]
Statne 3, Plaukts 5	Camera3	VeeZoom_3	Kamera	[bilde]
Statne 3, Plaukts 5	Camera4	VeeZoom_4	Kamera	[bilde]
L1 (LEDVANCE LED lentas)	-	Nr.9	Voltmetrs	V

L1 (LEDVANCE LED lentas)	-	Nr.9	Ampērmetrs	A
L1 (LEDVANCE LED lentas)	-	Nr.9	Aktivās jaudas mērītājs	W
L2 (Sensori)	-	Nr.9	Voltmetrs	V
L2 (Sensori)	-	Nr.9	Ampērmetrs	A
L2 (Sensori)	-	Nr.9	Aktivās jaudas mērītājs	W
L1 (4DBios-jaunās)	-	Nr.12	Voltmetrs	V
L1 (4DBios-jaunās)	-	Nr.12	Ampērmetrs	A
L1 (4DBios-jaunās)	-	Nr.12	Aktivās jaudas mērītājs	W
L2 (Sylvania)	-	Nr.12	Voltmetrs	V
L2 (Sylvania)	-	Nr.12	Ampērmetrs	A
L2 (Sylvania)	-	Nr.12	Aktivās jaudas mērītājs	W
L3 (Fluence)	-	Nr.12	Voltmetrs	V
L3 (Fluence)	-	Nr.12	Ampērmetrs	A
L3 (Fluence)	-	Nr.12	Aktivās jaudas mērītājs	W

2.2. tabula

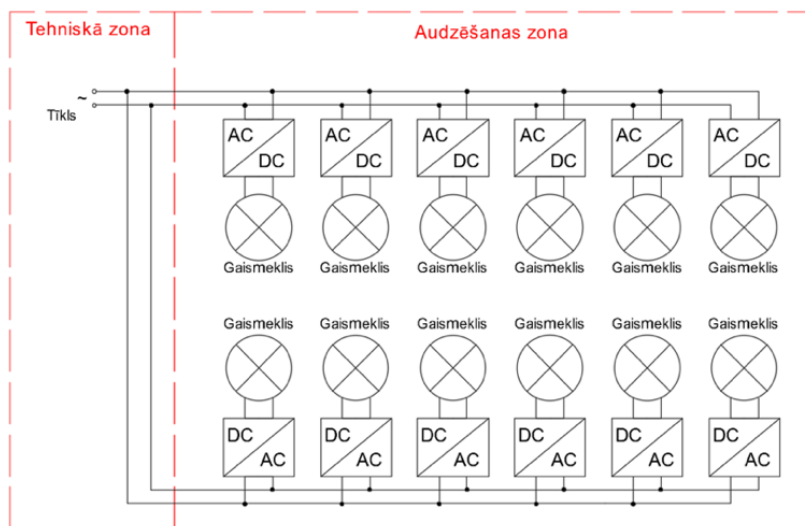
Sensoru izvietojums Mežvidos, nosaukumi dažādās platformās, tipi un mērvienības

Vieta Mežvidu siltumnīcā	Nosaukums Wizata platformā	Nosaukums RTU platformā	Sensora tips	Mērvienības
8.rinda, A stabs, 0.līmenis	Mezvidi_0_CO2	6_Mezvidi_8rinda_A	CO2	PPM
8.rinda, A stabs, 0.līmenis	Mezvidi_0_Temperature	6_Mezvidi_8rinda_A	Temperatūras	°C
8.rinda, A stabs, 0.līmenis	Mezvidi_0_Humidity	6_Mezvidi_8rinda_A	Relatīvā mitruma	%
8.rinda, A stabs, 1.līmenis	Mezvidi_1_Temperature	6_Mezvidi_8rinda_A	Temperatūras	°C
8.rinda, A stabs, 1.līmenis	Mezvidi_1_Humidity	6_Mezvidi_8rinda_A	Relatīvā mitruma	%
8.rinda, A stabs, 2.līmenis	Mezvidi_2_Temperature	6_Mezvidi_8rinda_A	Temperatūras	°C
8.rinda, A stabs, 2.līmenis	Mezvidi_2_Humidity	6_Mezvidi_8rinda_A	Relatīvā mitruma	%
8.rinda, A stabs, 3.līmenis	Mezvidi_3_Temperature	6_Mezvidi_8rinda_A	Temperatūras	°C

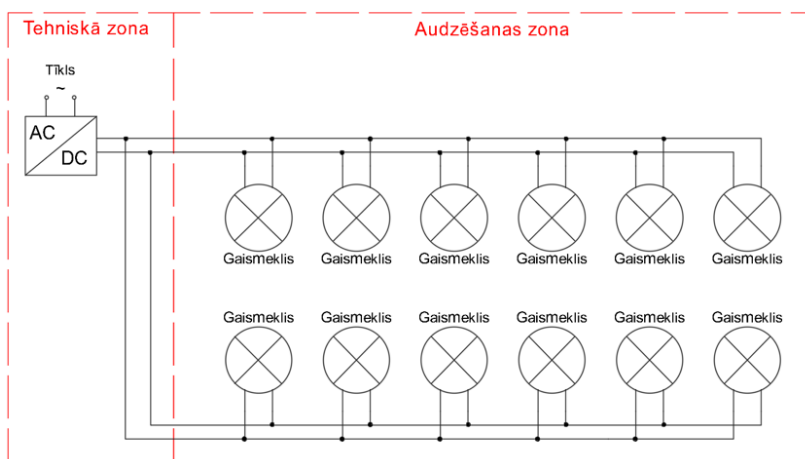
8.rinda, A stabs, 3.līmenis	Mezvidi_3_Humidity	6_Mezvidi_8rinda_A	Relatīvā mitruma	%
8.rinda, A stabs, 4.līmenis	Mezvidi_4_Temperature	6_Mezvidi_8rinda_A	Temperatūras	°C
8.rinda, A stabs, 4.līmenis	Mezvidi_4_Humidity	6_Mezvidi_8rinda_A	Relatīvā mitruma	%
8.rinda, A stabs, 5.līmenis	Mezvidi_5_Temperature	6_Mezvidi_8rinda_A	Temperatūras	°C
8.rinda, A stabs, 5.līmenis	Mezvidi_5_Humidity	6_Mezvidi_8rinda_A	Relatīvā mitruma	%
8.rinda, A stabs, 0.līmenis	Mezvidi_pH_1	Mezvidi-SensorPh-1	pH	[1]
8.rinda, A stabs, 0.līmenis	Mezvidi_pH_2	Mezvidi-SensorPh-2	pH	[1]
8.rinda, A stabs, 0.līmenis	Mezvidi_EC_1	Sensor-Mezvidi-EC1	Elektriskās vadītspējas	μS/cm
8.rinda, A stabs, 0.līmenis	Mezvidi_EC_2	Sensor-Mezvidi-EC2	Elektriskās vadītspējas	μS/cm
8.rinda, A stabs, 1.līmenis	Mezvidi_1_Airflow	Mezvidi-AV1	Gaisa plūsmas ātruma	m/s
8.rinda, A stabs, 1.līmenis	Mezvidi_1_O2	Mezvidi-SensorO2=1	O2	%
8.rinda, A stabs, 1.līmenis	Mezvidi_1_Camera	Reolink Duo 2 apaksheejaa (<i>Reolink aplikācijā</i>)	Kamera	[bilde]
8.rinda, A stabs, 2.līmenis	Mezvidi_2_Camera	Reolink Duo 2 Augseja (<i>Reolink aplikācijā</i>)	Kamera	[bilde]
8.rinda, A stabs, 1.līmenis	Mezvidi_PlantWeight_1	#1_10kg_16rinda	Auga masas svāri	g
8.rinda, A stabs, 1.līmenis	Mezvidi_PlantWeight_2	#31_50kg_8rinda(Akg)	Substrāta masas svāri	g
8.rinda, A stabs, 4.līmenis	Mezvidi_4_ePAR	Broccoli_PARSens_2 (Mezvidi)	Fotosintētiski aktīvā radiācija	μmol/s/m ²

3 DC-LED gaismekļa izstrāde un testēšana

Kā par vienu no iespējamiem konteineru tipa siltumnīcu energoefektivitātes uzlabošanas risinājumiem, tika izstrādāts līdzstrāvas gaismeklis, kas ir balstīts uz līdzstrāvas apgaismojuma koncepta (3.2. att.). Šī koncepta pamatā ir aizvietot atsevišķu LED draiveru barošanas sistēmu (3.1. att.) ar vienotu barošanas avotu, kas ir iznests ārpus audzēšanas zonas un nodrošina visu siltumnīcā esošo gaismekļu darbību, nevis tikai divu-trīju, kā tas ir atsevišķu LED draiveru gadījumā.



3.1. att. Apgaismojuma sistēma ar atsevišķiem LED draiveriem



3.2. att. Līdzstrāvas apgaismojuma sistēmas koncepts

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

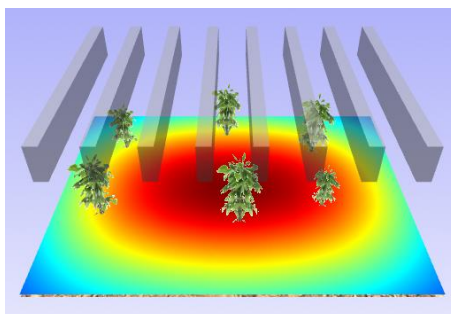
3.1 Īss apraksts par izstrādāto gaismekli

No agronomijas viedokļa gaismekļa svarīgākais raksturojums ir tā optiskie parametri - intensitāte, kas raksturo izstaroto enerģijas daudzumu uz laukuma vienību; spektrs, kas satur augiem nepieciešamos gaismas viļņus un to savstarpējo proporciju; kā arī vienmērība, kas raksturo uz plauktu krītošās gaismas minimālās un maksimālās intensitātes attiecību. Tāpēc līdzstrāvas gaismeklis tika izstrādāts balstoties uz agronomu uzstādītajiem nepieciešamajiem plaukta apgaismojuma optiskajiem parametriem un tie ir uzrādīti 3.1.1. tabulā.

3.1.1. tabula. LED apgaismojuma uzstādītie optiskie izejas parametri

Intensitāte, [μmol/s/m ²]	Spektrs			
	Zilā (440-460 nm), [%]	Zaļā (550-570 nm), [%]	Sarkanā (640-660 nm), [%]	Tālā sarkanā (700-720 nm), [%]
300-350	8-10	7-8	74-78	7-8

Lai varētu gūt vismaz aptuvenu priekšstatu par LED apgaismojuma izstrādi un diožu izvēli - to skaitu un jaudu, nepieciešamo apgaismojuma parametru sasniegšanai, tika atrasts un izmantots OSRAM diožu ražotāja tiešsaistes apgaismojuma modelēšanas rīks (3.3. att.).



3.3. att. OSRAM tiešsaistes apgaismojuma modelēšanas rīks.

OSRAM tiešsaistes rīkā ir nepieciešams ievadīt ne tikai vēlamos rezultējošos apgaismojuma parametrus, bet arī plaukta un gaismekļu fiziskos izmērus un savstarpējos attālumus. Minētie modelēšanas iestatījumi ir aplūkoti tabulā.

OSRAM tiešsaistes rīka modelēšanas ievades parametri

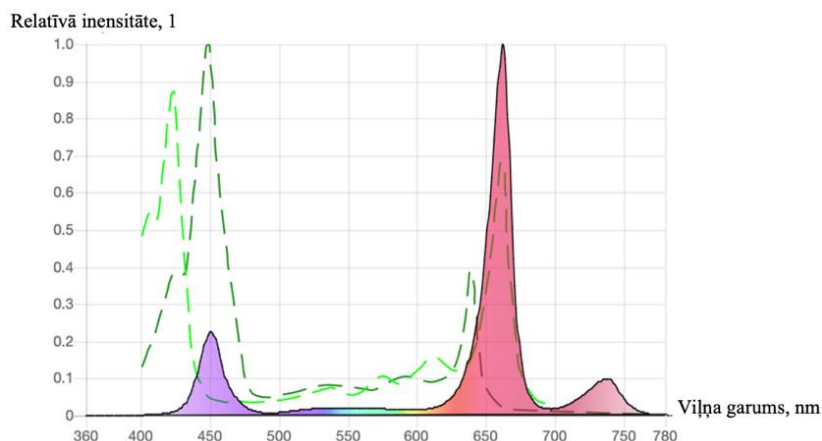
Plaukta iestatījumi		Gaismekļa iestatījumi		Apgaismojuma iestatījumi	
Attālums no gaismekļiem līdz augiem, m	0.31	Garums, mm	34	Fotonu plūsma uz 1 gaismekli, μmol/s	35
Garums, m	1.045	Platums, mm	600	Zilās gaismas proporcija, %	8
Platums, m	0.762			Zaļās gaismas proporcija, %	8
Gaismekļu skaits uz plauktu, 1	8			Sarkanās gaismas proporcija, %	76
Attālums starp gaismekļiem, m	0.087			Tālās sarkanās gaismas proporcija, %	8

Pēc veiktajām vairāk, nekā 60 apgaismojuma modelēšanām OSRAM tiešsaistes rīkā, tika izvēlēta tāda diožu kombinācija, kas kopējā novērtējumā, no optiskajiem, elektriskajiem un ekonomiskajiem parametriem, uzrādīja labākos rezultātus. Izvēlētās diodes ir aplūkojamas tabulā zemāk.

Izvēlēto LED diožu elektriskie parametri

Krāsa	Zilā	Zaļā	Sarkanā	Tālā sarkanā
Nosaukums	OSRAM GD QSSPA1.1 4	OSRAM GW PSLM32.U L	OSRAM GH CSBRM4. 24	OSRAM GF CSSRML.24
U, [V]	2.85	2.95	1.97	1.95
I, [A]	0.35	0.1	0.7	0.35
Skaitis uz 1 gaismekli, [1]	2	5	6	2

Modelēšanas rezultātā tiešsaistes rīks prognozē aptuvenos rezultējošos apgaismojuma parametrus - minimālo, maksimālo, vidējo intensitāti uz plauktu; vienmērību; spektru (3.4. att.) - ar izvēlēto diožu kombināciju un skaitu. Šie rezultāti arī tika ņemti par pamatu LED līdzstrāvas gaismekļa izstrādei.



3.4. att. Tiešsaistes rīka prognozētais apgaismojuma spektrs

Pēc diožu izvēles, balstoties uz to elektrisko jaudu un spēju pārveidot to optiskajā jaudā, papildus tika aprēķināts gaismekļa teorētiskais spektrālais sastāvs, kāds tiks iegūts nodrošinot diodēm nominālos elektriskos parametrus - strāvu un spriegumu. Teorētiski iegūstamais aprēķinātais spektrs, kā arī intensitātes un vienmērības vērtības, kas tika iegūtas tieši no modelēšanas rīka, ir redzamas 3.1.4. tabulā.

3.1.4. tabula. Teorētiskie apgaismojuma rezultējošie optiskie un elektriskie parametri

Optiskie parametri					
Vidējā intensitāte, [μmol/s/m²]	Minimālā intensitāte, [μmol/s/m²]	Maksimālā intensitāte, [μmol/s/m²]	Vienmērība, [1]	Spektrs	
				Zilā (440-460 nm), [%]	11.38
				Zaļā (565-575 nm), [%]	5.81
351	387.73	1742.56	0.22	Sarkanā	71.64

				(640-660 nm), [%]	
				Tālā sarkanā (720-740 nm), [%]	11.17
Elektriskie parametri					
P_{el} , [W]		P_Q , [W]		η , [%]	
105.88		32.05		69.73	

Salīdzinot teorētiski iegūstamos optiskos parametrus (3.1.4. tab.) ar sākotnēji uzstādītajiem (3.1.1. tab.), var secināt, ka pie diožu nominālās darbības tikai ar dažādu diožu krāsu savstarpējo attiecību nepieciešamais apgaismojuma spektrs nav sasniedzams. Šī iemesla dēļ, spektra pielāgošanai, izstrādāto plaukta apgaismojumu noteikti ir nepieciešams apriņķot ar barošanas avotu, kam ir 4 neatkarīgi vadāmas izejas.

Izstrādātajā gaismeklī vienādu krāsu diodes ir slēgtas virknē. Un, tā kā apgaismojums tika izstrādāts ar 4 dažādu krāsu diodēm, tad gaismeklī ir 4 savstarpēji nesavienotas diožu virknes. Katras šīs virknes viena gaismekļa nominālie parametri (spriegums, strāva, jauda) ir doti tabulā zemāk. Papildus šajā tabulā ir arī uzrādīta kopējā viena gaismekļa jauda - $P_{g.kop.}$, kā arī atsevišķi katras krāsas nepieciešamā jauda uz 1 plauktu, jeb 8 gaismekļiem, - P_p .

Izstrādātā LED gaismekļa rezultējošie elektriskie parametri

Krāsa	Zilā	Zaļā	Sarkanā	Tālā sarkanā
U , [V]	5.7	14.75	11.82	3.9
I , [A]	0.35	0.1	0.7	0.35
P_g , [W]	2.00	1.48	8.27	1.37
$P_{g.kop.}$, [W]	13.11			
Gaismekļu skaits uz plauktu, [1]	8			
P_p , [W]	16.00	11.84	66.16	10.96

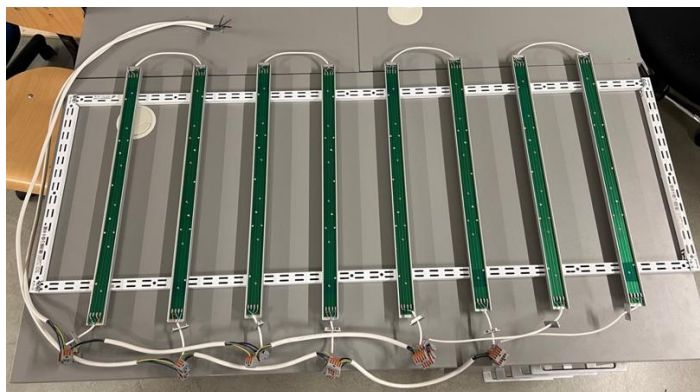
Savukārt, elektrisko slēgumu plaukta ietvaros ir iespējams mainīt atkarībā no vēlamajiem plaukta rezultējošajiem vai pieejamajiem barošanas avota elektriskajiem parametriem - sprieguma un strāvas. Ja ir vajadzība pēc zemākiem spriegumiem plaukta ietvaros vai barošanas avots nespēj nodrošināt augstu spriegumu, tad gaismekļus var slēgt paralēli. Tomēr, ja ir nevēlama liela strāva, tad tos var slēgt virknē. Gaismekļu slēgumā svarīgi ir ievērot simetriskumu, lai visiem gaismekļiem tiek pievadīts vienāds spriegums un strāva, tāpēc viena plaukta ietvaros gaismekļiem ir iespējami 4 dažādi elektriskie slēgumi - visi paralēli; visi virknē; 4 paralēli zari ar 2 virknē slēgtiem gaismekļiem; 2 paralēli zari ar 4 virknē slēgtiem gaismekļiem. Tā kā gaismekļu slēgumu ir iespējams koriģēt pēc vēlmēm un iespējām, tad plaukta apgaismojuma rezultējošie elektriskie parametri - spriegums un strāva - 3.1.4. tabulā netiek uzrādīti, tikai jauda, jo tā būs nemainīga.

Izstrādātā gaismekļa spiestās plates dizains ir redzams 3.5. attēlā. Tā kā šis apgaismojums ir paredzēts slēgumam pie barošanas avota ar 4 neatkarīgi vadāmām izejām (katrai diožu krāsai ir sava barošanas avota izeja), tad gaismekļa iekšējā elektroniskā struktūra stipri vienkāršojas, jo nav nepieciešama atsevišķo diožu krāsu virkņu elektrisko parametru - sprieguma un strāvas - salāgošana, kā tas būtu slēguma gadījumā pie vienas un tās pašas barošanas avota izejas. Tāpēc

izstrādātā gaismekļa spiestā plate ietver sevī tikai pašas diodes un kontakta spraudņus, izslēdzot rezistoru, kondensatoru, tranzistoru, un citu elektronisko elementu nepieciešamību.



3.5. att. Izstrādātā DC-LED gaismekļa spiestās plates dizains



3.6. att. Izstrādātais plaukta apgaismojums pēc mehāniskās un elektriskās montāžas

Pielikumā Nr.2. Aprakstīti aprēķini DC gaismekļu sistēmas ieviešanai sistēmas līmenī.

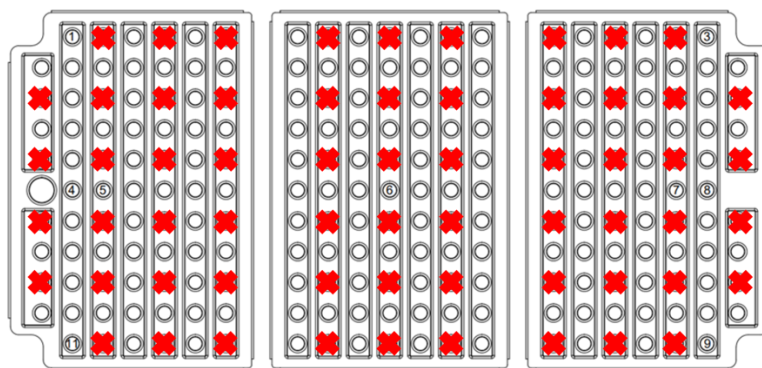
4 Dažādu gaismekļu mērījumi konteinerī (reālā vidē)

Šajā nodaļā tiek apskatīti dažādu ražotāju LED gaismekļi, kuri tiek izmantoti zaļumu audzēšanai reālā vidē - Broccoli kKonteinerī (4.2.1. att.). Turpmākai analīzei un pētījuma plānošanai ar Projektā izstrādāto LED gaismekli, tika veikti visu konteinerī esošo gaismekļu gaismas mērījumi - intensitātes un spektra, kā arī ievākti dati par audzēšanas ražu. Turpmāk šie dati tiek analizēti, lai noskaidrotu kādi apgaismojuma parametri ietekmē ražas pieaugumu un kvalitāti visvairāk.



4.2.1. att. "Broccoli" konteineru tipa siltumnīca

Zemāk redzamajā attēlā (4.2.2. att.) ir parādīts šajā siltumnīcā 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.



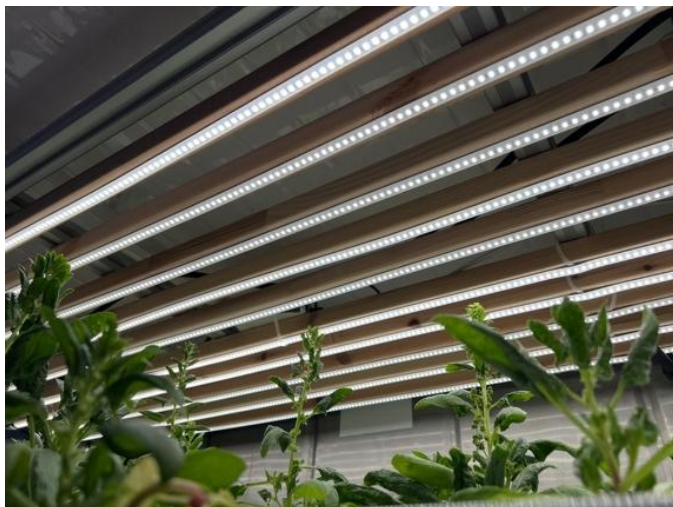
4.2.2. att. Augu audzēšanas trauks

4.1 OSRAM LEDVANCE LED lenta P 1500 P LS P -1500/940/5/IP67

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 iekštelpu apgaismojumam, daudzpusīgāka pētījuma veikšanai, tomēr tika izņemts apskatīties kāda būs augu reakcija uz parasto, nevis audzēšanai specializēto, apgaismojumu.

Viena minētā LED lenta ir 5 metrus gara, ar nominālo jaudu 60 W [6]. Tā kā testēšanas nolūkiem katram gaismekļa veidam ir atvēlēti 5 audzēšanas plaukti, tad kopumā uz 5 plauktiem ir uzstādītas 17 tādas 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 (2.6.4. att.). Nominālais šo LED lentu kalpošanas ilgums ir 50000 h. Staru kūļa leņķis - 110°.



4.1.1. att. Uztādītās OSRAM LEDVANCE LED lentas "Broccoli" konteinerī

No veiktajiem mērījumiem Konteinerī tika noteikti sekojoši šī apgaismojuma parametri - vienmērība un vidējā intensitāte. Vienmērības rādītājs ir robežās no 0,541 līdz 0,628. Vidējās intensitātes vērtības uz vienu audzēšanas plauktu ir no 153,37 (pie D=40%) līdz 258,58 (pie D=100%) $\mu\text{mol/s/m}^2$.

Gaismekļu efektivitāte ir viens no svarīgākajiem to raksturojošiem parametriem un to mēra izstarotās enerģijas daudzumā vienas sekundes laikā uz vienu vatu patērētās jaudas. Enerģijas daudzums parasti ir izteikts mikromolos (μmol), tāpēc efektivitātes parametra raksturlielums ir $\mu\text{mol}/(\text{W}\cdot\text{s})$, jeb $\mu\text{mol}/\text{J}$. Šī vērtība parasti ir norādīta gaismekļu datu lapās, tomēr praktiski, atkarībā no gaismekļu izvietojuma, audzēšanas plaukta izmēriem, gaismas atstarošanās parametriem, un citiem faktoriem, tā atšķirsies. Tāpēc, no mūsu praktiski veiktajiem apgaismojuma intensitātes mērījumiem, ir iespējams noteikt kāda ir faktiskā gaismekļu efektivitāte konkrēti "Broccoli" konteinerī. Viena "Broccoli" konteineru audzēšanas plaukta laukums ir 0,924 m^2 . Izmantojot (2.1) izteiksmi, aprēķinātā LED lentu efektivitāte (pie D=100%) ir 1,17 $\mu\text{mol}/\text{J}$.

$$\eta = \frac{ePAR_v \cdot S}{P} = \frac{258,58 \cdot 0,924}{204} = 1,17 \mu\text{mol}/\text{J} \quad , \quad (2.1)$$

kur η - gaismekļa efektivitāte, $\mu\text{mol}/\text{J}$;

$ePAR_v$ - vidējā plaukta apgaismojuma intensitāte, $\mu\text{mol/s/m}^2$;

S - apgaismojuma mērījumu (plaukta) laukums, m^2 ;

P - gaismekļa patērētā jauda uz vienu plauktu, W.

4.2 Fluence RAZR-M, 53", R, BW3

Otrs, šim pētījumam izvēlētais, Fluence ražotāja gaismekļu veids ir jau konkrēti paredzēts izmantošanai vertikālajās lauksaimniecībās. 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 [7]. 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 (2.6.4. att.), tāpēc rezultējošā gaisma ir baltā krāsā. Nominālais šo gaismekļu kalpošanas ilgums ir uzrādīts vismaz 50000 h. Staru kūļa leņķis - 120°.



4.2.1. att. Uzstādītie Fluence ražotāja gaismekļi "Broccoli" konteineri

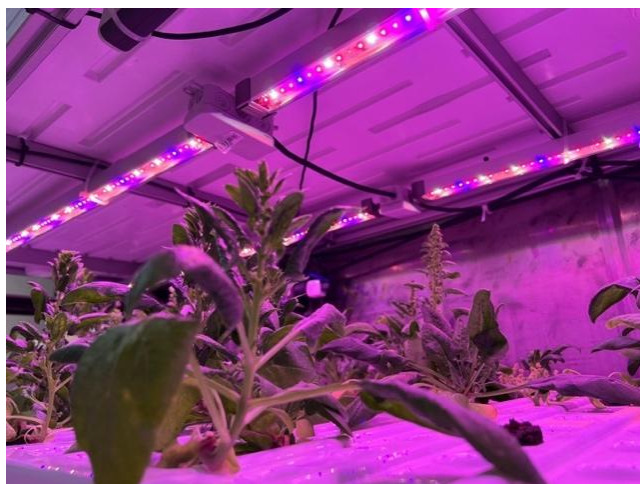
No veiktajiem mērījumiem Konteinerī, plaukta apgaismojuma vienmērības rādītājs šiem gaismekļiem ir robežās no 0,581 līdz 0,600. Savukārt, vidējās intensitātes vērtības uz vienu audzēšanas plauktu ir no 172,71 (pie D=40%) līdz 385,73 (pie D=100%) $\mu\text{mol/s/m}^2$. Izmantojot (2.1) izteiksmi, šī gaismekļa efektivitāte (pie D=100%) ir 2,12 $\mu\text{mol/J}$.

4.3 Sylvania GRO-LUX® LED LINEAR FULLSPECTRUM+ MODULE

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 [8]. 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 daudzkārt mazāk

zaļās gaismas (4.6.4. att.), tāpēc rezultējošā gaisma ir izteikti rozā krāsā. Arī šo gaismekļu nominālais kalpošanas ilgums ir uzrādīts 50000 h. Staru kūļa leņķis - 120°.



4.3.1. att. Uztādītie Sylvania ražotāja gaismekļi "Broccoli" konteineri

Šiem gaismekļiem konteineri veikto mērījumu dati uzrāda plaukta apgaismojuma vienmērību robežās no 0,655 līdz 0,685 un vidējās intensitātes vērtības uz vienu audzēšanas plauktu no 167,16 (pie D=40%) līdz 346,95 (pie D=100%) $\mu\text{mol/s/m}^2$. No (2.1) izteiksmes izriet, ka Sylvania ražotāja gaismekļa efektivitāte (pie D=100%) ir 1,82 $\mu\text{mol/J}$.

4.4 4DBios jaunā tipa lampas 16 W LED Tube Light 9SLD-016TCSSE-0000

Ceturtie pētījuma gaismekļi ir 4DBios ražotāja jaunā tipa. 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, tā datu lapa ir apskatāma 1. pielikumā. 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, tātā 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 (4.6.4. att.) 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°.



4.4.1. att. Uztādītie jaunā tipa 4DBios ražotāja gaismekļi "Broccoli" konteineri

Šiem gaismekļiem, no konteinerī veiktajiem mērījumiem, plaukta apgaismojuma vienmērība tika iegūta robežās no 0,480 līdz 0,494 un vidējās intensitātes vērtības uz vienu audzēšanas plauktu no 152,71 (pie D=40%) līdz 337,34 (pie D=100%) $\mu\text{mol/s/m}^2$. Ar to pašu (2.1) izteiksmi tika aprēķināts, ka 4DBios ražotāja jaunā tipa lampām efektivitāte (pie D=100%) ir 1,89 $\mu\text{mol/J}$.

4.5 Vecā tipa 4DBios lampas

Savstarpējam gaismekļu salīdzinājumam tiek pētītas arī vecā tipa 4DBios ražotāja lampas, kuras jau bija uzstādītas Konteinerī. Šie gaismekļi tika izstrādāti konkrēti šai konteineru tipa siltumnīcai pēc individuāla pasūtījuma, tāpēc datu lapas tiem nav atrodamas.

Vecā tipa 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 (2.6.4. att.), 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. Datu lapu trūkuma dēļ nav iespējams pateikt kāds bija prognozētais šo gaismekļu kalpošanas ilgums.



2.5.1. att. Uzstādītie vecā tipa 4DBios ražotāja gaismekļi "Broccoli" konteinerī

Vecā tipa gaismekļiem, veicot mērījumus konteinerī, tika iegūti sekojoši dati: plaukta apgaismojuma vienmērība robežās no 0,344 līdz 0,384, vidējās intensitātes vērtības uz vienu audzēšanas plauktu robežās no 63,37 (pie D=40%) līdz 190,39 (pie D=100%) $\mu\text{mol/s/m}^2$. Izmantojot to pašu (2.1) izteiksmi, tika aprēķināts, ka vecā tipa gaismekļa efektivitāte (pie D=100%) ir 1,95 $\mu\text{mol/J}$.

4.6 Iegūto datu analīze

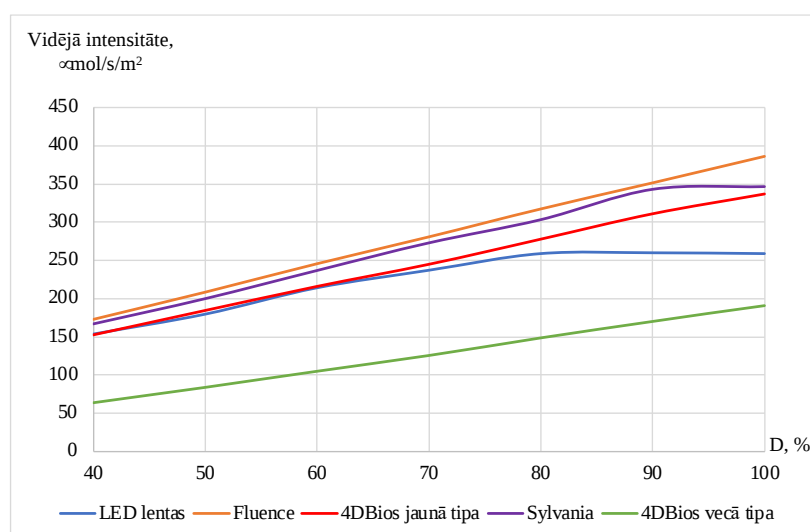
Pirmām kārtām, tiks apskatīti gaismekļu raksturojošie dati - apgaismojuma intensitāte, vienmērība un spektrālais sastāvs. Pēc savstarpējā gaismekļu salīdzinājuma tiks apskatīti arī iegūtie augu ražu dati un tiks analizēts kā tie korelē ar gaismekļa optiskajiem parametriem. Pētāmo gaismekļu apgaismojuma intensitātes un vienmērības vērtības pie dažādiem dimmēšanas līmeņiem ir apkopotas 3. pielikumā.

Apgaismojuma intensitāte ir viens no nozīmīgākajiem tā parametriem un tas raksturo izstaroto enerģijas daudzumu no gaismekļiem, ko saņems augi. 2.6.1. attēlā ir salīdzinātas vidējās plaukta apgaismojuma intensitātes zem visiem iepriekš apskatītajiem gaismekļiem atkarībā no

apgaismojuma regulēšanas līmeņa. Vislielāko vidējo apgaismojuma intensitāti spēj nodrošināt Fluence gaismeklis - 385,73 $\mu\text{mol/s/m}^2$. Sylvania ražotāja un 4DBios jaunā tipa lampu maksimālā intensitāte ir līdzīga - 346,95 un 337,34 $\mu\text{mol/s/m}^2$ attiecīgi. LED lentu lielākā iespējamā intensitāte ir 258,58 $\mu\text{mol/s/m}^2$. Savukārt visvājākā apgaismojuma intensitāte ir 4DBios vecā tipa gaismekļiem, maksimālā vērtība - 190,39 $\mu\text{mol/s/m}^2$, tomēr šāds rādītājs ir arī skaidrojams ar to, ka tās ir ar vismazāko jaudu - tikai 90 W uz vienu plauktu.

Tātad, ar Fluence, Sylvania un 4DBios jaunā tipa lampām būtu iespējams gūt lielākus ražas panākumus tādiem augiem, kam optimālā vidējā apgaismojuma intensitāte ir lielāka - piemēram, zemenēm (400-600 $\mu\text{mol/s/m}^2$) [9, 10].

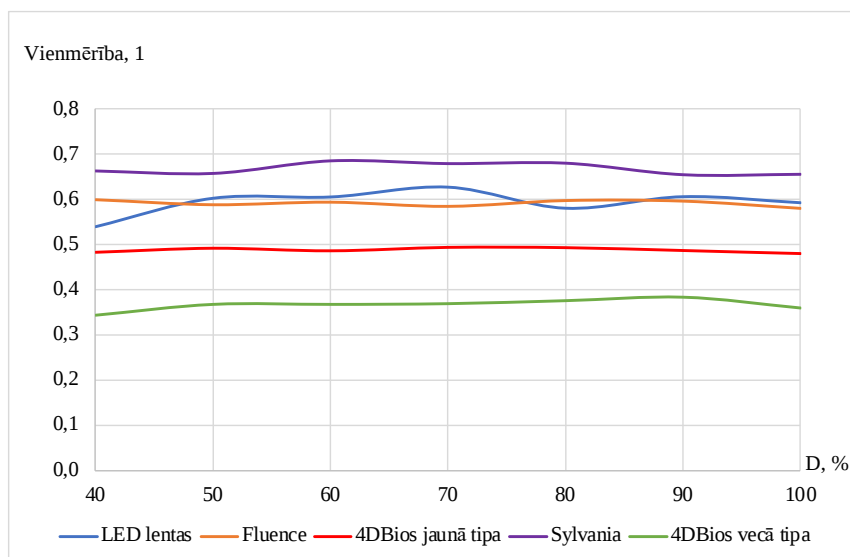
No 2.6.1. attēla ir redzams, ka Fluence, 4DBios jaunā un vecā tipa gaismekļu intensitātei ir lineāra sakarība visā regulēšanas diapazonā, bet Sylvania (pie D=90-100%) un LED lentām (pie D=80-100%) nav. Sylvania ražotāja gaismekļa nobīdes iemesls no lineārās sakarības nav skaidri zināms, bet tas varētu būt saistīts ar LED draiveru jaudas ierobežojumiem, tomēr LED lentu novirze no lineārās sakarības ir skaidrojama ar nevienmērīgu spriegumu kritumu starp visām 17 izmantotajām lentām.



2.6.1. att. Apgaismojuma vidējā intensitāte atkarībā no dimmēšanas līmeņa visiem pētāmajiem gaismekļiem

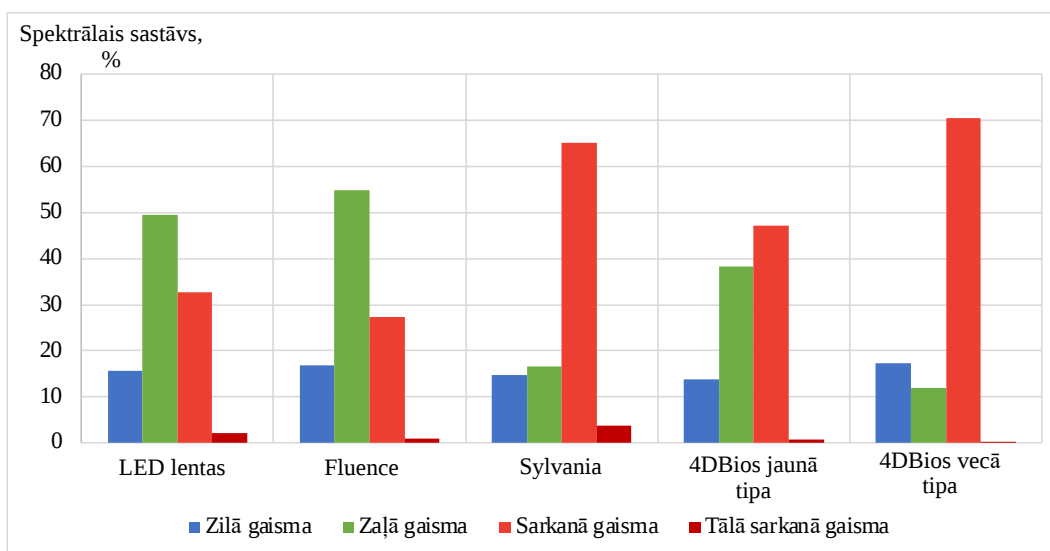
Audzēšanas plaukta apgaismojuma vienmērība ir otrs no svarīgākajiem apgaismojuma raksturojošajiem parametriem, tas norāda uz to, cik vienmērīgi izstarotā gaisma sadalās uz plaukta laukumu. Ideālā gadījumā apgaismojuma vienmērība tiektos uz 1, kad visos punktos gaismas intensitāte būtu vienāda, tomēr šādu rādītāju nevienam no gaismekļu ražotājiem vēl nav izdevies sasniegt - plaukta centrā vienmēr ir novērojams apgaismojuma intensitātes pīķis un tas ir saistīts ar gaismas staru kūļa pārklāšanos no blakus gaismekļiem, jeb diodēm.

Tomēr dažādiem ražotāju gaismekļiem šī parametra vērtības nav vienādas un atšķirība var sasniegt līdz pat 1,82 reizes (Sylvania > 4DBios vecā tipa). Vissliktākais apgaismojuma vienmērības rādītājs ir 4DBios ražotāja vecā tipa gaismekļiem - vidējā vērtība visa apgaismojuma līmeņa regulēšanas diapazonā (no 40% līdz 100%) ir 0,367 (2.6.2. att.). Otra sliktākā vidējā vienmērība ir tam pašam 4DBios ražotājam, bet jaunā tipa lampām - 0,488, kas ir par 32,97% augstāks rādītājs salīdzinājumā ar vecā tipa lampām. Trešā labākā vidējā vienmērība ir Fluence ražotajiem gaismekļiem - 0,592, augstāka par 21,31% salīdzinājumā ar 4DBios jaunā tipa un par 61,31% salīdzinājumā ar 4DBios vecā tipa gaismekļiem. Otrajā vietā atrodas LED lentas, kuru rādītājs ir ļoti līdzīgs Fluence ražotajam gaismeklim - 0,594, kas ir augstāks tikai par 0,34%. Visbeidzot, vislabāko vidējo vienmērību ir uzrādījis Sylvania ražotais gaismeklis - 0,668. Šis rādītājs ir attiecīgi augstāks par 12,84%, 36,89% un 82,02% salīdzinājumā ar Fluence, 4DBios jaunā tipa un 4DBios vecā tipa gaismekļiem.



4.6.2. att. Apgaismojuma vienmērība atkarībā no dimmēšanas līmeņa visiem pētāmajiem gaismekļiem

Trešais no svarīgākajiem optiskajiem gaismekļu parametriem ir to spektrālais sastāvs, jeb kādi gaismas viļņu garumi un kādās proporcijās veido rezultējošo apgaismojumu. Agrāk tika uzskatīts, ka augu optimālai attīstībai pietiek ar zilo un sarkano gaismu, tāpēc pārējo krāsu gaismas neiekļaušana spektrālajā sastāvā ļāva samazināt elektroenerģijas patēriņu. Tomēr pēdējie zinātniskie pētījumi [11-13] liecina, ka ražas datos ir novērojami uzlabojumi, ja apgaismojuma spektrālajā sastāvā tiek iekļauta tālā sarkanā un zaļā gaisma. Tāpēc pašreizējā vertikālajām lauksaimniecībām paredzēto gaismekļu tirgus attīstība ir vērsta uz zili-sarkanā spektra papildināšanu ar abu minēto krāsu gaismām. Vēl jo vairāk, tiek piedāvātas vairākas apgaismojuma spektrālā sastāva opcijas. Galvenokārt, piedāvāto apgaismojuma izvēli var iedalīt 2 sekcijās - rozā un baltās gaismas. Rozā gaismas spektra pamatā ir zilā un sarkanā gaisma ar relatīvā spektra pīķi sarkanās gaismas diapazonā. Turpmāk, šo spektru var pēc izvēles papildināt gan ar tālo sarkano, gan zaļo gaismu dažādās proporcijās. Baltās gaismas spektrā arī ir zilā un sarkanā gaisma, tomēr relatīvā spektra pīķis atrodas nevis sarkanās, bet zaļās gaismas diapazonā. Arī šo spektru var pēc izvēles papildināt ar tālo sarkano gaismu.



4.6.3. att. Pētāmo gaismekļu spektrālais sastāvs

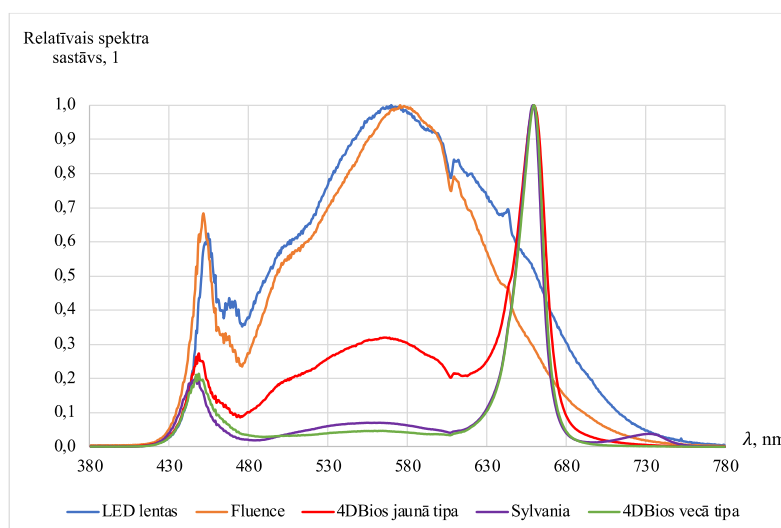
Pētāmajiem gaismekļiem ir plaša spektrālā sastāva dažādība (2.6.3. att.), kas ļauj veikt padziļinātu izpēti par gaismas spektra ietekmi uz ražu.

- Vecā tipa 4DBios lampām spektrālais sastāvs ir visvienkāršākais - zili (17,23%) sarkanās (70,44%), ar nelielu daudzumu zaļās gaismas (12,05%).
- Sylvania ražotajam gaismeklī spektrs ir gandrīz identisks vecā tipa 4DBios lampām, bet ar vienu izņēmumu - klāt ir tālā sarkanā gaisma. Spektrālais sastāvs: zilā gaisma - 14,69%, zaļā gaisma - 16,51%, sarkanā gaisma - 65,05%, tālā sarkanā gaisma - 3,75%.
- 4DBios jaunā tipa gaismekļu spektrs ir arī rozā gaismas, bet, salīdzinājumā ar šī paša ražotāja vecā tipa lampām, ir krietni vairāk zaļās gaismas. Spektrs sastāv no: 13,92% zilās gaismas, 38,27% zaļās gaismas, 47,12% sarkanās gaismas.

Atšķirībā no iepriekš apskatīto gaismekļu spektriem, Fluence ražotajam un LED lentām ir baltās gaismas spektrs, un abiem tas ir līdzīgs, vienīgi, LED lentām ir novērojams lielāks sarkanās un tālās sarkanās gaismas sastāvs.

- Fluence gaismekļu spektru sastāda: 16,83% zilās gaismas, 54,78% zaļās gaismas, 27,39% sarkanās gaismas, un tikai 1% tālās sarkanās gaismas.
- Savukārt, LED lentu spektrālais sastāvs ir: 15,59% zilās gaismas, 49,50% zaļās gaismas, 32,69% sarkanās gaismas, un 2,22% tālās sarkanās gaismas.

Gaismekļu spektrālā sastāva analīze tika veikta pēc diskrētās metodes, izmantojot laukumu zem grafiku līknēm (sīkāks analīzes metodes apraksts ir 4.5. nodaļā). Pieņemtie gaismas krāsu diapazoni: zilai gaismai - 400-500 nm, zaļai gaismai - 500-600 nm, sarkanai gaismai - 600-700 nm, tālai sarkanai gaismai - 700-780 nm.

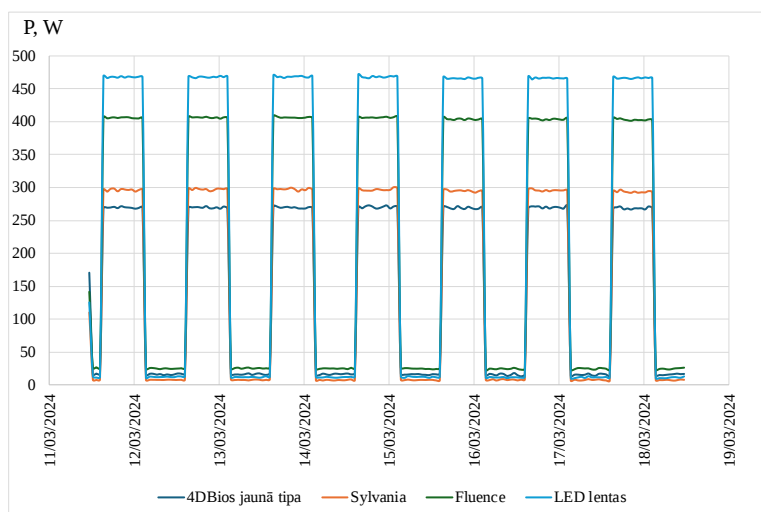


4.6.4. att. Relatīvā spektra sastāva raksturlīknes visiem pētāmajiem gaismekļiem

5 Elektroenerģijas patēriņa datu analīze

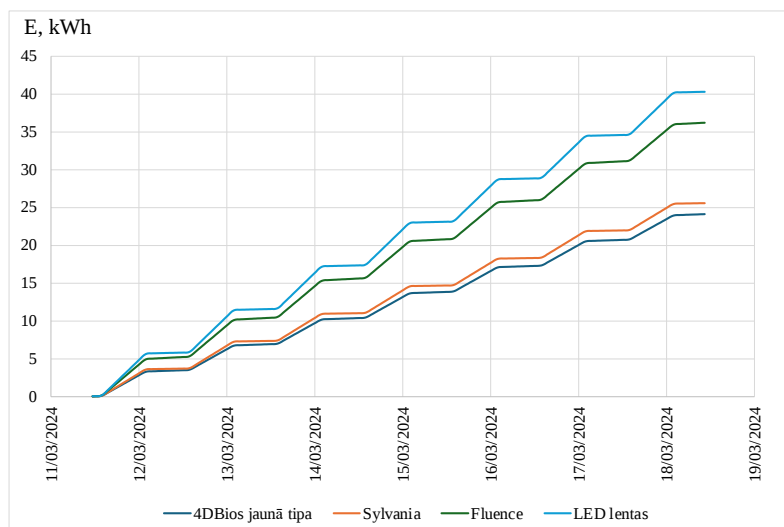
5.1 Pirmais posms

No uzstādītajiem Konteinerī jaudas mērītājiem ir apkopots četru gaismekļu 1 nedēļas slodzes grafiks 5.1. attēlā (no 11.03.2024 plkst. 13.21 līdz 18.03.2024 plkst. 13.21). Augu gaismošanas cikls apskatītajā periodā ir: 12 stundas diena (gaismekļi ieslēgti) un 12 stundas nakts (gaismekļi izslēgti). Dienas imitēšanas laikā 4DBios 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 4DBios 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.



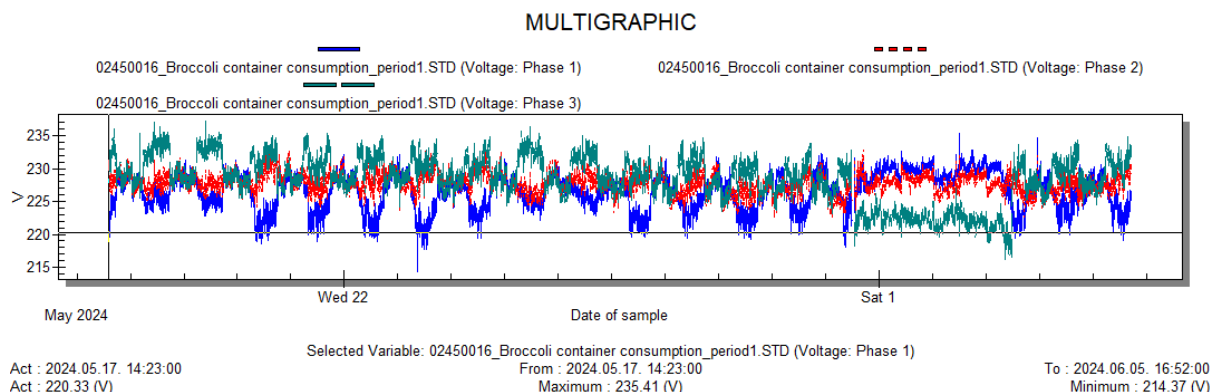
5.1. att. Dažādu ražotāju uzstādīto gaismekļu 1 nedēļas slodzes grafiks

Konteinerī uzstādīto gaismekļu 1 nedēļas elektroenerģijas patēriņa grafiks ir redzams 5.2. attēlā. 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 4DBios jaunā tipa gaismekļi par 40,12% mazāk - 24,12 kWh.



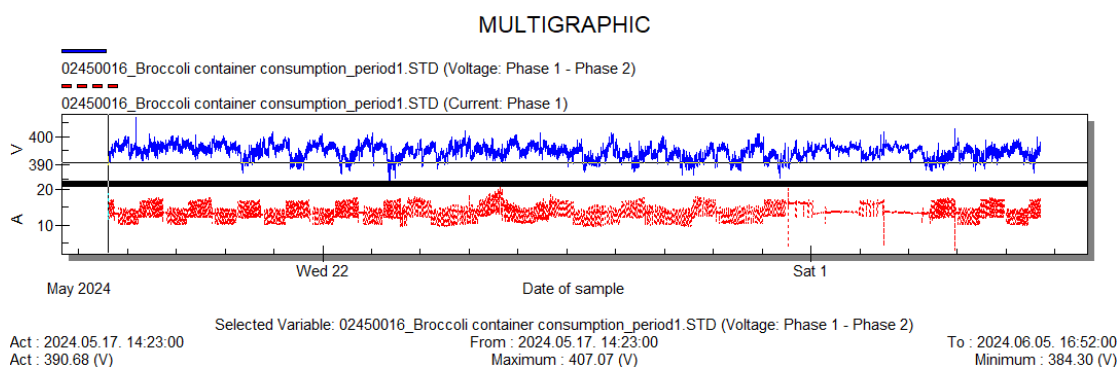
5.2. att. Dažādu ražotāju uzstādīto gaismekļu 1 nedēļas elektroenerģijas patēriņš

Konteinera kopējās jaudas un elektrisko parametru monitoringam tika uzstādīta Circutor CIR-E3 ierīce (datu loggeris ar atmiņas karti), kas ļauj noteikt kopējo patēriņu (gan apgaismojumam, gan konteinera sistēmām (HVAC, laistīšana, u.c.)

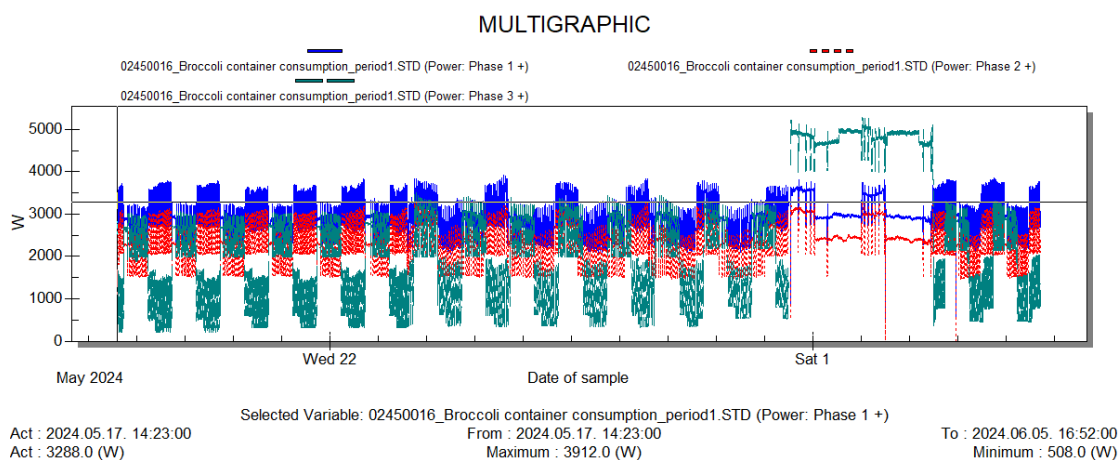


5.3. att. Sprieguma mērījumu dati.

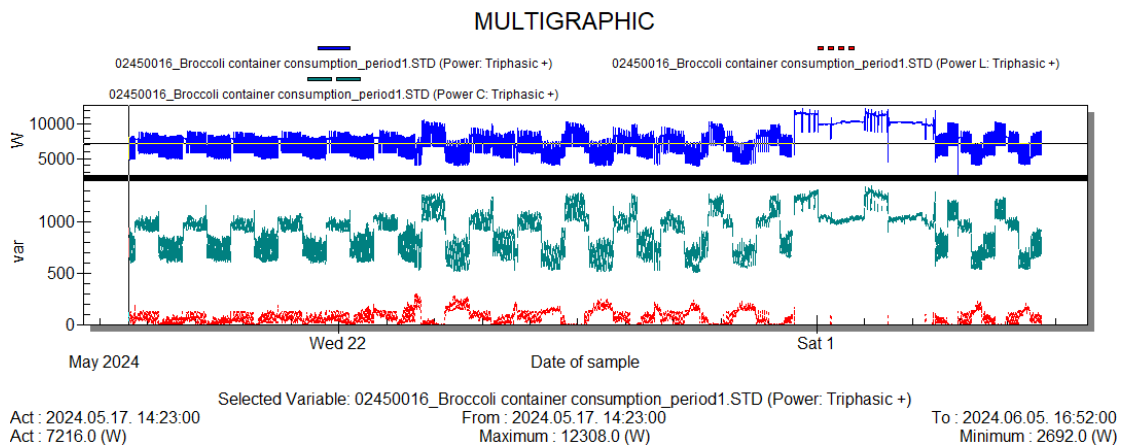
Kā redzams no attēla 5.3., spriegumam fāzēs ir atšķirība 15V diapazonā, kas ir no 220 – 235Vac. Pirmās fāzes sprieguma un strāvas sakarības ir redzamas attēlā 5.4. zemāk. Redzams, ka darbadienu režīms atšķiras no režīma brīvdienā. Tā kā iekārtas ir saslēgtas uz dažādām fāzēm, arī viss LED apgaismojums barojas no vienas fāzes. Šie dati kalpos kā salīdzinošie dati esošiem jaudas sensoriem.



5.4. att. Pirmās fāzes (L1) strāvas un sprieguma salīdzinošie dati.



5.5. att. Katras fāzes aktīvās jaudas mērījumu dati.

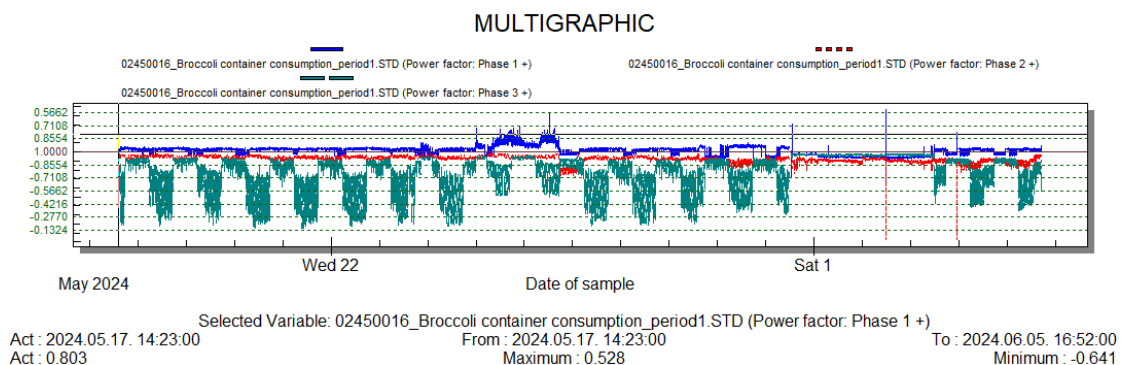


5.6. att. Kopējās (3fāzu) aktivās un reaktīvās jaudas mērījumu dati.

5.5.attēlā redzams, ka ir bijis jaudas pārtraukums 02.06.2024. datumā un arī 04.06.2024. 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.

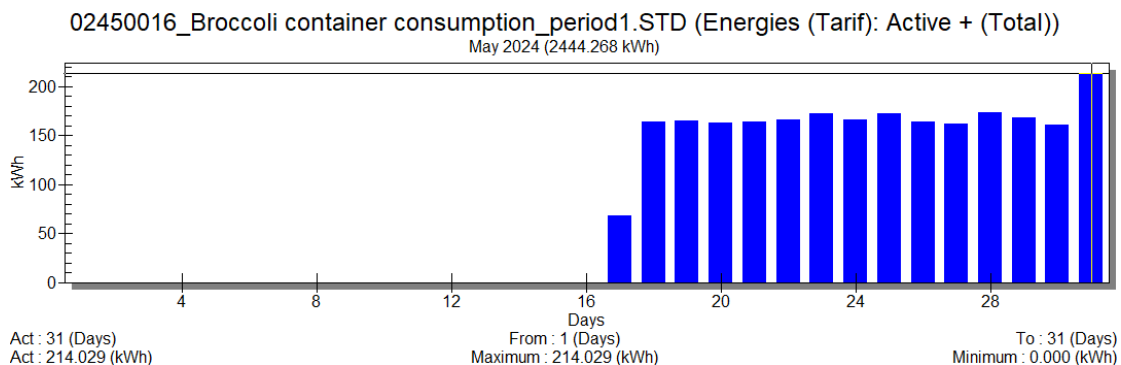
Šajā attēlā redzama kopējā konteineru patērētā jauda (visās 3 fāzēs), kā arī reaktīvās jaudas (kapacitatīvā un induktīvā rakstura). Maksimālā aktīvā momentānā jauda ir 12.3kW, vidējā jauda ir 7,2kW un minimālā jauda ir 2,69kW.

Jaudas koeficienta (cosf) vērtības katrā fāzē redzamas 3.7. attēlā, kur negatīvās vērtības ietekmē reaktīvās jaudas.

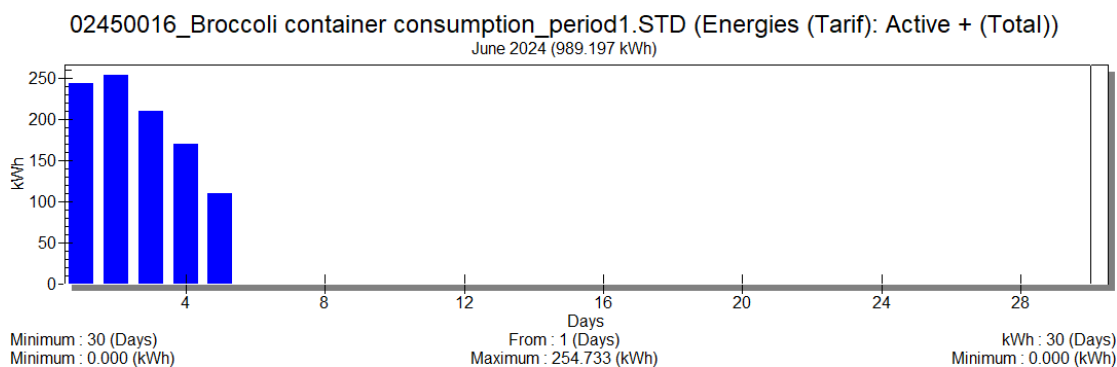


5.7. att. Katras fāzes jaudas koeficienta mērījumu dati.

Patēriņa datus redzams ka maijā patēriņš bija 160kWh, bet mainot darba režīmu (piem. LED apgaismojuma intensitāte), tas jūnijā pieauga (214 – 250kWh).



5.8. att. Elektroenerģijas patēriņš sākot no 17.05.2024.



5.9. att. Elektroenerģijas patēriņš līdz 05.06.2024.

5.2 Otrais posms

No uzstādītajiem konteinerī jaudas mērītājiem ir apkopoti četrus dažādu gaismekļu slodzes grafiki pie 3 dažādiem apgaismojuma līmeņa uzstādījumiem (dažādiem audzēšanas testiem) (5.1., 5.3., 5.5. att.). Augu gaismošanas cikls visos periodos ir: 12 stundas diena (gaismekļi ieslēgti) un 12 stundas nakts (gaismekļi izslēgti). Visos slodzes grafikos mainīgais "Power1-1" atbilst gaismeklim 4DBios jaunā tipa, "Power1-2" - Sylvania, "Power1-3" - Fluence, "Power2-1" - Ledvance LED lentas.

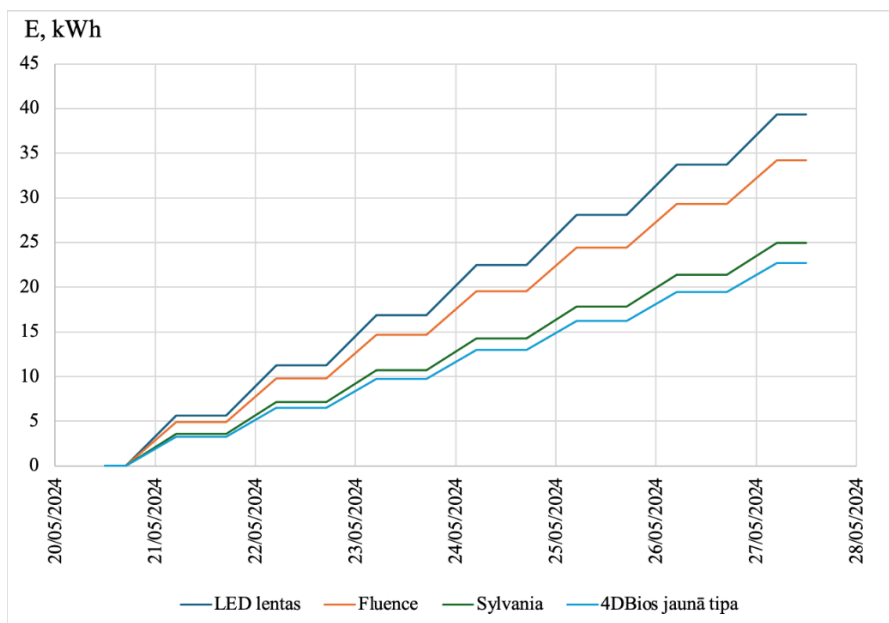
Attēlā 5.1. slodzes grafiks ir dots no 20.05.2024 plkst. 12.00 līdz 27.05.2024 plkst. 12.00. Gaismekļu apgaismojuma intensitātes plānotie uzstādījumi šajā testā: Fluence - 48%, Ledvance LED lentas - 63%, Sylvania - 52%, 4DBios jaunā tipa - 51% no to nominālajām jaudām.

Dienas imitēšanas laikā 4DBios 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 uzstādījums ir tāds, lai to rezultējošā apgaismojuma intensitāte uz audzēšanas plaukta būtu vienāda. No šī izriet, ka gaismeklis ar vislielāko efektivitāti ir 4DBios 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.



5.1. att. Dažādu ražotāju uzstādīto gaismekļu 1 nedēļas slodzes grafiks 1. testā

Konteinerī uzstādīto gaismekļu 1 nedēļas 1. testa elektroenerģijas patēriņa grafiks ir redzams 5.2. attēlā. 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 39,31 kWh elektroenerģijas, Fluence gaismekļi par 13,02% mazāk - 34,19 kWh, Sylvania par 36,53% mazāk - 24,95 kWh, bet 4DBios jaunā tipa gaismekļi par 42,30% mazāk - 22,68 kWh.



5.2. att. Dažādu ražotāju uzstādīto gaismekļu 1 nedēļas elektroenerģijas patēriņš 1. testā

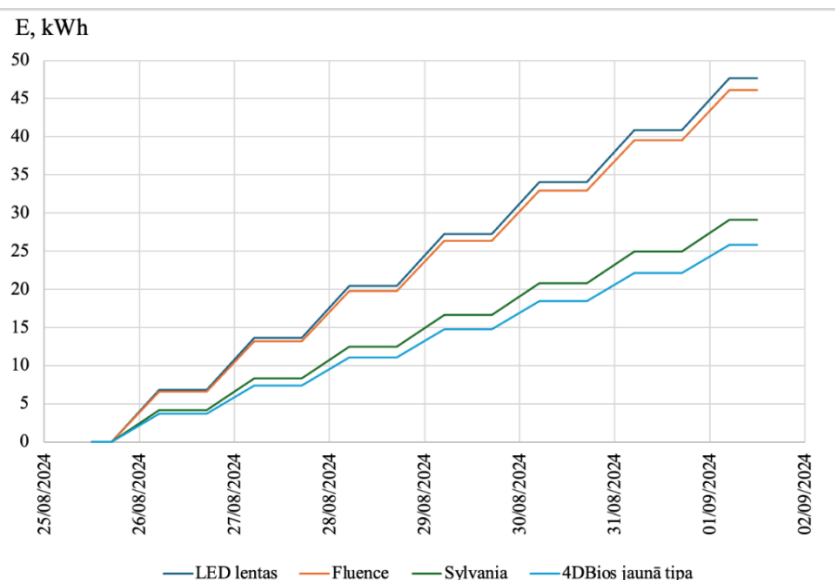
Attēlā 5.3. slodzes grafiks ir dots no 25.08.2024 plkst. 12.00 līdz 01.09.2024 plkst. 12.00. Gaismekļu apgaismojuma intensitātes uzstādījumi šajā testā ir augstāki: Fluence - 69%, Ledvance LED lentas - 78%, Sylvania - 65%, 4DBios jaunā tipa - 60% no to nominālajām jaudām.

Dienas imitēšanas laikā 4DBios jaunā tipa gaismekļi vidēji patērē 308 W jaudas, Sylvania ražotie gaismekļi par 12,66% vairāk - 347 W, Fluence par 78,25% vairāk - 549 W, bet LED lentas par 84,42% vairāk - 568 W.



5.3. att. Dažādu ražotāju uzstādīto gaismekļu 1 nedēļas slodzes grafiks 2. testā

Konteinerī uzstādīto gaismekļu 1 nedēļas 2. testa elektroenerģijas patēriņa grafiks ir redzams 5.4. attēlā. Tā kā šajā testā uzstādītais apgaismojuma līmenis visiem gaismekļiem ir bijis lielāks, tad to patērētā elektroenerģija arī pieauga. Vislielākais elektroenerģijas patēriņš ir LED lentām, nedēļas laikā tās patērēja 47,71 kWh elektroenerģijas, Fluence gaismekļi par 3,33% mazāk - 46,12 kWh, Sylvania par 38,90% mazāk - 29,15 kWh, bet 4DBios jaunā tipa gaismekļi par 45,78% mazāk - 25,87 kWh.



5.4. att. Dažādu ražotāju uzstādīto gaismekļu 1 nedēļas elektroenerģijas patēriņš 2. testā

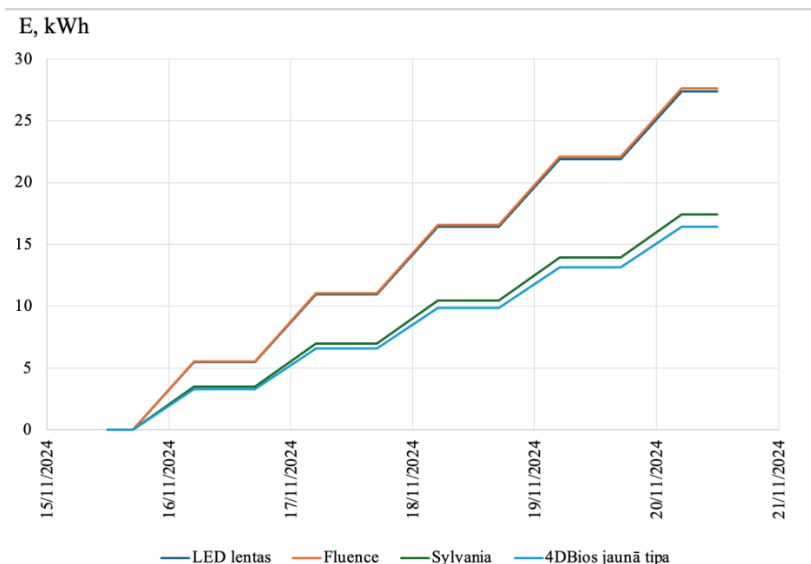
Attēlā 5.5. slodzes grafiks ir dots no 15.11.2024 plkst. 12.00 līdz 20.11.2024 plkst. 12.00. Gaismekļu apgaismojuma intensitātes uzstādījumi šajā testā ir zemāki, nekā 2. testā, bet lielāki, nekā 1. testā: Fluence - 53%, Ledvance LED lentas - 66%, Sylvania - 59%, 4DBios jaunā tipa - 53% no to nominālajām jaudām.

Dienas imitēšanas laikā 4DBios jaunā tipa gaismekļi vidēji patērē 274 W jaudas, Sylvania ražotie gaismekļi par 5,84% vairāk - 290 W, Fluence par 67,88% vairāk - 460 W, bet LED lentas par 66,42% vairāk - 456 W.



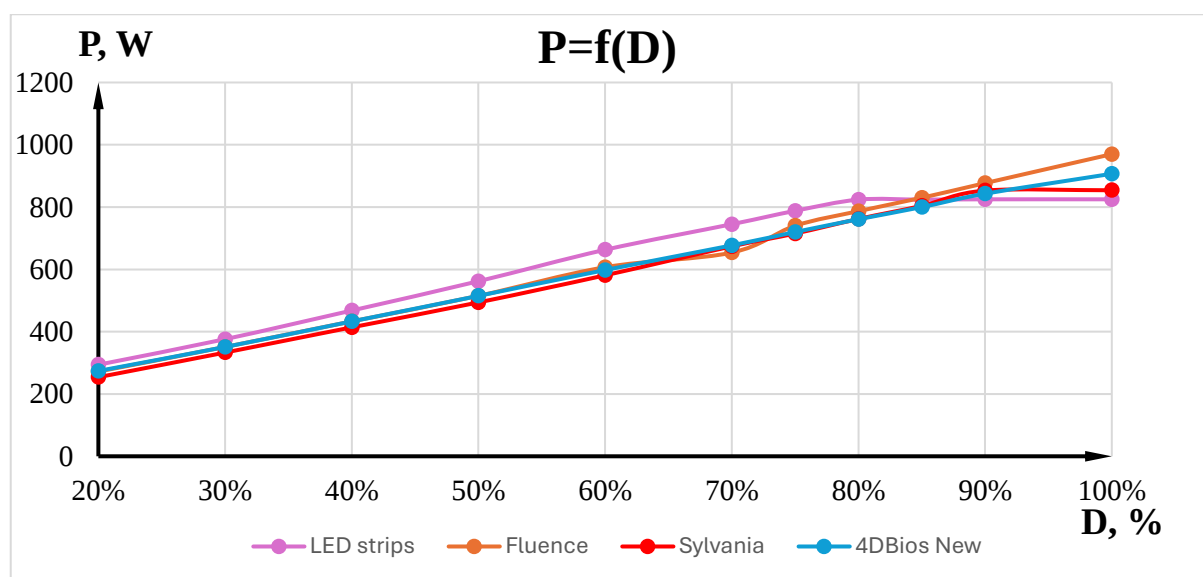
5.5. att. Dažādu ražotāju uzstādīto gaismekļu 5 diennakšu slodzes grafiks 3. testā

Konteinerī uzstādīto gaismekļu 5 diennakšu 3. testa elektroenerģijas patēriņa grafiks ir redzams 5.6. attēlā. Šajā periodā vislielākais elektroenerģijas patēriņš ir Fluence gaismekļiem, 5 diennakšu laikā tie patērēja 27,6 kWh elektroenerģijas, LED lentas par 0,87% mazāk - 27,36 kWh, Sylvania par 36,96% mazāk - 17,4 kWh, bet 4DBios jaunā tipa gaismekļi par 40,43% mazāk - 16,44 kWh.

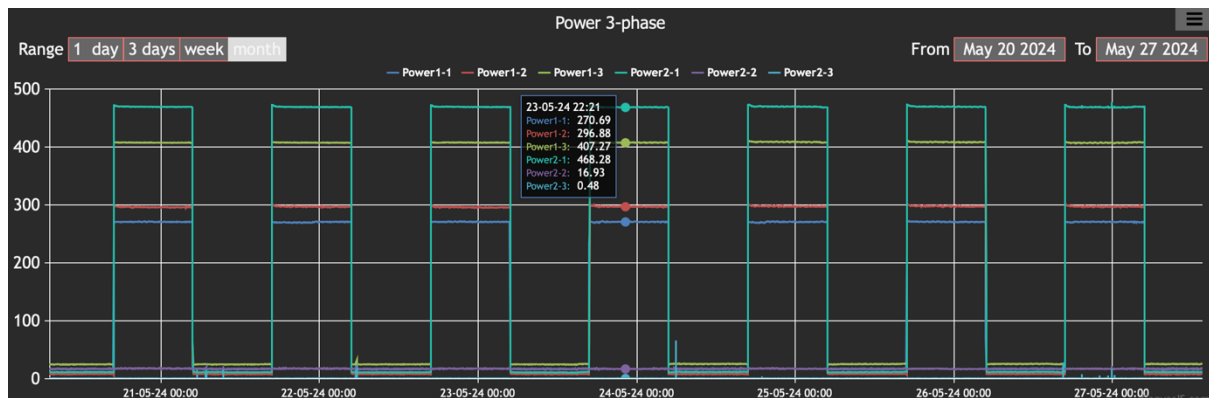


5.6. att. Dažādu ražotāju uzstādīto gaismekļu 5 diennakšu elektroenerģijas patēriņš 3. testā

Analizējot mērījumu datus, tika secināts, ka “LED Strip” un “Sylvania” barošanas bloku gadījumā, nav iespējams sasniegt 100% nominālo plūsmu, un radās šaubas par fiksētajiem apgaismojuma līmeņu režīmiem. Tādēļ tika veikti pārmērījumi jaudas un “dimlēšanas” režīma sakarības noteikšanai nevis gaismekļa, bet visas līnijas kopumā, kur elektriskās jaudas momentānās vērtības tika fiksētas ar IoT (jaudas sensora) datiem tiešsaistē. Zinot gaismekļu skaitu un jaudu sakarību pie samazināta apgaismojuma (jaudas) līmeņa, varam, izrēķināt patiesos CASAMBI vadības ierīces jaudas uzstādījumus konkrētajiem brīžiem, ko tas nosūta LED barošanas blokam.



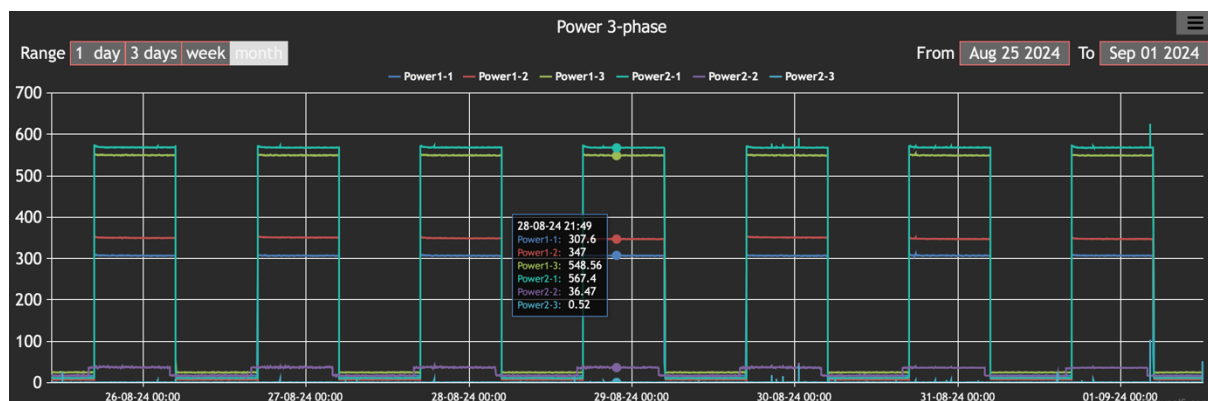
5.7. att. Dažādu apgaismes līniju un dimlēšanas jaudas režīma testi.



5.8. att. 1. tests - 20.05.2024-27.05.2024

Uzstādījumi Casambi:

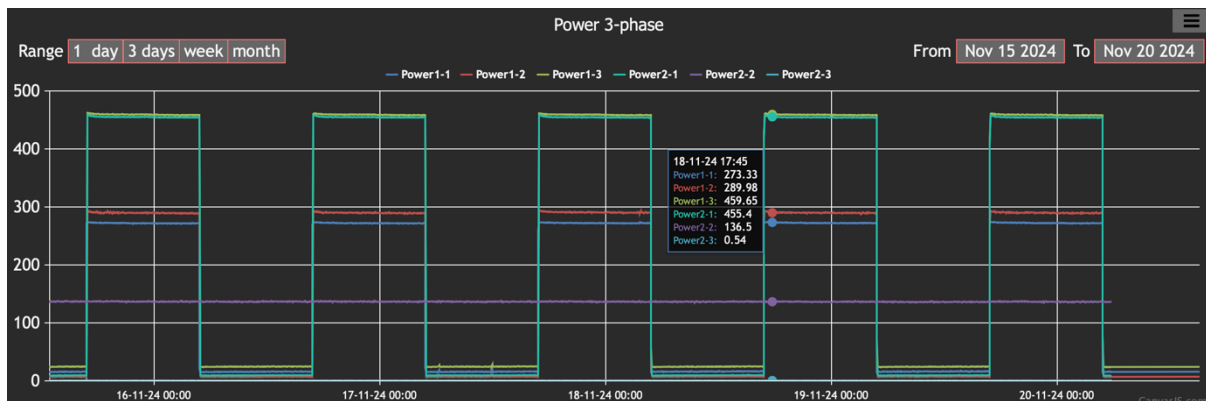
- LED strips: 468 W = 40%
- Fluence: 407 W = 37%
- Sylvania: 297 W = 26%
- 4DBios New: 270 W = 20%



5.9. att. 2. tests - 25.08.2024-01.09.2024

Uzstādījumi Casambi:

- LED strips: 568 W = 51%
- Fluence: 549 W = 54%
- Sylvania: 347 W = 32%
- 4DBios New: 308 W = 24%

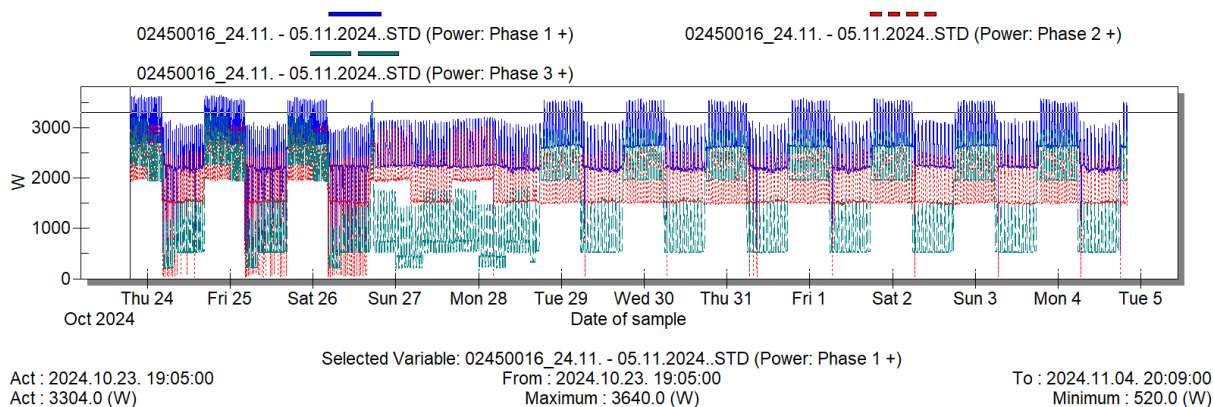


5.10. att.3. tests - 15.11.2024-20.11.2024

Uzstādījumi Casambi:

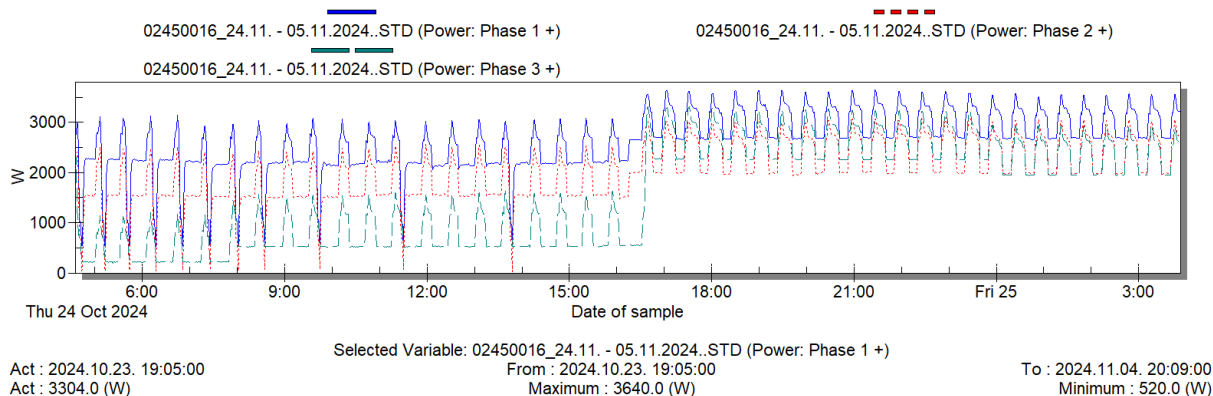
- LED strips: 456 W = 39%
- Fluence: 460 W = 43%
- Sylvania: 290 W = 25%
- 4DBios New: 274 W = 20%

MULTIGRAPHIC

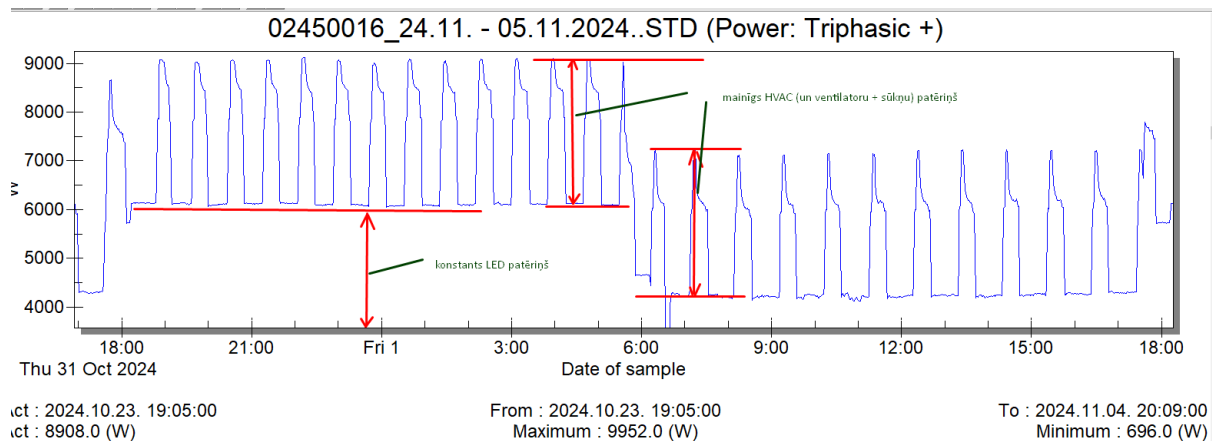


5.11. att. Visa konteinerā patēriņa jaudas mērījumu piemērs 24.10.-05.11.2024.

MULTIGRAPHIC



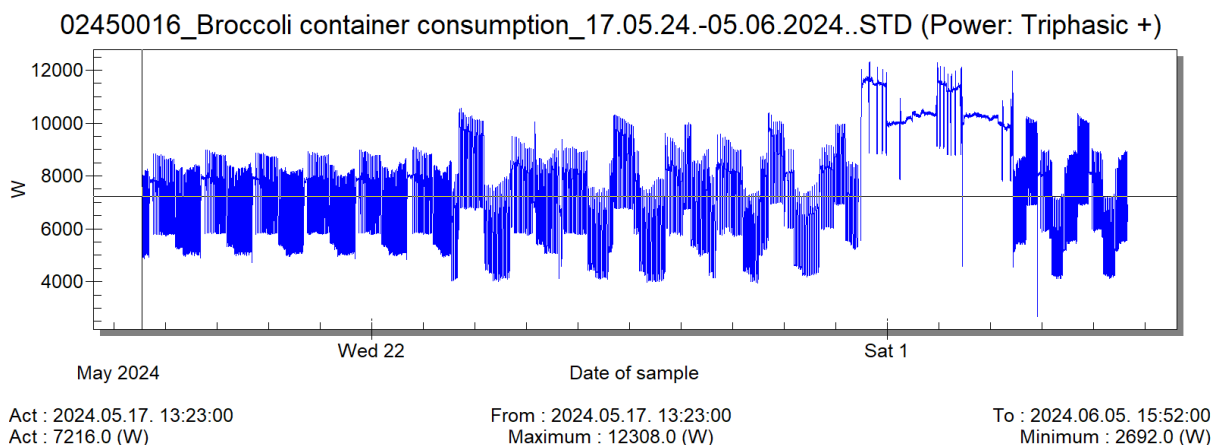
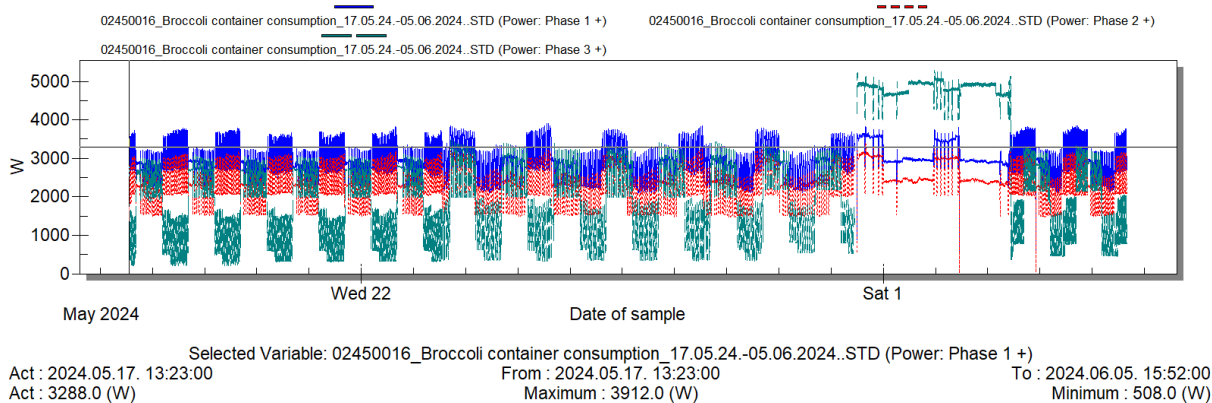
5.12. att. Visa konteinerā patēriņa jaudas mērījumu piemērs 24.10.-25.11.2024.



5.13. att. Vienas dienas konteineru patēriņa jaudas mērījumu piemērs

No mērījumu attēliem 5.11 – 5.13. redzams, ka LED apgaismojumam ir stabils patēriņš (šeit ietveras arī UoT sensori, vadība un iespējams cita sistēma ar patstāvīgu patēriņa raksturu), un mainīgais patēriņš veidojas no HVAC, gaisa apmaiņas ventilatoriem, minerālās barošanas sūkņiem. Kur vienā gadījumā $P_{max}=7240W$, $P_{min}=4248W$, kas veido 2992W patēriņu HVAC sistēmas daļai, piemēram 31.oktobrī $P_{max}=9044W$, $P_{min}=6128W$, kas veido 2916W HVAC (mainīgās daļas patēriņu). Te var secināt ka iekārta nestrādā uz pilnu jaudu (kas ir 7.8kW jeb 7800W), bet apmēram 38% noslodzes režīmā, kas nav pats efektīvākais veids ziemas periodā (vairāk piesildīšanas režīms).

MULTIGRAPHIC

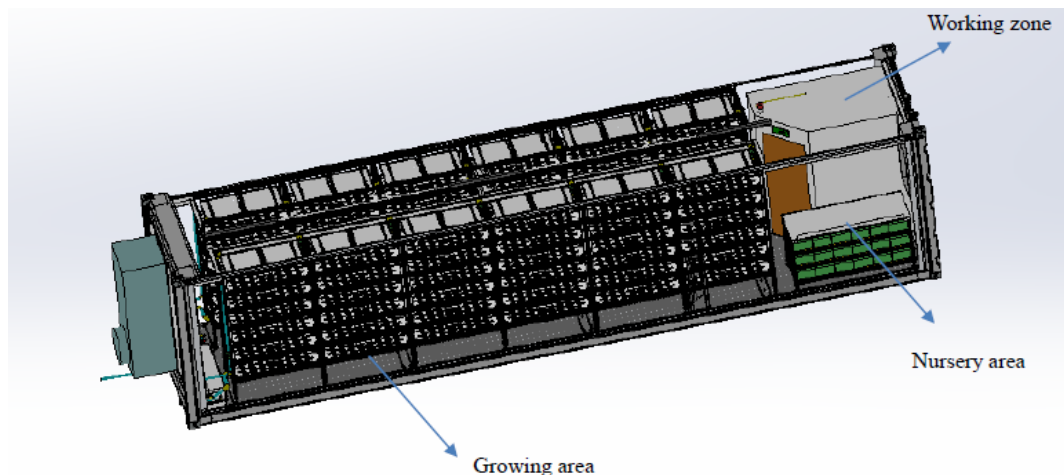


5.14. att. Konteineru patēriņa dati "vasaras" periodā, 17.05.2024.-05.06.2024. piemērs.

Analizējot vasaras periodu, kur raksturīgāks ir tieši dzesēšanas režīms, novērojams lielāks enerģijas patēriņš $P_{max}=10500W$ (max pīķis 12168W, kas bija "nenormāla" situācija) un $P_{min}=6848W$, attiecīgi mainīgā patēriņa daļa (HVAC) ir apmēram 3652W, kas ir lielāks kā ziemas režīmam.

6 Energoefektivitātes paaugstināšanas iespējas HVAC sistēmai (konteinerī)

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 ₂	800ppm~1500ppm

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 5kW, un otrs pieslēdzas tad, kad ir nepieciešama lielāka siltuma vai dzesēšanas jauda. Sanāk, ka viens darbojas tuvāk nominālajam/efektīvākajam režīmam (un ar zemāku patēriņu). Šeit uzlabojuma risinājums 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

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:

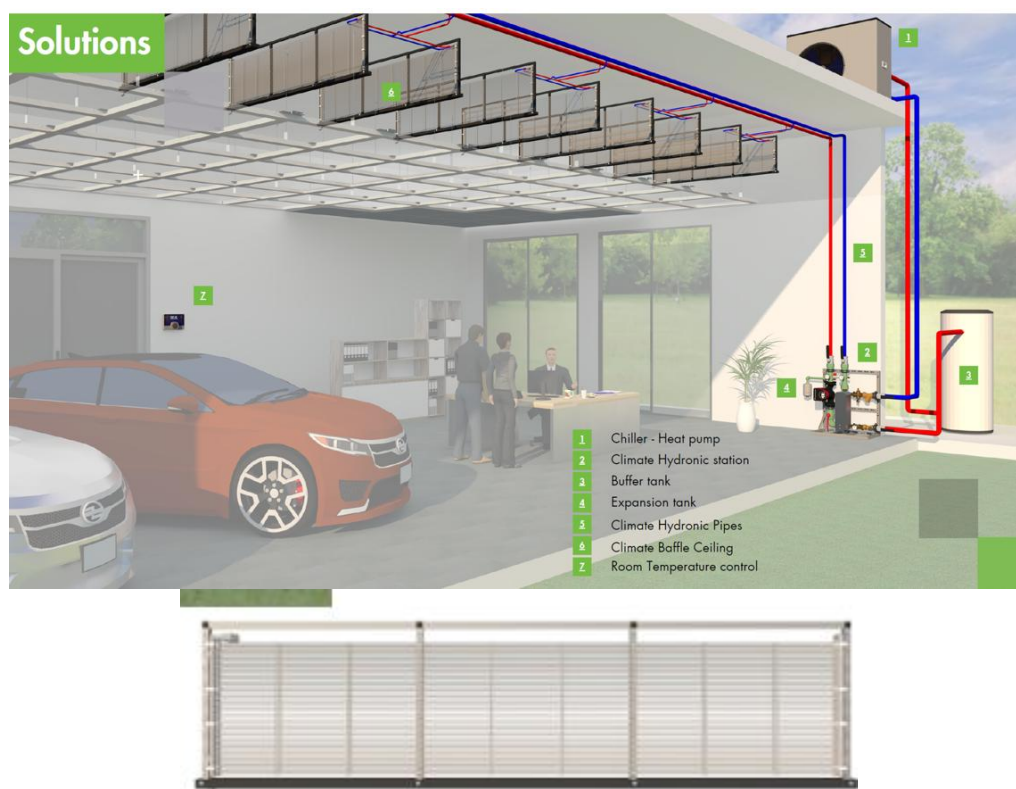
- Gaiss 0,026 W/m-K
- Ūdens 0,61 W/m-K

Attiecīgi, konteinerā varētu griestos iekārt kapilāru paneļus (cik atļauj vieta), 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 parāk 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 m². Vienā dokumentā ir norāde, ka:

Cooling Capacity	≥7.8KW (Condition: Inside 16°C-28°C, Outside -30°C-35°C)
Heat Capacity	7.8KW

Konteineru garums ir 12 m, ja iekarina paneļus aptuveni 10 m garumā, tad var iegūt apkures/dzesēšanas jaudu ar paneļiem tuvu tiem 7,8 kW (kopā ar 1 siltumsūkni, kas būs ārpus konteineru) - viss atkarīgs no ūdens temperatūras paneļos un to daudzuma. Tad faktiski var atstāt to sistēmu, kas ir, un palaist paralēlu sistēmu ar kapilāriem.



Attēls 6.1. Piemērs hidrokapilārajiem paneļiem (SIA HydrokapilarTech).

Pielikumi

Pielikums Nr.1. LED lampu intensitātes un spektra mērījumi

Konteinerī katra plaukta līmenī ir uzstādītas dažādu ražotāju LED lampas, lai veiktu pētījumu par to, pie kādām tiek sasniegti labākie augu kultivēšanas rezultāti. Lai varētu veikt gaismekļu savstarpējo salīdzinājumu no optisko parametru viedokļa, tika samērīts gan to gaismas intensitātes ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) sadalījums plaukta līmenī, gan izstarotais gaismas spektrs.

		296	333	352	352	353	351	349	338	311		
235		363	412	430	439	443	435	441	435	397		332
175		371	444	466	473	480	479	477	460	394		327
						X						
232		347	408	430	444	452	457	459	456	424		355
197		309	356	380	383	384	395	405	396	376		327
		248	279	293	280	279	290	308	304	284		

1. att. "Fluence" ražotāja gaismas intensitātes sadalījums plaukta līmenī pie 100% apgaismošanas līmeņa

		158	180	194	206	207	209	214	199	201		
147		219	254	272	283	283	285	281	279	277		275
182		246	287	303	309	315	314	312	309	307		292
						X						
157		238	269	287	295	297	301	298	300	292		286
125		194	224	238	243	251	252	252	250	249		254
		135	165	175	179	187	193	188	190	187		

2. att. "OSRAM" ražotāja LED lentu gaismas intensitātes sadalījums plaukta līmenī pie 100% apgaismošanas līmeņa

		254	297	320	340	340	331	308	304	297		
302		324	369	400	414	416	397	371	369	359		376
308		333	371	396	399	394	382	355	354	359		357
						X						
305		320	363	387	394	390	375	349	351	360		345
292		307	354	375	383	383	373	347	351	358		369
		250	286	300	308	314	303	282	282	273		

3. att. "Sylvania" ražotāja gaismas intensitātes sadalījums plaukta līmenī pie 100% apgaismošanas līmeņa

		188	219	294	331	334	335	316	279	239		
128		217	297	356	399	408	408	387	351	297		261
128		247	324	393	443	452	455	433	394	336		286
						X						
144		258	326	394	441	450	456	431	387	316		260
132		226	292	347	389	398	397	371	332	270		231
		159	218	257	292	297	297	285	259	219		

3.4. att. "4DBios" ražotāja jaunā gaismekļa gaismas intensitātes sadalījums plaukta līmenī pie 100% apgaismošanas līmeņa

		69	92	109	115	118	118	108	93	77		
55		96	131	153	160	161	160	148	136	107		66
52		117	152	175	190	193	190	179	161	89		74
						X						
60		116	155	179	194	197	193	179	160	121		74
54		96	132	151	163	163	162	151	135	105		63
		73	88	101	114	117	115	111	99	75		

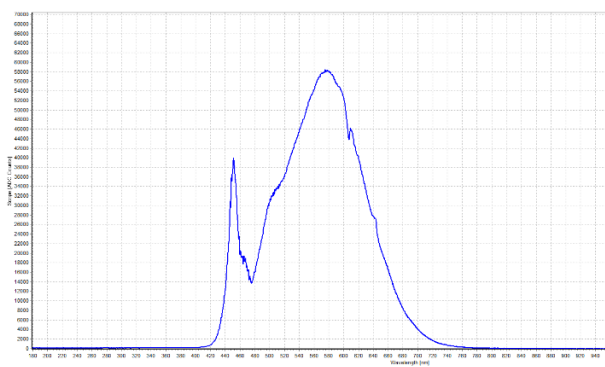
5. att. "4DBios" ražotāja vecā gaismekļa gaismas intensitātes sadalījums plaukta līmenī pie 75% apgaismošanas līmeņa

1. Tab. Savstarpējais gaismas intensitāšu salīdzinājums plaukta centrā

$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ centrā (X)					
Apgaismošanas līmenis	Fluence	OSRAM LED lentas	Sylvania	4DBios vecās	4DBios jaunās
100%	466	306	392	274	451
90%	418	305	390	247	419
80%	376	305	343	216	376
70%	333	277	308	185	332
60%	292	243	267	150	293
50%	248	207	227	124	249
40%	207	181	188	95	204

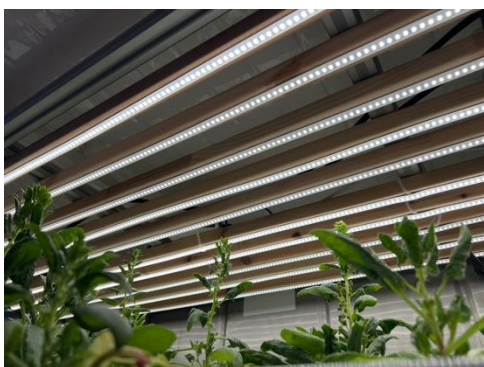


(a)

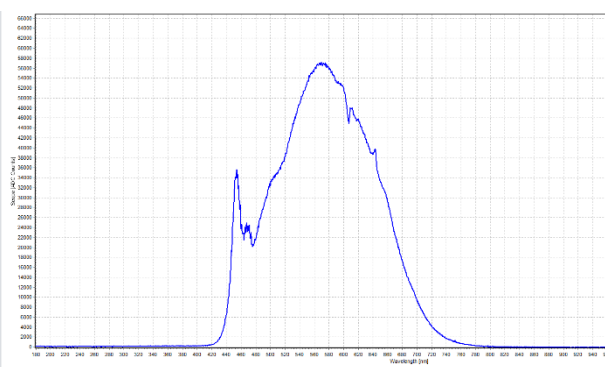


(b)

6. att. "Fluence" ražotāja: (a) - plaukta gaismekļi; (b) - izstarotais gaismas spektrs

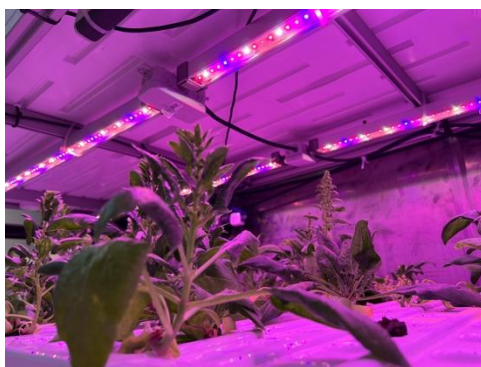


(a)

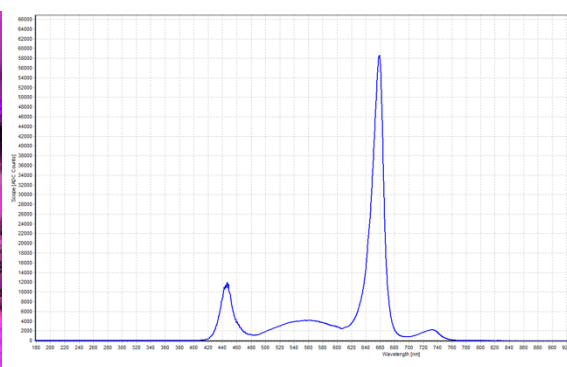


(b)

7. att. "OSRAM" ražotāja: (a) - LED lentas; (b) - izstarotais gaismas spektrs



(a)

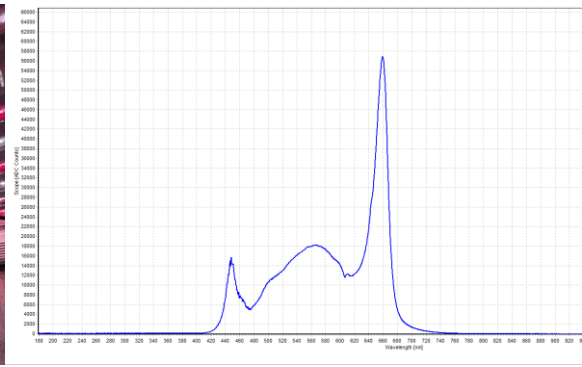


(b)

8. att. "Sylvania" ražotāja: (a) - plaukta gaismekļi; (b) - izstarotais gaismas spektrs



(a)

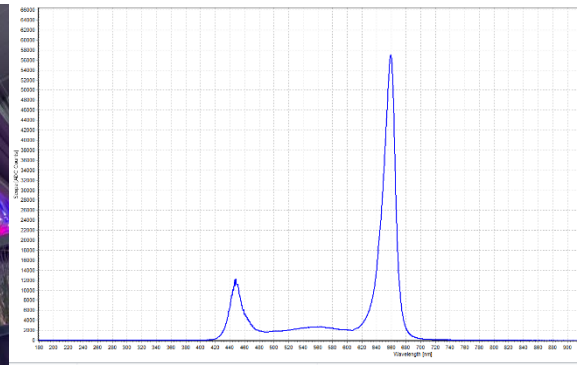


(b)

9. att. "4DBios" ražotāja: (a) - jaunie plaukta gaismekļi; (b) - izstarotais gaismas spektrs



(a)



(b)

10. att. "4DBios" ražotāja: (a) - vecie plaukta gaismekļi; (b) - izstarotais gaismas spektrs

Pielikums Nr.2. Līdzstrāvas elektroapgādes arhitektūras izstrāde

Tā kā plauktu skaits uz vienu statni var sasniegt 5, tad turpmākais elektriskais aprēķins tiks veikts 5 plauktu gadījumam, jo tam būs nepieciešama lielāka barošanas avota jauda.

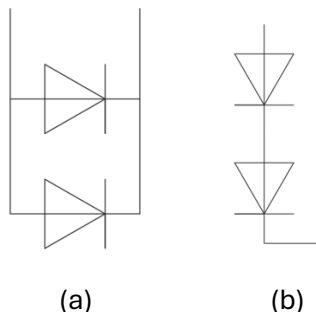
2.1. tabula

Izvēlēto LED diožu elektriskie un siltumnīcas tehniskie parametri

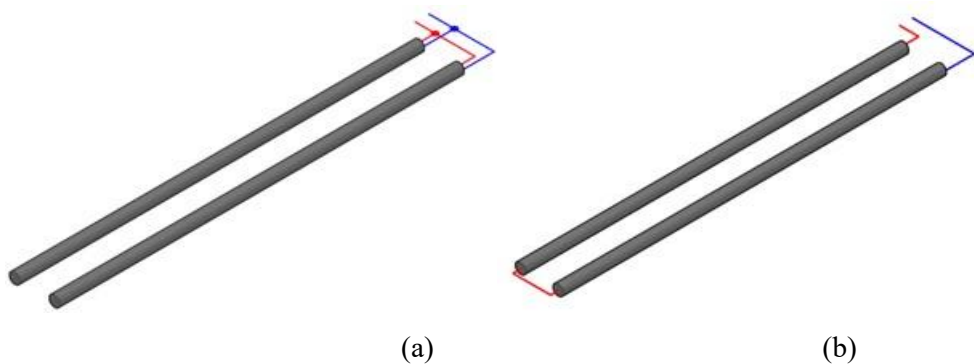
LED parametri					Siltumnīcas parametri	
Krāsa	Zilā	Zaļā	Sarkanā	Tālā sarkanā	Plauktu skaits uz statni, [1]	Statņu skaits, [1]
Nosaukums	OSRAM OSOLON® SSL 150, GD CSHPM1.14	OSRAM DURIS® S 5, GW PSLM32.UL	OSRAM OSOLON® Square, GH CSBRM4.24	OSRAM OSOLON® Optimal, GF CSSRML.24	5	12
U, [V]	2.85	2.95	2.0	1.95		
I, [A]	0.35	0.1	0.7	0.35		
Skaits uz 1 gaismekli, [1]	2	5	6	2		
Gaismekļu skaits, [1]	8					

Visus konteiner tipa siltumnīcas apgaismojuma sistēmas elektriskos savienojuma punktus var iedalīt 4 līmeņos - LED, gaismekļa, plaukta un statnes (secībā no zemākā uz augstāko līmeni). Katru no šiem līmeņiem var slēgt paralēli vai virknē (2.1. - 2.4. att.). Modulārā slēgumā, jeb vienādā katra līmeņa slēgumā visas siltumnīcas ietvaros(/ja katrs līmenis visas siltumnīcas ietvaros tiek slēgts pēc viena principa), mēs iegūstam 16 iespējamās apgaismojuma sistēmas slēguma variantus:

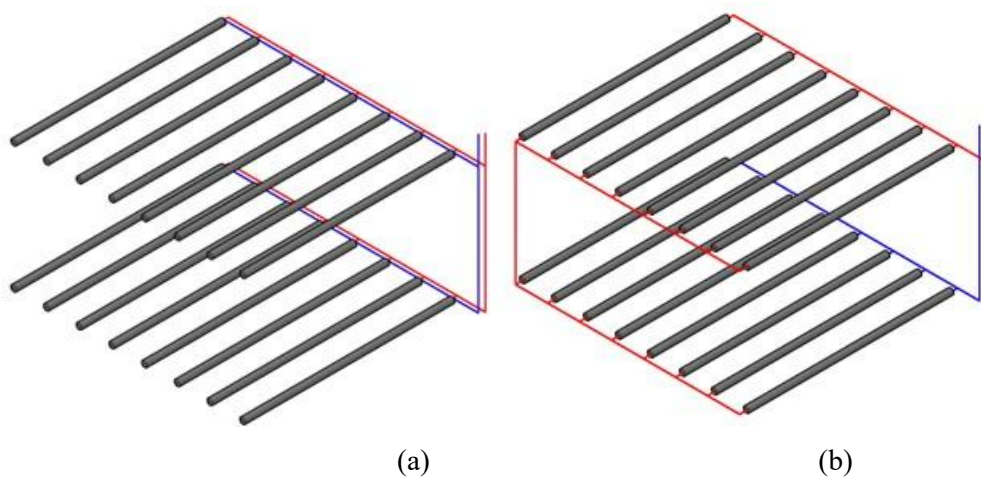
$$2^4 = 16 \quad (2.1)$$



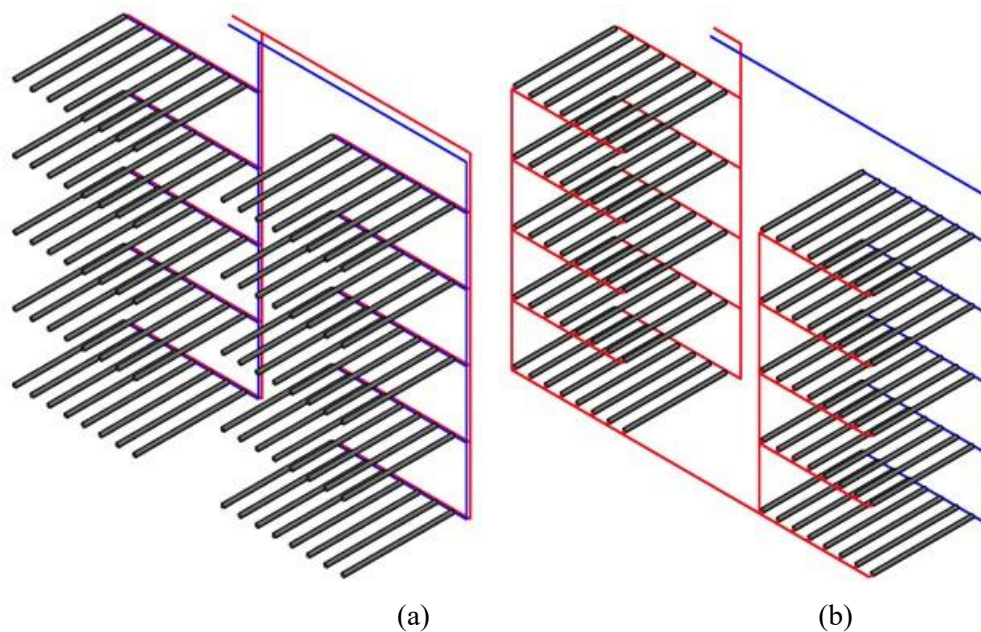
2.1. att. LED slēguma varianti; (a) - paralēli; (b) - virknē



2.2. att. Gaismekļu slēguma varianti; (a) - paralēli; (b) - virknē



2.3. att. Plauktu slēguma varianti; (a) - paralēli; (b) - virknē



2.4. att. Statņu slēguma varianti; (a) - paralēli; (b) - virknē

Lai noskaidrotu visoptimālāko slēguma variantu, visiem tiek veikti sprieguma un strāvas aprēķini sekojošos punktos - gaismekļa, plaukta, statnes, un barošanas avota (4. pielikums). Tā kā visām diodēm ir atšķirīgi elektriskie parametri (2.1. tab.), tad turpmākie aprēķini tiek veikti katrai diodu krāsai atsevišķi. Papildus

spriegumu un strāvu aprēķiniem tiek arī veikts sistēmas drošuma aprēķins - kas notiks ar apgaismojumu, ja izdeg kaut viena diode (5. - 11. pielikums). Šie aprēķini sniegs palīdzību apgaismojuma sistēmas slēguma shēmas izvēlē.

Zemāk ir uzskaitīti visi turpmākos strāvu un spriegumu aprēķinos izmantotie apzīmējumi. Katras krāsas spriegumu un strāvu aprēķins ir veikts attiecīgi to diožu spriegumu, strāvu un skaitam gaismeklī.

U_D	- diodes spriegums;	I_P	- plaukta strāva;
U_G	- gaismekļa spriegums;	I_S	- statnes strāva;
U_P	- plaukta spriegums;	I_{BA}	- barošanas avota strāva;
U_S	- statnes spriegums;	n_D	- diožu skaits gaismeklī;
U_{BA}	- barošanas avota spriegums;	n_G	- gaismekļu skaits plauktā;
I_D	- diodes strāva;	n_P	- plauktu skaits statnē;
I_G	- gaismekļa strāva;	n_S	- statņu skaits.

Zemāk ir parādīts aprēķina piemērs, pēc kura tika veikti visu slēguma variantu spriegumu un strāvu aprēķini katras krāsas 4 līmeņos.

I. Gaismekļa līmenis:

Ja diodes gaismeklī ir slēgtas paralēli, tad:

$$U_G = U_D \quad (2.2)$$

$$I_G = I_D \times n_D \quad (2.3)$$

Ja diodes gaismeklī ir slēgtas virknē, tad:

$$U_G = U_D \times n_D \quad (2.4)$$

$$I_G = I_D \quad (2.5)$$

II. Plaukta līmenis:

Ja gaismekļi plauktā ir slēgti paralēli, tad:

$$U_P = U_G \quad (2.6)$$

$$I_P = I_G \times n_G \quad (2.7)$$

Ja gaismekļi plauktā ir slēgti virknē, tad:

$$U_P = U_G \times n_G \quad (2.8)$$

$$I_P = I_G \quad (2.9)$$

III. Statnes līmenis:

Ja plaukti statnē ir slēgti paralēli, tad:

$$U_S = U_P \quad (2.10)$$

$$I_S = I_P \times n_P \quad (2.11)$$

Ja plaukti statnē ir slēgti virknē, tad:

$$U_S = U_P \times n_P \quad (2.12)$$

$$I_S = I_P \quad (2.13)$$

IV. Barošanas avota līmenis:

Ja statnes ir slēgtas paralēli, tad:

$$U_{BA} = U_S \quad (2.14)$$

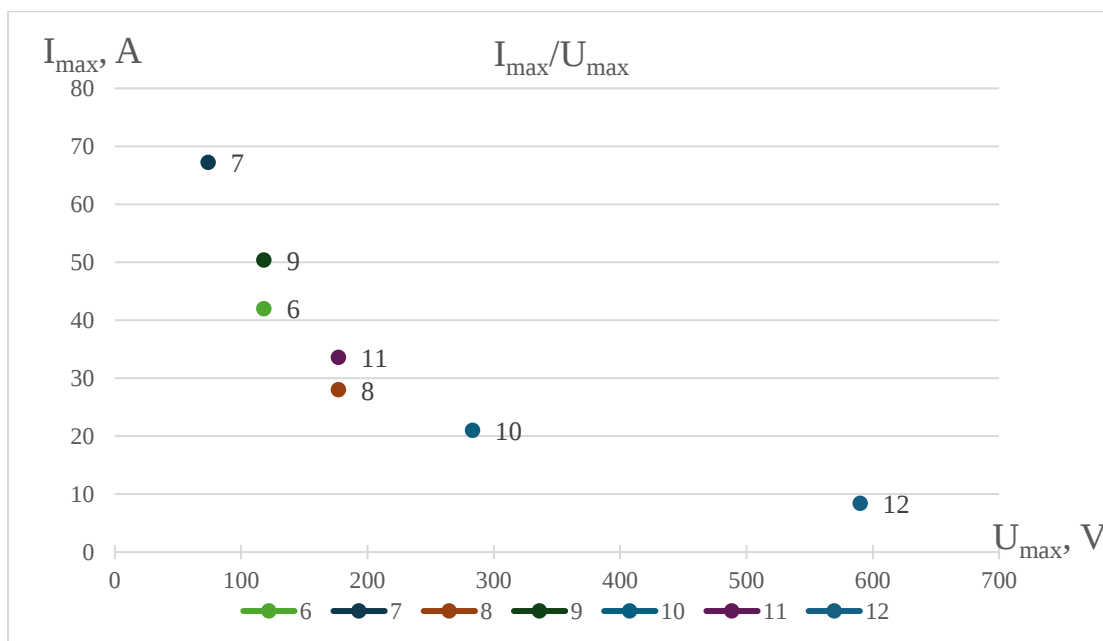
$$I_{BA} = I_S \times n_S \quad (2.15)$$

Ja statnes ir slēgtas virknē, tad:

$$U_{BA} = U_S \times n_S \quad (2.16)$$

$$I_{BA} = I_S \quad (2.17)$$

Veicot savstarpējo 16 elektrisko slēgumu strāvu un spriegumu salīdzinājumu barošanas avota līmenī (4. pielikums), turpmākai izpētei (drošuma aprēķiniem) tiek izvēlēti varianti, kuriem salīdzinājumā bija mazākās strāvas (<100 A) un spriegumi (<600 V). Strāvas ierobežojumi ir saistīti ar vadu silšanu ($Q=I^2R$) un sprieguma kritumu tajos ($U=IR$). Kaut arī turpmākai izvēlei ir ieviesti ierobežojumi, to diapazons joprojām ir samērā liels. Tas ir tāpēc, lai atlikušo variantu skaits būtu pietiekams visdrošākā slēguma noteikšanai, jeb kurā slēgumā, 1 diodes izdegšanas gadījumā, netiks apdraudēta pārējā apgaismojuma sistēmas daļa bez jebkāda papildus aprīkojuma. Ieviestie elektrisko parametru ierobežojumi izslēdz 1.-5., 13.-16. savienojumu variantus. Pārējiem variantiem tiek veikti drošuma aprēķini (5. - 11. pielikums).



2.5. att. 7 savienojuma variantu maksimālo strāvu un spriegumu savstarpējais salīdzinājums

Elektroapgādes aprēķinu un projekta piemēra izstrāde

Vienkāršāku aprēķinu nolūkam visi drošuma aprēķini tiek veikti zilās krāsas kanālam, bet to rezultāti ir attiecināmi arī uz visiem pārējiem kanāliem. Tāpat vienkāršākiem aprēķiniem netiek ņemtas vērā diožu pretestību izmaiņas atkarībā no pieliktā sprieguma. Rezultējošo situāciju novērtēšanai pietiek ar vienkāršākiem aprēķiniem.

No 5. - 11. pielikuma drošuma aprēķiniem izriet, ka starp 7 izvēlētajiem savienojuma variantiem droši ir tikai divi - 6. un 12. Šo slēgumu gadījumā, izdegot 1 diodei, netiks apdraudēta pārējā apgaismojuma sistēmas daļa. Taču šis drošums ir nosacīts, jo, izdegot 1 diodei, 6. slēguma variantā starp diodes kontaktiem uz spiestās plates spriegums var sasniegt 118 V (izdegot zaļai diodei), bet 12. slēguma variantā tas var sasniegt 590 V. Ņemot vērā mazo attālumu starp diodes izvadiem (0.55 mm zaļai diodei [6]), augstais spriegums var izsaukt caursiti un lokizlādi, kā rezultātā pastāv gaismekļa aizdegšanās risks, un pie 590 V tas ir daudzkārt lielāks. Tāpēc 12. slēguma variants tiek izslēgts, kā rezultātā paliek tikai 6. slēguma variants. Taču, lai būtu iespēja to droši īstenot, ir jāpanāk plates aizsardzība pret caursiti. Pie 118 V sprieguma minimālajam attālumam starp neizolētiem vara celiņiem ir jābūt 0.6 mm [7]. Bet tā kā esošais attālums ir 0.55 mm un to palielināt nav iespējams, tad, plates drošības nodrošināšanai, ir nepieciešams izmantot papildus polimēra pārklājumus pār vara celiņiem, tādējādi palielinot pretestību starp kontaktiem ($>R_{\text{gaisa}}$), kas rezultātā šādam spriegumam samazina minimāli nepieciešamo attālumu līdz 0.4 mm [7]. Šāds risinājums mums sniedz iespēju drošai šīs slēguma shēmas īstenošanai.

No iepriekšējiem apsvērumiem tālākai sistēmas izstrādei tiek izvēlēts 6. slēguma variants, jo tas ir visdrošākais no visiem pārējiem.

DC/DC pārveidotāja (LED draivera) nepieciešamības analītiska aplēse un barošanas sistēmas galvenā AC/DC pārveidotāja izvēle

Kaut arī zilās un tālās sarkanās krāsas diožu strāvas ir vienādas (2.1. tab.), to apvienošana virknes slēgumā nav iespējama, jo audzētāji/agronomi vēlas, lai tālā sarkanā gaisma būtu atsevišķi vadāma. Un, ņemot vērā to, ka pārējo krāsu diožu slēgumiem rezultējošie elektriskie parametri - spriegums un strāva - ir atšķirīgi, tad barošanas avotam ir jābūt ar 4 atsevišķi vadāmām izejām. Kā arī nepieciešamo gaismas spektru nav iespējams iegūt vienīgi ar diožu krāsu skaitu kombinācijām (1.3.1. tab.), tāpēc barošanas avotam ir jābūt ar regulējamām strāvas izejām, lai to krāsu intensitāti, kuras pārsniedz vēlamā spektra procentuālo sastāvu, varētu samazināt. Turklāt audzētāju/agronomu apgaismojuma uzstādījums arī paredz dimmēšanas funkciju, lai varētu imitēt saullēktu un saulrietu ar šādiem apgaismojuma intensitātes soļiem - 0%, 35%, 70%, 100%. To, savukārt, var panākt vienīgi ar strāvas regulēšanu.

Nepieciešamā barošanas avota elektriskie parametri:

1. Zilās krāsas gaismai:

$$U_{Zi} = 45.6 \text{ V} \quad (4.1)$$

$$I_{Zi} = 21 \text{ A} \quad (4.2)$$

$$P_{Zi} = I_{Zi} \times U_{Zi} = 21 \times 45.6 = 957.6 \text{ W} \quad (4.3)$$

2. Zaļās krāsas gaismai:

$$U_{Za} = 118 \text{ V} \quad (4.4)$$

$$I_{Za} = 6 \text{ A} \quad (4.5)$$

$$P_{Za} = I_{Za} \times U_{Za} = 6 \times 118 = 708 \text{ W} \quad (4.6)$$

3. Sarkanās krāsas gaismai:

$$U_S = 96 \text{ V} \quad (4.7)$$

$$I_S = 42 \text{ A} \quad (4.8)$$

$$P_S = I_S \times U_S = 42 \times 96 = 4032 \text{ W} \quad (4.9)$$

4. Tālās sarkanās krāsas gaismai:

$$U_{TS} = 31.2 \text{ V} \quad (4.10)$$

$$I_{TS} = 21 \text{ A} \quad (4.11)$$

$$P_{TS} = I_{TS} \times U_{TS} = 21 \times 31.2 = 655.2 \text{ W} \quad (4.12)$$

5. Kopējā barošanas avota jauda:

$$\begin{aligned} P_{BA} &= P_{Zi} + P_{Za} + P_S + P_{TS} = \\ &= 957.6 + 708 + 4032 + 655.2 = 6352.8 \text{ W} \end{aligned} \quad (4.13)$$

Veicot tirgū pieejamo barošanas avotu izpēti, tika atrasti 6 ražotāji, kuru klāstā ir pieejami industriālie barošanas avoti ar vairākām neatkarīgām izejām, jeb moduļiem:

4.1. tabula

Tirgū pieejamo DC/DC un AC/DC barošanas avotu apkopojums

Barošanas avota nosaukums	Kopējā jauda, [kW]	Moduļu jauda, [kW]	Moduļu izejas spriegums, [V]	Regulējams spriegums (+/-)	Regulējama strāva (+/-)
Mean Well RCP-1U Rack System [8]	1-18	1-3	12 24 48	-	-
TDK Lambda TPF Series [9]	4.5-45	4.5	385	-	-
Delta Configurable Power [10]	0.7-3	0.24-1.2	2-60	-	-
XP Power Configurable Power [11]	0.25-3	0.066-0.75	3.3-60	-	-
Astrodyne TDI Mercury Flex [12]	3.8-15.2	3.8	3-28 5-56 10-125 10-180 10-250 15-450	+	+
ARTESYN iHP Series [13]	3-24	3	0.6-14.4 1.2-28.8 2.4-57.6 4-96 6.25-150 10-240 12.5-300	+	+
ARTESYN iVS Series [14]	0.21-4.92	0.21-1.5	2-60	+	+

No barošanas avotu apskata [8-14] izriet, ka mūsu vajadzībām piemēroti ir tikai 2 varianti - Astrodyne [12] vai ARTESYN [13] ražotāja barošanas avoti. Pārējie avoti ir nepiemēroti to mazo jaudu vai zemo spriegumu, vai izejas elektrisko parametru regulēšanas ierobežojumu dēļ. Tā kā [12] un [13] barošanas avota moduļu jaudas ir 3.8 kW un 3 kW attiecīgi, bet sarkanās krāsas gaismas nodrošināšanai nepieciešamā jauda ir 4.03 kW, tad jebkurā gadījumā ir jāizmanto 2 moduļi. Papildus tam nepieciešams pa vienam moduļim citu krāsu barošanai. Tādējādi kopējais nepieciešamais moduļu skaits ir 5, bet [12] avotam to maksimālais skaits ir 4, tāpēc mums der vienīgi ARTESYN iHP Series barošanas avots.



4.1. att. ARTESYN iHP Series barošanas avots [13]

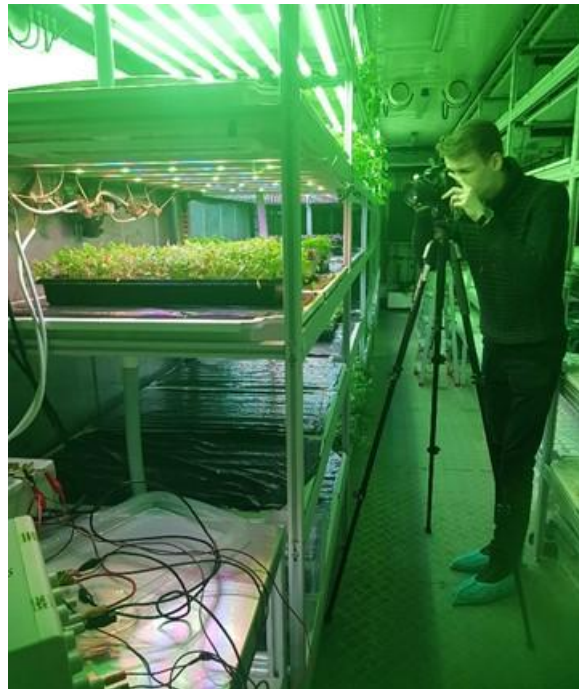
Testēšana reālistiskā vidē

Izveidotajam LED gaismeklim tika veikti arī testi Bulduru Dārzkopības vidusskolas teritorijā esošajā vertikālās audzēšanas konteineru apstākļos. Šo testu mērķis nav noteikt spektra ietekmi uz augu kultūru audzēšanu, bet gan pārbaudīt gaismekļa darbību konteineru tipa audzēšanas zonā un tā klimatiskajos apstākļos, kā arī iegūt apgaismojuma parametru sadalījumu.

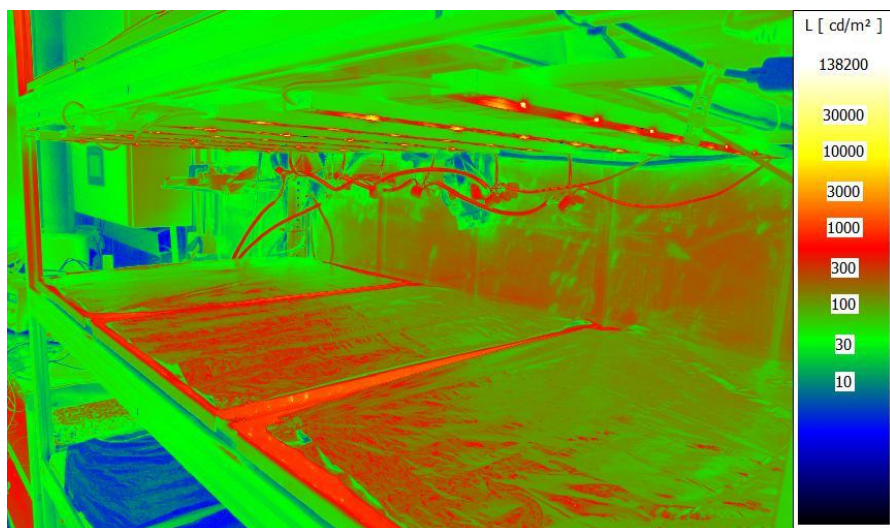
Izveidotais LED gaismeklis tika apvienots viena “plaukta” apgaismes sistēmā un ievietots šī konteineru plauktu sistēmā, kurā tiek audzēti mikrozaļumi.



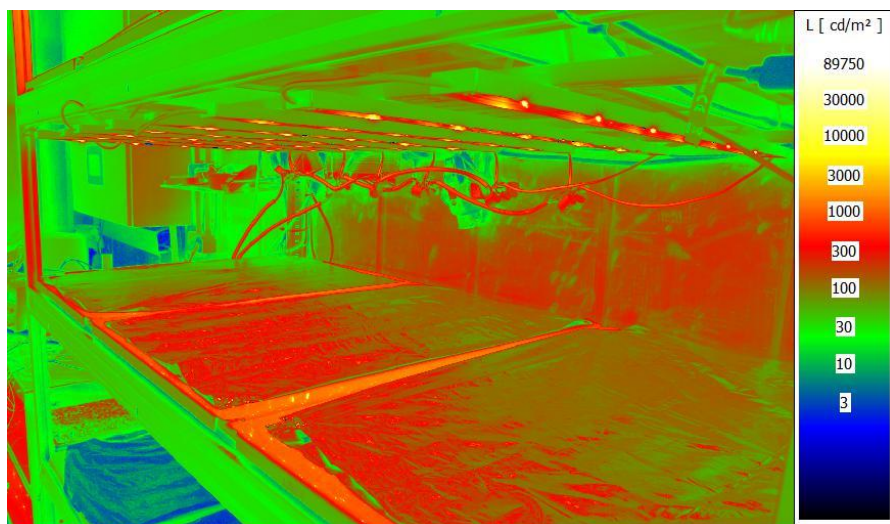
7.1. att. DC-LED gaismekļu sistēmas testi reālistiskā (vertikālās audzēšanas konteineru) vidē.



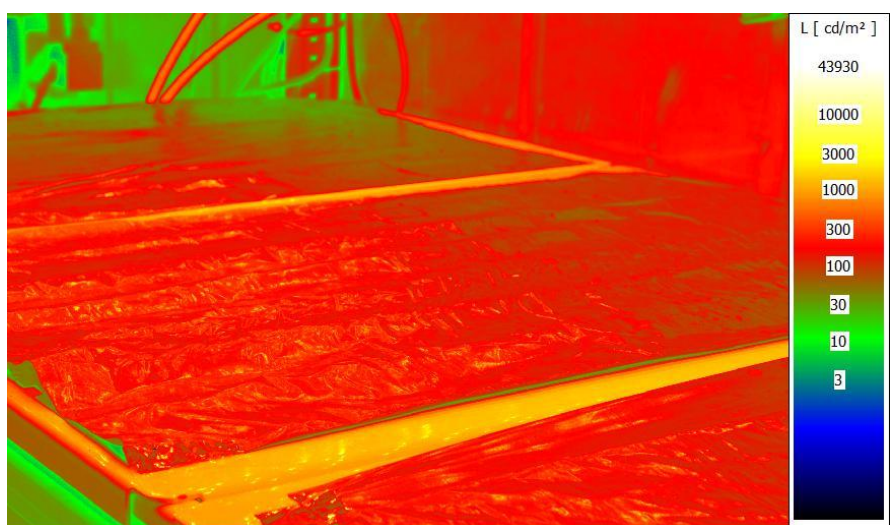
7.2. att. DC-LED gaismekļu mērījumu veikšana.



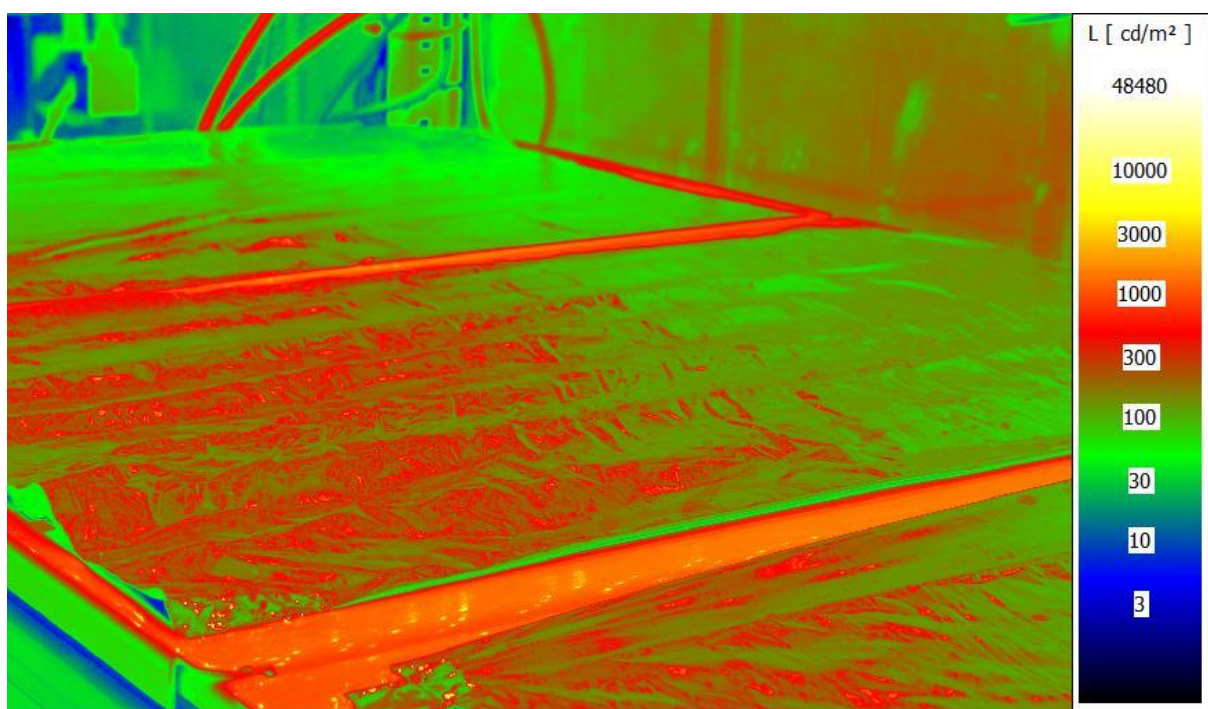
7.3. att. DC-LED plaukta apgaismojums bez augiem, skats N1.



7.4. att. DC-LED plaukta apgaismojums bez augiem, skats N12



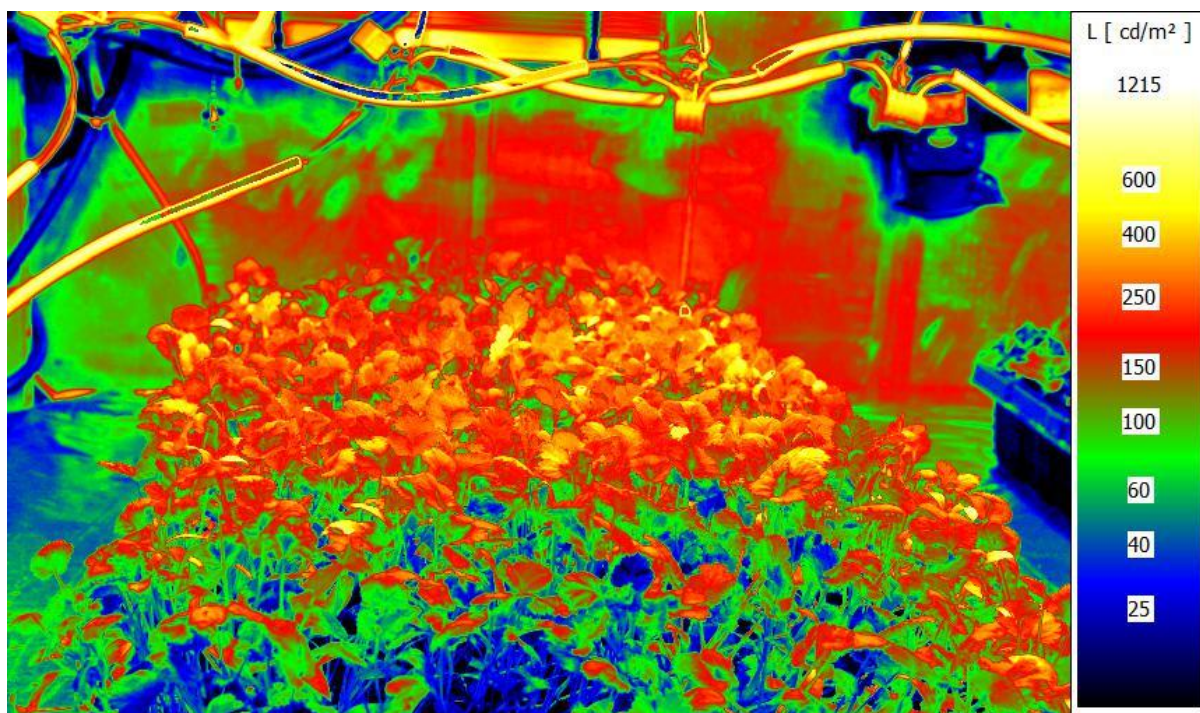
7.5. att. DC-LED plaukta apgaismojums bez augiem, skats N3.



7.6. att. DC-LED plaukta apgaismojums bez augiem, skats N4.



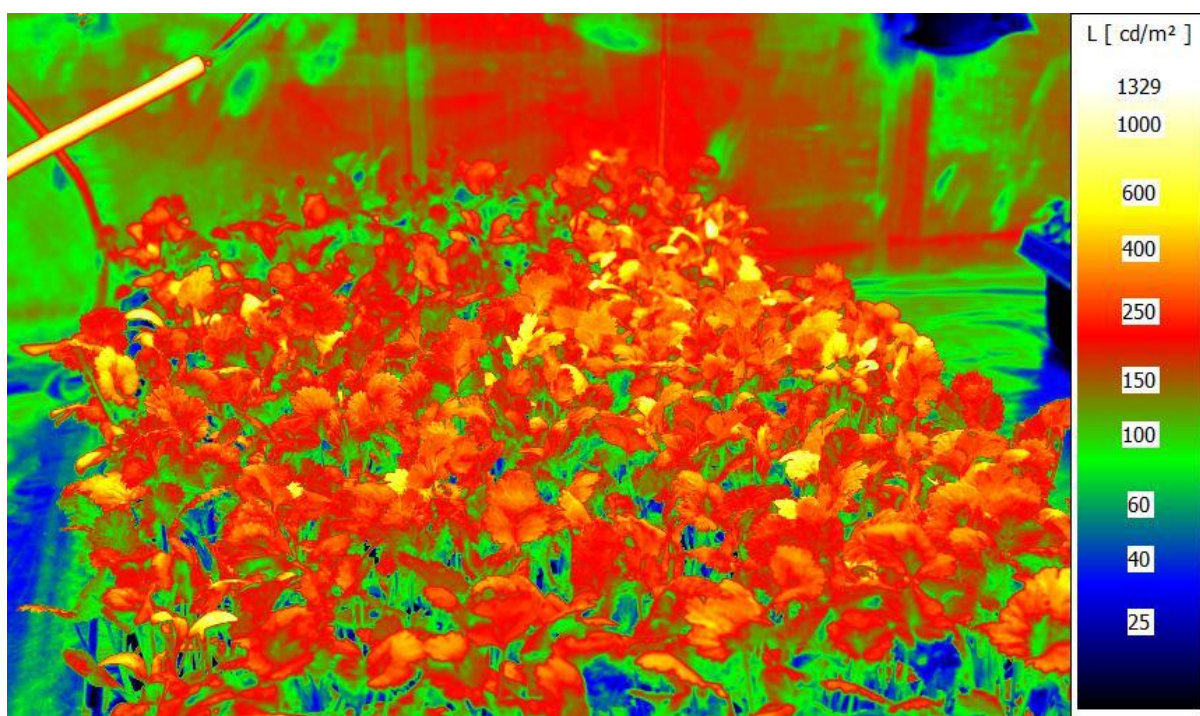
7.7. att. DC-LED plaukta apgaismojums ar augiem, skats N5.



7.8. att. DC-LED plaukta apgaismojums ar augiem, skats N6.



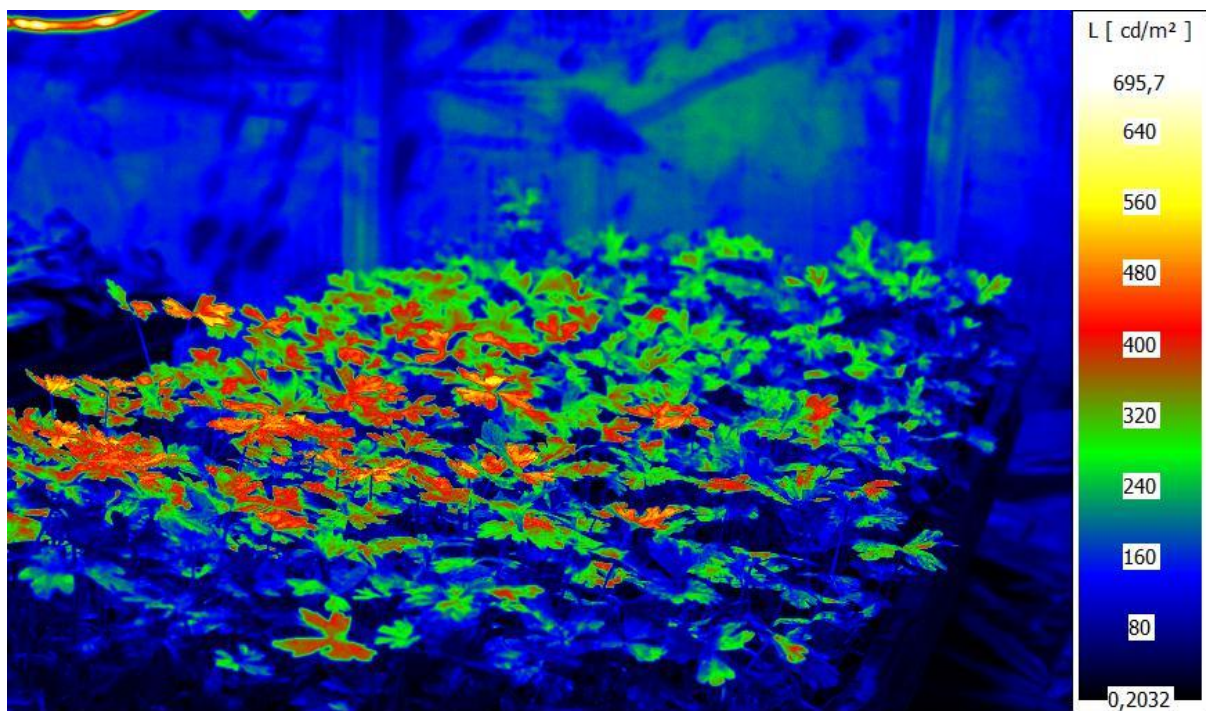
7.9. att. DC-LED plaukta apgaismojums ar augiem, skats N7.



7.10. att. DC-LED plaukta apgaismojums ar augiem, skats N8.



7.11. att. DC-LED plaukta apgaismojums ar augiem, skats N9.



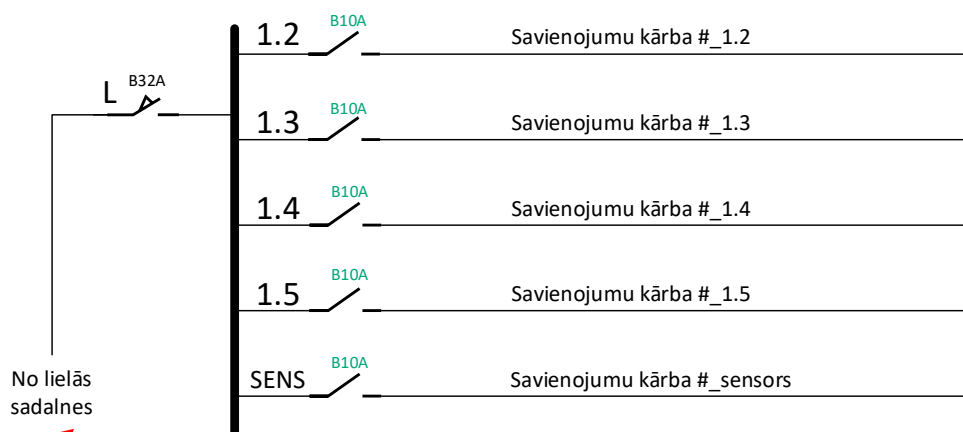
7.12. att. DC-LED plaukta apgaismojums ar augiem, skats N10.

No attēliem, kur nav augu, redzams, ka apgaismojuma intensitātes sadalījums (atstarotā gaisma, cd/m^2) ir salīdzinoši vienmērīgs, bet ievietojot augus, atkarībā no to augšanas ātruma un individuālo augu dīgtspējas, daļa aug ātrāk un aizēno citus augus, līdz ar to mazinot apgaismojuma vienmērību visā plaknē. Nelielus uzlabojumus galos/sānos var panākt, ja palielina LED diožu skaitu vai tuvumu PCB galos.

Pielikums Nr.3. Konteinerī ievietotā IoT sensoru un LED apgaismojuma barošanas līnijas.

Atslēdzot L automātu pazūd viss, kas ar mums saistīts (kamerās; sensori utt.)

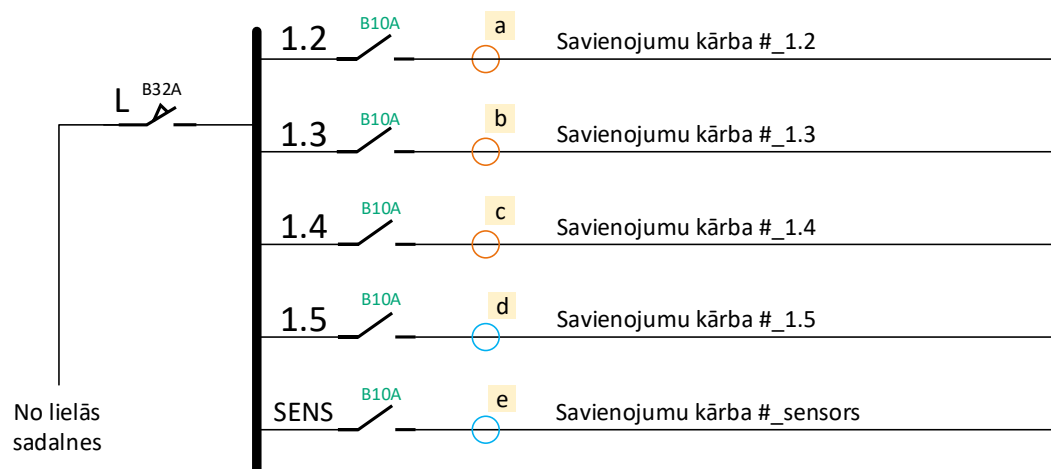
Sadalnes principālā shēma



+ sadalnē uzstādīta kontaktligzda, kas nodrošina PoE switch un Raspberry Pi barošanu.

Virš sadalnes esošajā kārbā uzstādīti 2gb Jaudas mērītāji.

Jaudas mērītāju barošana paņemta no kopējās mūsu sadalnes barojošās ķēmes.



	IMP numurs	IMP L1, L2 vai L3
a	#12	L1
b	#12	L2
c	#12	L3
d	#9	L1
e	#9	L2

