



Inovatīvu risinājumu izpēte un jaunu metožu izstrāde efektivitātes un kvalitātes veicināšanai Latvijas siltumnīcu sektorā (IRIS)

19-00-A01612-000010

Latvijas Lauku attīstības programmas 2014.-2020. gadam
M16.1 pasākums Sadarbība

Gala ziņojums

Rīgas Tehniskā universitāte, Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte, SIA
"Bulduru Dārzkopības vidusskola", SIA "Latgales Dārzu Loģistika", Z/S "Utāni", Z/S
"Eži" Aberri, SIA

Novembris 2023 – Janvāris 2024
Versija 1.3

Satura rādītājs

Informācija par projektu	5
1 Projekta uzdevumi	6
1.1 Projekta mērķis	6
1.2 IRIS projekta galveno aktivitāšu apraksts	6
2 DP1: Viedo tehnoloģiju un automatizācijas risinājumi lielo siltumnīcu monitorēšanai 8	
2.1 Pasaules labāko risinājumu analīze un kritiskā izvērtēšana	8
2.2 IRIS arhitektūras pirmais attīstības posms	9
2.2.1 SIA Latgales dārzeņu loģistikas siltumnīca Mežvidos	9
2.2.2 SIA Latgales dārzeņu loģistikas siltumnīcā esošā IoT sensoru sistēmas bāzes arhitektūra 11	
2.2.3 IRIS sistēmas arhitektūras otrais attīstības posms	13
2.2.4 IRIS arhitektūras trešā versija	14
2.3 IRIS datu apstrādes un vizualizācijas sistēmas izstrāde	16
2.3.1 Vienkāršotās sistēmas vispārējs apraksts	18
2.3.2 IRIS – Barometra tehniskais risinājums	23
2.4 IRIS sistēmas programatūras izstrāde	24
2.5 IRIS lietotāju WEB saskarnes izstrāde	25
2.5.1 Atkārtoti izmantojamu dizaina komponentu izstrāde	32
2.5.2 Datubāzes ātrdarbības atklūdošana	34
2.6 IRIS sensoru sistēmas izstrāde	35
2.6.1 IRIS sensoru moduļa programmatūras izstrāde un optimizācija	35
2.6.2 IRIS pievienoto sensoru aptauja un klase datu rindas dinamiskai ģenerēšanai 39	
2.6.3 IRIS sensoru moduļu izstrāde un optimizācija	40
2.6.4 IRIS augsnes mitruma sensors (jauns prototips)	41
2.6.5 IRIS releju moduļa izstrāde (jauns prototips)	42
2.6.6 IRIS SI-NDVI sensora izstrāde	43
2.6.7 IRIS gaismas sensora (RGBC) izstrāde (jauns prototips)	51
2.6.8 IRIS - RGBW tipa gaismas sensors (jauns prototips)	57
2.6.9 Apogee SQ-615 ePAR sensoru izstrāde un testēšana ar Electric IMP001 mikrokontroleri (jauns prototips)	57
2.6.10 Iekaramo tomātu auga svara pieauguma sensoru (TWS) izstrāde	65
2.6.11 IRIS "Attēla" tipa datu pārraides sistēmas izstrāde	67

2.6.12	IRIS jaudas sensors	69
2.7	IRIS mobilas aplikācijas izstrāde	70
3	IRIS sistēmu uzstādīšana un testēšana projekta partneru siltumnīcās	76
3.1	SIA ABerry.....	76
3.2	Bulduru siltumnīcas.....	77
3.2.1	Z/S Utāni.....	78
3.2.2	Z/S Eži	80
4	DP2: Jaunu novērtēšanas metožu izstrāde dažādām siltumnīcu sistēmām, ražošanas procesiem un tehnoloģijām.....	83
4.1	Metodiskie pētījumi un to rezultāti.....	83
4.2	Saimnieciski nozīmīgo kukaiņu un kaitēkļu monitorings	84
4.2.1	Gurķu un tomātu kaitēkļu monitorings polikarbonāta siltumnīcās.....	84
4.2.2	Dažāda siltumnīcu seguma ietekme uz gaismas caurlaidību.	91
4.3	Sēņu slimību sastopamība dažādu tipu siltumnīcās un to attīstība atkarībā no audzēšanas tehnoloģijām (gaismas režīmiem)	92
4.3.1	Materiāli un metodes	93
4.3.2	Rezultāti	99
4.3.3	Slimības attīstības dinamika, novērtējot dažādu gaismas avotu ietekmi uz slimības attīstību	111
4.4	Jaunu novērtēšanas metožu izstrāde dažādām siltumnīcu sistēmām, ražošanas procesiem un tehnoloģijām.....	113
4.4.1	Metodiskie pētījumi un to rezultāti	113
4.4.2	Projekta partneru produkcijas bioķīmisko parametru mērījumi un analīze ..	115
4.4.3	Pētījumu rezultāti un analīze.....	117
4.5	Projektu partneru produkcijas bioķīmisko parametru mērījumi un analīze	125
5	Viedo tehnoloģiju un kvalitātes parametru mērījumi mazo siltumnīcu monitorēšanai	127
5.1	IRIS platforma – nozares barometra izveide	127
5.2	IRIS platforma – vienkāršotais barometra risinājums	128
5.3	Līgumu sagatavošana un noslēgšana ar mazajām saimniecībām	130
5.4	Darbi mazajās siltumnīcās	131
5.4.1	SIA GRETES siltumnīcu komplekss	132
5.4.2	Sensoru uzstādīšana IRIS projekta partnera ZS "Kliģēni" siltumnīcā (2023.g. jūlijs)	134
5.4.3	Sensoru uzstādīšana IRIS projekta partnera SIA "Letis" siltumnīcā (2023.g. jūlijs)	137

5.4.4	Sensoru uzstādīšana IRIS projekta partnera SIA "Ar B Agro" siltumnīcā (2023.g. jūlijs)	139
5.4.5	Sensoru uzstādīšana IRIS projekta partnera SIA VeryBerry siltumnīcā	140
5.4.6	Sensoru uzstādīšana IRIS projekta partnera SIA "Absolūts Ēd" siltumnīcā (07.07.23.)	141
5.4.7	Sensoru uzstādīšana IRIS projekta partnera ZS "Rītausma" siltumnīcā (2023.g. jūlijs)	142
5.4.8	SIA AivaG	146
5.4.9	Sanitas Poriņas saimniecības siltumnīcas	147
5.4.10	Ievas Erdbergas saimniecība	148
5.4.11	Lietotāju pieredzes kopsavilkums	150
6	IRIS projekta publicitāte	151
7	Secinājumi par projekta sasniegtiem rezultātiem	156
	Izmantotās literatūras avoti	158
	Pielikumi	160
	Pielikums 1. Projekta dalībnieka pamatinformācija	160
	Pielikums 2. Tehnoloģisko procesu novērtējums un tā pielietojums	162
	Pielikums 3. RGBW sensora izveidošanas instrukcija	164

Informācija par projektu

Projekta nosaukums

"Inovatīvu risinājumu izpēte un jaunu metožu izstrāde efektivitātes un kvalitātes veicināšanai Latvijas siltumnīcu sektorā (IRIS)"

19-00-A01612-000010, Latvijas Lauku attīstības programmas 2014.-2020. gadam, M16.1 pasākums Sadarbība

Informācijas sagatavotājs

Anatolijs Zabašta, RTU, anatolijs.zabasta@rtu.lv, tel. 29232872

Projekta koordinators

Ansis Avotiņš, ansis.avotins@rtu.lv, tel. 29138573

Sadarbības partneri

Rīgas Tehniskā universitāte: Ansis Avotiņš, ansis.avotins@rtu.lv

Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte: Ina Alsina, ina.alsina@llu.lv

SIA "Bulduru Dārzkopības vidusskola": Rafaels Joffe, rafaels.joffe@bulduri.lv

SIA "Latgales Dārzu Loģistika": Edgars Romanovskis, edgars@latgalesdarzeni.lv

Z/S "Utāni": Karīna Kavune, karinakavune@inbox.lv

Z/S "Eži": Pavels Kavuns, pavels.kavuns@inbox.lv

Aberri, SIA: Marita Joņina, maritajonina@gmail.com

Projekta īstenošanas periods: 01.10.2019. – 30.09.2023

Kopējās projekta izmaksas: 486 436.42 eiro

1 Projekta uzdevumi

1.1 Projekta mērķis

Siltumnīcās notiekošie procesi ir ļoti sarežģīti un savstarpēji saistīti, kas atkarīgi no tajās audzējamām kultūraugiem, to šķirnes īpatnībām, iekšējā un ārējā klimata, apgaismojuma, apputeksnēšanas, laistīšanas, kvalitātes, energoefektivitātes, ražības, efektīvas un videi drošas augu aizsardzības u.c. šo sistēmu parametriem.

Projekta vispārīgais mērķis ir izstrādāt efektīvus un Latvijas apstākļiem atbilstošus siltumnīcas iekārtu vadības un procesa analīzes algoritmus, izmantojot jaunākos siltumnīcu tehnoloģiju risinājumus (IoT sensoru sistēmas, apgaismes sistēmas, u.c.), novērtējot to ietekmi uz savstarpēji saistītajiem procesiem siltumnīcās, kā arī izstrādāt jaunas metodes un rekomendācijas, lai veicinātu Latvijas siltumnīcu sektora efektivitāti, konkurētspēju un videi draudzīgu saimniekošanu.

Novērtējot šīs tehnoloģijas, tiek veikti metodiski pētījumi, lai noskaidrotu dārzenų ontoģenēzes īpatnības un produkcijas bioķīmiskā sastāva izmaiņas atkarībā no audzēšanā izmantotajiem apgaismojuma apstākļiem, izvērtētu sēņu slimību attīstību atkarībā no lietotajām tehnoloģijām, kā arī to, kā dažāda spektra gaismas ietekmē apputeksnēšanos, saimnieciski postīgo un noderīgo kukaiņu populāciju attīstību tomātu siltumnīcā – ražošanas apstākļos.

1.2 IRIS projekta galveno aktivitāšu apraksts

IRIS projekta kopējais garums tika plānots 36 mēneši (izpilde tika pagarināta), jo siltumnīcu sektorā ir izteikts sezonāls raksturs, kur lielajās saimniecībās tas ir 10 mēnešu garš, tādēļ eksperimentālo datu monitoringam ir nepieciešams garāks laiks. Projekta realizēšanā var izdalīt šādas galvenās aktivitātes:

1) Viedo tehnoloģiju un automatizācijas risinājumi lielo siltumnīcu monitorēšanai (36 mēneši, aktivitātes atbildīgais partneris - RTU). IRIS lietiskā interneta (IoT) sistēmas un datubāzu arhitektūras izveide. Aktivitātes ietvaros projekta industriālie partneri (lielās saimniecības - LDL, z/s "Eži", z/s "Utāni", (notiek pārrunas arī ar z/s "Letis" un z/s "Kliģeni")) un RTU izstrādās un uzstādīs IoT monitoringa sistēmas eksperimentu vietās un analizēs iegūtos datus, lai izveidotu nozares veiktspējas indikatorus. Paralēli tiek izstrādāti arī jaunie IRIS svara pieauguma, gaismas parametru noteikšanas un NDVI sensori un eksperimentāli pārbaudīti reālos siltumnīcas apstākļos (izstrādā RTU, testē LDL un RTU). No iegūtajiem datiem tiek pielāgotas regulēšanas sistēmas un uzlabotas vadības metodes, paralēli veicot arī energoefektivitātes mērījumus. Rezultāti: jaunu sensoru tehnoloģijas prototipi (2gb) un uzlabotas vadības sistēmas un algoritmi (1gb).

2) Jaunu novērtēšanas metožu izstrāde dažādām siltumnīcu sistēmām, ražošanas procesiem un tehnoloģijām (34 mēneši, aktivitātes atbildīgais partneris - LLU). Aktivitāte ietver sevī jauno tehnoloģiju, tādu kā LED gaismekļu (gaismas un spektrālā sastāva) ietekme uz apputeksnēšanas kāmēm, to uzvedību un darbības efektivitāti siltumnīcās, apgaismes sistēmas un to ietekme uz kvalitāti - dažādos siltumnīcu ražošanas procesos (stāds, ražošana, uzglabāšana), kā arī sēņu slimību attīstību atkarībā no audzēšanas tehnoloģijām (gaismas režīmiem) [LLU, LDL]. Rezultāts: jaunas metodes (1gb).

3) Viedo tehnoloģiju un kvalitātes parametru mērījumi mazo siltumnīcu monitorēšanai (36 mēneši, aktivitātes atbildīgais partneris - LDL). RTU izstrādā IRIS projekta IT platformu, kas piemērojama mazajām siltumnīcām, LDL veic sensoru detaļu iepirkumu un sensoru komplektu montāžu, un LLU nodrošina ražas kvalitātes parametru mērījumus laboratorijā (tomātiem, gurķiem, ogām). RTU nodrošina datu migrācijas rīka izstrādi, ātrākai un efektīvākai datu pārraidei datubāzē un lietotāja saskarnes izveidi galalietotājam. RTU un LLU veic datu analīzi. Visi projekta partneri izstrādā mazo siltumnīcu datu ievades formas izstrādi, definējot minimāli nepieciešamos laukus, lai izvairītos no mazo siltumnīcu (projekta dalībnieki, ko piesaista projekta laikā) sensitīvo datu izmantošanas nepieciešamības. Aktivitātes rezultātā tiks izveidota speciāli pielāgota IRIS IoT sistēma, kas būs tāds kā siltumnīcu nozares "barometrs".

4) Publicitāte (36 mēneši, aktivitātes atbildīgais partneris - nozares asociācija un RTU). Rezultātu pieejamībai tiks izveidota projekta mājaslapa un regulāri atjaunota informācija arī projekta partneru mājaslapās. Zinātniskā publicitāte tiks veikta gan SCOPUS datubāzēs indeksētās konferencēs, kur publikācijas aprakstītās metodes vienlaikus tiks recenzētas arī no nozares vadošajiem ekspertiem pasaules līmenī. Projekta partneri regulāri piedalīsies Latvijas nozares izstādēs, semināros un nozares asociāciju tīklošanās pasākumos, lai IRIS tehnoloģijas testēšanai piesaistītu interesentus no mazajām siltumnīcu saimniecībām, vienlaicīgi arī nodrošinot projekta rezultātu popularizēšanu.

Pētījuma eksperimentālā daļa pamatā tiks veikta SIA "Latgales dārzeņu loģistika" siltumnīcā "Mežvidi", kas atrodas Kārsavas novadā, SIA "Bulduru Dārzkopības vidusskola", z/s "Eži", z/s "Utāni". Šajās siltumnīcās, līdzīgi kā jebkurā citā līdzīgā siltumnīcā, ir iespējama vairāku potenciāli postīgu kukaiņu sugu, piemēram, siltumnīcu baltblusiņas (*Trialeurodes vaporariorum*), dažādu tripšu (*Thysanoptera*) un laputu (*Aphididae*) klātbūtne. Plēsīgās mīkstblakts (*Macrolophus pygmaeus*) populācija tiek uzturēta, lai aizsargātu tomātus pret kaitēkļiem, bet lielās zemes kameņes (*Bombus terrestris*) populācija tiek uzturēta tomātu apputeksnēšanas nolūkam. Tiks vizuāli identificēti augu slimību ierosinātāji, ja nepieciešamas precīzai identifikācijai izmantos mikoloģiskās metodes. Noteiks slimību attīstību atkarībā no dažādiem parametriem (apgaisojums u.c.). Lai salīdzinātu slimību attīstību dažādos apstākļos, tiks vērtēta attīstības dinamika un kopējā ietekme, ko izsaka rādītāji AUDPC un AUDPS.

2 DP1: Viedo tehnoloģiju un automatizācijas risinājumi lielo siltumnīcu monitorēšanai

2.1 Pasaules labāko risinājumu analīze un kritiskā izvērtēšana

Projekta sākuma posmā tika veikta pasaules labāko risinājumu analīze un kritiskā izvērtēšana un tika secināts, ka šobrīd nav publiski pieejamā informācija par šādiem pētījumu rezultātiem, kas veikti Latvijas apstākļiem. Pasaules līmenī ir veikti atsevišķi pētījumi, kas nedz apstiprina, nedz noliedz IRIS pētījuma hipotēzes un aprakstīto metožu pielietojumu plānoto rezultātu sasniegšanai. IoT sistēmās līdzīgas iniciatīvas ir Eiropas mašīnbūvē izmantotajam Industry 4.0 principam, un šobrīd to aktīvi tiek mēģināts ieviest arī dažādos Eiropas lauksaimniecības sektoros - viedo siltumnīcu tehnoloģiju jomā.

IRIS projekts arī pēc būtības seko šim virzienam, vienlaicīgi to apvienojot ar inovatīviem digitāliem sensoriem un IT analīzes rīkiem. Apskatot tādu pasaules vadoša ražotājus siltumnīcu tehnoloģiju tirgū kā Heliospectra (Zviedrija), LumiGrow (ASV), Rough Brothers (ASV), Nexus Corporation (ASV), Argus Control Systems (Kanāda), Certhon (Nīderlande), Logiqs (Nīderlande), Greentech Agro ASV), Netafim (ASV) un Starptautiskā siltumnīcu kompānija (ASV), var secināt, ka uz doto brīdi nav pieejami pilnvērtīgi viedo siltumnīcu tehnoloģiju risinājumi, kas pilnībā pārklātu IRIS projekta pētījumu specifiku. Arī aplūkojot zinātniskās datubāzes (SCOPUS, IEEEExplore, u.c.), liela daļu pētījumu faktiski saistās ar dažādu komunikācijas tehnoloģiju veikspējas izpēti, vai laboratorijas mērījumu datu analīzi, bet tikpat kā nav publiski pieejamu detalizētu datu par veiktiem eksperimentiem reālu industriālu siltumnīcu vidē.

Šobrīd ir redzama tendence, ka iepriekš slēgtas (angliski "proprietary") sistēmas tiek pārveidotas, vai pilnīgā pārrakstītas, lai tās padarītu savietojamas ar citu ražotāju komponentēm un sistēmām. Atsevišķos gadījumos pat paredzot 3-šo pušu lietojumu integrāciju platformā ar mērķi paplašināt funkcionalitāti un izmantot aktuālos zinātnes un tehnoloģiskos risinājumus. Spilgts piemērs ir Priva (Nīderlande) jaunās paaudzes siltumnīcu vadības sistēmas platforma (<https://www.priva.com/openplatform>), kura paredz integrāciju ar AS SAF Tehnika (Latvija) Aranet sensoriem.

No aktuālo sistēmu analīzes izriet, ka, IRIS sistēmai, ir jāspēj realizēt šādu funkcionalitāti:

- Jābūt uzstādāmai gan kā izolētai sistēmai, gan kā mākoņskaitļošanas risinājumam
- Jānodrošina sensoru datu saņemšana, apstrāde un ilgtermiņa glabāšana
- Jānodrošina aktuātoru (izpildmehānismu) vadība
- Jānodrošina vadības programmu izveide un nodošana izpildmehānismam
- Jānodrošina vairāku lomu lietotāju autentifikācijas risinājums
- Jānodrošina saņemto datu vizualizācija
- Jānodrošina droša sensoru un aktuātoru integrācija
- Jānodrošina sensoru un aktuātoru pārvaldība
- Jānodrošina lietotāju darbību un tīmekļa pieprasījumu žurnālēšana
- Jānodrošina datu eksports
- Jāatbalsta industrijas standarti, lai varētu integrēt citas IT sistēmas un citu ražotāju sensorus un sensoru komplektus

- Jānodrošina sistēmas lietotāja saskarnes darbība uz dažādām ierīcēm, t.i., personālais dators, planšete un mobilais telefons

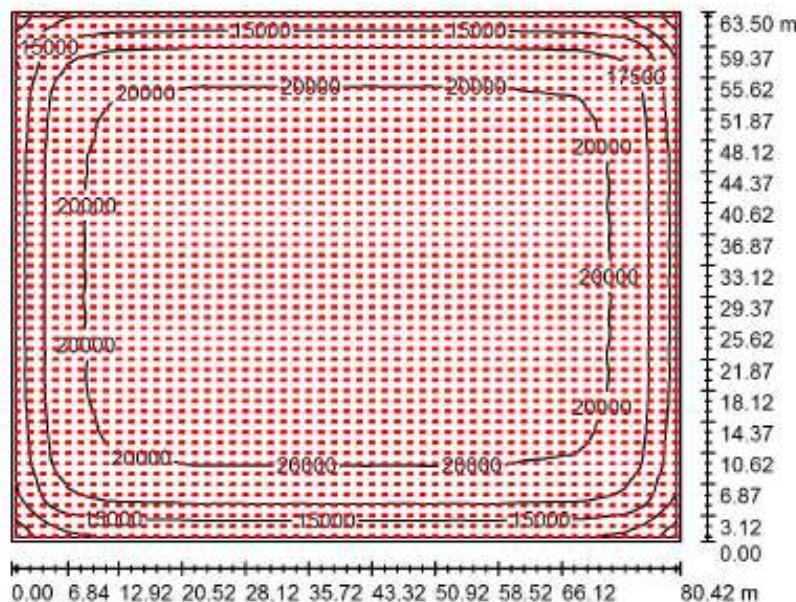
Atbilstoši trešajā projekta posmā identificētajai funkcionalitātei tiek veikta sistēmas arhitektūras, datu struktūras un sistēmas komponentu izstrāde, testēšana un ieviešana.

2.2 IRIS arhitektūras pirmais attīstības posms

IRIS projekta ietvaros tika plānots izmantot SIA "Latgales dārzeņu loģistikas" siltumnīcu, kā bāzes modeli/arhitektūru arī pārējo projekta partneru siltumnīcu IoT sensoru sistēmu izveidē, kā arī šādu sistēmu, tikai ar samazinātu sensoru skaitu, uzstādīt arī projekta ietvaros piesaistīto 10 mazo siltumnīcu platībās, kas kalpo kā papildus testa vietas.

2.2.1 SIA Latgales dārzeņu loģistikas siltumnīca Mežvidos

Mežvidu industriālās siltumnīcas kopējā platība ir 5438m². Darba tehniskā zona (laistīšanas sistēmas un rezervuāri, fasēšana, u.c.) ir 366m², bet zona, kur audzē tomātus ir 5062m² liela. Siltumnīcas augstums ir 7m, gaismekļu uzstādīšanas augstums ir 5.5m. Siltumnīcā ir griestu vēdināšanas logi, kopā 276gb, aprīkoti ar automatizētu elektrisko piedziņu to atvēršanai/aizvēršanai. Kopumā ir 40 rindas, kurās tiek audzēti tomāti, katra 63,4m gara. Starp rindām ir U-veida augšējā (virs tomātu ziediem) apkures caurule, kur turpgaitā pienāk 80°C temperatūra un 70°C atgaitā, bet apakšējā (augšanas līmenis) caurulē turpgaitā ir 40°C, atgaitā 30°C, kas nodrošina ap 20°C temperatūru siltumnīcā. Siltumnīcas apgaismojuma modelēšanai ir izveidots matemātisko aprēķinu modelis DIALUX vidē (sk. 1.4. attēls).



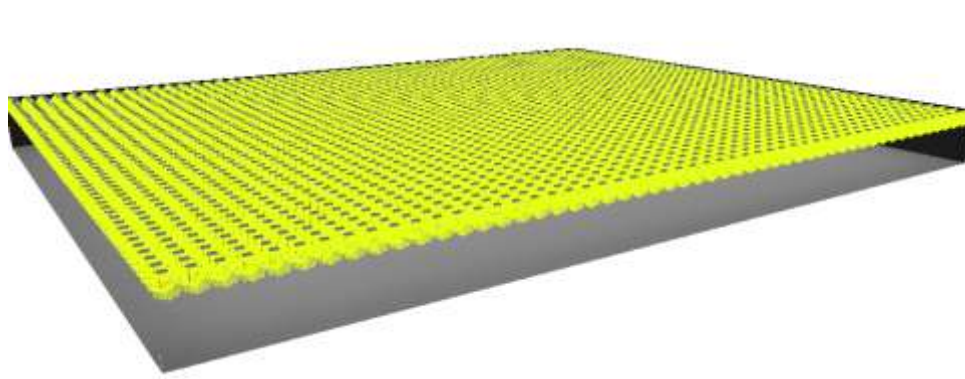
Attēls 1.4. Gaismekļa NewHella 400W gaismas plūsma un izveidotais matemātisko aprēķinu modelis DIALUX vidē Mežvidu siltumnīcai.

Height of Room: 5.500 m, Mounting Height: 5.500 m, Maintenance factor: 0.80

Values in Lux, Scale 1:816

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$u0$
Workplane	/	19173	8905	21301	0.464
Floor	27	18544	7808	21230	0.421
Ceiling	6	4483	2044	5523	0.456
Walls (4)	6	11896	3155	39041	/

Attēls1.5. Mežvidu siltumnīcas apgaismojuma parametru kopsavilkums.



Attēls 1.6. Nātrija gaismekļa NewHellight 400W gaismas plūsma, izvietojums matemātisko aprēķinu modelī (DIALUX vidē) Mežvidu siltumnīcai.

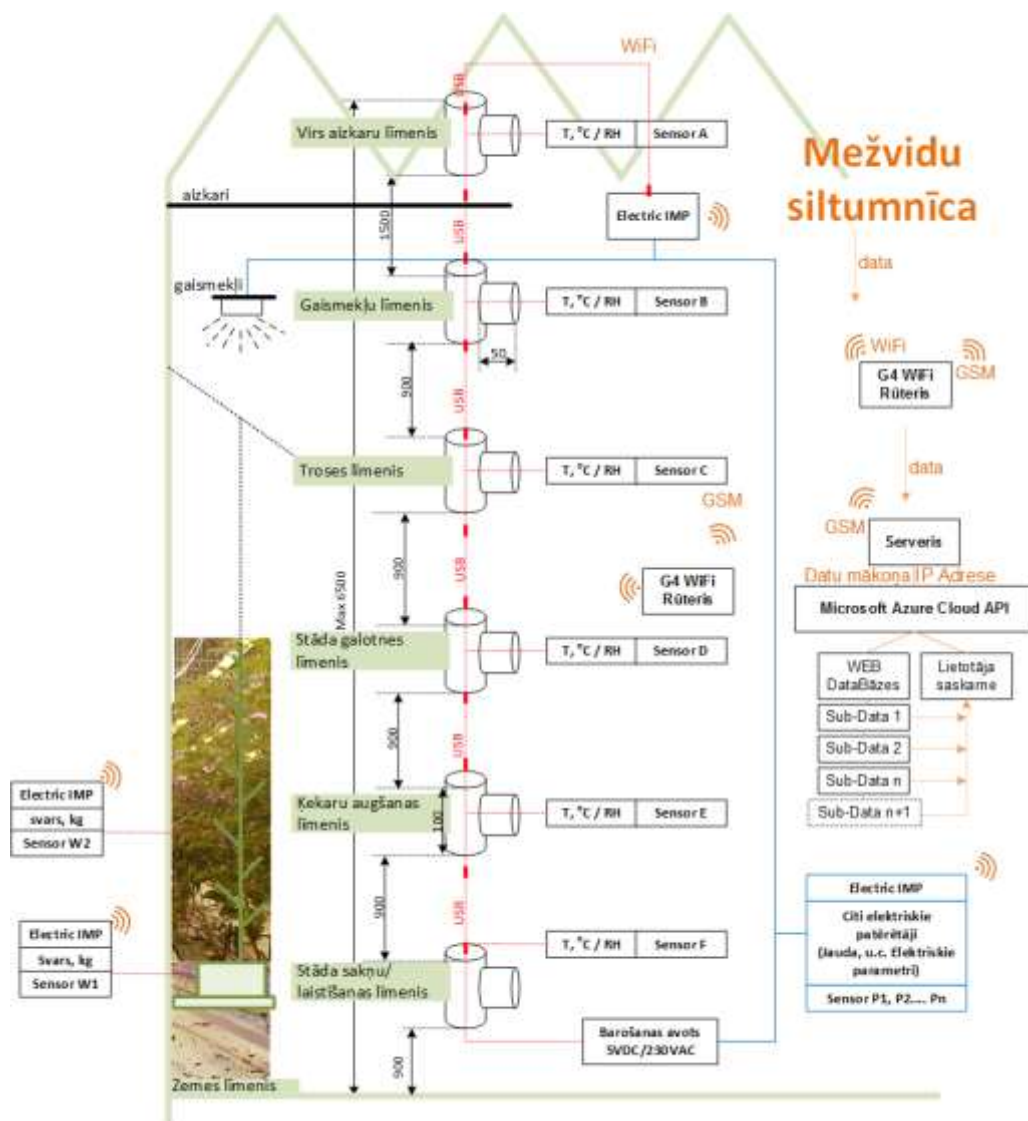
Tabula 1.2. Apzīmējumi – apgaismojuma kombinācijas atsevišķās eksperimentu zonās.

Šķirne	Definētā mērīšanas vieta		Apzīmējumi
Encore (sarkanie)	2HPS + 2 interlight LED	15. rindā pie 4 kol.	MZ1
Encore (sarkanie)	HPS + 2 interlight LED	15. rindā pie 7 kol.	MZ2
Encore (sarkanie)	HPS + 2 Helle Interled + COBA M3	18. rindā pie 4 kol.	MZ3
Encore (sarkanie)	HPS + 2 interlight LED + COBA M3	18. rindā pie 6 kol.	MZ4

Mežvidu siltumnīcā ir uzstādīti dažāda tipu gaismekļi – LED lineārā tipa augšējais un starprindu apgaismojums, kā arī nātrija augstspiediena tipa gaismekļi. Atsevišķā zonā augšējam apgaismojumam tiek izmantoti LED gaismekļi - “Philips GreenPower LED toplighting module”, bet visā siltumnīcā pārsvarā ir starprindu apgaismojums – “Philips GreenPower LED interlighting module DR/B 115W” un “Philips PowerGreen LED interlighting module DR/B 105W”. Zonās MZ1 un MZ2 - Nātrija augstspiediena tipa gaismekļi ar spuldzi “Philips Master GreenPower CG T 400W”, un abi Philips starprindu LED gaismekļi. Zonā Nr.MZ3 ir Nātrija apgaismojums - Hellturn ar Philips Master GreenPower CG T 400W, kur augšējo HPS lampu apgaism. spektra papildin. gaismeklis COBA M3 100W un starprindu LED gaismekļi Helle Interled IP54 150W. Zonā Nr.4. - augšējo HPS lampu apgaism. spektra papildin. gaismeklis COBA M3 100W divi Philips starprindu LED gaismekļi.

2.2.2 SIA Latgales dārzu loģistikas siltumnīcā esošā IoT sensoru sistēmas bāzes arhitektūra

RTU, LBTU un SIA Eltex realizētā ERAF projekta "Jaunu vadības metožu izstrāde siltumnīcu augu apgaismojuma sistēmām to enerģētisko un ekoloģisko parametru uzlabošanai (uMol)" (Vienošanās par projekta īstenošanu numurs: 1.1.1.1/16/A/261)¹ ietvaros, bija izveidota un SIA "Latgales Dārzu loģistikas" siltumnīcā uzstādīta siltumnīcu parametru monitoringa IoT sistēma, kuras arhitektūras (2.1. att.) izveides pieeja, tika izmantota arī IRIS sistēmas arhitektūras pirmās versijas izveidei. Šī sistēma un tās sensori (2.2. att.) jau bija pārbaudīti darbībā divas sezonas, kuru rezultātā siltumnīcas agronoms spēja daudz efektīvāk pielāgot ražošanas procesu, un testējot jaunas tehnoloģijas faktiski panākt pat līdz 20% ražas pieaugumu gada laikā, nepalielinot ražošanas izmaksas.



Attēls 2.1. uMOL pieeja, kas tika izmantota IRIS projekta pirmās arhitektūras versijai - "lielajām" saimniecībām).

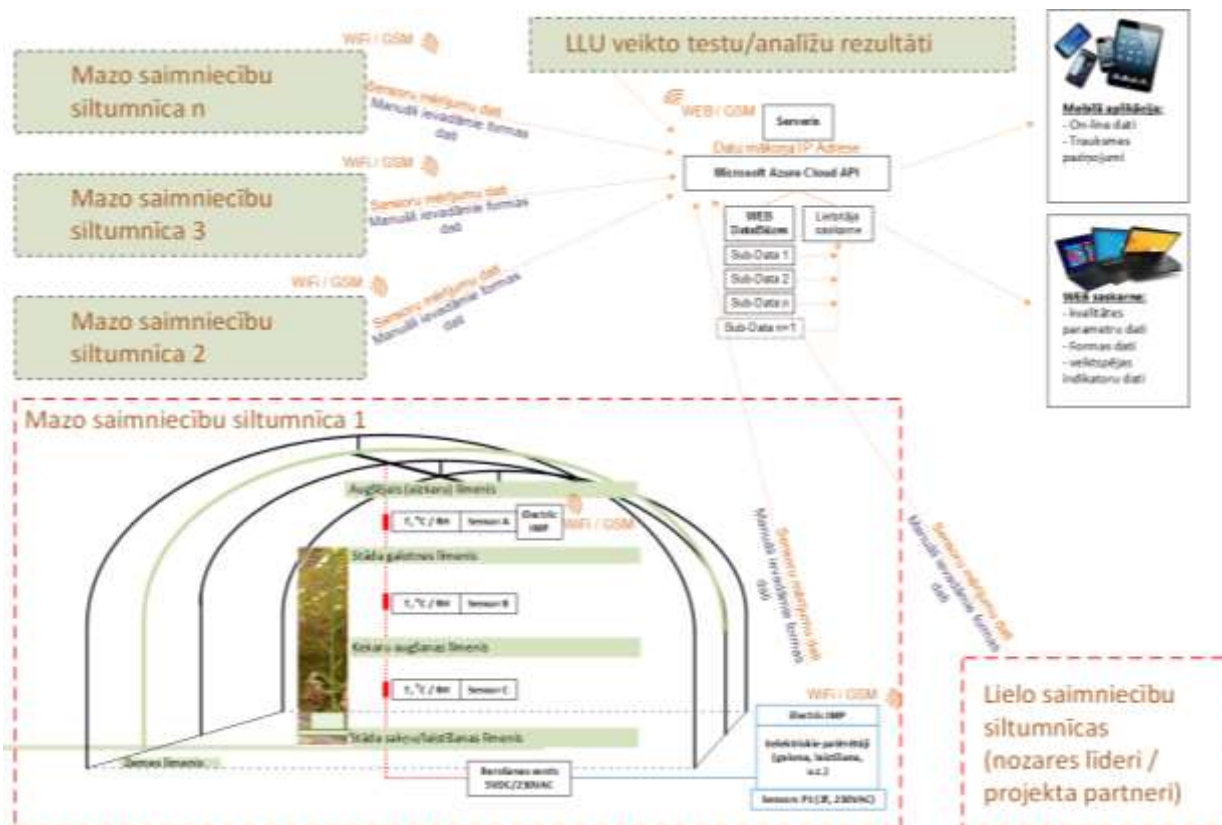
¹ uMOL projekta apraksts: <https://projects.rtu.lv/api/get/publicityFile/33>



Attēls 2.2. uMOL balstītie un pēcāk IRIS projektā uzlabotie IoT sensoru sistēmas mitruma, temperatūras, svara un elektroenerģijas patēriņa monitoringa sensori.

Izstrādājot IRIS sistēmu, identificētie IoT sensoru un sistēmas trūkumi tika ņemti vērā, un novērsti, uzstādot siltumnīcā jaunas IRIS sensoru sistēmas, ar uzlabotiem korpusiem un savienojumu risinājumu, kur esošo USB tipa kabeļu vietā tika izmantots jau gabarītos mazāks un lētāks Ethernet kabeļa savienojums, vienlaicīgi nodrošinot arī sensoru shēmu elektrobarošanu, tādējādi likvidējot arī papildus novilkto barošanas kabeli (Jack tipa spraudnis). Sensoru korpusu gabarīti arī tika būtiski samazināti (līdz pat 10x), saglabājot to darbības un parametru mērījumu precizitāti, dažiet pat to uzlabojot. Sīkāks apraksts par uzlabotajiem sensoriem ir dots atskaides 2.4 sadaļā. Kā galvenais WiFi komunikācijas mezgls tika izmantos jau iepriekš pārbaudītais ElectricImp kontrolleris.

Jau IRIS projekta pieteikuma gatavošanas laikā, piedaloties izstādēs (piem. "Rīga Food", "Vide un Enerģija") un nozares konferencēs un semināros (piem. "Līdzsvarota lauksaimniecība"), par uMOL risinājumu lielu interesi izrādīja arī citi siltumnīcu audzētāji, gan tādi, kas izmanto stiklotu segumu, gan polikarbonāta vai plēves (tunelveida) tehnoloģijas. Pēc pārrunām arī ar nozares vadošajām asociācijām (LOSP, Zemnieku Saeima), tika identificēts, ka viedo tehnoloģiju ieviešana ir aktuāla problēma arī visā nozarē. Nozares mazo uzņēmumu un zemnieku saimniecību savstarpējo sadarbību un pieredzes apmaiņu apgrūtināja konkurences apstākļi, kā arī finanšu iespējas investēt inovatīvās tehnoloģijās un kvalitātes mērījumos. Eiropā pārsvarā ir izveidoti kooperatīvi, kuri eksperimentālas pārbaudes veic kopīgiem spēkiem. Tādēļ IRIS projekta ietvaros tika ieplānots, šādu uzlabotu IRIS IoT sensoru sistēmu ievietot arī citās projekta partneru siltumnīcās, kā arī 10 mazajās siltumnīcās, kur plānotā arhitektūras pirmā versija dota 2.3. attēlā.



Attēls 2.3. IRIS projekta IoT platformas arhitektūra mazo siltumnīcu parametru monitoringam.

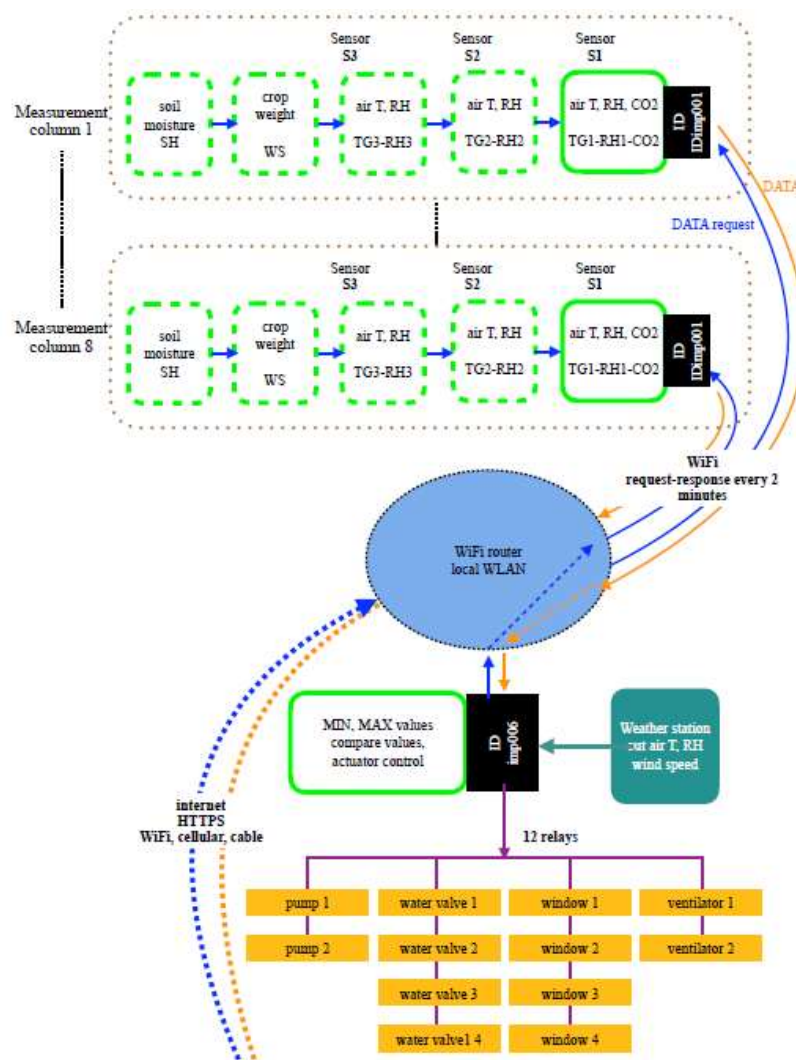
2.2.3 IRIS sistēmas arhitektūras otrais attīstības posms

IRIS sistēmas IT risinājumu tika paredzēts veidot uz MS-Azure platformas bāzes, kas arī šobrīd ir viena no vadošajām platformām. Aptaujājot projekta partneru siltumnīcas un daļu mazo siltumnīcu lietotājus, jau izstrādes laikā radās ideja to veidot, iekļaujot kādus aktuatorus (vadāmus relejus) un paredzēt arī lokālu vadības risinājumu (lokāls serveris vai minidators).

IRIS otrā posma sistēmas arhitektūra sastāv no šādām komponentēm (attēls 2.4.):

1. WEB serveris
2. Mobilais lietojums - Android mobilais lietojums
3. Datubāze
4. Telekomunikāciju sistēma
 - a. Tīkla iekārtas - WiFi
 - b. Interneta maršrutētājs 4G (var būt ar WiFi izeju)
5. Sensori
 - a. Svaru sensori
 - b. RH, T sensori
 - c. T, RH, CO2
 - d. Jaudas sensori
 - e. Gaismas sensora prototipi (RGB un ePAR)
 - f. NDVI sensori
 - g. Augsnes mitruma sensori
6. Aktuatori (Releju bloks ar IMP vadību)
7. Sensoru kontrolieri – IMP

8. Aktuatoru kontrolieri – IMP
9. Vadības programma
10. Lokāls serveris - industriālais mini dators (paredzēta šāda iespēja, bet nav realizēts)



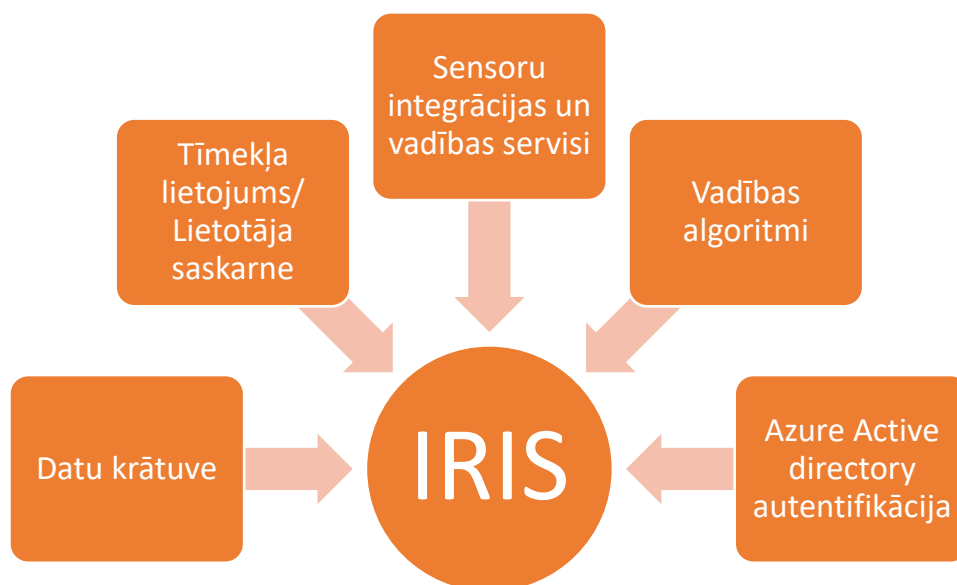
Attēls 2.4. IRIS pirmā posma sistēmas arhitektūra

2.2.4 IRIS arhitektūras trešā versija

Lai realizētu 2.4. att., definēto arhitektūru, nodrošinot arī lokālas vadības iespēju, tad trešās versijas IRIS sistēma ir veidota kā modulāra sistēma, kura ir uzstādāma gan uz Microsoft Windows, gan dažādu veidu Linux serveriem. Risinājums sastāv no šādām programmatūras komponentēm (2.5.att.):

- Tīmekļa lietojuma un lietotāja saskarnes. Sistēmā realizēta kā viengabalaina komponente, kas ir horizontāli mērogojama (1 vai vairākas komponentes instances) vairāku serveru gadījumā. Šāda pieeja ir izvēlēta, lai samazinātu sistēmas uzstādīšanas un sarežģītību.

- Datu krātuve. Šobrīd ir izmantots Microsoft SQL serveris, bet atbilstoši nepieciešamībai var tikt aizstāta ar PostgreSQL, MySQL, Oracle un citām datubāzu vadības sistēmām.
- Sensoru integrācijas un vadības servisi – Sistēmas saskarne tehniskajiem līdzekļiem, kura nodrošina sensoru datu saņemšanu un vadības komandu un programmu nodošanai izpildmehānismiem.
- Vadības algoritmi – IRIS sistēmai specifiski algoritmi, ar kuru palīdzību tiek izveidotas komandas izpildmehānismu vadībai
- OAuth 2.0 autentifikācijas risinājums uz Microsoft Azure Active directory bāzes, kurš nodrošina lietotāju pārvaldību un drošu piekļuvi sistēmai

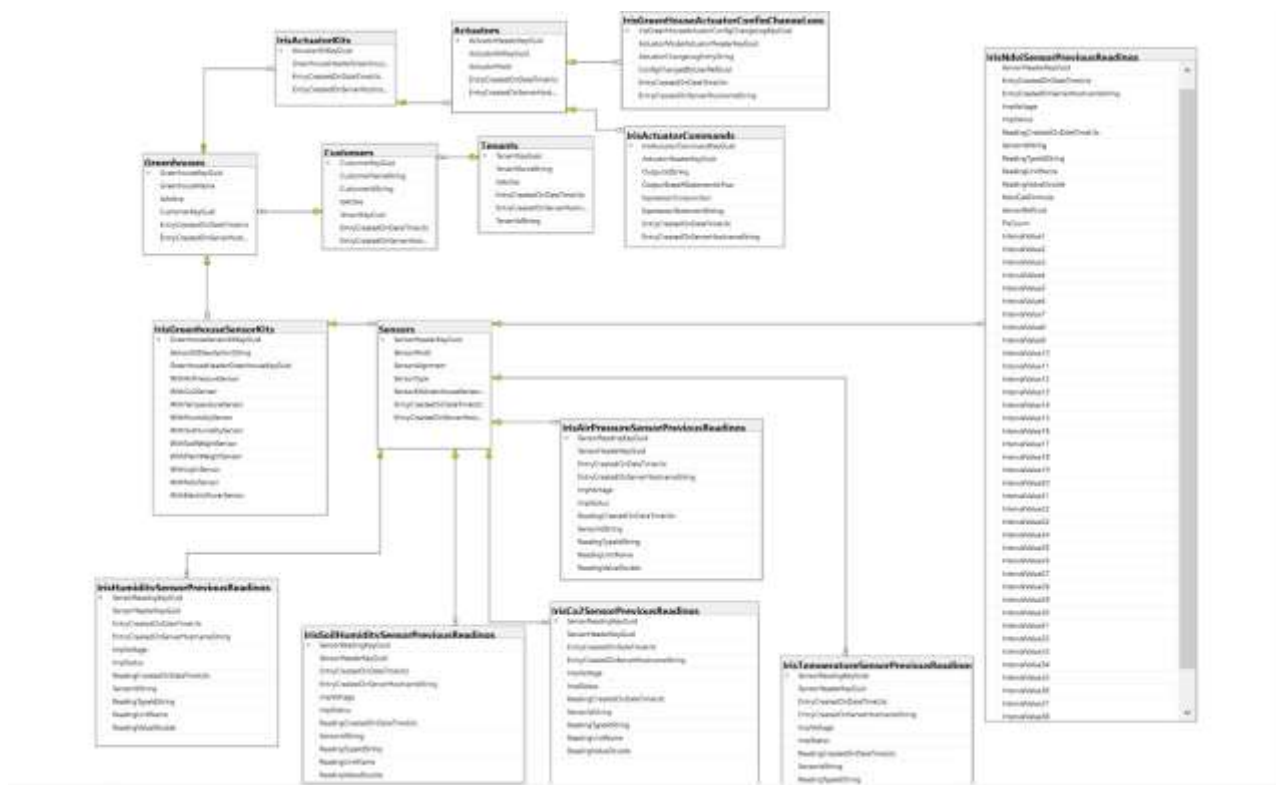


Attēls 2.5. IRIS sistēmas blokshēma

Trešajā versijā ir paveikts sekojošais:

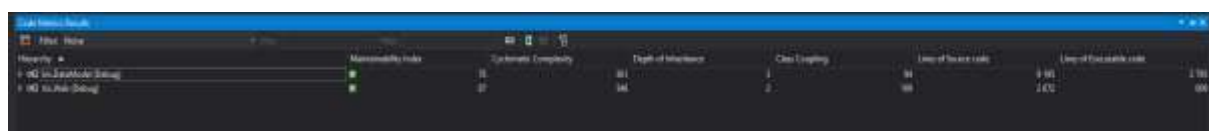
- Izveidots un nokonfigurēts Azure active directory
- Izveidota Azure App service instance priekš tīmekļa lietojuma un api servisu izvietojanas
- Izstrādāta datubāzes ER (Entity Relationship) diagramma un datu savstarpējās savietojamības shēma (skat. attēls 2.6.)





Attēls 2.6. IRIS ER (Entity Relationship) diagramma.

- Izveidota pirmā komandu ģenerēšanas algoritma versija
- Izstrādāts API interfeiss sensoru datu saņemšanai sistēmā
- Izveidota pirmās WEB saskarnes versija
- Uzinstalēts un nokonfigurēts datubāzes serveris
- Šobrīd ir uzrakstītas nepilnas 11 tūkstoši koda rindiņas (skat. attēls 2.7.)



Attēls 2.7. Koda matricas kopējais rezultāts.

2.3 IRIS datu apstrādes un vizualizācijas sistēmas izstrāde

IRIS projekta praktiskās realizācijas gaitā, veicot IRIS sensoru uzstādīšanu, kalibrēšanu un pārbaudi gan partneru siltumnīcās, gan 10 mazajās siltumnīcās, tika konstatētas šādas problēmas:

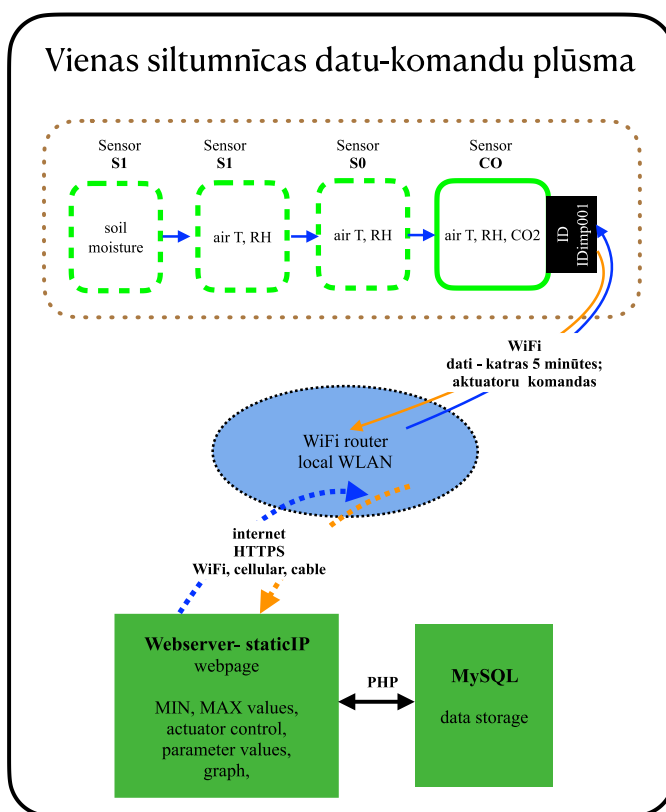
- ne visās testa siltumnīcu ģeogrāfiskā novietojuma vietās ir pieejams WiFi tīkls vai pat mobilā tīkla pārklājums;
- siltumnīcas konstruktīvās īpatnības, kas ietekmē WiFi signāla stiprumu mobilā WiFi rūtera gadījumā;

- Atšķirīgs dažādo IRIS sensoru novietojums attālums līdz WiFi rūterim (plānots tika 1gb);
- IRIS sensoru darbības pārbaudei, bija nepieciešams precīzi identificēt kļūmes cēloni:
 - Sensora kontrollera (IMP) koda kļūda;
 - Sensora piesaistes kļūda WiFi tīklam;
 - Sensora elementa vai I2C savienojuma kļūda / bojājums;
 - Sensora barošanas sistēmas traucējumi;
 - Sensora IC mērījumu kļūda;
 - Sensora novietojuma īpatnības;
- Apgaismojuma īpatnības siltumnīcā, kas traucē pārprogrammēt kontrolleri (IRIS sensoru kontrolleri tiek programmēti atsevišķā IMP mākonī, nodrošinot augstāko datu drošību (programmēšana notiek ar gaismas signāla palīdzību));
- Vietās, kur tika izmantots interneta kabelis (saimniecībā esošs mobilais rūteris – kabelis un "switch" iekārta), savienojumu skaits/kvalitāte un kabeļa garums ietekmē datu signālu;
- Lietotāja ietekmes u.c. mazsvarīgākas īpatnības, kas ietekmē IRIS sistēmas darbību.

Tas viss radīja nepieciešamību izveidot daudz ātrāku pārbaudes sistēmu RTU un LDL komandas inženieriem, kā rezultātā tika izveidota atsevišķa IRIS sistēma, kas projekta ietvaros netika paredzēta. Papildus, izstrādājot šo sistēmas projektu, tika ņemti vērā projektā iesaistīto siltumnīcu darbinieku ieteikumi attiecībā uz nepieciešamajiem sensoriem un informācijas vizualizācijas sistēmu:

- praktiski vienā siltumnīcā izmanto un iespējams pielāgot sezonas laikā:
 - vienu RhT, Rh-soil virteni, kurā ir 1-3 gab. RhT sensori un 1 gab. Rh-soil sensors, un 1 gab. CO2 sensors vai
 - vienu RhT, Rh-soil virteni, kurā ir 1-3 gab. RhT sensori un 1 gab. Rh-soil sensors, vai
 - vienu RhT kurā ir 1-3 gab. RhT sensori;
- nepieciešama maksimāli vienkārša lietotāja saskarne,

Šie ieteikumi mainīja sistēmas iepriekš izstrādāto un aprakstīto datu apstrādes, saglabāšanas un vizualizācijas procesus (Attēls 2.8.), izveidojot vienkāršotu versiju.



Attēls 2.8. Modernizētas (vienkāršotas) sistēmas datu/komandu plūsmas funkcionālā shēma.

Atkarībā pēc nepieciešamības, iespējams izmantot iepriekš aprakstītās sensoru tipa un skaita kombinācijas.

2.3.1 Vienkāršotās sistēmas vispārējs apraksts

Katrā siltumnīcā uzstāda sensorus un mikrokontrolieri ar WiFi piekļuves iespēju internetam – electricimp 001 [1]. Jāatzīmē, ka tuvākajā nākotnē kā WiFi modulis tiks izmantots cits, jo electricimp uzņēmums tika pārņemts no Twilio [2] un šobrīd jau ir KORE [3]. Sensoru dati tiek nosūtīti uz webservera uzturētu lapu, izveidotu PHP programmēšanas valodā. Datu sūtīšanai izmanto HTTP POST metodi [4]. Datus sūta izmantojot šifrēto HTTP protokolu https:// [5]. HTTPS komunikācijā izmanto sertifikātus – šajā gadījumā ir pielietots Let’s Encrypt sertifikāts [6]. Saņemot datus, tie tiek apstrādāti PHP failā, kas atrodas uz webservera, atbilstoši izveidotajai datubāzei “greenhouse” (Attēls 2.9.).

Datu apstrādes koda fragments PHP programmēšanas valodā:

```
$conn = mysqli_connect('localhost','xxxxxx','yyyyyy','greenhouse');
for($i=1; $i<count($keywords); $i++) {
    $value = explode(' ','$keywords[$i]);
    $sensor = str_replace("\":", "", $value[0]);
    $data = str_replace("\"ReadingValue\":", "", $value[1]);
    if($sensorPerv == $sensor){
```

```

        $useful .= $data . ",";
    } else{
        $useful .= "," . $sensor . "," . $data . ",";
    }
    $sensorPerv = $sensor;
}
$useful = $useful . "\n";
$qry = "insert into RhTCo2P(timeUTC,implID, name) values ('".$timeUTC."','".$imp."','".$impName."')";
mysqli_query($conn,$qry);

$qry = "SELECT id FROM RhTCo2P WHERE id=(SELECT MAX(id) FROM RhTCo2P)";
$res = mysqli_query($conn, $qry);
$result = mysqli_fetch_assoc($res);
$resultID = $result["id"];

$Tavr = 0;
$RHavr = 0;
$count = 0;

$allparts = explode(';', $useful);
for($i=2; $i<count($allparts); $i++) {
    $sensdata = explode(';', $allparts[$i]);
    $sens = $sensdata[0];
    $data1 = $sensdata[1];
    $data2 = $sensdata[2];
    $data3 = $sensdata[3];
    if (strpos($sens, 'SHT21_0') !== false) {
        $Tavr += floatval($data1);
        $RHavr += floatval($data2);
        $count += 1;
        $qryupdate = "update RhTCo2P set sensor0 = '".$sens."', Temp0 = '".$data1."', Rh0 = '".$data2.'"
where id = '".$resultID.'" ";
        mysqli_query($conn,$qryupdate);
    }
    if (strpos($sens, 'SHT21_1') !== false) {
        $Tavr += floatval($data1);
        $RHavr += floatval($data2);
        $count += 1;
        $qryupdate = "update RhTCo2P set sensor1 = '".$sens."', Temp1 = '".$data1."', Rh1 = '".$data2.'"
where id = '".$resultID.'" ";
        mysqli_query($conn,$qryupdate);
    }
    if (strpos($sens, 'SHT21_2') !== false) {
        $Tavr += floatval($data1);
        $RHavr += floatval($data2);
        $count += 1;
        $qryupdate = "update RhTCo2P set sensor2 = '".$sens."', Temp2 = '".$data1."', Rh2 = '".$data2.'"
where id = '".$resultID.'" ";
        mysqli_query($conn,$qryupdate);
    }
}

```

Field	Type	Length	Unsigned	Zerofill	Bin...	Allow Null	Key	Default	Extra	Encoding	Coll...	C
id	INT	32					PRI			aut...		
timeUTC	VAR...	20				✓		NULL	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
implD	VAR...	20				✓		NULL	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
name	VAR...	64				✓		NULL	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
sensor0	VAR...	16				✓		NULL	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
Temp0	VAR...	16				✓		NULL	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
Rh0	VAR...	16				✓		NULL	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
sensor1	VAR...	16				✓		NULL	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
Temp1	VAR...	16				✓		'0'	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
Rh1	VAR...	16				✓		'0'	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
sensor2	VAR...	16				✓		'0'	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
Temp2	VAR...	16				✓		'0'	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
Rh2	VAR...	16				✓		'0'	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
sensorP	VAR...	16				✓		NULL	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
TempP	VAR...	16				✓		NULL	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
Pressure	VAR...	16				✓		NULL	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
sensorCO	VAR...	16				✓		NULL	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
ppmCO	VAR...	16				✓		NULL	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
TempCO	VAR...	16				✓		'0'	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
RhCO	VAR...	16				✓		NULL	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
sensorFDC	VAR...	16				✓		NULL	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
capacity	VAR...	16				✓		NULL	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
moisture	VAR...	16				✓		NULL	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
Tavr	VAR...	16				✓		'0'	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	
RHavr	VAR...	16				✓		'0'	No...	UTF-8 Unicode (u...	utf...	

Attēls 2.9. Datubāzes struktūra.

Datubāze ir MySQL [7], kas izmanto MariaDB datubāzes pamatu.

Datubāzē ietilpst 2 tabulas: 1) lietotāju reģistrācija “users”, un 2) datu tabula “RhTCo2P”.

Papildus izmanto tabulas “RhTCo2P” attēlus “rht_extended” un “rht_pivot”, kas nepieciešami, lai veidotu salīdzinājumu ar citu siltumnīcu (visu sistēmā ietilpstošo) datu vidējo vērtību ik 10 minūtes.

Datubāzes ierakstu piemērs tabulā “RhTCo2P” ir attēlots Attēlā 2.10.

Temp0	Rh0	sensor0	Temp1	Rh1	sensor1	Temp2	Rh2	sensor2	TempP	Pressure	sensorCO	ppmCO	TempCO	RhCO	sensorFDC	capacity
16.8	92.1	"SHF21_2"	16.7	91.2	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	55	20.6	71.4	"FDC2214_0"	265.1
16.6	91.9	"SHF21_2"	16.6	91.2	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	57	20.3	71.4	"FDC2214_0"	151
16.4	92.1	"SHF21_2"	16.3	91.7	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	55	19.9	71.7	"FDC2214_0"	149.4
16.2	93	"SHF21_2"	16.2	92.4	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	59	19.6	72.7	"FDC2214_0"	149.9
16.1	92.9	"SHF21_2"	16	92.3	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	56	19.4	72.8	"FDC2214_0"	147.6
15.9	93.1	"SHF21_2"	15.9	92.4	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	56	19.3	73.1	"FDC2214_0"	149
15.8	93	"SHF21_2"	15.8	92.3	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	56	19	72.9	"FDC2214_0"	251.8
15.8	93.4	"SHF21_2"	15.8	92.3	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	56	19.1	72.9	"FDC2214_0"	335.9
15.7	93.2	"SHF21_2"	15.6	92.1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	62	19.1	72.8	"FDC2214_0"	263.8
15.7	93.5	"SHF21_2"	15.7	92.5	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	65	18.9	73	"FDC2214_0"	149
15.6	93.5	"SHF21_2"	15.6	92.7	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	62	18.7	73.9	"FDC2214_0"	148.7
15.6	93.9	"SHF21_2"	15.6	93.1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	62	18.6	74.1	"FDC2214_0"	149.1
15.6	94.3	"SHF21_2"	15.6	93.6	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	60	18.6	74.4	"FDC2214_0"	247.7
15.6	94.7	"SHF21_2"	15.7	93.6	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	61	18.5	75.1	"FDC2214_0"	148.4
15.6	94.4	"SHF21_2"	15.7	93.4	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	61	18.5	75.4	"FDC2214_0"	150.4
15.6	94.2	"SHF21_2"	15.7	93.1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	59	18.6	75.2	"FDC2214_0"	193.9
15.7	94.1	"SHF21_2"	15.8	92.9	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	60	18.9	74.5	"FDC2214_0"	167.2
15.6	93.6	"SHF21_2"	15.7	92.5	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	62	18.9	74.1	"FDC2214_0"	220.1
15.6	93.7	"SHF21_2"	15.7	92.8	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	59	18.6	74.4	"FDC2214_0"	149.5
15.9	93.8	"SHF21_2"	15.6	92.6	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	56	19.4	74.8	"FDC2214_0"	160.2
15.4	93.8	"SHF21_2"	15.6	92.7	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	62	17.9	75.6	"FDC2214_0"	118.9
15.3	93.9	"SHF21_2"	15.3	92.9	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	66	17.7	75.8	"FDC2214_0"	161.2
15.3	94	"SHF21_2"	15.3	93	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	61	17.6	76.2	"FDC2214_0"	149.3
15.1	94.3	"SHF21_2"	15.2	93.2	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	67	17.4	76.5	"FDC2214_0"	149.1
15	94.8	"SHF21_2"	15.1	93.3	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	"SCD30_0"	64	17.3	76.5	"FDC2214_0"	150.4

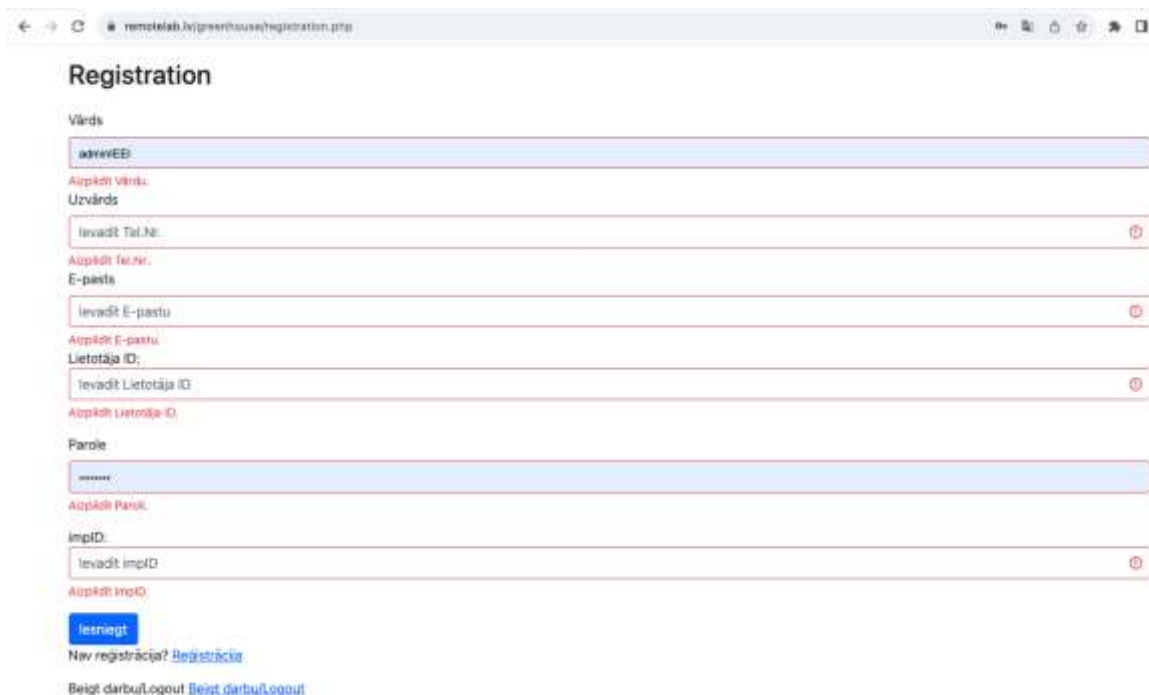
Attēls 2.10. Datubāzes ierakstu piemērs.

Darbs ar siltumnīcu datu iegūšanas – vizualizācijas portālu.

Dati tiek attēloti portālā <https://remotelab.lv/greenhouse/>.

Darbībai ar portālu nepieciešams tajā reģistrēties (Attēls 2.11.) izmantojot saites

- <https://remotelab.lv/greenhouse/registration.php> vai
- <https://remotelab.lv/greenhouse/login.php>



The screenshot shows the 'Registration' form in a web browser. The form includes the following fields and labels:

- Vārds** (Name): Input field with 'adminEEI'.
- Aizpildīt vārdu.** (Fill in name): Red error message.
- Uzvārds** (Surname): Input field.
- Ievadiet Tel.Nr.** (Enter phone number): Input field with a red error message.
- Aizpildīt Tel.nr.** (Fill in phone number): Red error message.
- E-pasts** (Email): Input field.
- Ievadiet E-pastu** (Enter email): Input field with a red error message.
- Aizpildīt E-pastu.** (Fill in email): Red error message.
- Lietotāja ID:** (User ID): Input field.
- Ievadiet Lietotāja ID** (Enter User ID): Input field with a red error message.
- Aizpildīt Lietotāja ID.** (Fill in User ID): Red error message.
- Parole** (Password): Input field.
- Aizpildīt Paroli.** (Fill in password): Red error message.
- implD:** (implD): Input field.
- Ievadiet implD** (Enter implD): Input field with a red error message.
- Aizpildīt implD** (Fill in implD): Red error message.

At the bottom of the form, there is a blue 'Iesniegt' (Submit) button, a link 'Nav reģistrācija? Reģistrācija' (No registration? Registration), and a link 'Beigt darbu/Logout Beigt darbu/Logout'.

Attēls 2.11. Sistēmas lietotāja un siltumnīcas reģistrācijas logs.

Pēc reģistrācijas, piekļuve sistēmai turpmāk vienmēr nodrošina Lietotāja ID un Parolies ivadišana atbilstošajos teksta logos (Attēls 2.12.), izmantojot saiti <https://remotelab.lv/greenhouse/login.php>.

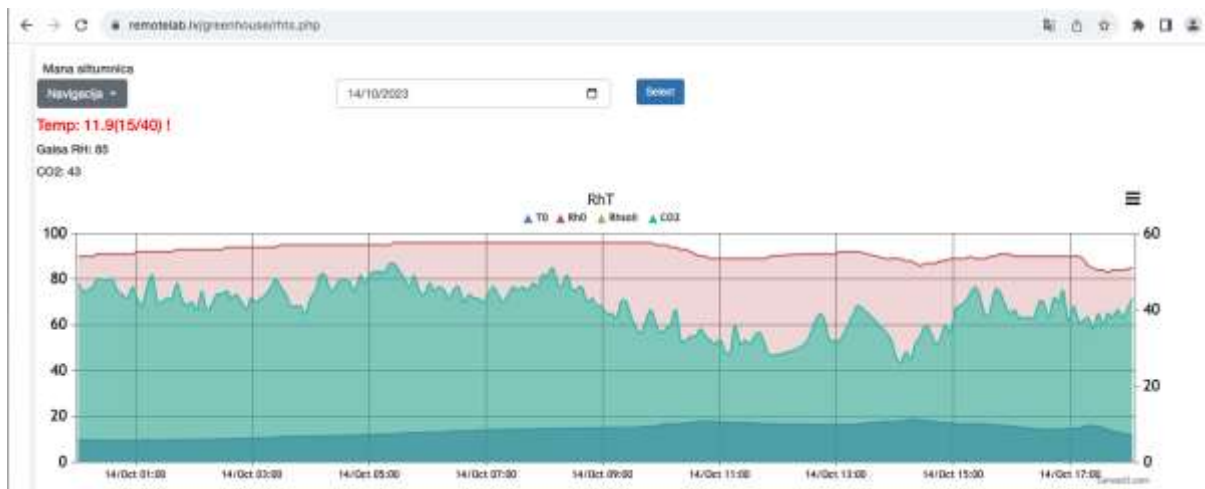


The screenshot shows the 'Login' form in a web browser. The form includes the following fields and labels:

- Lietotāja ID:** (User ID): Input field with 'adminIEEI'.
- Parole** (Password): Input field.
- Iesniegt** (Submit): Blue button.
- Nav reģistrācija? Reģistrācija** (No registration? Registration): Link.
- Beigt darbu/Logout Beigt darbu/Logout**: Link.

Attēls 2.12. Sistēmas pieslēgšanās logs.

Pēc pieslēgšanās, lietotājs automātiski tiek novirzīts uz savas siltumnīcas mājaslapu, kurā attēlo tekošās dienas informāciju par temperatūras, gaisa mitruma, augsnes mitruma, CO2 izmaiņām (atbilstīgi pieslēgtajiem sensoriem) - Attēls 2.13. Iespējams izvēlēties arī informāciju par kādu no iepriekšējo dienu mērījumiem.

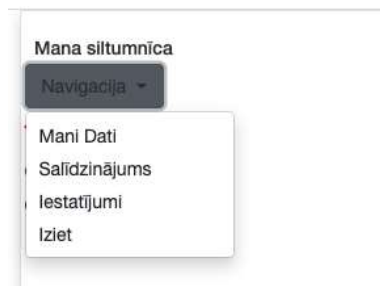


Attēls 2.13. Sistēmas dati par katra lietotāja siltumnīcu.

Sistēmā vienmēr attēlo pēdējos datus par gaisa temperatūru, augsnes un gaisa mitrumu, CO2 (atbilstoši pieslēgtajiem sensoriem), lapas augšējā kreisā stūrī zem "Navigācija". Sistēmā katra lietotājs savai siltumnīcai var definēt temperatūras un augsnes mitruma robežas Max, Min. (Attēls 2.14.), ja tās tiek pārsniegtas (par augstu, par zemu), tad mainās atbilstošo datu informācijas krāsa uz sarkanu, kas reizē darbojas kā **"trauksmes signāls"** (Alarming).

Attēls 2.14. Sistēmas katra lietotāja iestādītie limiti trauksmes signāliem

Pāreja uz dažādām lapām notiek ar izvēles "Navigācija" palīdzību (Attēls 2.15.).



Attēls 2.15. Sistēmas navigācijas izvēle.

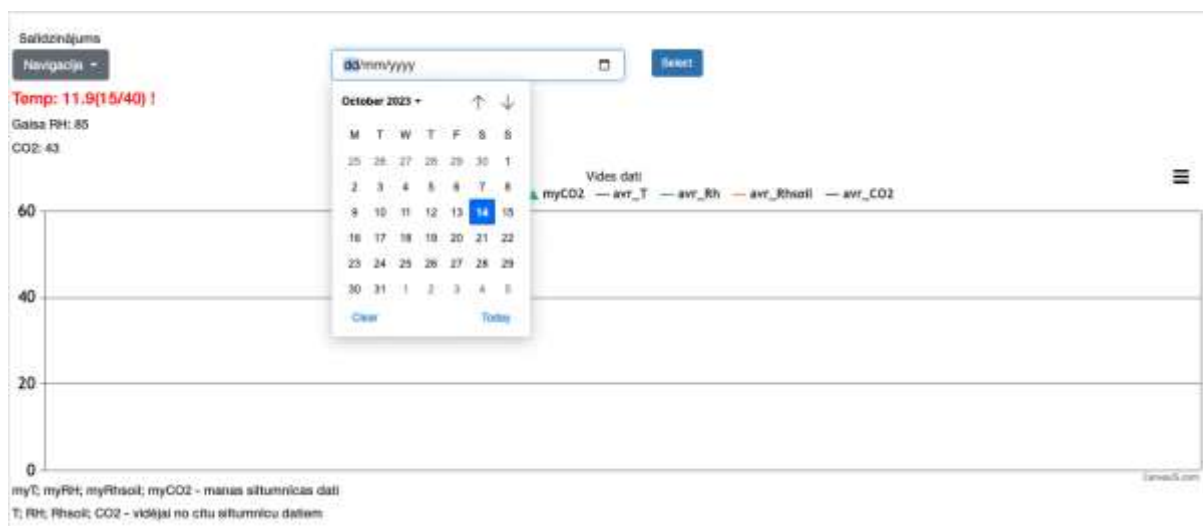
2.3.2 IRIS – Barometra tehniskais risinājums

Izvēloties “Salīdzinājums”, lietotājs redz savas siltumnīcas datus ar visu pārējo sistēmai pieslēgto siltumnīcu datu vidējām vērtībām (Attēls 2.16.).



Attēls 2.16. Lietotāja siltumnīcas datu salīdzinājums ar visu pārējo sistēmai pieslēgto siltumnīcu datu vidējām vērtībām.

Siltumnīcu datu salīdzinājums dod iespēju iegūt references datus – barometrs – atbilstoši izvēloties datumu (Attēls 2.17.).



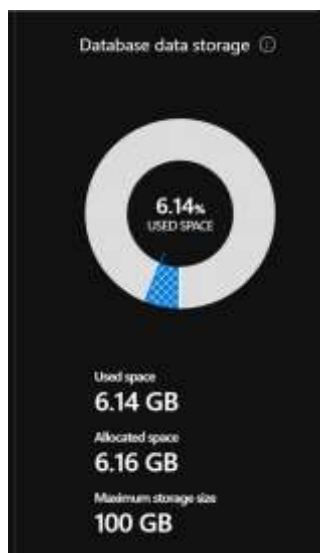
Attēls 2.17. Datuma izvēle datu salīdzinājums ar visu pārējo sistēmai pieslēgto siltumnīcu datu vidējām vērtībām.

Grafiku veidošanai izmanto Canvasjs izstrādātos programmatūras spraudņus [8]. Grafikos datu līknes var attēlot vai paslēpt attiecīgi uzklikšķinot uz attiecīgā parametra nosaukuma grafika Leģendā (piem., myT – manas siltumnīcas temperatūra). Grafiku daļas iespējams palielināt, sīkākā informācija [8].

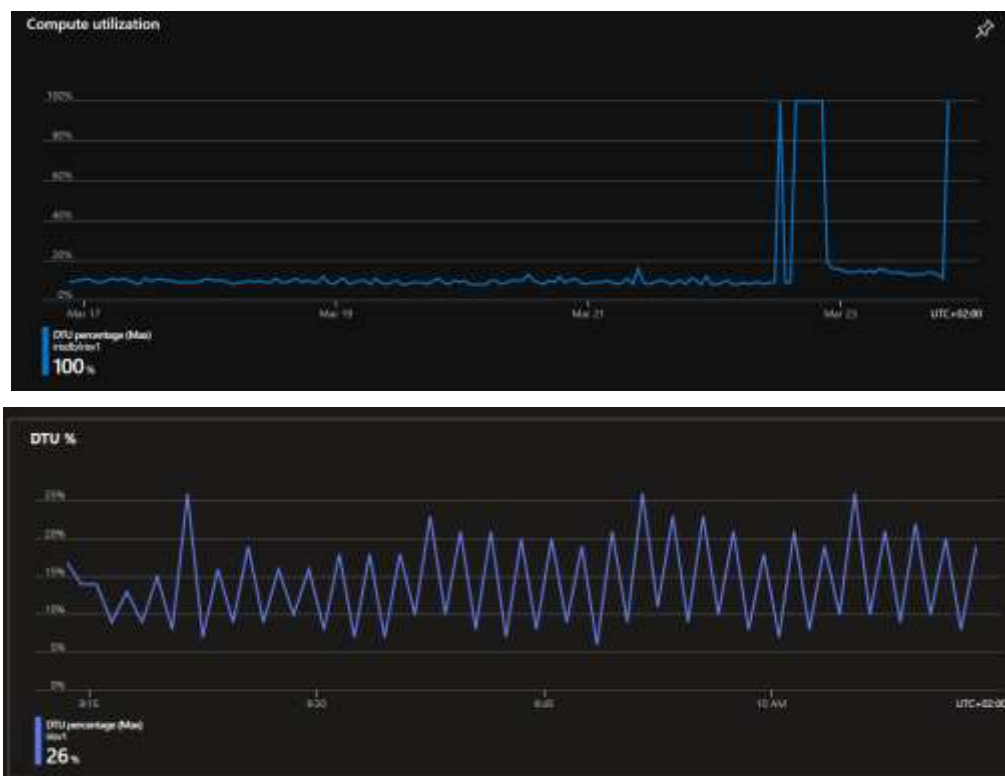
2.4 IRIS sistēmas programmatūras izstrāde

IRIS projektā, bez sensoru sistēmas, svarīgas komponentes ir pati datubāze un programmatūras izstrāde, kas ietver arī lietotāja saskarni, un nepārtrauktu pilnveidošanu atbilstoši arhitektūras izmaiņām, ietverot arī risinājuma migrāciju uz Microsoft Azure mākoņskaitļošanas platformu, servera izvēli (piem. dators / Azure serveris / RTU serveris). IRIS projekta ietvaros tika analizēta arī sistēmas uzturēšanas izmaksu komponente, jo gan Azure pakalpojumu cenrādis mainījās izstrādes laikā, gan arī parādījās nepieciešamība samazināt izmaksas, lai maksimāli tuvinātu Latvijas lietotājam draudzīgāku servisu. Turklāt no gala lietotāju aptaujām, tika secināts, ka tam nav nepieciešams liels/smalks datu apjoms, netiek veikta dziļa datu analīze, kamēr netiek identificētas novirzes vai problēmas pašam augam.

Uz šī pārskata sagatavošanas brīdi datubāzes izmērs sastāda 46,74 GB (att. 2.18.). Šobrīd datubāzei piešķirtais skaitļošanas resursu apjoms ir minimāls un tas ļauj veiksmīgi saņemt datus, taču pie lietotāju mēģinājuma veikt datu ielādi no tabulām, kurās ir vairāk par 140 miljoniem ierakstu, ir novērojams nepietiekams piešķirto datubāzes skaitļošanas resursu apjoms, kas atstāj negatīvu ietekmi uz datu ielādes un attēlošanas ātrumu. Redzot esošo sistēmas datu plūsmu 100GB limits tiks sasniegts turpmāko 12-18 mēnešu laikā.



Attēls 2.18. IRIS datu bāzes izdalītais un izmantotais apjoms



Attēls 2.19. IRIS datu bāzes piešķirta skaitļošanas resursu izmantošana.

Pēdējo 2 gadu lietu interneta mikrokontrolieru un datu analīzes tehnoloģiju attīstība ir notikusi ļoti strauji. IRIS projekta ietvaros uzkrātie dati var tikt izmantoti lai:

- Realizēt starpdisciplinārus datos sakņotus pētījumus, jo dati apvienojumā ar augu parametru mērījumiem sniedz iespēju izskaidrot viena vai cita faktora ietekmi uz ražas apjomu, kvalitāti, slimību uzņemšanu u.c. aspektiem
- Izstrādāt mašīnmācīšanās un dziļās apmācības mākslīgo neironu tīklu modeļus, piemēram, anomāliju noteikšana, cikliskuma uzraudzība, u.tml.
- Veikt sensoru kvalitātes un uzticamības mērījumus
- Izveidot zinātnisko datu kopas publicēšana un citējamības celšanai

Nemot vērā augstāk minēto, IRIS komanda plāno turpināt datu uzkrāšanu un ilgtermiņa glabāšanu ar mērķi tos izmantot citos pētījumos un projektos.

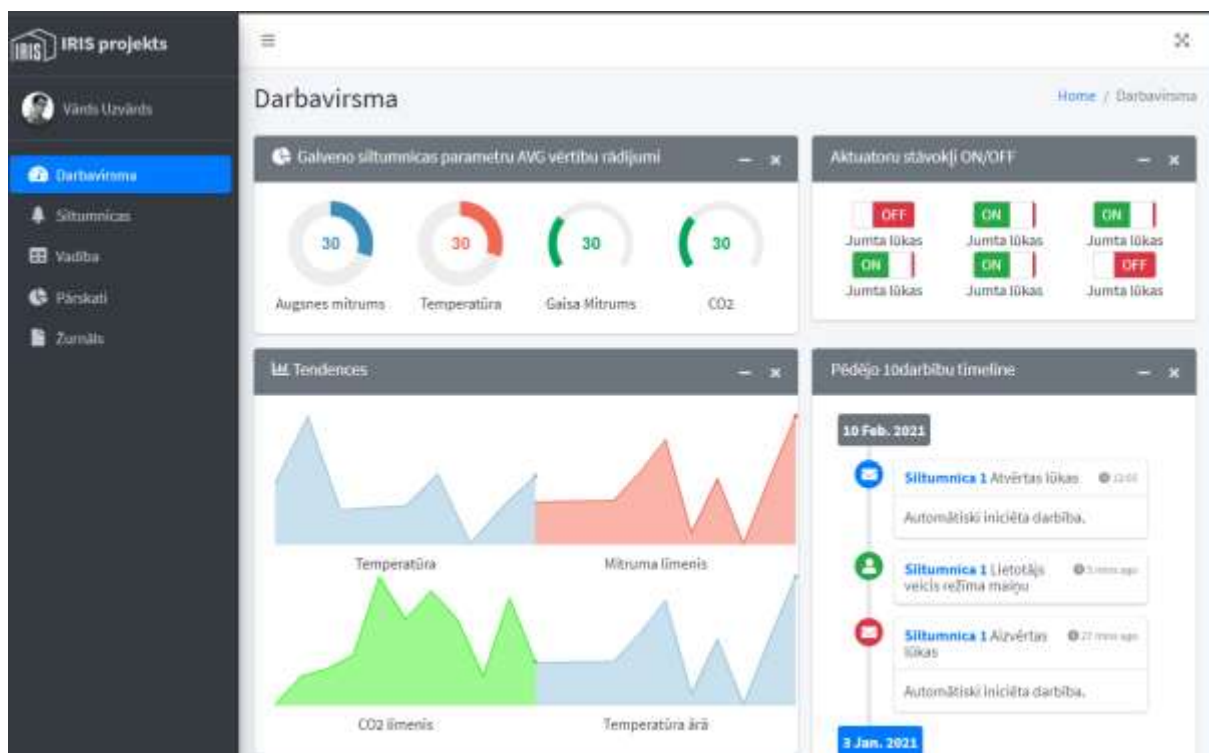
2.5 IRIS lietotāju WEB saskarnes izstrāde

IRIS lietotāju saskarne ir veidota kā HTML5 WEB lietojums ar adaptīva dizaina komponentēm. Šādu izvēli pamato funkcionālā prasība, kas nosaka, ka risinājumam ir jādarbības uz dažāda izmēra iekārtām, proti, personālā datoriem, planšetes un viedtelefoniem.

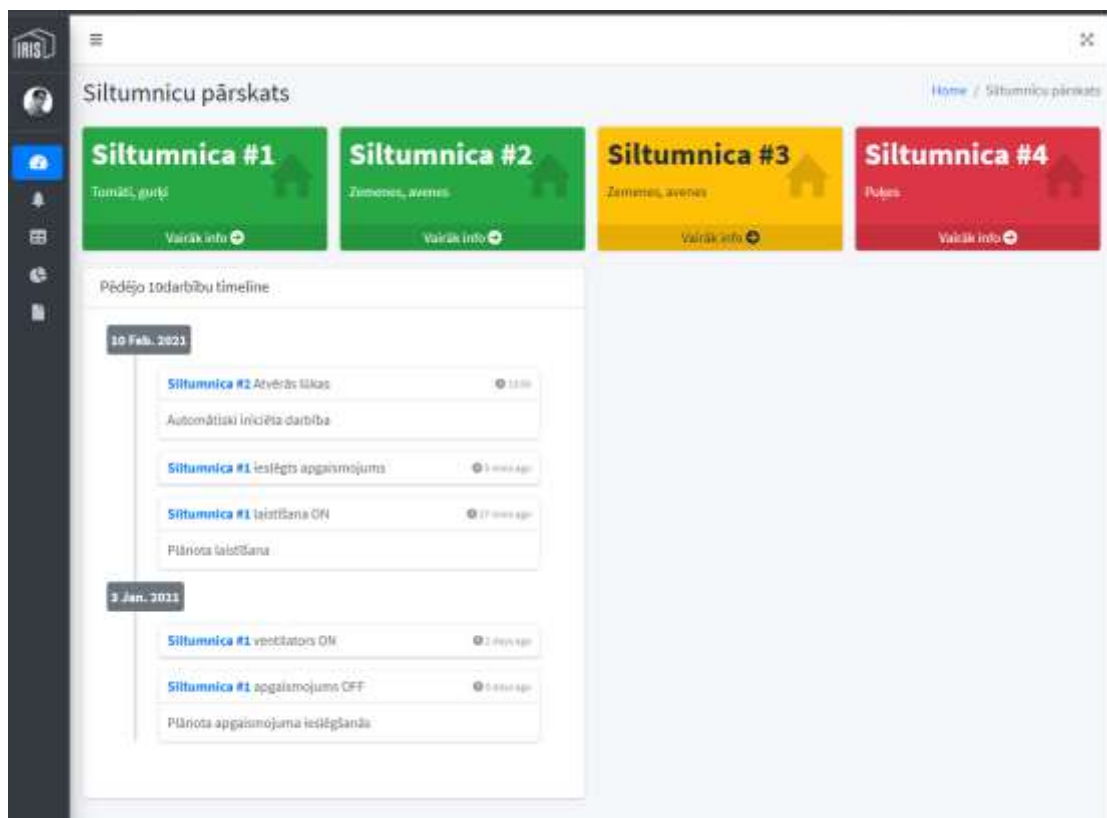
IRIS sistēmas lietotāja saskarnes izstrādes process tika sadalīts 2 posmos: 1) Posmā tika izveidots funkcionāls saskarnes makets, savukārt 2) Posmā saskarnes gala versija. Šāda pieeja ļāva izmēģināt dažādus saskarnes veidus un funkcionalitāti relatīvi īsā laika posmā.

Šobrīd lietotāja saskarnē ir implementētas vairākas sadaļas Sadaļa *Darba virsma* parāda lietotājam pārskata informāciju par esošo situāciju siltumnīcā (skat. attēls 2.20.). Sadaļā ir grafiku veidā atspoguļota informācija par aktuālo augsnes mitrumu, gaisa temperatūru, gaisa mitrumu un CO₂. Šī informācija agronomam ļauj ātri novērtēt, vai visi parametri ir plānotajās robežās. Aktuatoru faktiskais stāvoklis paredzēts, lai siltumnīcas operators varētu atbilstoši nepieciešamībai veikt izmaiņas to stāvoklī. Tendences sadaļā grafiku veidā ir attēloti pēdējie 10 mērījumi katrā no grupām, lai tādējādi ilustrētu mērīto procesu dabu, proti, vai parametra vērtībai ir tendence augt, samazināties vai tā ir nemainīga. Pēdējo 10 darbību laika sadaļa parāda, kādas darbības ir veiktas siltumnīcā un kurš tās ir veicis. Šobrīd ir plānotas 2 alternatīvas, kur primāri darbības notiek automātiskā režīmā un sekundāri ir lietotāja veiktās izmaiņas.

Sadaļa *Siltumnīcas* ļauj gūt informāciju par pašreizējo stāvokli gadījumā, ja ir vairākas siltumnīcās. Zaļā krāsa simbolizē, ka visi parametri ir normas robežās, dzeltenā, ka ir nepieciešama uzmanība un sarkanā, ka ir kritiska problēma (attēls 2.21.).

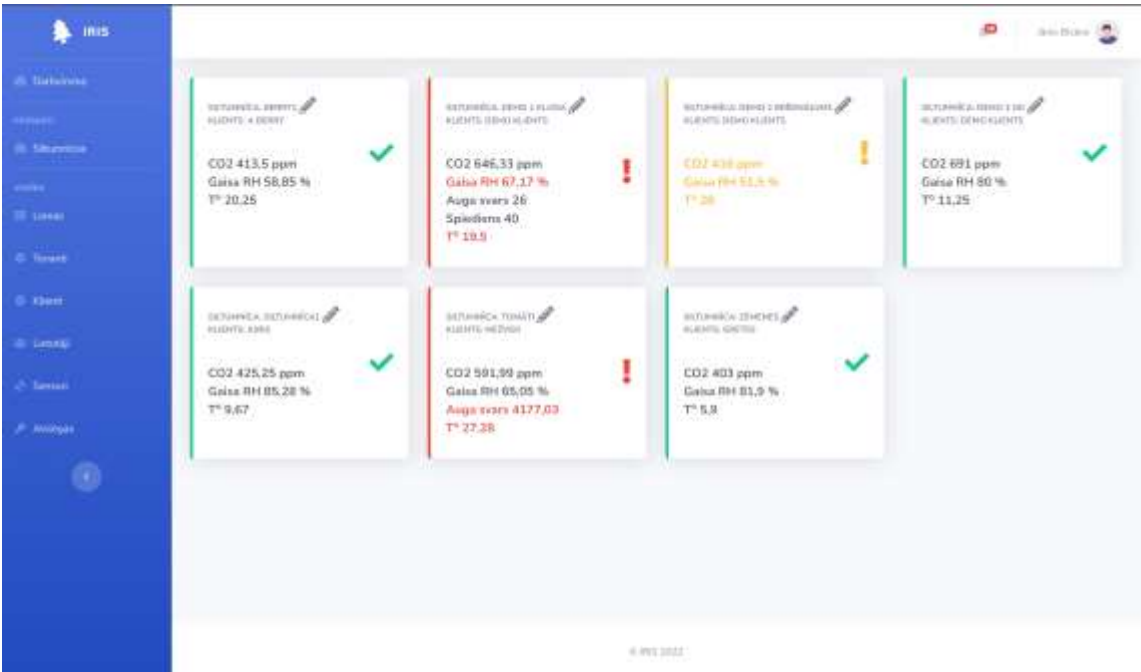


Attēls 2.20. IRIS darba virsmas attēls.



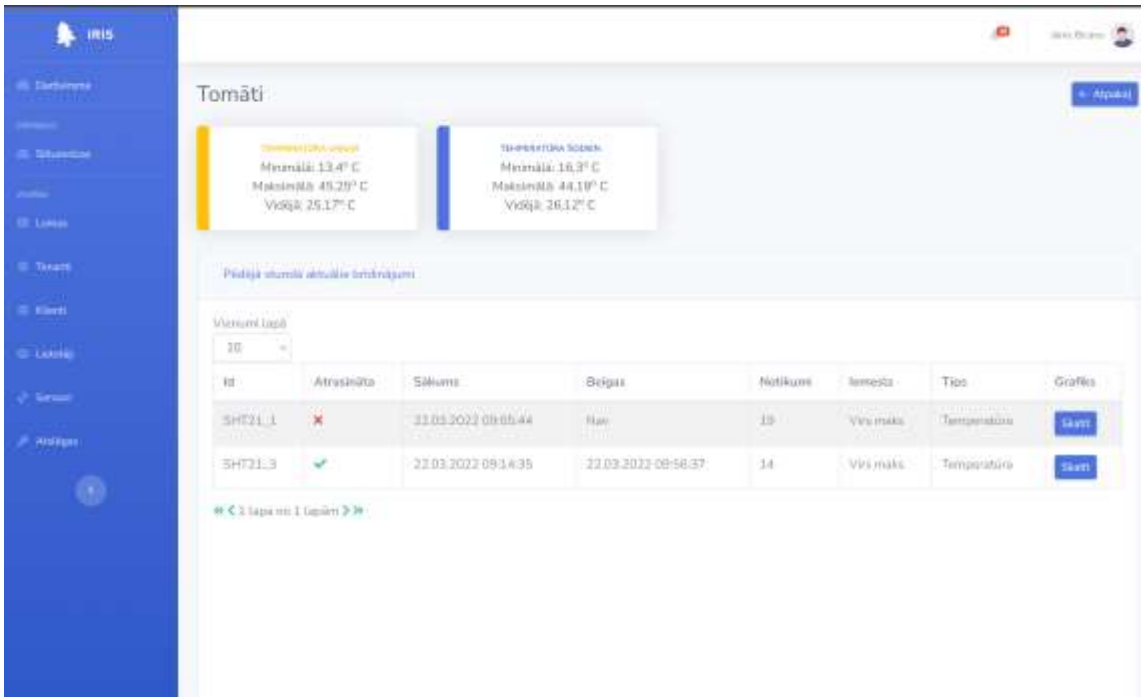
Attēls 2.21. Attēls – Siltumnīcu pārskats.

Sadaļā *Vadība* paredz lietotāja iespēju definēt darbības režīmu. Sadaļā *Pārskati* dod iespēju attēlot nepieciešamus rādītājus, bet sadaļa *Žurnāls* ir paredzēta sistēmā veikto darbību žurnāla datu attēlošanai. Tika izstrādāta lietotāja saskarne, kurai ir 2 sadaļas – gala lietotāja sadaļa, kurā ir redzamas lietotājam piešķirtās siltumnīcas un administratora daļa, kas ļauj pārvaldīt lomas, sensorus, lietotājus, u.c. sistēmas elementus (att. 2.22. – 2.31.). Diemžēl, nācās atteikties no aktuatoru/vadības elementu faktiskas implementācijas, jo tā brīža interneta stabilitāte un sistēmas sensoru datu uzticamība viesa šaubas par vadības elementu darbības noturību.

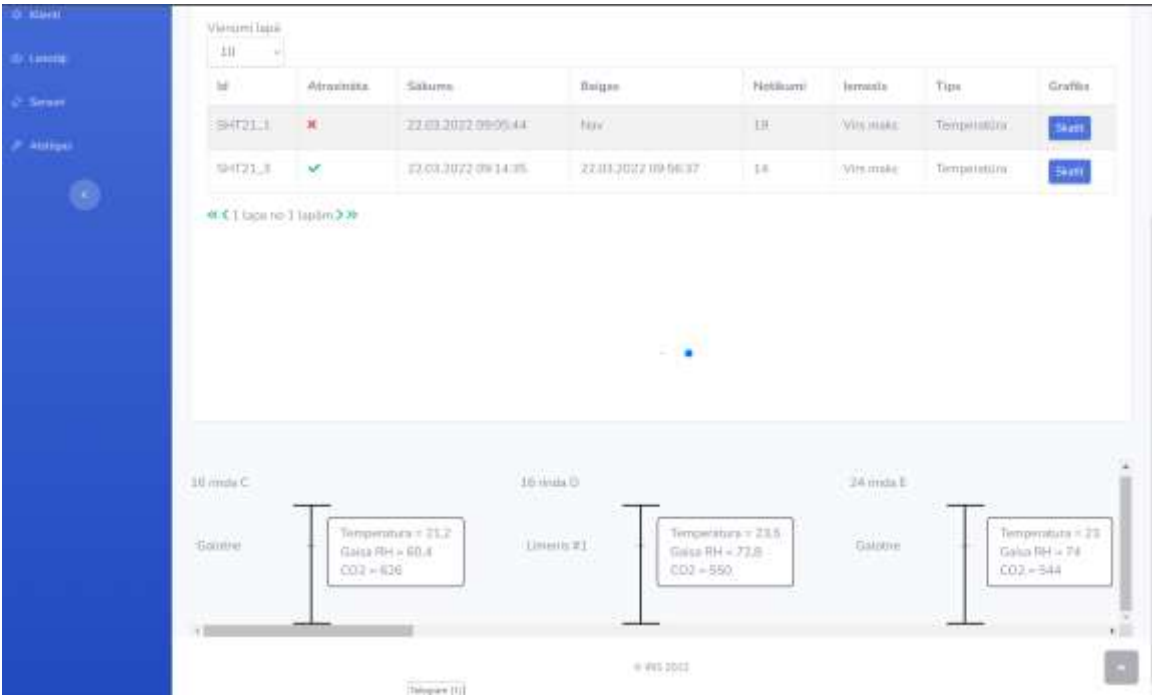


Attēls 2.22. Gala lietotāja saskarnes darba virsmas skats

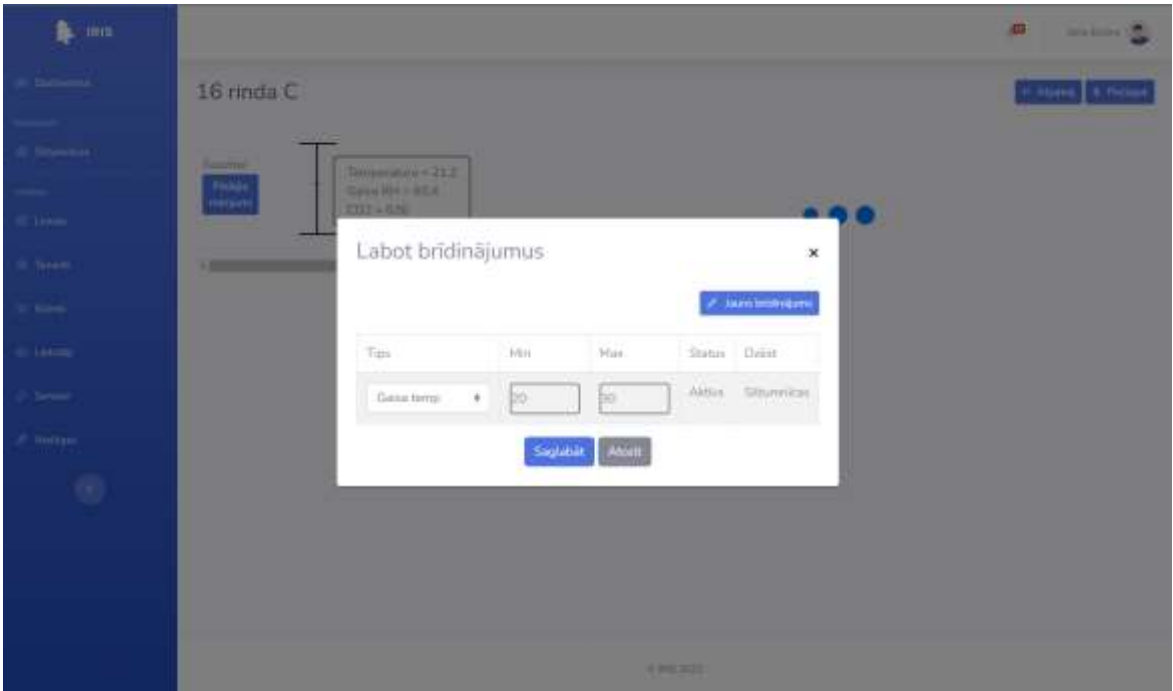
Siltumnīcas trauksmju/brīdinājumu statuss, kas ilustrē iepriekšējās dienas temperatūru režīmu, tekošo temperatūru režīmu un vai ir aktivizēts kāds no sistēmas brīdinājumiem



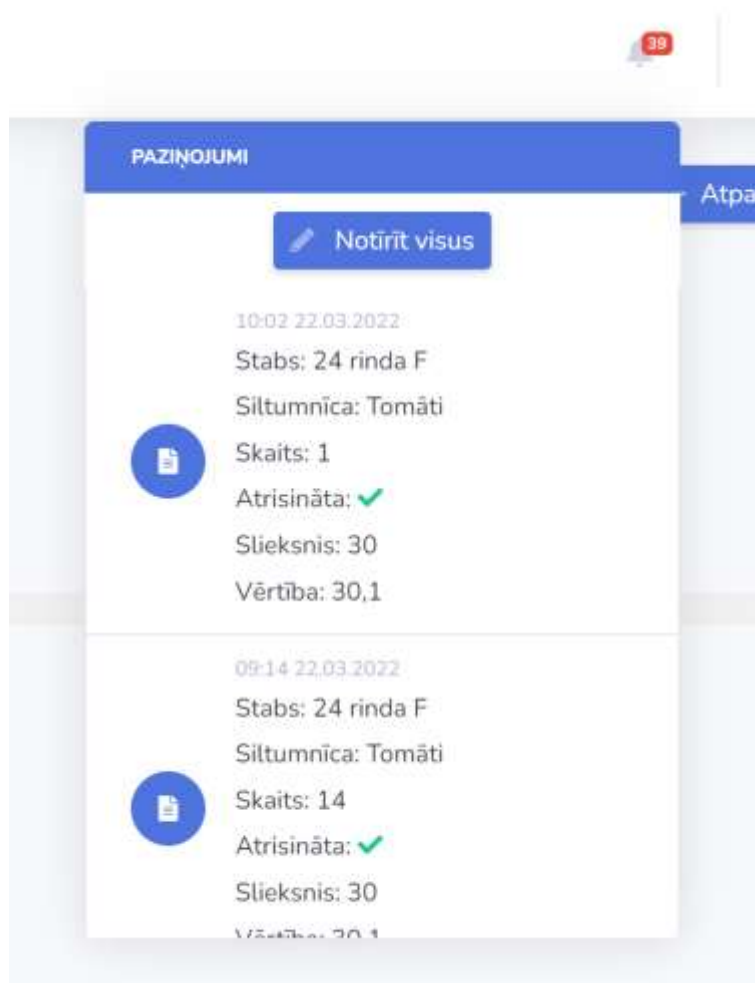
Attēls 2.23. Siltumnīcas skata otrā daļa



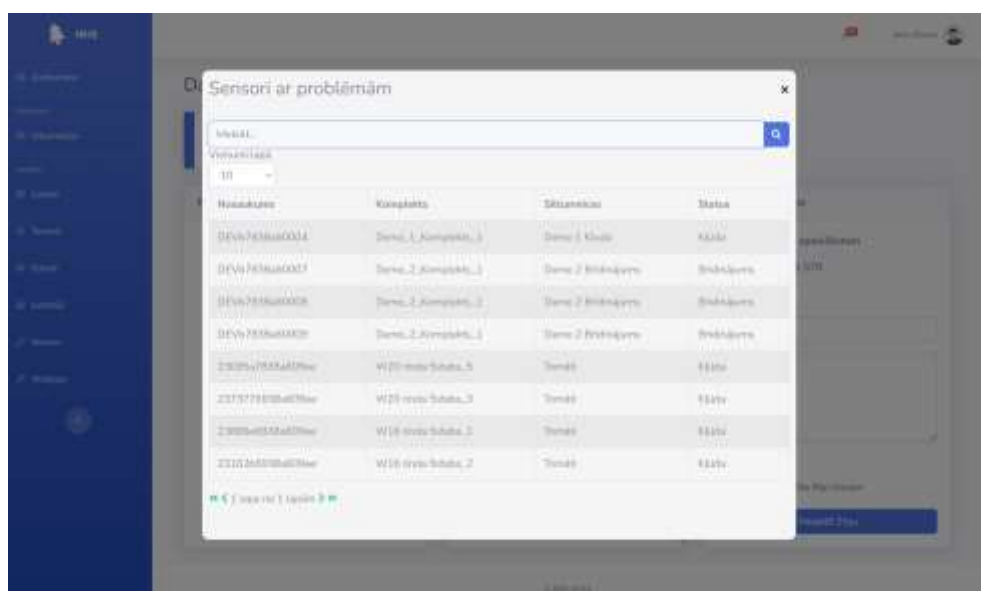
Attēls 2.24. Siltumnīcas skats – sensoru attēlošana



Attēls 2.25. Brīdinājuma iestatīšanas logs



Attēls 2.26. Paziņojumu skata alternatīvais logs



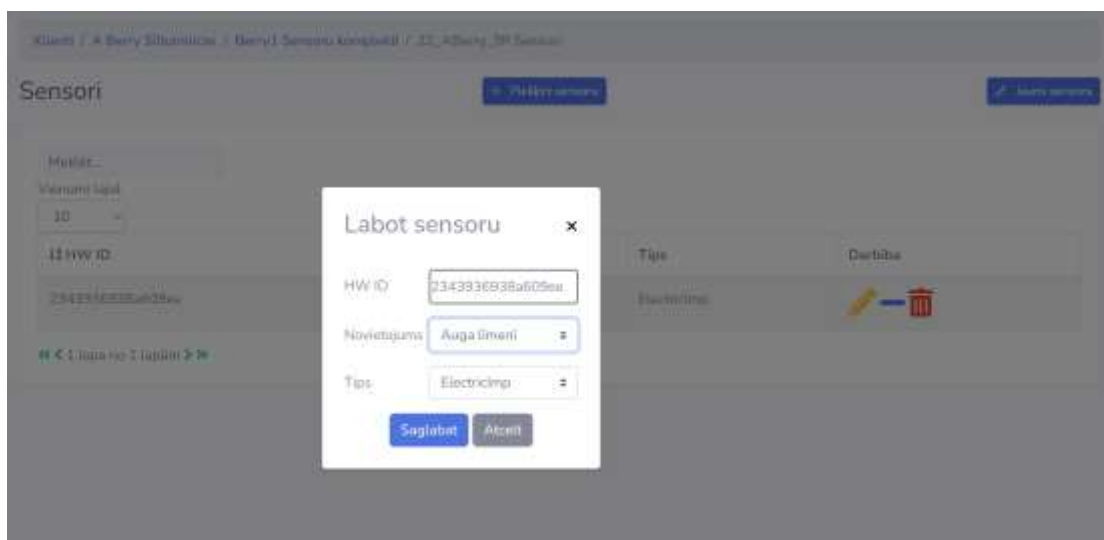
Attēls 2.27. Sensoru statusa pārskata logs

Nosaukums	ID	Tenant	Aktīvs	Darbība
A. Berry	ABERRY	Latvijas siltumtīcības	✓	
Doms Klienta	DomsLI	Izstrāde	✓	
Grieķis	Grieķis	Kopīgais	✓	
Jurks	Jurks	Latvijas siltumtīcības	✓	
Mačvāls	MAČVĀLS	Mačvāls	✓	
Purva Siltumtīcība	PTD	Kopīgais	✓	
RTU Izstrāde	RTU	Izstrāde	✓	

Attēls 2.28. Klientu pārskata logs

Nosaukums	Tenant	Klients	Sistēma	Komplekss	Darbība
23085a7838a609ee	Mačvāls	Mačvāls	Tomāts	W30 rinda Sotabs.5	
2311798338a609ee	Mačvāls	Mačvāls	Tomāts	24 rinda B	
2310757828a609ee	Latvijas siltumtīcības	Jurks	Siltumtīcība	12. kums. Stāvs	
2316206838a609ee	Mačvāls	Mačvāls	Tomāts	W36 rinda Sotabs.2	
231a516838a609ee	Nāv	Nāv	Nāv	Nāv	
231d546838a609ee	Mačvāls	Mačvāls	Tomāts	16 rinda C	
231f467838a609ee	Nāv	Nāv	Nāv	Nāv	
2313517838a609ee	Mačvāls	Mačvāls	Tomāts	24 rinda B	
231a366838a609ee	Nāv	Nāv	Nāv	Nāv	

Attēls 2.29. Sistēmā reģistrēto sensoru saraksts



Attēls 2.30. Sensora parametru maiņas logs

IRIS projekta lietotāju saskarne ir pārveidota izmantojot modernāka izskata elementus, kā arī samazināts iekļauto bibliotēku skaits. Pievienotas jaunas bibliotēkas un veikti papildinājumi grafiku attēlošanai (Attēls 2.31.).

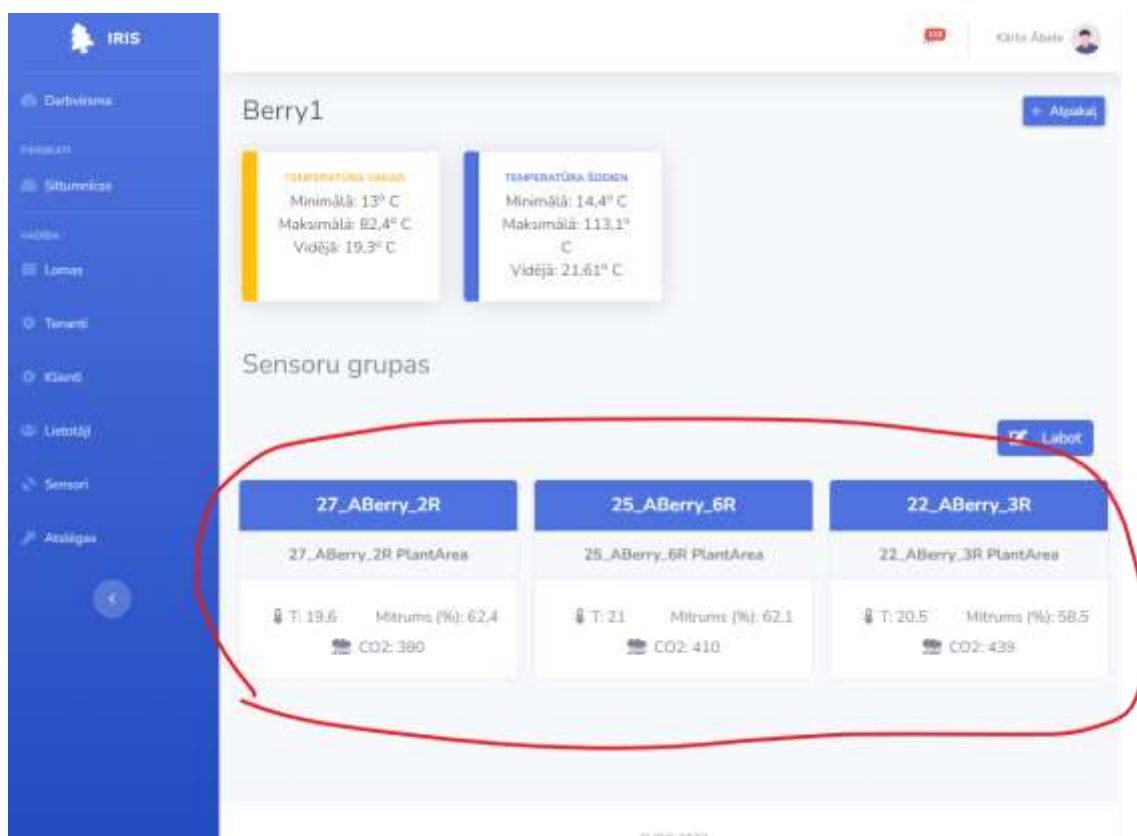


Attēls 2.31. Grafiku attēlošanas bibliotēkas paraugs

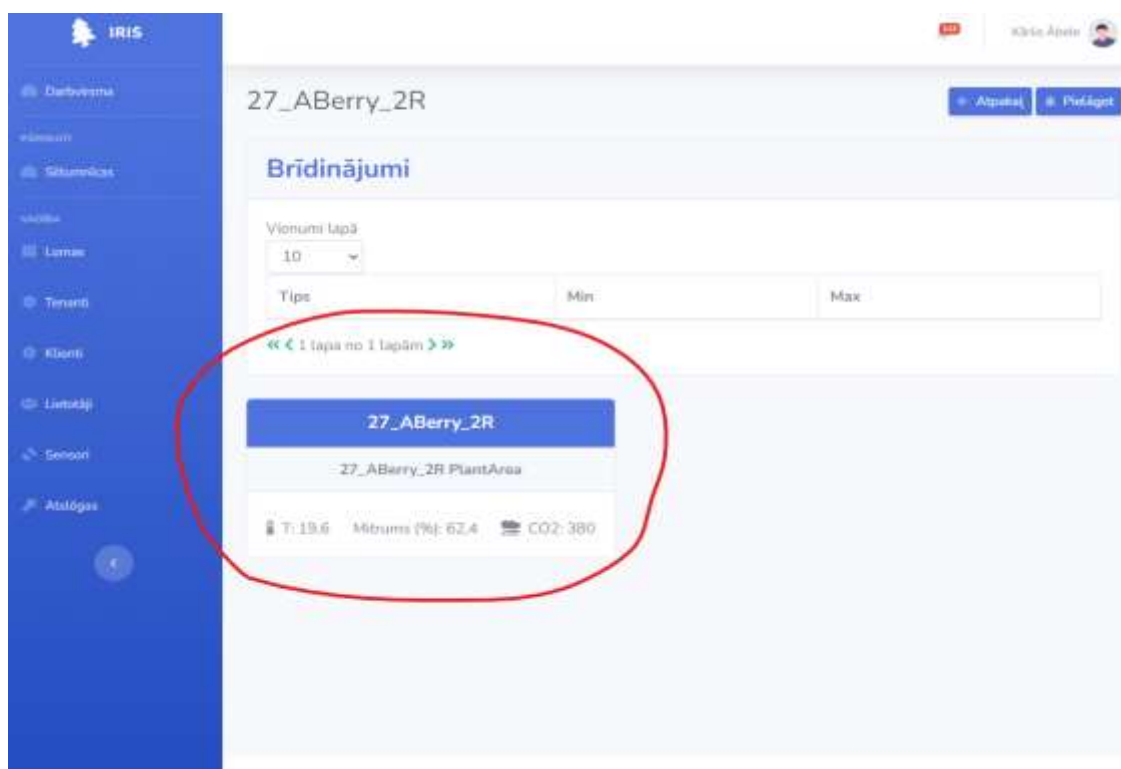
2.5.1 Atkārtoti izmantojamu dizaina komponentu izstrāde

Lai uzlabotu un atvieglotu izstrādes procesu, esošie dizaina elementi optimizēti un pārveidoti par atkārtoti izmantojamiem komponentiem, kas nodrošina iespēju dažādās sadaļās attēlot grafiskus elementus vienotā stilā neradot papildu koda dublēšanos un atvieglot izmaiņu veikšanu konkrētiem komponentiem. (Attēls 2.32. – 2.33.)

Paraugu attēlos redzamas Sensoru komponentes, kas attēlotas dažādās sistēmas sadaļās. Ja komponente tiek izmainīta vienā sadaļā, izmaiņas attēlojas arī citās, kas ievērojami atvieglo sistēmas uzturēšanu, kā arī nodrošina vienotu stilu elementiem dažādās sistēmas sadaļās.



Attēls 2.32. Sensoru komplektu komponentes Siltumnīcas pārskata sadaļā



Attēls 2.33. Sensoru komplektu komponente attēlota Sensora komplekta pārskata sadaļā

2.5.2 Datubāzes ātrdarbības atklūdošana

Izstrādes un testēšanas procesā tika atklātas ātrdarbības problēmas, ielasot vēsturiskos sensoru mērījumu datus. Veicot vienkāršotu datu ielasi, izmantojot indeksētu datubāzes kolonnu, datu ielases laiks ievērojami pārsniedza sagaidāmo.

Lai pārbaudītu vaicājumu izpildes ātrumu, tika izmantots vienkāršs ierakstu skaitīšanas vaicājums. Viens no vaicājumu piemēriem:

```
SELECT count(SensorReadingKeyGuid) FROM IrisTemperatureSensorPreviousReadings;
```

Veicot vienkāršoto vaicājumu, atklājās, ka vaicājuma izpildes laiks pārsniedza vairākas minūtes, kas šāda veida vaicājumam ir ievērojami ilgs izpildes laiks un liecina par datubāzes neoptimālu darbību. Lai pārlicinātos, vai datubāzes indeksi tiek izmantoti optimāli, tika izmantots vaicājums, kas nosaka indeksu fragmentāciju

```
SELECT OBJECT_NAME(ind.OBJECT_ID) AS TableName,
       ind.name AS IndexName,
       indexstats.index_type_desc AS IndexType,
       indexstats.avg_fragmentation_in_percent
FROM sys.dm_db_index_physical_stats(DB_ID(), NULL, NULL, NULL, NULL) indexstats
     INNER JOIN sys.indexes ind ON ind.object_id = indexstats.object_id AND ind.index_id =
indexstats.index_id
ORDER BY indexstats.avg_fragmentation_in_percent DESC;
```

Vaicājuma atgrieztie rezultāti liecināja par indeksu datu fragmentāciju, kas ievērojami ietekmēja vaicājumu izpildes ātrumu. Lai uzlabotu datubāzes ātrdarbību, indeksi tika optimizēti izmantojot iebūvētu funkcionalitāti. Piemēra vaicājums indeksu optimizēšanai:

```
ALTER INDEX ALL on IrisTemperatureSensorPreviousReadings REBUILD;
```

Pēc indeksu optimizācijas, bija vērojama datubāzes ātrdarbības uzlabošanās - atkārtoti veicot atklūdošanas vaicājumus, to izpildes laiks samazinājās līdz pat 100 reizēm. Pēc šīs atklūdošanas, nonākam pie secinājuma, ka iepriekš izmantotās datubāzes automātiskās optimizācijas rīki nefunkcionēja pareizi, un jāizmanto šis risinājums konkrētajai problēmai.



Attēls 2.34. Izveidotais jaunais process.

2.6 IRIS sensoru sistēmas izstrāde

2.6.1 IRIS sensoru moduļa programmatūras izstrāde un optimizācija

IRIS sensoru moduļa galvenā sastāvdaļa ir mikrokontrolieris imp001 ar bezvadu (WiFi) komunikāciju iespēju. Papildus mikrokontrolierim tiek izmantoti dažādi sensori, ar kuriem mērīt siltumnīcās esošā klimata parametrus. Sensoru klāstā ietilpst:

- SHT21 gaisa temperatūras un relatīvā mitruma sensors
- SCD30 oglekļa dioksīda koncentrācijas, gaisa temperatūras un relatīvā mitruma sensors
- MS5637 gaisa barometriskā spiediena un temperatūras sensors
- FDC2214 kapacitātes mērīšanas mikroshēma, ar kuru iespējams mērīt augšnes mitrumu
- Meteostacija vēja virziena un ātruma, nokrišņu daudzuma un āra temperatūras, mitruma, CO2 un gaisa spiediena noteikšanai

Lai varētu mainīt sensoru konfigurāciju (sensoru skaits virtenē, izmantoto sensoru tips un izmantoto vienādo sensoru skaits), ir nepieciešams izstrādāt programmas kodu tā, lai būtu maksimāli vienkārši mainīt tā konfigurāciju, nemainot programmas kodolu. Tas ir, pievienojot vai iespējot papildu koda rindas, tiek automātiski pievienots papildu sensors, tajā pašā laikā nemainot katra sensora pamata kodu, kurā definētas funkcijas un mainīgie, kas nepieciešami tā iestatīšanai un datu nolasīšanai un pārveidošanai no digitālas vērtības uz atbilstošo mērvienību.

Lai nodrošinātu iepriekš minēto funkcionalitāti, tiek izmantotas klases. Izmantojot klases, tajās tiek definētas visas piederīgās funkcijas un mainīgie, kuri ir saistīti ar konkrēto sensoru vai aktuatoru. Kad, klase ir definēta, tai ir iespējams pievienot elementus (sensorus) kā klases locekļus. Šādā veidā var tikt inicializēti un izmantoti vairāki vienādi sensori, kuri visi pieder vienai klasei un izmanto vienas un tās pašas funkcijas. Attēlā 2.35. redzamas klašu definīcijas katram sensora tipam un zemāk esošajās *init()* un *cycle()* funkcijās redzams, kā izmantojot šīs klases, tiek definēti jauni elementi, un no tiem tiek veikta datu nolasīšana ar atsevišķu, klasē definētu funkciju izmantošanu.

```

class FDC2214 {
class SHT21 {
class SCD30 {
class MS5637 {

function init() {
  imp.setpowersave(true);
  hardware.i2c89.configure(CLOCK_SPEED_100_KHZ);
  scd = SCD30(hardware.i2c89, 0);
  sht = SHT21(hardware.i2c89, 0); // address increased with 17C4316 by 0 before shift
  fdc = FDC2214(hardware.i2c89, 0);
  ms5637 = MS5637(hardware.i2c89, 0);
  local sht_state = sht.begin();
  local scd_state = scd.begin();
  local init_state = fdc.begin(0, 1, 18, 1, 75000, 25000, 1, 0); // (chanMask, autocon, deglitch, intdac, settleTime, conversionTime, differential, frequency)
  local ms5637_state = ms5637.begin();
  scd.startContinuous(); // 2 second reading intervals
}

function cycle() {
  imp.wakeup(10, cycle);
  local ms5637_p = ms5637.getPressure();
  local ms5637_t = ms5637.getTemperature();
  scd.updatePressure(ms5637_p);
  local scd_co2 = scd.getCo2();
  local scd_t = scd.getTemperature();
  local scd_h = scd.getHumidity();
  local sht_t = sht.getTemperature();
  local sht_h = sht.getHumidity();
  local fdc_capacitance = fdc.getCapacitance(0);
  local fdc_moisture = fdc.getMoisture(0);
}

```

Attēls 2.35. Klašu definīcijas atbilstoši katram sensora tipam.

Klase FDC2214

Šajā klasē definētas dažādas funkcijas, ar kuru palīdzību iespējams iestatīt FDC2214 mikroshēmu nepieciešamajā darbības režīmā atkarībā no pievienotā sensora konfigurācijas (viena elektroda vai diferenciālais sensors, LC kontūra rezonanses frekvences). Atkarībā no konfigurācijas var mainīties tādi parametri kā svārstību rimšanas laiks, mērījumu konvertācijas laiks, ierosmes strāva, elektromagnētiskā trokšņa atfiltrēšanas frekvence, kā arī citi konfigurācijas parametri.

Zemāk redzamajās formulās redzams, kā aprēķināt dažādu reģistru vērtības, balstoties uz nepieciešamo darbības raksturlielumu, piemēram t_{sc} parametrs, kas ir svārstību rimšanas laiks. Vai arī 28 bitu mainīgā pārvēršana par frekvenci vai kapacitāti notiek pēc zemāk redzamajiem vienādojumiem.

$$DATA_X = f_{sensor} * 2^{28}$$

$$t_{sc} = \frac{CHX_SETTLECOUNT * 16}{f_{REF}}$$

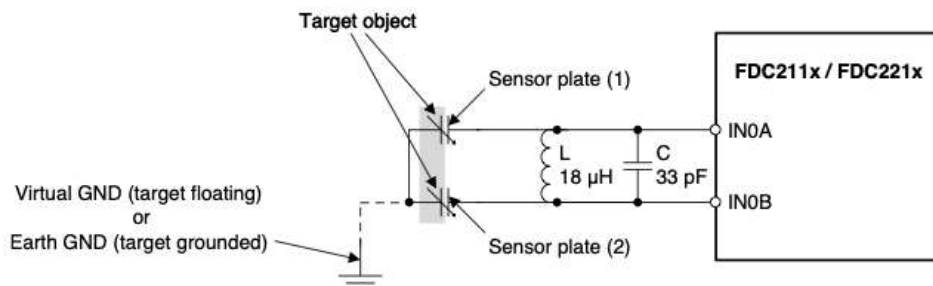
$$f_{sensor} = \frac{CHX_FIN_SEL * f_{REF} * DATA_X}{2^{28}}$$

$$C_{sensor} = \frac{1}{L * (2\pi * f_{sensor})^2} - C$$

Sensora fiziskā puse sastāv no FDC2214 mikroshēmas (kapacitātes-digitālais-pārveidotājs), kuram pievienotas dažādas pasīvās komponentes. Galvenās komponentes ir drosele (L) un kondensatori (C), kuri veido paralēlo LC rezonanses kontūru, kurš svārstās ar noteiktu frekvenci, kas redzama zemāk esošajā vienādojumā.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Atkarībā no L vai C lieluma mainās arī frekvence. Attēlā 2.36. "Target object" varam uztvert kā sensora elementu, kuram, atkarībā no kāda parametra maiņas (šajā gadījumā augsnes mitrums) mainās kapacitāte un, tātad, arī frekvence. FDC2214 mikroshēma mēra šo mainīgo frekvenci un pārvērš to 28 bitu mainīgajā, ko iespējams nolasīt ar mikrokontrolieri. Tālāk iespējams veikt pārveidojumus, izmantojot iepriekš apskatītos vienādojumus.



Attēls 2.36. Sensora elementu shematiska attēlošana, kuram atkarībā no kāda parametra maiņas mainās kapacitāte un tātad arī frekvence.

```

class FDC2214 {
    BASE_ADDR = 0x2A;
    //BASE_ADDR = 0x29;
    F_ref = 4000000;
    Inductance = 0.000015;
    cap_min = 880;
    cap_max = 1995;
    i2cPort = null;
    i2cAddr = null;
    regs = null;

    BITMASKS = {
    };
    REGS = {
    };
    constructor(i2cPort, deviceAddr) {
    };
    function begin(charMask, autoscan, deglitch, intOsc, settleCount, conversionTime, differential, frequency) {
    };
    function loadSettings(charMask, autoscan, deglitch, intOsc, settleCount, conversionTime, differential, frequency) {
    };
    function setConfig(charMask, autoscan, intOsc) {
    };
    function getConfig() {
    };
    function setSettleCount(microseconds) {
    };
    function setConversionTime(microseconds) {
    };
    function setOffset() {
    };
    function setClockDividers(differential, frequency) {
    };
    function setDriveCurrent(milliamperes) {
    };
    function setMuxRegister(autoscan, deglitch) {
    };
    function getMuxRegister() {
    };
    function getReading(channel) {
    };
    function getFrequency(channel) {
    };
    function getCapacitance(channel) {
    };
    function getMoisture(channel) {
    };
}

```

Attēls 2.37. Robežvērtības noteikšana, pieskaņojot augsnes mitruma diapazonam.

Pēc iestatīšanas ir iespējams nolasīt mikroshēmas datus, kā LC kontūra frekvenci, sensora kapacitāti, vai, šajā gadījumā, augsnes mitrumu, kur pārvades funkcija noteikta empīriski, balstoties uz sensora mērījumiem, kad tas atrodas gaisā, un tad, kad pilnībā iegremdēts ūdenī. Šādi tiek atrastas robežvērtības no 0 līdz 100% mitrumam. Taču, tā kā augsne spēj uzturēt tikai 30-40% mitruma sastāvu, tad šīs robežvērtības ir iespējams pieskaņot augsnes mitruma diapazonam (att. 2.37.).

Klase SHT21

Šajā klasē definētas funkcijas, kuras nepieciešamas, lai inicializētu sensoru ar noteiktu precizitātes pakāpi, kā arī funkcijas, lai nolasītu temperatūras un mitruma mērījumus. Šajās funkcijās temperatūra un relatīvais mitrums tiek aprēķināts pēc zemāk redzamajām formulām.

$$T = -46.85 + 175.72 * \frac{S_T}{2^{16}}$$

$$RH = -6 + 125 * \frac{S_H}{2^{16}}$$

```

class SHT21{
    BASE_ADDR = 0x40;
    i2cPort = null;
    i2cAddr = null;
    constructor(i2cPort, deviceAddr) {
    };
    function begin() {
    };
    function getTemperature() {
    };
    function getHumidity() {
    };
}

```

Attēls 2.38. Funkciju definēšana SHT21 klasē.

Klase SCD30

Šajā klasē definētas funkcijas, kuras nepieciešamas, lai inicializētu sensoru, kā arī funkcijas, lai iegūtu oglekļa dioksīda, temperatūras un mitruma mērījumus. Konfigurēšanas

iespējas iekļauj atmosfēras spiediena kompensāciju, mērījumu biežuma iestatīšanu, kā arī automātisko paškalibrāciju vai piespiedu kalibrāciju oglekļa dioksīda koncentrācijai. Lai varētu samazināt enerģijas patēriņu, ir paredzēta iespēja sensoru atslēgt, lai tas netērētu enerģiju brīžos, kad mikrokontrolieris neveic mērījumu nolasīšanu.

Nomērītos parametrus mikrokontrolieris saņem kā 4 baitu mainīgo, kuru pārvērš par mērvienībai atbilstošu skaitli, izmantojot zemāk redzamo vienādojumu.

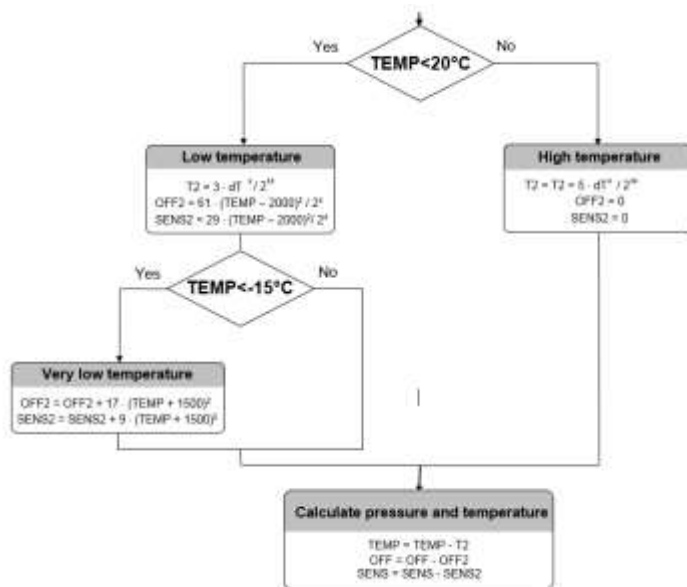
$$value = float(byte[0] \ll 24 + byte[1] \ll 16 + byte[2] \ll 8 + byte[3])$$

Pēc šī vienādojuma iespējams pārveidot saņemtos datus oglekļa dioksīda koncentrācijai, temperatūrai un mitrumam. Lai pārliecinātos par saņemto datu pareizību, nepieciešams veikt pārbaudes baita kalkulāciju un salīdzināt ar sensora sūtīto pārbaudes baitu.

Lai varētu veikt pēc iespējas precīzāku oglekļa dioksīda koncentrācijas noteikšanu, ir nepieciešams iegūt atmosfēras spiediena vērtību, kuru varētu izmantot SCD30 funkcijās, lai sensors varētu kompensēt koncentrācijas izmaiņu spiediena maiņas rezultātā. Šajā klasē definētās funkcijas inicializē sensoru, veic temperatūras un spiediena mērījumus. Temperatūras mērījums nepieciešams, lai precīzi nomērītu spiedienu, jo atkarībā no temperatūras, ir nepieciešams modificēt vienādojumu, pēc kura tiek aprēķināts spiediens. Loģika, pēc kura mainās aprēķina metode, ir redzama zemāk esošajā attēlā (att.2.40.).

```
class SCD30{
  BASE_ADDR = 0x61
  i2cPort = null
  i2cAddr = null
  constructor(i2cPort, deviceAddr) {}
  function begin(){
    //Calculate CRC for pressure and CO2 sensors
    //http://www.sunshine2k.de/coding/javascript/crc/crc_js.html
    function crcUpdate(byte1, byte2){
      //Check the received CRC against calculated
    }
    function crcCheck(array, crc){
    }
    function setInterval(interval){
    }
    function startContinuous(interval){
    }
    function updatePressure(pressure){
    }
    function stopContinuous(){
    }
    function getDataReady(){
    }
    function getData(){
    }
    function getCo2(){
    }
    function getTemperature(){
    }
    function getHumidity(){
    }
  }
}
```

Attēls 2.39. Klases MS5637 funkciju attēls.



Attēls 2.40. Loģika, pēc kura mainās aprēķina metode.

```

class MS5637{
    BASE_ADDR = 0x76
    i2cPort = null
    i2cAddr = null
    constructor(i2cPort, deviceAddr) {
        // MS5637 device commands
        commands = {
            // register addresses for eeprom calibration data
            prom_read_address = {
                // Coefficients indexes for temperature and pressure computation
                coefficients = {
                    eeprom_coeff = array(8);
                }
            }
            // start up sensor by resetting and reading eeprom calibration data
            function begin() {
                // Read eeprom memory of pressure sensor for calibration data
                function read_eeprom_coeff() {
                    function getDigitalTemperature() {
                    function getDigitalPressure() {
                    function calculateDt(digitalTemperature) {
                    function calculateTemperature(digitalTemperature) {
                    function getTemperature() {
                    function getPressure() {
                }
            }
    }
    
```

Attēls 2.41. Klases MS5637 temperatūras un spiediena funkciju attēls.

2.6.2 IRIS pievienoto sensoru aptauja un klase datu rindas dinamiskai ģenerēšanai

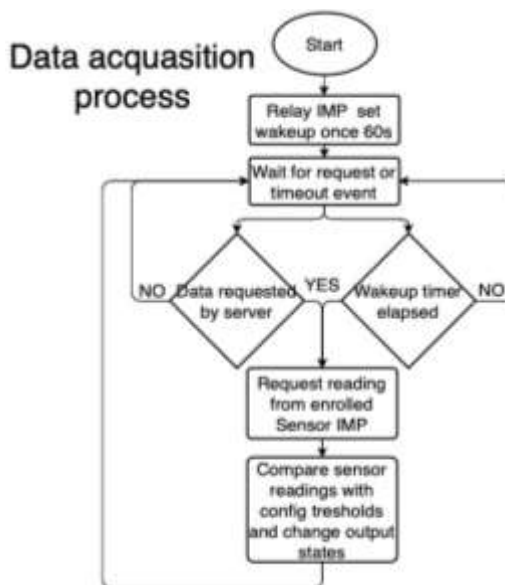
IRIS projekta ietvaros tika izstrādāta jauna automātiskā funkcija – jaunu sensoru pievienošanai. Kad visi mikrokontrolierim pievienotie sensori ir konfigurēti, inicializēti, ir iespējams veikt mērījumus un apkopot vienā datu rindā, kas tiek sūtīta serverim datu uzglabāšanai un analīzei. Lai varētu izveidot dažādas sensoru kombinācijas, ir nepieciešams pārbaudīt, kādi sensori ir pievienoti galvenajam mikrokontroliera modulim un attiecīgo sensoru vērtības nolasīt. Atkarībā no mērījuma skaita un tipa tiek ģenerēti identifikatori datu rindai. Lai būtu iespējams dinamiski mainīt šos parametrus, neveicot izmaiņas kodā, tiek izmantota klase datu rindas ģenerēšanai. Klases un sensoru datu struktūra ir redzama zemāk pievienotajā koda fragmentā.

```

public class SensorReading
{
    public string SensorId { get; set; }
    public double ReadingValue { get; set; }
    public string ReadingTypeId { get; set; }
    public string ReadingUnit { get; set; }
}
public class Root
{
    public List<SensorReading> SensorReadings { get; set; }
    public string ReadingDateTimeUtc { get; set; }
    public string ImpStatus { get; set; }
    public string ImpId { get; set; }
    public double ImpVoltage { get; set; }
}

```

Papildu datu pārraidei uz serveri, notiek arī datu apmaiņa lokālā tīklā ar mikrokontrolieri, kurš darbina relejus, un tie savukārt darbina izpildmehānismus (lūkas, ventilatorus, sūkņus, vārstus, utt.). Datu apmaiņa notiek, izmantojot User Datagram Protocol jeb UDP. Izmantojot šo protokolu, izpildmehānismu mikrokontrolieris aptaujā lokālā tīklā esošos sensoru moduļus, saņem to datus un, balstoties uz iepriekš definētām sliekšņa vērtībām, darbina relejus. Datu apmaiņa notiek pēc zemāk redzamās diagrammas.



Attēls 2.42. Datu apmaiņas diagramma starp mikrokontrolieri un serveri.

2.6.3 IRIS sensoru moduļu izstrāde un optimizācija

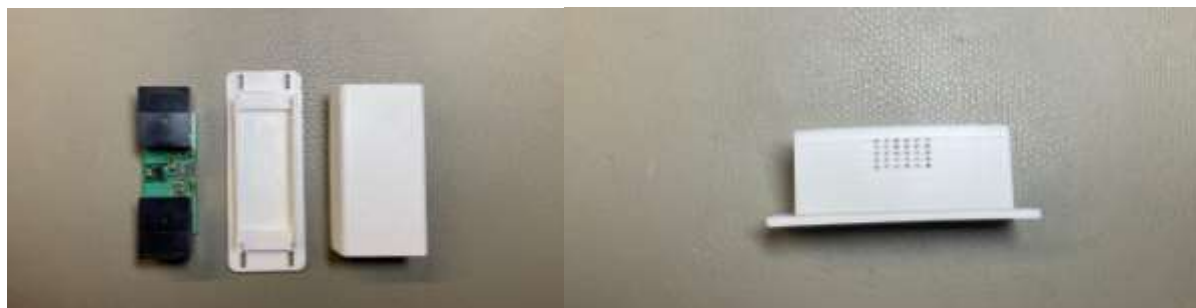
Projekta gaitā tika izstrādāta optimizēta CO2 plates versija, kurā tika iekļauts gaisa spiediena sensors, ar kura mērījumu palīdzību iespējams veikt precīzākus CO2 mērījumus. Izstrādātā iespiešanas plate tika saglabāta iepriekšējā "formfaktorā", lai saglabātu savietojamību ar iepriekš izmantotajiem korpusiem. Tā kā CO2 sensors atrodas vienā korpusā ar

mikrokontrolieri, tas tiek izmantots kā galvenais modulis un atrodas sensoru virtenes galā. Šāds novietojums ir optimāls, jo iespējams veikt savienojumus bez vadu deformācijas (attēls 2.43.).



Attēls 2.43. CO2 sensora un mikrokontroliera kopēja korpuss attēls

Projekta gaitā tika optimizēts gaisa temperatūras un mitruma sensors, to padarot kompaktāku. Tika izstrādāta iespiedplate, kuras galvenās funkcijas netika mainītas. Tā pat tiek izmantoti RJ45 savienojumi (konektori) savienošanai ar citiem moduļiem, taču atšķirība ir novietojumā, kas tagad ļauj visus sensorus savienot taisnā virknē bez vajadzības deformēt vadu. Tika izstrādāts arī speciāls korpuss, kura izstrāde tika veikta ar Fusion360 3D izstrādes rīku. Korpuss tika veidots par pamatu, ņemot iespiedplates 3D modeli – tādā veidā ir iespējams korpusu izveidot maksimāli precīzu, tajā pašā laikā izmantojot telpu, kurā nav šķēršļu (attēls 2.44.).



Attēls 2.44. Gaisa temperatūras un mitruma sensoru plate un korpuss.

2.6.4 IRIS augsnes mitruma sensors (jauns prototips)

IRIS projekta ietvaros tika izstrādāts jaunais IRIS sensors - prototips augsnes mitruma sensoram, kuram par pamatu tiek izmantota FDC2214 mikroshēma. Zemāk attēlā redzams sensora šī brīža izskats. Tas sastāv no 2 elektrodiem, kas ievietoti augsnē, FDC2214 mikroshēmas un citām komponentēm darbības nodrošināšanai, kā arī speciāli veidota korpuss (attēls 2.45.). Tāpat kā temperatūras/mitruma sensora arī šī korpuss izstrāde tika veikta, izmantojot 3D izstrādes rīku Fusion360.



Attēls 2.45. Augsnes mitruma sensora ārējais izskats.

2.6.5 IRIS releju moduļa izstrāde (jauns prototips)

Lai varētu vadīt dažādus siltumnīcas izpildmehānismus (vēdināšanas lūkas, ventilatorus, laistīšanas iekārtas, apgaismojumu), bija nepieciešams izstrādāt releju moduļa prototipu, kas sastāv no AC/DC pārveidotāja, I2C releju draivera mikroshēmas un vairākiem relejiem – šajā gadījumā 11. Releju modulis tiek ievietots sadales skapī, lai nodrošinātu bezvadu signāla kvalitāti, mikrokontrolieris tiek pievienots ārēji, lai būtu iespējams to novietot ārpus sadales skapja. Modulim nepieciešams arī 230V maiņsprieguma pievads, lai nodrošinātu barošanu mikrokontrolierim, releju draiverim, kā arī releju spolēm. Iespiedplate ir veidota tā, lai varētu komutēt dažādus sprieguma līmeņus – releju spēka kontaktu spriegums tiek pievadīts ārēji, kas ļauj komutēt gan 230V maiņspriegumu, 24V vai 12V līdzspriegumu (kas ir izplatītākie sprieguma līmeņi automatizācijas risinājumos). Moduļa izstrādes procesā tika izmantots komerciāli pieejams korpuss, pēc kura dizaina tika izstrādāta iespiedplate un izvēlētas komponentes (attēls 2.46.).



Attēls 2.46. Releju moduļa ārējais izskats.

2.6.6 IRIS SI-NDVI sensora izstrāde

NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) sensors ir domāts augu veģetācijas indeksa noteikšanai (raksturo auga veselības stāvokli). Sensora darbības pamatā ir attēlu uzņemšanas (SI-NDI, kur SI ir Single Image) un apstrādes algoritms, kura rezultātā tiek iegūta veģetācijas indeksa vērtība. Iekārtai ir nepieciešams elektrības pieslēgums. Sensors ir neatkarīgs un savienojams ar objekta WiFi tīklu. Sensora izskats un izmantošanas piemērs ir redzams 2.47. attēlā.

Normalizētais augu veģetācijas indekss (NDVI Normalised Difference Vegetation Index) plaši tiek izmantots lauksaimniecības nozarē jau vairākus gadus. Indekss nosaka auga veselības stāvokli atkarībā no tā, kā tas atstaro specifiska diapazona gaismu. Jo vairāk tiek atstarota tuvā-infrasarkanā (NIR) gaisma, jo augs ir izturīgāks un veselīgāks. Ar NDVI vērtību palīdzību ir iespējams identificēt problemātiskos augus un/vai audzēšanas zonas, ko varētu veicināt nepietiekamā daudzumā nodrošinātās barības vielas, temperatūras “stress” vai kāds cits būtisks parametrs. IRIS NDVI parametri ir attēloti Tab. 2.1.



Attēls 2.47. SI-NDVI sensora izskats un izmantošanas piemērs

Tabula 2.1. IRIS NDVI sensoru parametri

Mērījumi	Auga veģetācijas indekss (NDVI)	
Mērījumu parametrs	Diapazons	-1...+1 (relatīvās indeksa vērtības)
Komunikācija	Savienojums	Bezvadu
	Protokols	WiFi
	Datu intervāls	Sākot no 5min
	Datu aizsardzība	-
	Datu pārraides attālums	Skatoties pēc Wi-Fi rūtera pārklājuma signāla
Darba parametri	Lietošanas vieta	Iekštelpas
	Vides temperatūra	+5° līdz 50 °
	Vides mitrums	0% līdz 90%
	IP klase	IP50
Gabarīti	Platums/garums/augstums	mm
Svars	g	
Piezīmes	SI-NDVI sensora galvenā būtība ir parādīt auga vispārējās veselības tendenci.	

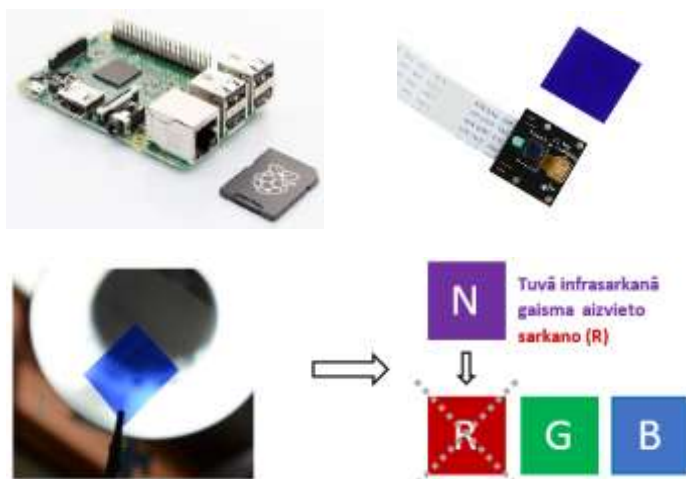
NDVI vērtību diapazons ir robežās no -1 līdz +1, kur vērtību apgabals no -1 līdz 0 norāda uz nedzīviem objektiem vai bojātiem augiem. Indeksa vērtība, kas tuvojas +1 robežvērtībai, liecina par veselīgu un spēcīgu augu.

Visbiežāk šo indeksa vērtību nosaka aprēķinot atšķirību starp tuvo-infrasarkano (kuri augi atstaro) un sarkano gaismu (kuru augi absorbē), bet praksē tiek izmantotas arī cita veida formulas. Mūsu gadījumā izmantojam aprēķina formulu, kurā tiek lietotas tuvās-infrasarkanās un zilās gaismas spektra daļas.

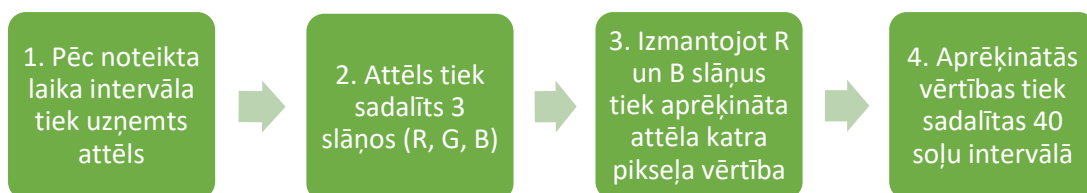
$$SI - NDVI = \frac{NIR - Blue}{NIR + Blue}$$

Auga veģetācijas indeksa noteikšanai tiek izmantota Raspberry Pi platforma komplektā ar pievienotu NoIR kameru (no infrared), kurā netiek izmantots infrasarkanās gaismas filtrs, līdz ar to tas ļauj uzņemt attēlus šajā spektra daļā (attēls 2.48.).

Indeksa noteikšanas process ir iedalāms četros soļos (attēls 2.49.). Pirmajā solī iekārta pēc noteikta laika intervāla uzņem fotoattēlu, kas tiek saglabāts iekārtā tālākiem aprēķiniem un analīzei. Otrajā solī neapstrādātais (raw) attēls tiek sadalīts trīs krāsu slāņos – sarkans (R); zaļš (G); zils (B). Tā kā attēla uzņemšanai tiek lietots zilās krāsas filtrs, tad sarkanajā kanālā tiek saglabāta tuvā infrasarkanā gaisma (NIR). Nākamajā solī pēc noteiktas formulas, kur tiek izmantoti tikai divu krāsu slāņi, tiek aprēķināta attēla katra pikseļa vērtība. Beidzamajā solī šīs vērtības tiek sakārtotas 40 intervālos pēc histogrammas principa. Intervālu apgabals, kurā ir visaugstākais datu kopums, norāda NDVI vērtību.



Attēls 2.48. Raspberry Pi platforma komplektā ar pievienotu NoIR kameru.



Attēls 2.49. Indeksa noteikšana algoritms.

IRIS SI-NDVI sensora optimizācija

Projekta izstrādes gaitā tika izstrādāts SI-NDVI sensors augu veģetācijas indeksa noteikšanai, kura darbības pamatā ir augu lapotņu fotoattēlu uzņemšana un pēc testiem, tika veikta sensora optimizācija. Būtiskas izmaiņas iekārtas izskata un funkcionalitātes ziņā nav veiktas, jo iepriekšējā projekta fāzē veidotais korpusa dizains un Raspberry Pi platformas izvietojums tajā, darbojas pilnvērtīgi un nav novēroti traucējumi (attēls 2.50.).



Attēls 2.50. Raspberry Pi platformas un NoIR kameras ārējais izskats.

Iekārtas darbības pamata algoritms ir palicis nemainīgs, taču ir veiktas izmaiņas programmas koda izpildes daļā. Lai paātrinātu attēla apstrādes un iegūto vērtību sakārtošanas procesus, tika optimizēts programmas izpildes pamata kods, kura rezultātā ir ievērojami paātrinājies veģetācijas indeksa iegūšanas ātrums.

Sākotnējais programmas kods indeksa aprēķināšanai sastāvēja no ļoti daudz IF cikliem, kas bija nepieciešami, lai sašķirotu aprēķinātās matricas vērtības attiecīgajos reģionos. Šāda koda izpilde aizņēma zināmu laiku, kā arī jūtami noslogoja Raspberry Pi platformu. Tā sauktie "šķirošanas" cikli tika likvidēti un aizstāti ar Python Pandas bibliotēkas funkcijām, kas jūtami samazināja koda izpildi no vienas minūtes uz dažām sekundēm [skatīt 2.2. tabulu].

Tabula 2.2. Programmas koda izpildes laiks pirms un pēc optimizācijas

IF ciklu pielietošana	PANDA bibliotēkas izmantošana
56.22 sek	4.14 sek

Korekcijas koeficienta pielietošana indeksa aprēķināšanas procesā

Lai iegūtu pēc iespējas precīzākus mērījuma rezultātus, tika veikti eksperimenti gan laboratorijas apstākļos, gan Latvijas Lauksaimniecības universitātes eksperimentālajā siltumnīcā. Mērījumu un eksperimentu mērķis bija iegūt augu veģetācijas indeksa aprēķināšanai nepieciešamo korekcijas koeficientu vērtības, kas ļautu daudz precīzāk noteikt auga veģetācijas pakāpi.

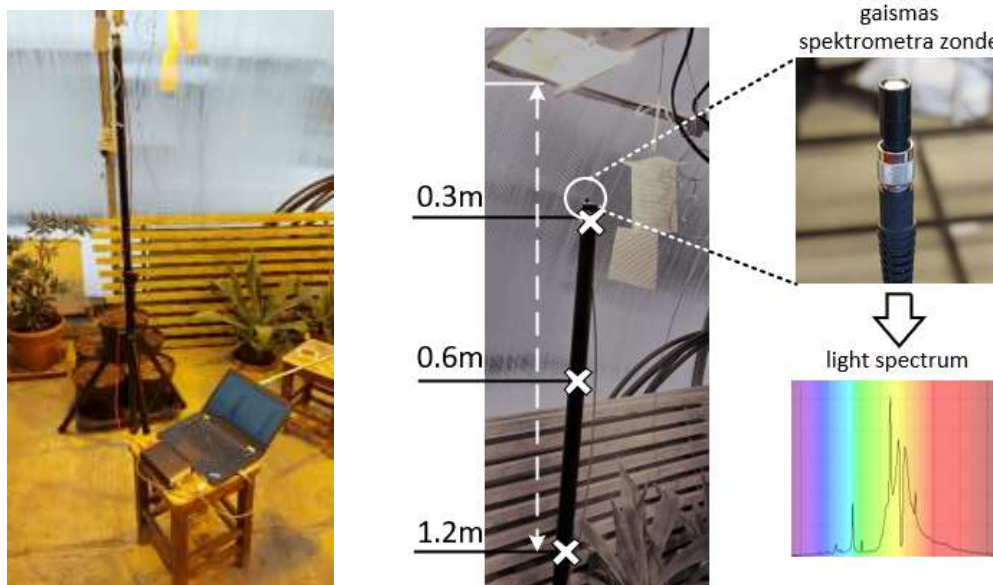
Laboratorijas un eksperimentālās siltumnīcas apstākļos gaismas sastāva analīzei tika izmantots gaismas spektrometrs AvaSpec-2048-USB2-UA (2.51. Attēls). Spektrometrs sastāv no optiskās šķiedras kabeļa un kosinusa korektora, kas nodrošina gaismas plūsmas vienmērīgu savākšanu mēriekārtā. Spektrometrs ļauj novērtēt gaismas avota spektrālo sastāvu un to krāsu sadalījumu.



Attēls 2.51. Spektrometrs AvaSpec-2048-USB2.

Tā kā LBTU eksperimentālajā siltumnīcā uzstādīti trīs dažādi apgaismes lampu veidi (indukcijas, LED un nātrija augstspiediena HPS). Pie katra no šiem lampu veidiem ar gaismas

spektrometra palīdzību tika veikti mērījumi trīs dažādos augstuma līmeņos – 0.3; 0.6 un 1.2 metru attālumā no lampas (skatīt 2.52. attēlu).



Attēls 2.52. Mākslīgā apgaismojuma mērījumi LLU siltumnīcā [10].

Mērījumu laikā uzņemtas gan apgaismes lampu spektra līknes, gan ievākti gaismu raksturojošie dati, lai varētu veikt tālākos aprēķinus. Atsaucoties uz publikācijas autoru pētījumu [11] gaismas spektrālās vērtības tika sadalītas pa krāsu reģioniem, kur:

- zilās krāsas spektrs ir robežās no 400 līdz 500 nanometriem,
- zaļā no 500 līdz 600 nanometriem,
- sarkanā no 600 līdz 700 nanometriem,

papildus tam tuvās infrasarkanās gaismas spektrs pēc dažādu informācijas avotu datiem, tika pieņemts robežās no 700 līdz 1000 nanometriem.

Papildus gaismas spektrometram augu lapu veģetācijas mērījumu veikšanai tika izmantots Spectral Evolution lapu spektrometrs RS-5400 [9] (2.53. attēls).



Attēls 2.53. Lapu spektrometrs un tā pielietošana.

Lapu spektrometra izmantošana bija nepieciešama, lai salīdzinātu SI-NDVI iekārtas izgūtās indeksa vērtības ar industrijā pielietotu mēriekārtu datiem.

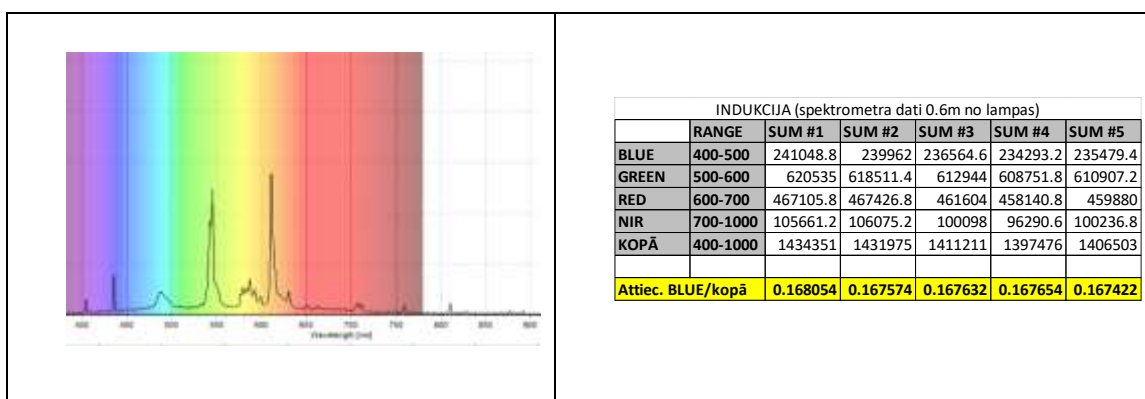
Augu lapu mērījumi ar lapu spektrometru un SI-NDVI iekārtu tika veikti pie dažādu šķirņu tomātiem un atšķirīgiem apgaismes lampu veidiem (skatīt 2.54. attēlu).



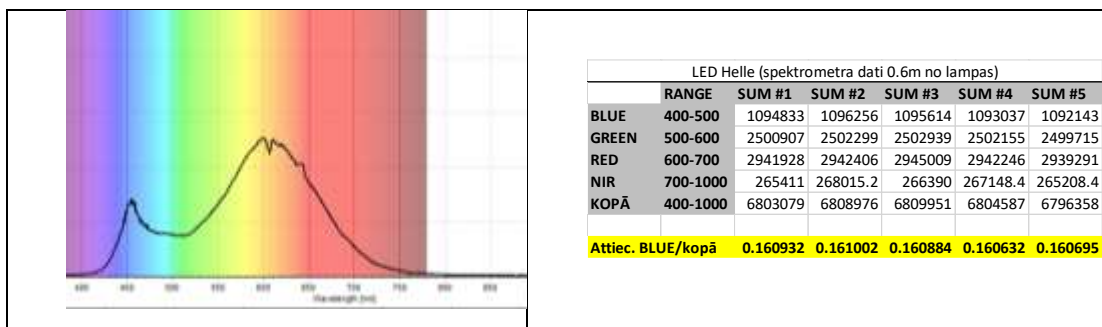
Attēls 2.54. Mērījumu veikšana ar lapu spektrometru un SI-NDVI iekārtu LBTU eksperimentālajā siltumnīcā.

Eksperimentu rezultāti

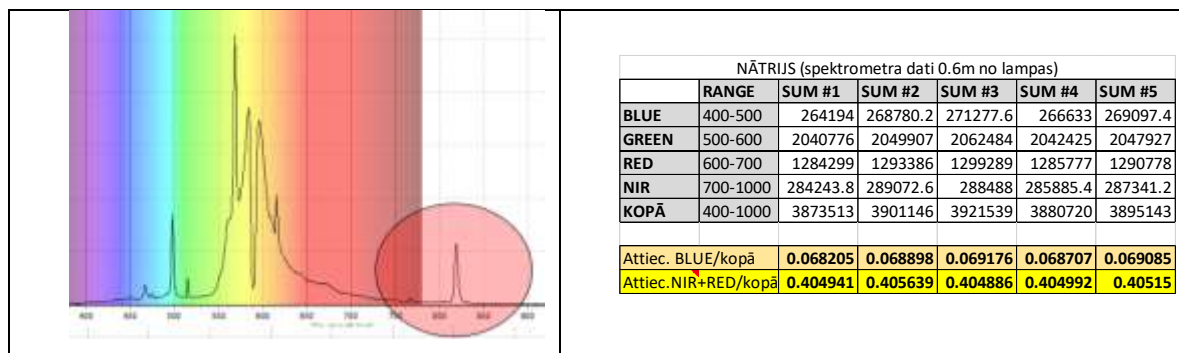
Attēlos 2.55.-2.57. parādīti gan visu trīs lampu spektrālie attēli, gan koeficienta aprēķinu tabulas dati.



2.55. attēls. Indukcijas gaismekļa spektrs un mērījumu dati.



2.56. attēls. LED gaismekļa spektrs mērījumu dati.



Attēls 2.57. HPS gaismekļa spektrs mērījumu dati.

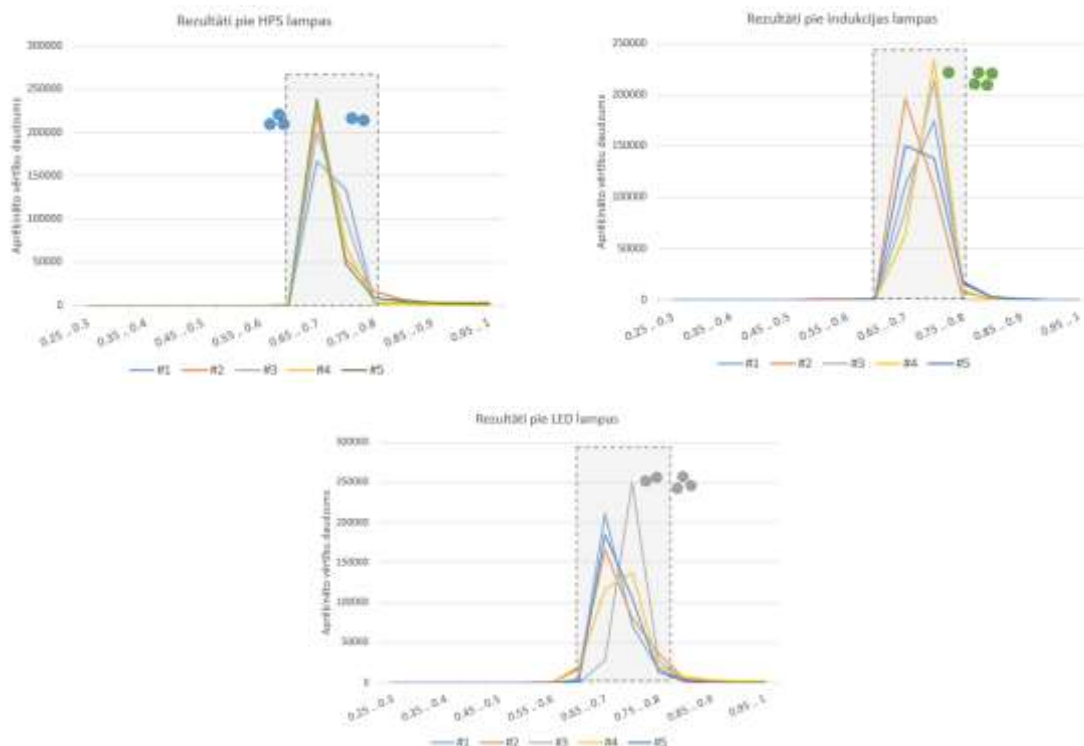
Turpmākajos aprēķinos, katram apgaismes tipam tika pārveidota vērtību aprēķināšanas formula, pievienojot iepriekš aprēķinātos koeficientus.

$$SI - NDVI(HPS) = \frac{NIR * 0.4 - Blue * 0.07}{NIR * 0.4 + Blue * 0.07} \quad (2.1.)$$

$$SI - NDVI(indukcija) = \frac{NIR - Blue * 0.17}{NIR + Blue * 0.17} \quad (2.2.)$$

$$SI - NDVI(LED) = \frac{NIR - Blue * 0.17}{NIR + Blue * 0.17} \quad (2.3.)$$

Rezultātu apkopojums 2.58. attēlā parāda, ka pielietotais virziens ar koriģējošiem aprēķina koeficientiem dod vēlamo rezultātu. Katrā no grafiskajiem attēliem varam vērot abu mērījumu veidu gan lapu spektrometra (punktveida apzīmējumi), gan SI-NDVI iekārtas (līknes) salīdzinājumu.



Attēls 2.58. SI-NDVI un lapu spektrometra izgūto vērtību salīdzinājums [10].

Lapu spektrometra noteiktās vērtības - punktveida apzīmējumi (zils, zaļš, pelēks), lielākoties ietilpst SI-NDVI iekārtas noteiktajos indeksu vērtību diapazonos, kas ir pietiekoši, lai noteiktu auga veselības attīstības tendenci. Turpmākai SI-NDVI aprēķināšanai tiks pielietoti iepriekš aprēķinātie koeficienti. SI-NDVI iekārtas aprēķinātās un sagrupētās vērtības tiek nosūtītas uz IRIS projekta datu bāzi turpmākai datu analīzei un apstrādei (skatīt 2.59. attēlu).

```
Int1:0;Int2:0;Int3:0;Int4:0;Int5:0;Int6:0;Int7:0;Int8:0;Int9:0;Int10:0;
Int11:0;Int12:0;Int13:0;Int14:0;Int15:0;Int16:0;Int17:0;Int18:0;Int19:0;Int20:8047;
Int21:55099;Int22:64834;Int23:46426;Int24:54301;Int25:56992;Int26:19814;Int27:1660;
Int28:25;Int29:2;Int30:0;Int31:0;Int32:0;Int33:0;Int34:0;Int35:0;Int36:0;Int37:0;
Int38:0;Int39:0;Int40:0;PixCount=307200"}]]
```

Attēls 2.59. Izveidotā datu rinda.

Projekta gaitā izveidots SI-NDVI sensoru kopums: 18 gb, kas tika uzstādīti (skatīt 2.60. attēlu) IRIS projekta partneru siltumnīcās.



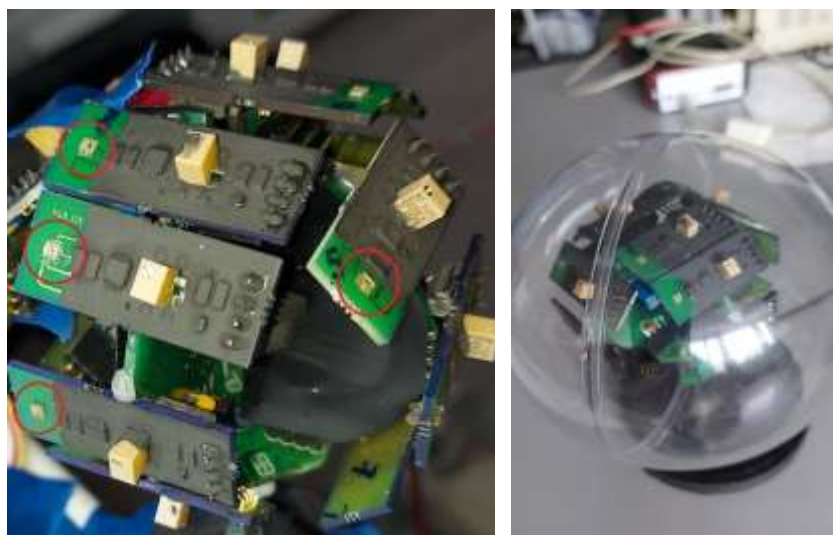
Attēls 2.60. Nokomplektētie SI-NDVI sensori.

2.6.7 IRIS gaismas sensora (RGBC) izstrāde (jauns prototips)

Gaismas sensora (RGB Color Sensor) iekārta nosaka gaismas daudzumu ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) – mikrowati uz kvadrātcentimetru - būtisks parametrs, kas jāievēro siltumnīcu pārvaldībā. Dažādos augšanas periodos augiem nepieciešams konkrēts gaismas daudzums, lai tie spētu pilnvērtīgi augt un attīstīties. Sensors mēra uz auga krītošās gaismas daudzumu ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$). Izvērtējot kādā laika periodā saņemto gaismas apjomu, ir iespējams noteikt vai augiem ir nepieciešams papildus mākslīgais apgaismojums, lai sasniegtu noteikto diennakts gaismas devu. Sensora pamatfunkcija - brīdināt par nepietiekama gaismas apjoma līmeni (mākoņaina diena; zema saules aktivitāte).

Sensora apraksts

BH1745NUC ir digitāls krāsu sensors, kurš izmanto I2C komunikāciju protokolu. Sensors uztver sarkano, zaļo un zilo gaismu (RGB) un pārvērš to digitālās vērtībās. Ar sensora palīdzību ir iespējams noteikt ļoti plaša reģiona gaismas intensitāti ($0.005 - 40\text{k lx}$). Gaismas sensora prototips sastāv no 14 dažādās pozīcijās izvietotām sensoru platēm, kas veido sfēras (bumbas) formas izskatu. Katra no sensoru platēm ir numurēta (S0-, S1-, S2-... S15-) un satur savu unikālu adresi, līdz ar to ir iespējams noteikt katra sensora rādījumus (attēls 2.61).



Attēls 2.61. Gaismas sensora prototipa izskats.

Gaismas sensors veic mērījumus ik pēc 1minūtes. Neapstrādātās (RAW) vērtības tiek nosūtītas uz serveri un saglabātas .csv failā tālākai apstrādei.

Katrs no mērījumiem tiek saglabāts vienā datu rindā, kur rindas sākumā tiek norādīts datums un laiks, kad veikts mērījums. Tālāk seko katra sensora (S0-, S1-, S2-...utt.) iegūtās vērtības. Katrs no sensoriem nosaka sarkanās (R), zaļās (G), zilās (B) un 'tīrās' (Clear) gaismas digitālās vērtības, kuras datu rindā tiek atdalītas ar komatu.

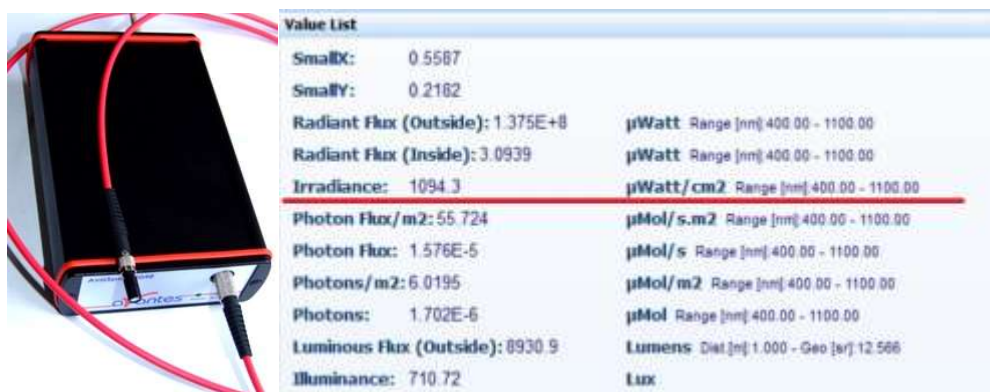
2021-02-16 14:22:44,S0-,1368,1629,394,188,S1-,768,1082,257,128,S2-,277,412,99,54,S3-,397,489,121,62,S5-,1039,1148,281,131,S6-,153,220,54,33,S7-,212,299,67,39,S8-,1508,1776,459,215,S9-,1029,1319,321,158,S10-,231,288,65,38,S11-,162,201,44,26,S13-,642,954,225,109,S14-,77,122,32,17,S15-,126,201,55,27,

*kodā tiek lietots GAIN x2

Eksperimenta apraksts

Eksperimentos tika izmantoti dažādi apgaismes ķermeņi: zilās gaismas korektors (Mežvidu white); Philips Interlight apgaismojums; Vizulo ražotais LED apgaismojums; halogēnās lampas prožektors.

Gaismas sensora iegūtie dati tika salīdzināti ar spektrometra AvaSpec-2048-USB2-UA uzņemtajiem rādījumiem, no kuriem kā svarīgāko varam noteikt izstarošanas (irradiance) parametru.

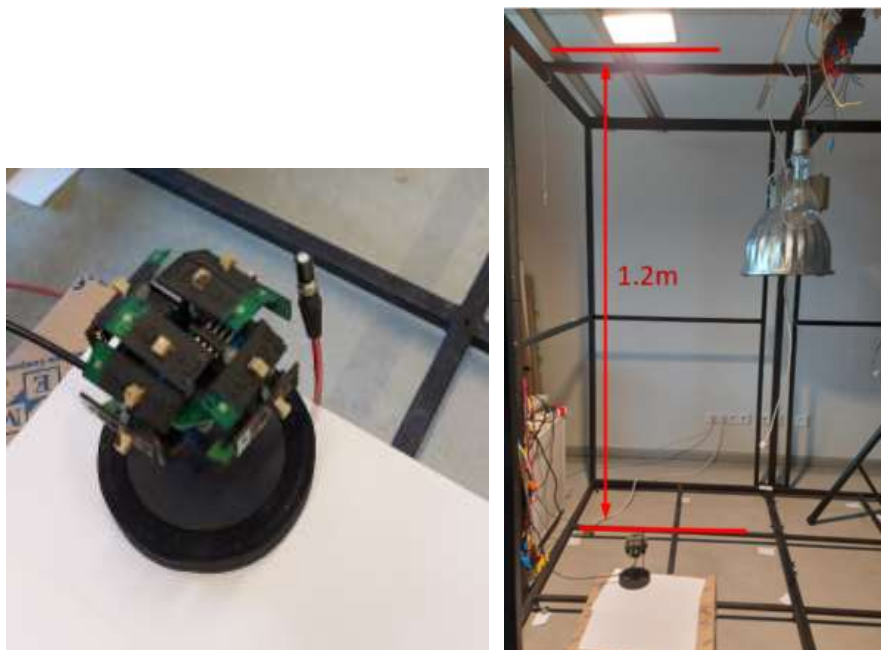


Attēls 2.62. Mēraparatūras attēls.

Lai varētu noteikt kādā gaismas spektra diapazonā, darbojas BH1745NUC sensors, un būtu korekti veikt datu salīdzinājumu, spektrometra mērīšanas diapazons tika mainīts šādās robežās:

- 400nm līdz 700nm;
- 400nm līdz 800nm;
- 400nm līdz 900nm;
- 400nm līdz 1000nm;
- 400nm līdz 1100nm.

Gaismas sensors un spektrometra mērierīce atrodas vienā līmenī - 1.2 metru attālumā no apgaismes ķermeņa (attēls 2.63.).



Attēls 2.63. Gaismas sensora un spektrometra mērierīces izvietošana laboratorijā.

Sensora RAW dati tika apkopoti tabulā, kuri pēc tam tika pārrēķināti atkarībā no datasheet dotajiem parametriem. Katram no krāsu kanāliem ir definētas savas atbilstošās vērtības. Turpmākos aprēķinos tiek lietotas vērtības, kas atbilst vidējam pieņemtajam rādījumam (Typ) (attēls 2.64.).

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Conditions
Supply Current	I_{CC1}	—	130	250	μA	MODE_CONTROL2(42h)=10h, $E_V = 100 \text{ lx}$ (Note 2)
Standby Mode Current	I_{CC2}	—	0.8	1.5	μA	No Input Light
Red Data Count Value	D_{RED}	3400	4000	4600	count	MODE_CONTROL2(42h)=12h, $E_V = 20 \mu W/cm^2$ (Note 3)
Green Data Count Value	D_{GREEN}	2847	3350	3853	count	MODE_CONTROL2(42h)=12h, $E_V = 20 \mu W/cm^2$ (Note 4)
Blue Data Count Value	D_{BLUE}	2014	2370	2726	count	MODE_CONTROL2(42h)=12h, $E_V = 20 \mu W/cm^2$ (Note 5)
Clear Data Count Value	D_{CLEAR}	128	160	192	count	MODE_CONTROL2(42h)=12h, $E_V = 20 \mu W/cm^2$ (Note 4)

Attēls 2.64. Aprēķinos izmantotas vērtības.

Lai iegūtu katra krāsu kanāla vērtību skaita atbilstību konkrētam parametru lielumam, tiek aprēķināts vienas vērtības lielums.

$$RED = \frac{4000 \text{ counts}}{20 \mu W/cm^2} = \frac{200 \text{ counts}}{1 \mu W/cm^2} = \frac{1 \text{ count}}{0.005 \mu W/cm^2}$$

$$GREEN = \frac{3350 \text{ counts}}{20 \mu W/cm^2} = \frac{1 \text{ count}}{0.00597 \mu W/cm^2}$$

$$BLUE = \frac{2370 \text{ counts}}{20 \mu W/cm^2} = \frac{1 \text{ count}}{0.00844 \mu W/cm^2}$$

$$CLEAR = \frac{160 \text{ counts}}{20 \mu W/cm^2} = \frac{1 \text{ count}}{0.125 \mu W/cm^2}$$

Eksperimentu rezultāti

1.eksperimenta variants (izmanto viena sensora datus)

Tā kā visi 14 sensori novietoti dažādos leņķos, tad korektu vērtību salīdzināšanai tika piefiksēti tikai viena sensora rādījumi, attiecīgi tā sensora, kurš atradās vistuvāk spektrometra mērierīcei (S8 - sensors). Kopumā pie katras lampas tika veikti 10 mērījumi. Iegūtie rezultāti būtiski neatšķiras, līdz ar to tālākai salīdzināšanai tiek izmantoti tikai 5 mērījumi (skat. attēlu a) un b) 2.65.).

	Pārrēķinātās vērtības (μW/cm ²)					
	RED	GREEN	BLUE	CLEAR	SUM RGB	SUM RGBC
HALOG PROŽEKT	30.54	33.03	13.81	234.13	77.39	311.51
	30.87	33.10	13.83	236.00	77.80	313.80
	31.22	33.11	13.77	238.00	78.10	316.10
	31.34	33.10	13.78	238.75	78.22	316.97
	31.30	33.25	13.80	239.75	78.35	318.10
COR (BLUE) WHITE	3.44	28.29	163.78	153.25	195.50	348.75
	3.40	28.24	163.14	152.63	194.77	347.40
	3.36	28.19	162.44	152.00	193.98	345.98
	3.33	28.16	161.88	152.13	193.36	345.49
	3.30	28.13	161.40	151.75	192.83	344.58
LED VIZULO	38.16	70.82	47.72	163.75	156.70	320.45
	38.13	70.81	47.71	163.50	156.65	320.15
	38.09	70.73	47.55	163.25	156.37	319.62
	37.91	70.68	47.53	162.88	156.11	318.99
	37.89	70.64	47.48	162.88	156.00	318.88
PHILIPS INTERLIGHT	31.25	1.00	4.65	58.13	36.90	95.02
	31.08	1.00	4.64	57.88	36.72	94.59
	30.99	0.99	4.63	57.88	36.61	94.49
	30.90	0.99	4.62	57.63	36.50	94.13
	30.81	0.98	4.61	57.50	36.39	93.89
DIENAS GAIŠMAS LAMPA	7.60	10.46	4.11	27.25	22.17	49.42
	8.24	11.42	4.40	29.50	24.05	53.55
	8.32	11.58	4.40	29.75	24.29	54.04
	8.22	11.47	4.30	29.38	24.00	53.37
	8.13	11.36	4.24	29.13	23.73	52.85

	400..700nm (μW/cm ²)	400..800nm (μW/cm ²)	400..900nm (μW/cm ²)	400..1000nm (μW/cm ²)	400..1100nm (μW/cm ²)
Halog prož	2451	4006	5543	7204	8965
Cor WHITE	3214	4518	4473	4438	4343
Vizulo LED	3448	3522	3506	3474	3392
Philips Interl.	1213	1212	1194	1184	1099
Dienas lampa	488	506	492	466	376

Attēls 2.65 a un b. Spektrometra irradiance dati pie dažādiem lampu variantiem un viļņu garuma apgabaliem.

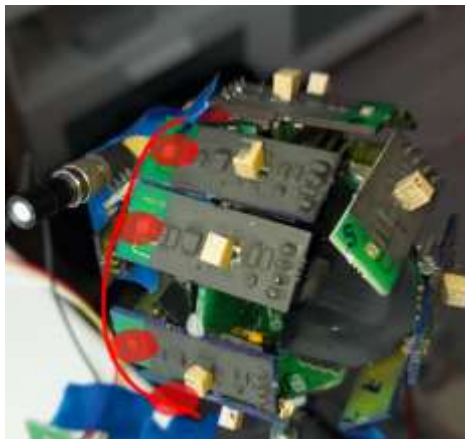
Katras apgaismes veida iegūtie rezultāti tika sasummēti divos variantos:

- **SUM RGB** – saskaitītas kopā red, green, blue vērtības
- **SUM RGBC** – saskaitītas kopā red, green, blue un clear data vērtības.

Salīdzinot rezultātus ar spektrometra rādījumiem redzamas lielas atšķirības. Lai tās daudz maz pietuvinātu, kā viens no variantiem būtu **(SUM RGBC) *10 [skatīt iekrāsotās kolonnas]**. Īsti pamatojuma šādam solim nav, ja nu vienīgi tas, ka gaismas sensora mērījumu veikšanā tiek lietots GAIN x2, savukārt datasheet-ā parametra vērtība norādīta pie x12 pastiprinājuma (MODE CONTROL).

2.eksperimenta variants

Tā kā spektrometra mērierīces galā bija uzstādīts kosinusa korektors (ļauj sakopot uz tā krītošo gaismu 180 grādu leņķī), tad šī eksperimenta galvenā doma bija fiksēt četru augšējo sensoru datus, kas savā ziņā arī veido nelielu 180 grādu loku (attēls 2.66.).



Attēls 2.66. Izmantota gaismas sensora prototips.

Mērījumi tika veikti dabīgā apgaismojuma apstākļos. Spektrometra mērierīce atradās šo četru sensoru tuvumā. Mērījuma dati ir apkopoti attēlā 2.67.

Pārreķinātās vērtības																				
		R	G	B	Clear		R	G	B	Clear		R	G	B	Clear		R	G	B	Clear
09:51:11	S8-	35.9	111.9	99.9	342.0	S9-	64.3	152.5	137.1	453.5	S10-	59.1	144.4	126.4	442.9	S11-	15.8	58.9	46.4	199.4
09:52:12	S8-	36.9	114.9	102.3	352.1	S9-	66.3	156.6	140.5	465.9	S10-	60.8	148.2	129.5	454.9	S11-	16.2	60.3	47.4	203.9
09:53:12	S8-	38.1	118.4	105.4	362.1	S9-	68.0	160.9	144.1	479.0	S10-	62.1	151.9	132.5	466.0	S11-	16.6	61.8	48.5	208.6
09:54:12	S8-	40.4	124.2	110.4	379.5	S9-	71.0	167.6	149.8	498.0	S10-	64.1	157.2	136.9	482.8	S11-	17.2	63.8	50.0	215.9
09:55:12	S8-	46.6	139.0	122.8	424.3	S9-	80.2	185.6	164.6	552.5	S10-	70.1	171.8	148.8	528.9	S11-	18.7	68.5	53.4	232.0
09:56:12	S8-	55.6	160.7	140.6	492.8	S9-	94.5	213.0	187.4	637.3	S10-	79.6	194.6	167.1	601.6	S11-	20.8	75.8	58.7	258.6
09:57:13	S8-	60.1	175.1	151.9	541.9	S9-	104.7	233.5	204.4	701.9	S10-	87.7	214.1	182.3	663.3	S11-	22.3	82.3	63.5	281.8
09:58:13	S8-	59.4	178.2	153.8	552.5	S9-	107.0	240.2	210.0	722.4	S10-	91.4	222.9	188.9	688.3	S11-	22.9	85.9	66.1	295.0
09:59:13	S8-	59.0	181.4	155.9	561.8	S9-	109.5	247.1	215.9	744.0	S10-	96.2	232.9	197.0	718.3	S11-	23.8	90.6	69.6	309.8
10:00:13	S8-	58.8	179.1	154.3	554.9	S9-	107.3	242.9	212.3	732.6	S10-	93.8	227.6	192.9	701.1	S11-	23.6	88.9	68.3	304.0

	Spektrometra dati (400..700nm)	SUM RGB (S8,S9,S10,S11)	SUM RGBC (S8,S9,S10,S11)
09:51:11	11990	1052.7	2490.4
09:52:12	11788	1080.0	2556.8
09:53:12	12023	1108.4	2624.2
09:54:12	11868	1152.6	2728.8
09:55:12	11982	1270.3	3007.9
09:56:12	11890	1448.3	3438.6
09:57:13	11944	1582.0	3770.7
09:58:13	12049	1626.6	3884.7
09:59:13	12451	1679.0	4012.8
10:00:13	12544	1649.8	3942.5

Attēls 2.67. Mērījumu rezultātu dabīgā apgaismojuma apstākļos apkopojums.

Eksperimenta rezultāti atšķiras no plānotiem rezultātiem. Iespējamais kā iemesls, kāpēc šāda pieeja nedeva gaidāmo rezultātu, ir pārāk atšķirīgs gaismas krišanas leņķis katram no sensoriem. Varam redzēt, ka S9 sensoram (atrodas tieši pretī gaismas avotam) ir daudz reižu lielāks vērtību diapazons nekā nedaudz novirzītām S10 vai S11.

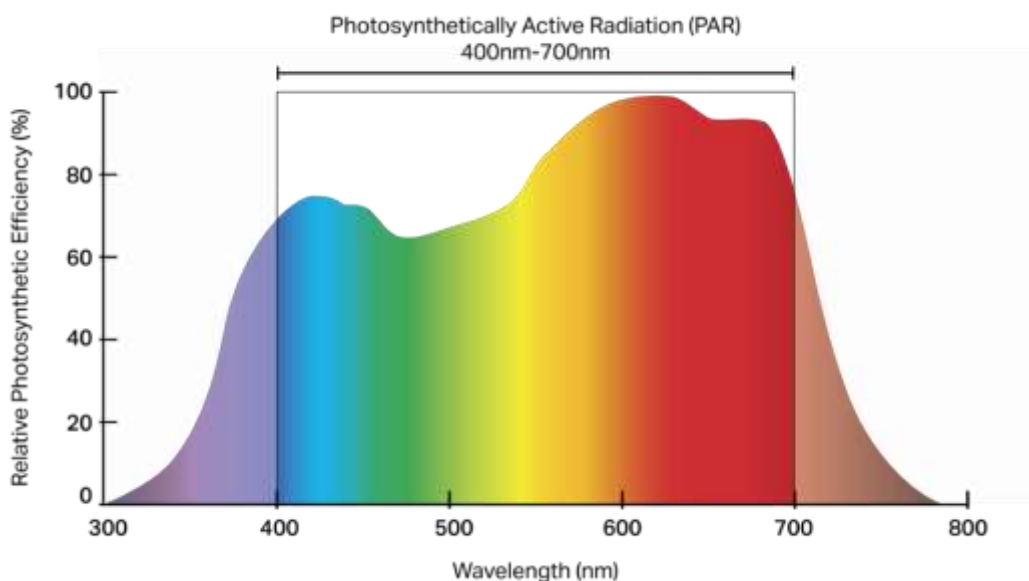
2.6.8 IRIS - RGBW tipa gaismas sensors (jauns prototips)

Pēc līdzīga idejiskā principa tika izveidots vēl viens gaismas sensors, kas balstās uz RGBW tipa mikroshēmas darbības principa, atsaucoties uz [PmodCOLOR datasheet](#), tā izejas dati no katra datu kanāla atbilst starojuma plūsmai uz laukuma vienību [$\mu W/cm^2$] (pie noklusētā pastiprinājuma (*Gain*) 1x) integrācijas laikā, kuru var uzstādīt lietotājs (*PmodColor.setIntegrationCycles(..)*). Viens integrācijas cikla laiks ir 2.4ms. Sīkāka informācija šāda vienkārša sensora izstrādei dota Pielikumā Nr.3.

2.6.9 Apogee SQ-615 ePAR sensoru izstrāde un testēšana ar Electric IMP001 mikrokontrolleri (jauns prototips)

Sensora izvēle

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 (att. 2.68.).



Att. 2.68. PAR gaismas diapazons.

PAR praktiski vienmēr skaitliski tiek noteikts kā fotosintētisko fotonu blīvums (PPFD) un mērvienības ir pieņemtas kā mikromoli uz kvadrātmētru sekundē ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$). 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.

Neseno pētījumu dati parāda to, ka infrasarkanā starojuma fotoni spēj mijiedarboties ar fotoniem PAR spektrā un paaugstināt fotoķīmisko procesu intensitāti augu lapās [12].

Veiktie bioloģiskie mērījumi parāda, ka pievienojot infrasarkanā starojuma fotonus (izmantojot infrasarkanās gaismas diodes ar spektra pīķi ap 735nm) pie PAR starojuma fotoniem PAR diapazonā (400-700 nm), rezultātā fotosintēze pieaug tikpat daudz cik pievienojot to pašu fotonu apjomu pašā PAR diapazonā, kaut arī paši pa sevi infrasarkanā starojuma fotoni praktiski neizraisa fotosintēzes procesu [13] un [14]. Sensorus, kas spēj nomērīt PPFD bieži sauc par kvantu sensoriem, dēļ mēramā kvantu starojuma. Kvantu pieņem par minimālo starojuma apjomu, ko izraisa viens fotons, kas tiek iesaistīts piemēram fotosintēzes procesā. Tipiskā situācija kvantu sensoru pielietošanai ir ienākošā PPFD mērīšana virs auga kronām ārā apstākļos vai slēgtās siltumnīcās [15] un [16]. Līdzīgi darbojas arī ePAR (*extended*PAR) sensori, kuru mērīšanas diapazons parasti ir plašāks par PAR diapazonu [17] un [18]. Līdzīgs ePAR sensors arī tika izvēlēts projekta ietvaros. Tas ir Apogee ražotāja ePAR sensors (att. 2.69.).



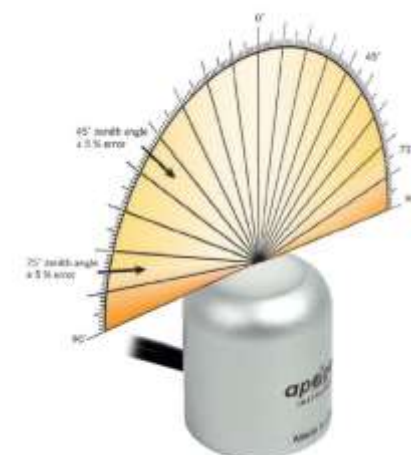
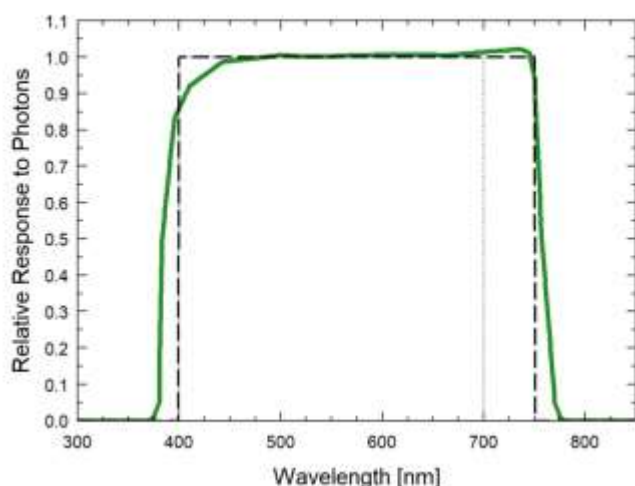
Att. 2.69. Apogee ražotājas ePAR sensor

Apogee ražotāja ePAR SQ-600 sensori sastāv no akrila difuzora (filtra), foto diodes un signāla apstrādes shēmas, kas viss kopā ir iekļauts korpusā no anodētā alumīnija. Šīs sērijas sensori paredzēti nepārtrauktiem mērījumiem gan iekštelpu, gan ārtelpu apstākļos

ePAR sensora SQ-615-SS parametri

Izvēlētais sensors darbojas diapazonā 383 līdz 757 nm (+/-5nm) (att. 2.70.), kas tieši ļauj pieskaitīt to pie ePAR sensoriem. Galvenie sensora parametri redzami zemāk attēlotajā tabulā 2.3. Ražotājs norāda, ka sensora precizitāte sasniedz 2% pie 45 grādu gaismas krišanas leņķa un $\pm 5\%$ precizitāti pie 75 grādu leņķa (att. 2.70.).

Spectral Response



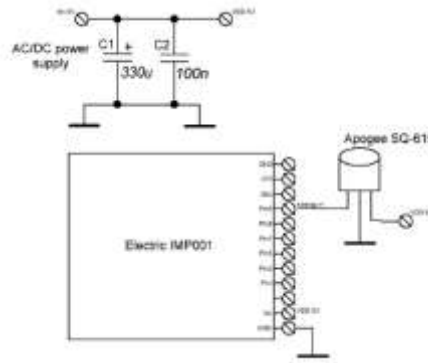
Att. 2.70. ePAR sensora SQ-615-SS jutības diapazons un precizitāte pie dažāda gaismas krišanas leņķa.

Tabula: 2.3. ePAR sensora SQ-615-SS galvenie tehniskie parametri

	SQ-612-SS	SQ-615-SS
Power Supply	5 to 24 V DC	5.5 to 24 V DC
Current Draw	12 V is 57 μ A	
Sensitivity	0.625 mV per μ mol m ⁻² s ⁻¹	1.25 mV per μ mol m ⁻² s ⁻¹
Calibration Factor	1.6 μ mol m ⁻² s ⁻¹ per mV	0.8 μ mol m ⁻² s ⁻¹ per mV
Calibration Uncertainty	± 5 % (see Calibration Traceability below)	
Output Range	0 to 2.5 V	0 to 5 V
Measurement Range	0 to 4000 μ mol m ⁻² s ⁻¹	
Measurement Repeatability	Less than 0.5 %	
Long-term Drift (Non-stability)	Less than 2 % per year	
Non-linearity	Less than 1 % (up to 4000 μ mol m ⁻² s ⁻¹)	
Response Time	Less than 1 ms	
Field of View	180°	
Spectral Range	383 to 757 nm ± 5 nm (wavelengths where response is greater than 50 %; see Spectral Response below)	
Directional (Cosine) Response	± 2 % at 45° zenith angle, ± 5 % at 75° zenith angle (see Directional Response below)	
Azimuth Error	Less than 0.5 %	
Tilt Error	Less than 0.5 %	
Temperature Response	-0.11 ± 0.04 % per C	
Uncertainty in Daily Total	Less than 5 %	

Mērījumu veikšana

Kā var redzēt norādītajā specifikācijā, izvēlētais ePAR sensora modelis SQ-615-SS ir analogs sensors, tāpēc mērījumu veikšanai tā izejas signālu nepieciešams pieslēgt pie ACP, piemēram pie mikrokontrollera analogās ieejas pēc sekojošās shēmas (att. 2.71.).



Att. 2.71. Elektriskā shēma.

Runājot par sensora signāla apstrādi, pirmām kārtām jāņem vērā ražotāja norādīto formulu:

$$PPFD = V_{sens} \cdot K_1, \quad (1)$$

kur V_{sens} – ir sensora izejošais spriegums, mV;

K_1 – ražotāja norādītais kalibrētais koeficients 0,8 konkrētajam sensoram.

Tas nozīmē, ka nepieciešams veikt sensora izejas signāla sprieguma mērījumu milivoltos, ko veic pēc sekojošas formulas:

$$V_{sens} = \frac{ADC}{2^M} \cdot V_{ref} \cdot 1000, \quad (2)$$

kur ADC – ir iegūtā skaitliskā vērtība no ACP (funkcija – $ADC = hardware.pin.read();$), n

M – mikrokontrollera ACP izšķirtspēja bitos (IMP001 mikrokontrollerim tas ir 16bit), n ;

V_{ref} – ACP references spriegums (funkcija – $V_{ref} = hardware.voltage();$), V

Iepriekšminētais norāda, ka maksimāli precīzu mērījumu nodrošināšanai ir nepieciešams precīzi fiksēt gan mērāmo ADC vērtību, gan arī references spriegumu V_{ref} , par ko atsevišķi tiks minēts zemāk.

Tā kā sensora izejas signāla sprieguma diapazons ir robežās no 0 līdz 5 V (skat. 2.3. tabulu), bet projektā izmantojamais mikrokontrolleris Electric IMP001 darbojas pie 3.3V sprieguma, sensora izejā nepieciešams pieslēgt sprieguma dalītāju sprieguma līmeņu salāgošanai (koeficients K_2 formulā 3.), lai nodrošinātu korektu sensora rādījumu mērīšanu visā tā izejas signāla spriegumu diapazonā. Praksē sprieguma dalītāju veido rezistori ar precizitātes klasi 0.1%.

Rezultātā kopējā formula izskatīsies sekojoši:

$$PPFD = \frac{ADC}{2^M} \cdot V_{ref} \cdot 1000 \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (3)$$

kur K_2 – rezistoru sprieguma dalītāja koeficients, kur $K_2 = \frac{R_2 + R_1}{R_2}$.

Kā var redzēt norādītajā shēmā (2.71. att.), sensora barošana tiek veikta izmantojot to pašu barojošo spriegumu no kura tiek barots pats Electric IMP001 mikrokontrolle, t.i. no AC/DC tīkla sprieguma pārveidotāja (turpmāk barošanas bloka) ar 5V līdzsprieguma izeju. Tas notiek neskatoties uz to, ka ražotājs sensora barojošo sprieguma diapazonu ir norādījis robežās no 5.5 līdz 24V DC.

Šī punkta pārbaudei, uz eksperimentāla stenda tikai veikta eksperimentu sērija ar uz sensoru vērstu konstantu apgaismojumu, sensora rādījumu stabilitātes pārbaudei (att. 2.72.), barojot to no regulējama laboratorijas barošanas bloka iestatot tajā izejas spriegumu robežās no 4 līdz pat 15 V DC.



Att. 2.72. Sensora testēšanas eksperimentālais stends

Mērījumu rezultāti (2.4. tabula) parādīja, ka sensora rādījumi pie barojošā sprieguma diapazona 4 – 15V DC pie konstantas gaismas intensitātes nemainās (neskaitot nelielu gadījuma trokšņu signāla svārstību diapazonu), līdz ar ko arī tika pieņemts lēmums veikt sensora un mikrokontrolera barošanu no universāla plaši pieejama tīkla spriegum barošanas bloka, kas savukārt paātrina sensoru mezgla izstrādes laiku, samazina tā izstrādes un ekspluatācijas izmaksas, kā arī padara to vienkāršāku ekspluatācijā.

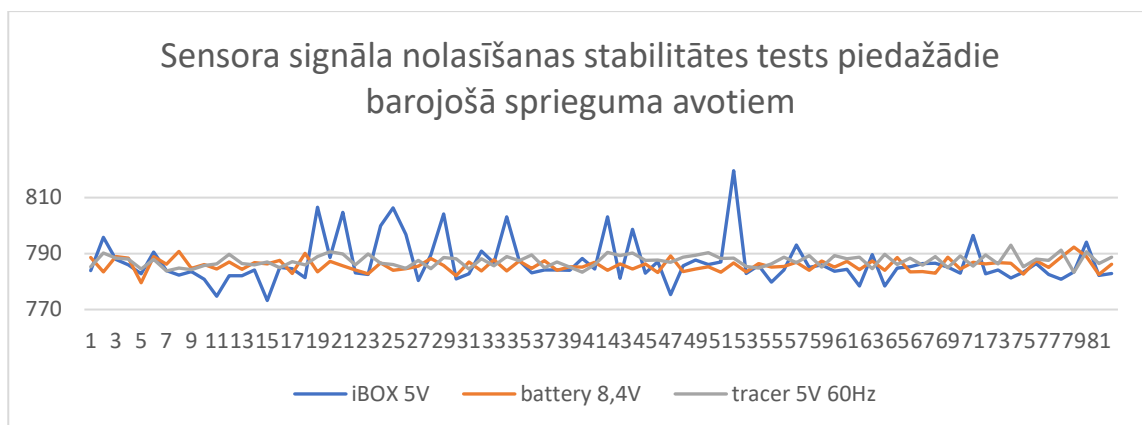
Tabula 2.4. Sensora rādījums pie dažādiem to barojošiem spriegumiem

Vcc, V	PPDF, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Vcc, V	PPDF, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
4	791	10	792
5	792	11	792
6	793	12	792
7	792	13	793
8	792	14	792
9	792	15	793

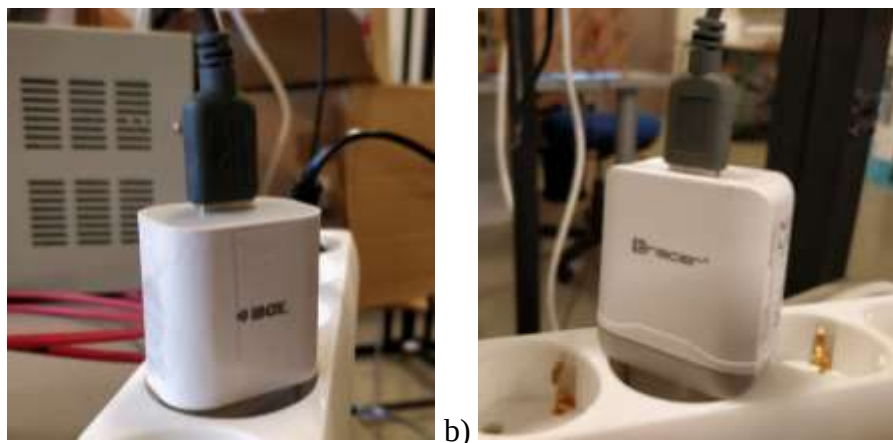
Tācu šāds pieslēgums rada papildus prasības izmantojamajam barošanas blokam, tā izejošā sprieguma stabilitātes/„tīrības” ziņā, jo tas pa tiešo iespaido sensora izejošo signālu un tā pareizu fiksāciju mikrokontrollerī.

Attēlā 2.73 ir redzams izejošā sensora signāla mērīšanas stabilitātes salīdzinājums 3 gadījumos (viena mērījumu sērija, mērīšanas frekvence 60Hz, atkārtojumu skaits katram mērījumam $n=5$):

- Mikrokontroleris un sensors tiek baroti no „iBOX” modeļa pārveidotāja ar izejas spriegumu 5V un strāvu 1A (2.74. att. a);
- Mikrokontroleris un sensors tiek baroti no „Tracer” pārveidotāja ar izejas spriegumu 5V un strāvu 3A (2.74. att. b);
- Mikrokontroleris un sensors tiek baroti no akumulatoru baterijas ar izejas spriegumu 8,4V.



Att. 2.73. Sensora signāla nolasīšanas stabilitātes tests pie dažādiem barojošā sprieguma avotiem

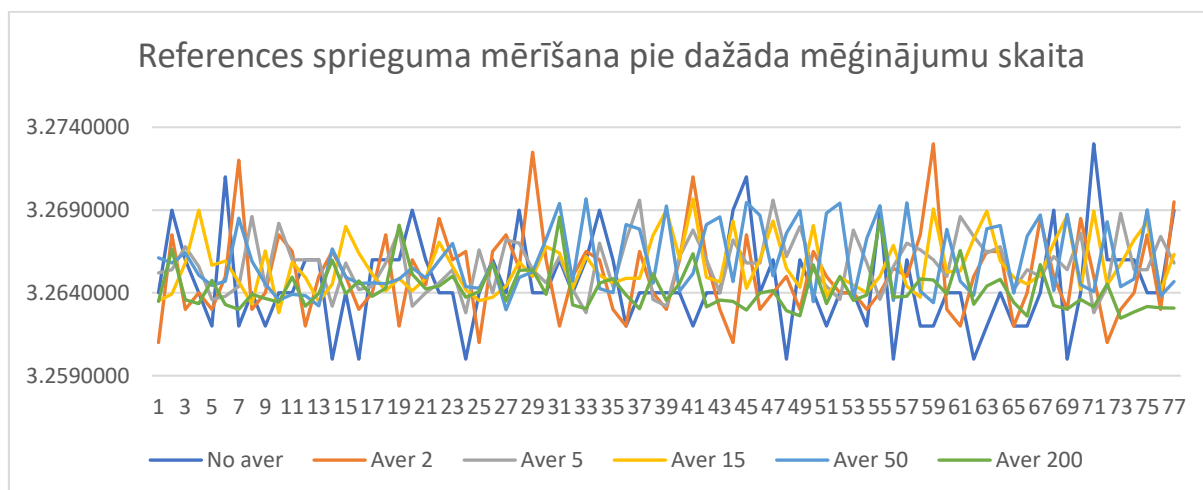


Att. 2.74. Izmantotie barošanas bloki: a) modelis „iBOX”; b) modelis „tracer”

Aprēķini parāda, ka vidējā kvadrātiskā kļūda izmantojot pieejamo „iBOX” barošanas bloku sasniedz 7,81, kad savukārt ar pieejamo „tracer” barošanas bloku tā ir tikai 2,07 un ar 8,4V akumulatoru bateriju 2,19. Eksperiments pierāda, ka „iBOX” barošanas bloka izmantošanas gadījumā vidējā kvadrātiskā kļūda PFD mērījumiem ir aptuveni 3,78 reizes lielāka nekā izmantojot „tracer” barošanas bloku, kura gadījumā vidējā kvadrātiskā kļūda ir praktiski vienāda ar šo pašu kļūdu akumulatoru baterijas barošanas gadījumā, ko šajā gadījumā varētu uzskatīt par ideālu risinājumu no barojošā sprieguma „tīrības” viedokļa. Atlikusī kļūda varētu būt saistīta ar paša sensora darbības precizitāti, izmantotā gaismas avota un tā barošanas avota

darbības stabilitāti eksperimentu laikā (tika izmantota 10W silti baltas krāsas gaismas diode un laboratorijas barošanas bloks HY1503D).

Tāpat mērījumu vidējo kvadrātisko kļūdu iespaido veikto mērījumu mēģinājumu skaits, jo pie viena vienīgā mērījuma mēģinājuma lielāka iespēja iegūt lielāku kļūdu nekā pie lielāka mēģinājumu skaita ar vēlāku iegūtās mērījumu rezultātu summas noapaļošanu.



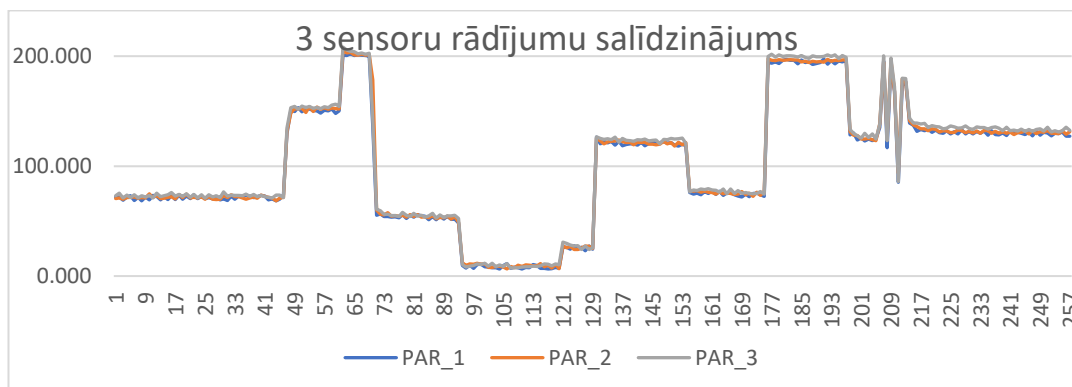
Att. 2.75. References sprieguma mērīšana pie dažāda mēģinājumu skaita.

Apkopojot 8. att. redzamos datus, var fiksēt sekojošās vidējo kvadrātisko kļūdu vērtības (skat. 3. tabulu) (viena mērījumu sērija, mērīšanas frekvence 60Hz, atkārtojumu skaits katram mērījumam $n=1, 2, 5, 15, 50$ un 200):.

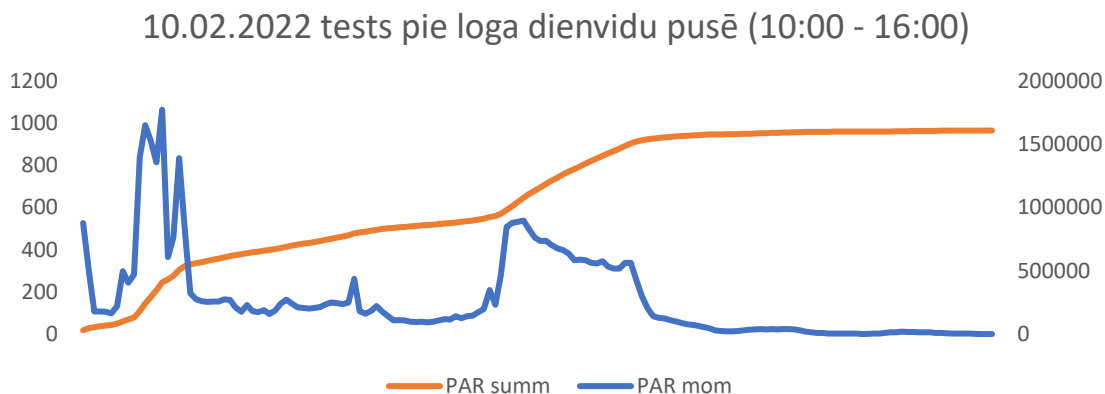
Tabula 2.5. Vidējo kvadrātisko kļūdu vērtības pie dažāda mērījuma mēģinājumu skaita

Mēģinājumu skaits, n	1	2	5	15	50	200
Vid. kvadr. kļūdas vērtība	0,0000079	0,0000067	0,0000029	0,0000029	0,0000027	0,0000026

Trešās tabulas dati parāda to, ka pietiekošs mērījumu mēģinājumu skaits, vairāk par kuru mērījumu mēģinājumu skaita palielināšana nedod ievērojamu mērījumu precizitātes pieaugumu ir $n=5$. Pēc sensoru mezglu prototipu izstrādes tika veikts to vienlaicīgs tests zem viena gaismas avota, mainot tā gaismas intensitāti. Mērījumu rezultāti redzami attēlā 2.76.-2.77.



Attēls 2.76. Trīs PAR sensoru mērījumu salīdzinājums



Attēls 2.77. PAR sensora tests dabīgā apgaismojumā

Papildus tika izstrādāts 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) (2.77. att.). Dati par veiktajiem mērījumiem tiek sūtīti pa seriālo portu izmantojot UART interfeisu uz datoru, kur arī iespējama turpmākā log faila (2.78. att.) saglabāšana un pēcapstrāde.



Att. 2.78. 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
```

Att. 2.79. Log faila piemērs.

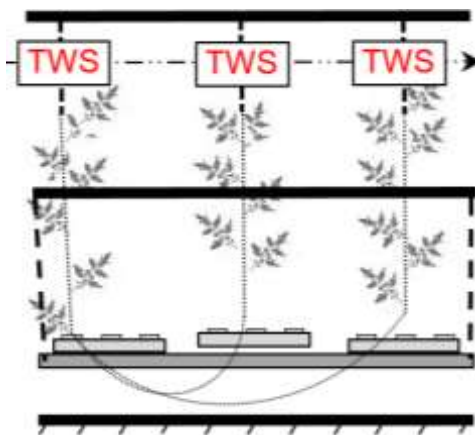
2.6.10 Iekaramo tomātu augu svara pieauguma sensoru (TWS) izstrāde

Projekta gaitā ir izveidoti un notestēti vairāki tomātu augu svara pieauguma sensoru moduļi (TWS – Tomato Weight Sensors). Tikuši izstrādāti 20 gab. TWS ar maksimālo svaru 20 kg, un 10 gab. TWS ar maksimālo svaru 10 kg (skat. 2.80. att.).



Attēls 2.80. Izstrādātie TWS sensori.

TWS tiek izmantoti paša tomātu augu svara mērījumiem, ar iespēju sekot konkrētam augam tā visas augšanas stadijās un mērķi noteikt tā ražību, piemēram, veicot eksperimentus ar dažādiem apgaismojuma veidiem un līmeņiem/periodiem, vai, piemēram, padoto barošanas vielu apjomu un to kombināciju (skat. 2.81. attēlu).



Attēls 2.81. TWS uzstādīšanas principiālā shēma

Kā ja tika minēts, TWS un iepriekš izstrādāto svaru moduļu (LSM) konstrukcijai tiek pielietota viena un tā pati principiālā shēma (skat. 2.82. att.) un atšķiras tikai moduļos pielietoto svaru sensori (WS) maksimālais darba svars, kas LSM gadījumā ir 50kg, bet TWS gadījumā 10 vai 20 kg optimālai WS izejas signāla vērtībai.

LSM un TWS moduļu elementi:

LSM/TWS – Svaru modulis;

L – Slodze;

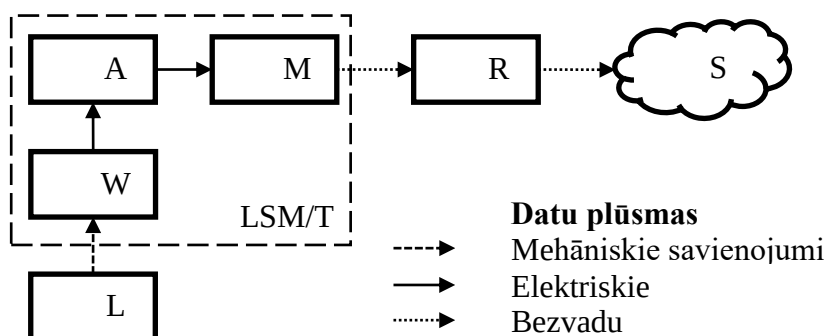
WS – Svaru sensors;

ADC – Analogciparu pārveidotājs;

MC – Mikrokontrolieris ar iebūvētu Wi-Fi funkcionālu;

R – Wi-Fi rūteris;

S – Datu serveris (IoT mākonis).



Attēls 2.82. LSM/TWS principiālā struktūrshēma.

TWS barošanai tiek izmantots ārējs AC/DC 9V barošanas bloks un iekšējais 5V sprieguma stabilizators VR, kas paaugstina MC un ADC barojošā sprieguma stabilitāti un attiecīgi TWS mērījumu precizitāti (skat. 4. att.). AC/DC standarts barošanas bloks tika modificēts, pagarinot tā izejošo barošanas vadu no 1 līdz 7 m (attēls 2.83.), kas ļauj pārvietot TWS līdz tomāta augam visā tā augšanas periodā, nemainot elektrobarošanas pieslēguma vietu. 7V starpība starp barošanas bloka un TWS darba spriegumiem novērš visas iespējamās problēmas ar iespējamo sprieguma kritumu pagarinātajā barošanas vadā.



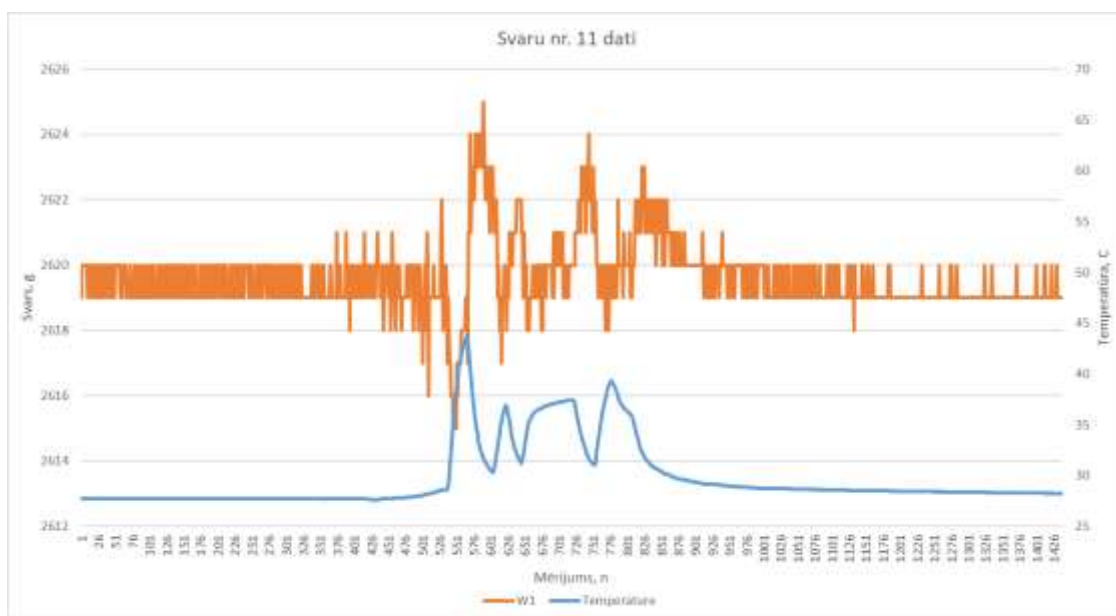
Attēls 2.83. Izveidotie TWS

Izveidotie TWS tika izvēles kārtā notestēti uz svara rādījumu stabilitāti dažādās ārējās temperatūras ietekmē (kritiskākais parametrs) (skat. 2.84. att.).



Attēls 2.84. TWS testēšana laboratorijas apstākļos

Veiktie testi parādīja, ka svara svārstības ārējās temperatūras ietekmē pateicoties pielietotajam korpusam nepārsniedz 0,2% (skat. 2.85. att.). Veicot testus vairākiem pārējiem modeļiem, atšķirības svara rādījumos netika atklātas.



Attēls 2.85. TWS nr. 11 temperatūras ietekmes tests.

2.6.11 IRIS "Attēla" tipa datu pārraides sistēmas izstrāde

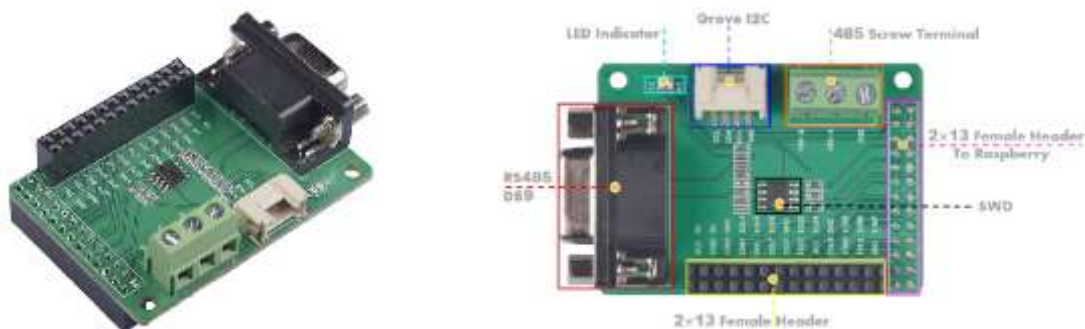
Elektroenerģijas kontroles uzskaites datu nolasīšanas nodrošināšanai tiek pielietots komunikāciju protokols Modbus, ar kura palīdzību tiek veikta datu reģistru nolasīšana no projekta sadarbības partnera kontroles skaitītāja.

Modbus ir atvērta tipa komunikāciju protokols, kas ir ļoti populārs dažādās industriālās vidēs. Tas izmanto gan seriālās komunikāciju līnijas un Ethernet, gan interneta protokolu kā transporta slāni.

Modbus protokolam ir daudz un dažādas versijas. Izejot no apstākļa, ka elektroenerģijas skaitītājs ABB B-24 [19] atbalsta Modbus RTU (remote terminal unit) variantu, tad turpmākām darbībām tiek lietota tieši šī versija.

Paplašinājuma plates izvēle

Saistībā ar to, ka nolasāmās iekārtas tuvumā atrodas Raspberry Pi platforma, tad attiecīgi tika pieņemts lēmums veikt datu nolasījumu tieši ar šīs iekārtas palīdzību. Lai nodrošinātu Raspberry Pi platformas pilnvērtīgu darbību, tiek izmantota papildinājuma plate RS-485 (skatīt 2.86.attēlu).



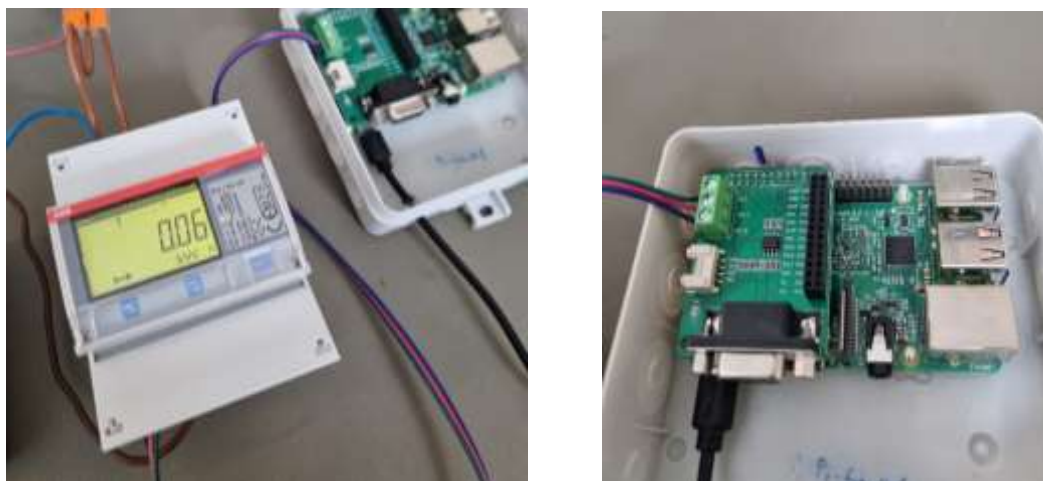
2.9.1. attēls Raspberry Pi papildinājuma plate [20].

Konkrētā paplašinājuma plate ir efektīvs risinājums izmantošanai uz Raspberry Pi platformas, jo to ir iespējams pievienot platformas izejas/ieejas kontaktiem bez atsevišķu savienojumu veidošanas. Galvenie RS-485 specifikācijas dati norādīti 2.6. tabulā.

Tabula 2.6. Raspberry Pi paplašinājuma plates specifikācija.

Item	Value
Operating Supply Voltage	3.3V
Interface	RS-485 DB9 Interface X1
	RS-485 Screw Interface X1
	2×13 Female Header To Raspberry X1
	2×13 Expansion Female Header X1
	Grove I2C Interface X1
Data Rate	2.5Mbps
Number of Receivers on	32
Storage Temperature Range	-65 ~ 160°C
Channel Number	8
Resolution	12-Bit
Power Consumption	Different power consumption depending on the transmission rate
Weight	42g
Length	62.0mm
Width	39.2mm
Height	21.8mm

Projekta gaitā datu tika izstrādāts reģistrs datu nolasīšanai no elektroenerģijas skaitītāja, lai gala rezultātā iegūtu precīzus elektroenerģijas patēriņa datus, kurus būtu iespējas ievietot projekta datu bāzē to turpmākai salīdzināšanai un analīzei (skatīt 2.87. attēlu).

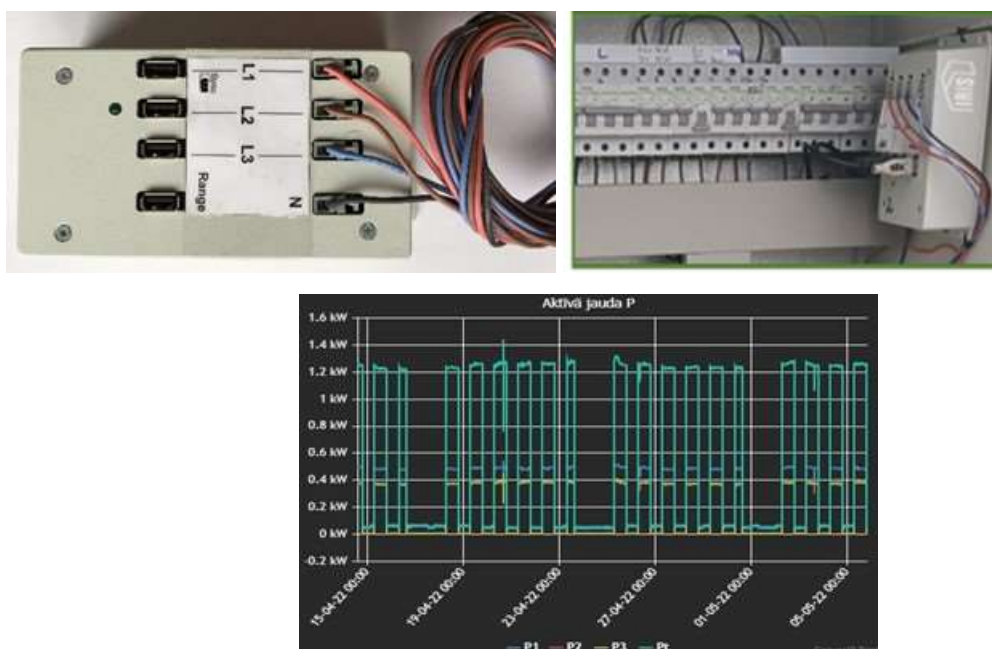


Attēls 2.87. Datu reģistru nolasīšana ar Raspberry Pi platformas palīdzību

2.6.12 IRIS jaudas sensors

Konceptuāli sensora darbība un uzbūve netika mainīta, tādēļ tika izmantots jau uMOL projektā izveidotais risinājums, kura galvenais uzdevums ir monitorēt:

- Apgaismojuma patēriņu
- Kopējo patēriņu atkarībā arī no NordPool cenas – samazināt EUR izmaksas
- Citu ierīču (sūkņi, žalūzijas/aizkari, ventilatori) darba statusu
- Iegūt precīzāku elektroenerģijas izmaksu sadalījumu pēc procesa vai izmantotās vadības stratēģijas konkrētā vietā

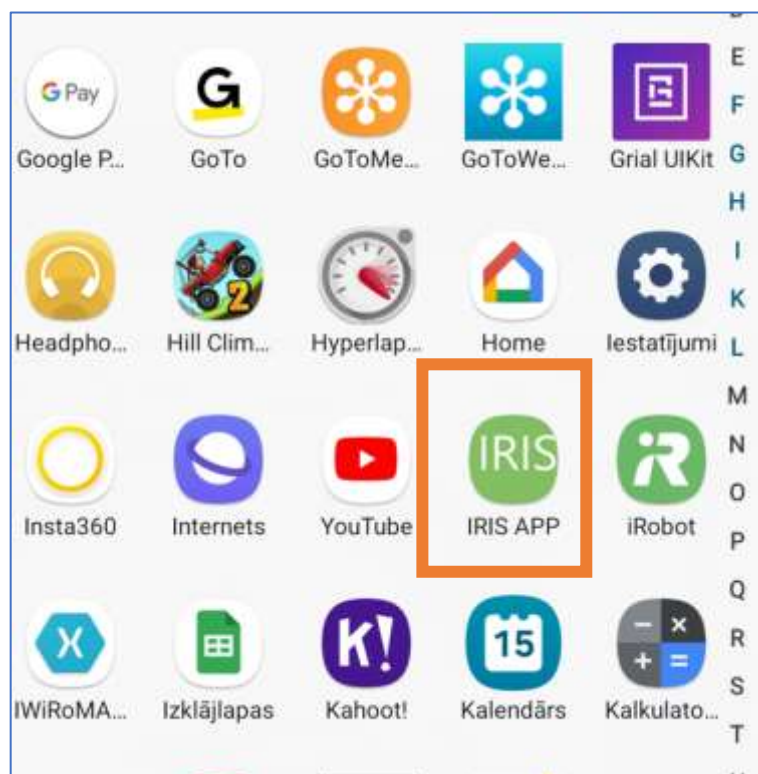


Attēls 2.88. IRIS jaudas sensors un datu piemērs.

2.7 IRIS mobilas aplikācijas izstrāde

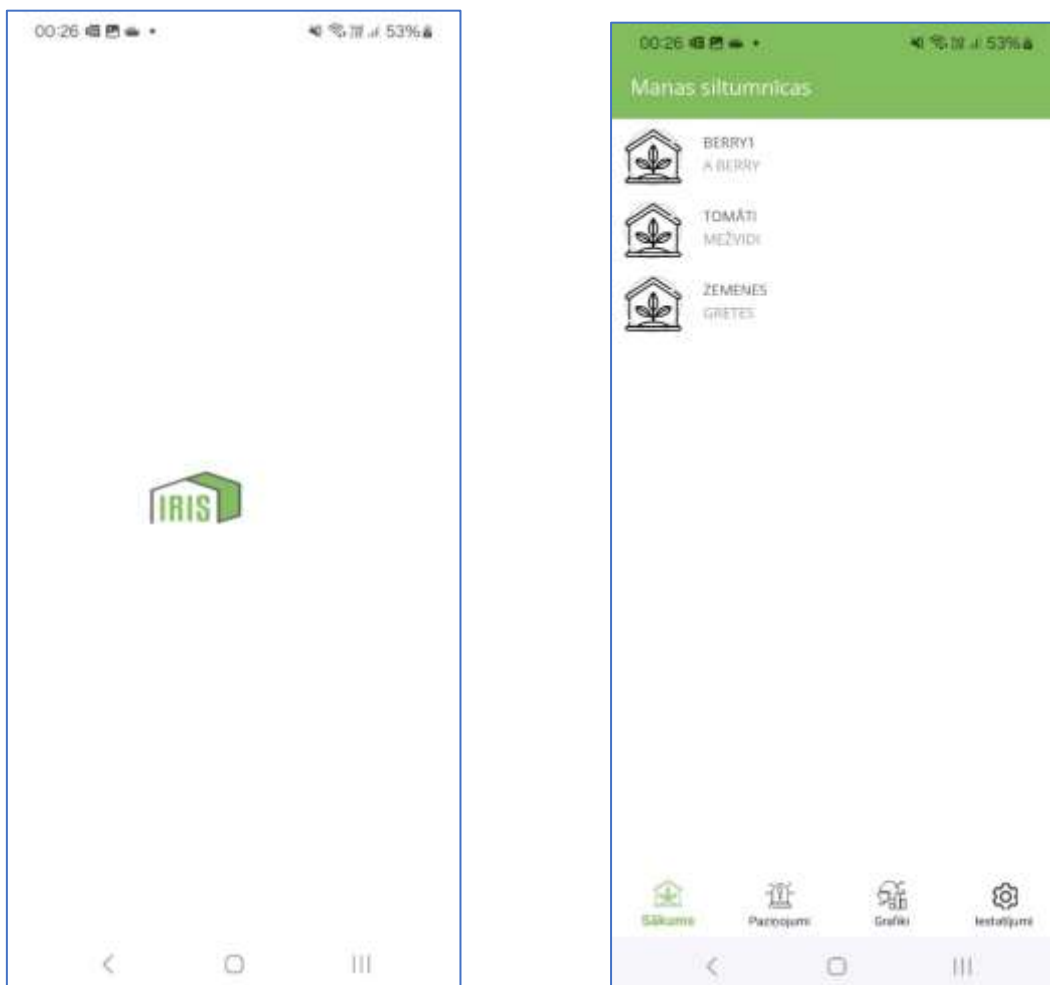
Mobilais lietojums brīdinājuma funkciju realizē lietotājam, parādot paziņojumus (angl. "notification") izmantojot Android viedtelefonā pieejamo funkcionalitāti. Attiecīgi lietotājs saņem paziņojumu, kas līdzinās e-pasta, sms ziņas saņemšanai. Šo funkcionalitāti moblais lietojums realizē ik pēc noteikta laika sazinoties ar serveri pārliedzinoties, ka konkrētajam lietotājam nav jaunu neizlasītu paziņojumu. Paziņojumi tiek ģenerēti automātiski katru reizi sistēmai saņemot datus, piemēram, ja ir pārsniegta lietotāja definētā sliekšņa vērtība, moblais lietojums parāda notifikāciju ar īsu informāciju, kas ir noticis. Šāda pieeja ir izvēlēta, lai samazinātu risinājuma uzturēšanas izmaksas, sarežģītību (iespēju robežās samazināts komponentu un risinājumu apjoms), kā arī nodrošinātu iespēju to izvietot kā privātu risinājumu uz interesenta infrastruktūras. Šī funkcionalitāte ir realizēta plānotā apjomā, proti, lietotājs vienkāršā un ērtā veidā var saņemt paša definētus paziņojumus ar laika nobīdi kas nav lielāka par 15 min kopš notikuma iestāšanās brīža, ja viedtelefonam ir pieeja internetam. Paziņojumu attēlošanas funkcionalitāte ir pieejama arī tīmekļa lietojumā, kas atbilstoši ir atspoguļots atskaitē.

Mobilo lietojumu šobrīd IRIS projekta dalībniekiem izplata, izmantojot speciāli sagatavotu APK failu. Šobrīd publicēšana Google veikalā nav paredzēta, jo moblais lietojums nedarbosies bez saderīgiem sensoriem un sistēmas sagatavošanas, attiecīgi moblais lietojums ir iekļauts kā paka, kuru nodod galapatērētājam kopā ar citām sistēmas komponentēm.



Att. 2.71. Pēc lietojuma uzstādīšanas Android viedierīcē lietojumu sarakstā parādās IRIS APP

Pēc sekmīgas APK instalēšanas telefonā, attēlā 2.71 redzama aplikācijas ikona viedtālrunī, to atverot parādās "ielādēšanas" logs (att.2.) un tad katra lietotāja "siltumnīcas" (piemērs att.2.73.), ko tas drīkst redzēt, attiecīgi citu lietotāju siltumnīcas viņš neredz. Trauksmes tiek attēlotas att. 2.74. un att.2.75.



Att. 2.72. Ielādes logs, kas tiek attēlots kamēr lietojums atveras. Att. 2.73. Piemērs - Lietotājam pieejamās siltumnīcas



Att. 2.74. Lietotājam aktīvie paziņojumi.

Ar sarkano ir atzīmēts sliekšņa vērtības pārsniegums, savukārt ar zaļo krāsu tiek atzīmēts paziņojums, kad vērtības ir atgriezušās definētajā normālajā diapazonā. Mobilais lietojums darbojas fonā un pārbauda vai nav jauni paziņojumi. Ja kāds jauns paziņojums parādās, tad lietotājam tiek parādīts Android sistēmas paziņojums (Notification).

Ja ir aktīvs paziņojums, tad viedtelefona ekrāna augšpusē parādās IRIS logo.

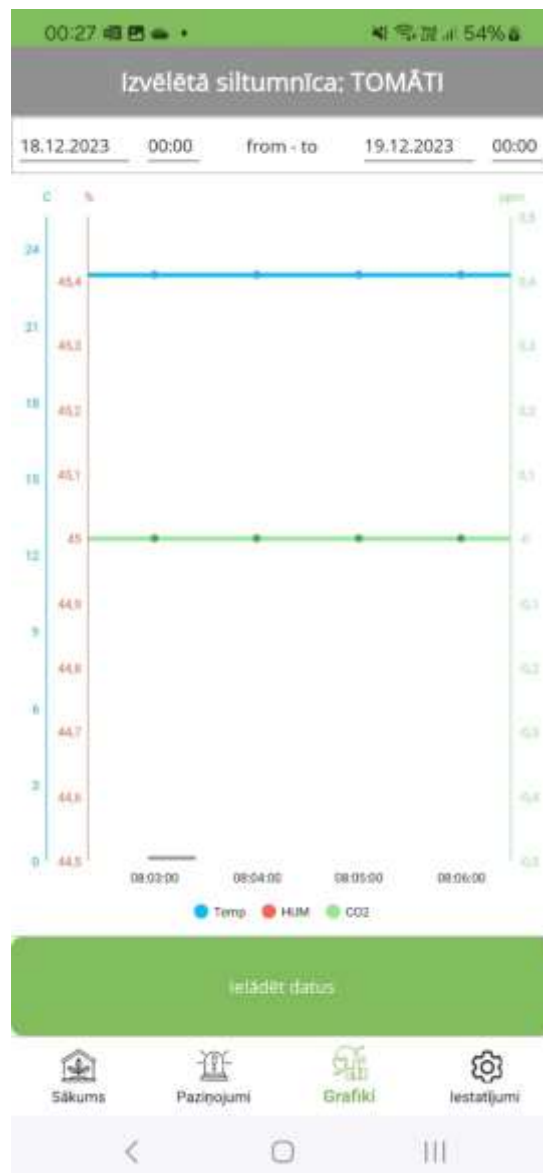
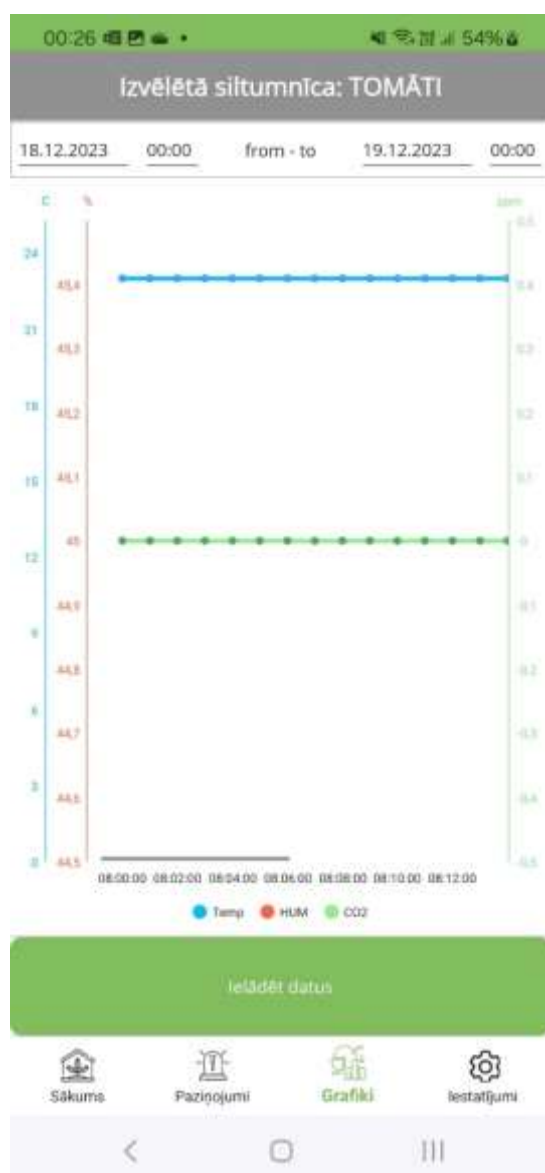


Savukārt pavelkot šo paneli tiek parādīts jau paplašināts paziņojums



Att. 2.75. Android sistēmas paziņojums (Notification)

Lietotājam izvēloties siltumnīcu ir iespēja apskatīt sensoru mērījumu datus.



Att. 2.76. Lietotājs var izmantot iespēju filtrēt datus pēc datuma un laika. Att. 2.77. Lietotājam ir iespēja pievilkt tuvāk un apskatīties datus par mazāku periodu



Att. 2.78. Iestatījumu skats, kur lietotājam ir iespēja izrakstīties no sistēmas.

3 IRIS sistēmu uzstādīšana un testēšana projekta partneru siltumnīcās

3.1 SIA ABerry

SIA ABerry 2020-21. gadā tika izveidota siltumnīcu zemeņu audzēšanai, kurā ir 6 vagas, regulējamais augstums (0.75-1.5m). Ir meteostacija, lūku automātika, tika izveidota pašaisīta automātikas sistēma.

Tabula 2.7. ABerry siltumnīcā uzstādītie IRIS sensori.

Siltumnīcas Nr.	IRIS sensori						Programma	
	Gaisa T/RH	CO2	P,W – 1f	P,W – 3f	WiFi	Electric IMP	IRIS software	Mobile APP
Uzstādīts:	12	3	0	1	0	7	1	1
Siltumnīcas Nr.	IRIS sensori						Vadība	
	NDVI	Gaismas (RGB)	Augsnes mitruma	Svara pieauguma	Svars, paliknis	ePAR	Releju bloks	
Uzstādīts:	3	2	2	0	0	1	0	



Attēls 3.1. SIA ABerry siltumnīcā uzstādītie IRIS sensori.

3.2 *Bulduru siltumnīcas*

Bulduros ir divas siltumnīcas, viena ir stiklota ar pludināšanas apūdeņošanas sistēmu, kurā tiek audzētas puķes, tomāti, un otra ir plēves tuneļveida siltumnīca (tas pats ražotājs, kā SIA ABerry siltumnīca), tika audzēti tomāti, bet no 2021. gadā tika audzētas zemenes. Nav laistīšanas sistēma un tās automatizācija. Lūkas atvēršana tiek vadīta ar elektrisko piedziņu, kontrolleri un Meteostacijas datiem.



Stiklotā siltumnīca.



Attēls 3.2. Plēves siltumnīcas vadības kontrolleris un elektrubarošanas sadalne jaudas sensoru pievienošanai.

Tabula 2.8. Bulduru siltumnīcās uzstādītie IRIS sensori.

Siltumnīcas Nr.	IRIS sensori						Programma	
	Gaisa T/RH	CO2	P,W – 1f	P,W – 3f	WiFi	Electric IMP	IRIS software	Mobile APP
Plānots:	18	6	0	0	2	16	1	1
Siltumnīcas Nr.	IRIS sensori						Vadība	
	NDVI	Gaismas RGB	Augsnes mitruma	Svara pieauguma	Svars, paliknis	ePAR	Releju bloks	

Plānots:	6	3	0	6	0	1	0
----------	---	---	---	---	---	---	---



Attēls 3.3. Uzstādītie sensori stikla un plēves siltumnīcās.

3.2.1 Z/S Utāni

Z/S Utāni ir 5 plēves siltumnīcas, kur katra ir 10m*50m=500m², tika audzēti gurķi. Siltumnīcām ir dažāda vecuma plēve, ar dažādu gaismas caurlaidību. Āra mērījumā, saules gaismā PAR tika iegūti 2700, $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Siltumnīcas Nr.	PAR ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$) iekšā, 1m augstumā
1	770
2	566-760
3	800-900
4	400-600
5	800-900





Attēls 3.4. Z/S Utāni siltumnīcas

Apsildei tiek izmantots elektriskais gaisa sildītājs/pūtējs un malkas apkures krāsns ar siltā gaisa izvadi. Ir lūku un aizkaru vadības kontrolleris, sadalne. Ir nepieciešamība pēc automatizētas laistīšanas sistēmas.

Tabula 2.9. Z/S Utāni siltumnīcās uzstādītie IRIS sensori.

Siltumnīcas Nr.	IRIS sensori						Programma	
	Gaisa T/RH	CO2	P,W 1f	– svara	WiFi	Electric IMP	IRIS software	Mobile APP
3	3	1		1	1	2	1	1
3	3	1		1		2	1	1
4	3	1	1	1	1	5	1	1
4	3	1		1		2	1	1
5	3	1		1	1	2	1	1

Siltumnīcas Nr.	IRIS sensori						Vadība
	NDVI	Gaismas RGB	Augsnes mitruma	Svara pieauguma	Svars, paliknis	ePAR	Releju bloks
3,4,5	5	2	3	5	0	0	0

3.2.2 Z/S Eži

Z/S Eži ir trīs dažādas plēves siltumnīcas. Zemeņu siltumnīcā (N1) plēvei ir 200 mikroni, darbu tā sāk martā līdz oktobrim, 12m*9m (108m²). Iekšā PAR bija 800 (μmolm⁻²s⁻¹), ārā 1730 (μmolm⁻²s⁻¹). Vēdina ar lūkām un durvīm. Ārā ir vagas, kurās tiek audzētas mellenes, nepieciešama automatizēta laistīšanas/pilināšanas sistēma.

Tomātu siltumnīca (N2) ir salīdzinoši jauna siltumnīca (plēve – 150 mikroni), izmērs 80*11m, kas ir ap 880m². Vēdināšana nav automatizēta, notiek caur sānu lūkām. Iekšā PAR bija 1130-1280 (μmolm⁻²s⁻¹), ārā 1730 (μmolm⁻²s⁻¹).

Tabula 2.10. Z/S Eži siltumnīcās uzstādītie IRIS sensori.

Siltumnīcas Nr.	IRIS sensori						Programma	
	Gaisa T/RH	CO2	P,W 1f	P,W – 3f	WiFi	Electric IMP	IRIS software	Mobile APP
1	6	2			1	1	1	1
2	9	3	1		1	5	1	1
Siltumnīcas Nr.	IRIS sensori						Vadība	
	NDVI	Gaismas RGB	Augsnes mitruma	Svara pieauguma	Svars, paliknis	ePAR	Releju bloks	
1,2	3	4	3	5	0	1	1	



Attēls 3.5. Z/S Eži zemeņu siltumnīca un IRIS sensoru uzstādīšana



Attēls 3.6. Z/S Eži āra platības krūmmelleņu audzēšanai



Attēls 3.7. Z/S Eži Tomātu siltumnīca



Attēls 3.8. Z/S Eži laistīšanas sistēma



Attēls 3.9. Z/S Eži, IRIS sensoru uzstādīšana, plēves siltumnīca un sānu lūkas



Attēls 3.10. Z/S Eži, IRIS jaudas sensoru uzstādīšana, elektrības un interneta kabeļa ierīkošana.

4 DP2: Jaunu novērtēšanas metožu izstrāde dažādām siltumnīcu sistēmām, ražošanas procesiem un tehnoloģijām.

4.1 Metodiskie pētījumi un to rezultāti

Projekta gaitā tiek veikti metodiski pētījumi un to rezultāti (dārzeņu ontogēneses īpatnības, produkcijas bioķīmiskā sastāva izmaiņas atkarībā no apgaismojuma, sēņu slimību attīstību atkarība no tehnoloģijām, dažāda spektra gaismas ietekme saimnieciski postīgo un noderīgo kukaiņu populāciju attīstībai tomātu siltumnīcā – ražošanas apstākļos).

Piektajā perioda ietvaros tika veikts pētījums, kas tika prezentēts 80 Zinātniskajā LU konferencē "Inovatīvie un Pielietojamie Pētījumi Bioloģijā": "Gaismas avota ietekme uz siltumnīcas balto mušu izplatību (Impact of light source on distribution of greenhouse whiteflies)". Autori: Edīte Juceviča, Ineta Salmane.

Mūsdienās dārzeņu audzēšana siltumnīcās aukstajā un tumšajā ziemas sezonā ir neatņemama lauksaimniecības sastāvdaļa. Lai nodrošinātu labāku augu augšanu un ražošanu, tiek izmantoti dažādi mākslīgie gaismas avoti. Pēdējā laikā siltumnīcu sistēmās līdzās citiem gaismas avotiem tiek ieviestas gaismas diodes, kas ir drošākas, vieglāk digitāli vadāmas un vēsākas nekā augstspiediena nātrija tvaika lampas.

Siltumnīcās labvēlīgos apstākļos var attīstīties ne tikai augi, plaukst arī dažādi kaitēkļi. Gaisma ir viens no svarīgākajiem faktoriem kukaiņu dzīvē. Gaisma var veicināt vai traucēt kukaiņu attīstību un dzīves ciklus. Baltās mušīņas *Trialeurodes* spp. (Hemiptera: Aleyrodidae) ir zināms, ka tie barojas ar daudzām augu sugām, tostarp lauksaimniecībā nozīmīgām. Labvēlīgos apstākļos baltās mušīņas var ātri vairoties un izraisīt milzīgus augu bojājumus. Baltās mušas barojas ar augu šķidrumiem, un inficētās lapas var zaudēt spēku, kļūt dzeltenas un priekšlaicīgi nokrist. Smagas invāzijas gadījumā augus var iznīcināt. Lai iegūtu nepieciešamās barības vielas, baltblusiņām jāēd liels daudzums atšķaidītas sulas. Šķidrums un liekais cukurs galu galā izdalās spīdīgas, lipīgas medus rāsas veidā uz augu virsmas, kas var izraisīt melnu kvēpu pelējumu, kas aug uz lapotnes. Tomēr visvairāk augiem kaitē balto mušu spēja pārnest augu vīrusus, jo tās var pārnēsāt vairāk nekā 100 vīrusus.

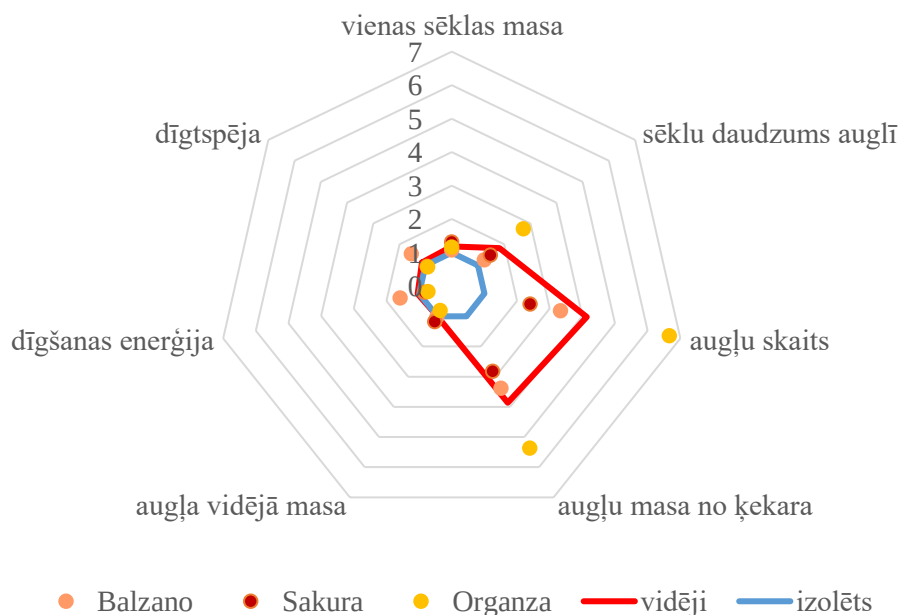
Lai noskaidrot gaismas avota iespējamo ietekmi uz viena no kaitīgākajiem siltumnīcas kaitēkļiem, tiek veikts pētījums projekta "Inovatīvu risinājumu izpēte un jaunu metožu izstrāde efektivitātes un kvalitātes paaugstināšanai Latvijas siltumnīcu sektorā [IRIS]" ietvaros. Pētījums veikts Latvijas Dzīvības zinātņu un tehnoloģiju universitātes Lauksaimniecības fakultātes polikarbonāta siltumnīcā. Tika izmantoti trīs papildu gaismas avoti: LED COB Helle Top LED 280 gaismeklis, indukcijas spuldzes un augstspiediena nātrija tvaika lampas Helle Magna. 16 stundu gaismas periodā tika audzētas četras tomātu šķirnes. Pieaugušas baltās mušas tika reģistrētas ar dzeltenām lipīgām lamatām, kas novietotas pie tomātiem.

Slazdi tika uzraudzīti ik pēc 2 nedēļām. Pētījuma laikā uz tomātu lapām tika reģistrēts balto mušu skaits. Tika konstatētas atšķirības balto mušu izplatībā starp trim gaismas avotiem.

4.2 Saimnieciski nozīmīgo kukaiņu un kaitēkļu monitorings

Pētījumi veikti polietilēna seguma siltumnīcās 2022. gada veģetācijas periodā. Skaidrota tomātu produktivitāte, sēklu veidošanās un sēklu kvalitāte. Izmantoti četrus šķirņu tomāti: 'Bolzano F1', 'Sakura F1', 'Organza F1', 'Berberana F1'. Pētījumi ietvēra divus variantus: pašapputes (ziedi izolēti) un brīvu apputeksnēšanu ar kukaiņiem. Ziedu ķekari pumpurošanās fāzē izolēti ar oranžas maisiņiem. Izolācijas maisiņus uzlika atsevišķiem ķekariem, kad ķekars bija izveidojies un pirmais zieds ķekarā bija ieguvis ziedlapu krāsojumu. Izolācijas maisiņus noņēma, kad augļi sasniedza apmēram pusi no pilnībā attīstītā augļa izmēra. Lai noteiktu apputeksnēšanas efektivitāti, tika salīdzināts augļu skaits un masa ķekarā, augļu vidējā masa un sēklu kopējā masa vienam auglim, un 100 sēklu masa, skaidrota sēklu dīgtspēja.

Izmēģinājumos noskaidrots, ka apputeksnētāji būtiski ietekmē augļu skaitu un augļu masu no ķekara, kas tiek iegūti. Dažāda ir šķirņu nepieciešamība pēc apputeksnētājiem. Šķirnei 'Berberana' izolētajiem augiem neizdevās iegūt nevienu augli. Vismazāk jutīgā bija 'Sakura'. Ja auglis ir izveidojies, tad viena augļa vidējā masa ir maz atkarīga no tas veidojies no brīvās apputes vai izolētā zieda.



Attēls. 4.1. Apputeksnētāju ietekme uz tomātu augļu un sēklu parametriem (relatīvie lielumi (izolētie ziedi kontrole, kas pieņemts kā 1))

Likumsakarīgi ka sēklu daudzumu ietekmē apputeksnēšana, bet sēklu parametri ir vairāk atšķirīgi no šķirnes nevis no apputeksnētāja.

4.2.1 Gurķu un tomātu kaitēkļu monitorings polikarbonāta siltumnīcās

2020./2021. gada ziemas sezonā veicām gurķu un tomātu kaitēkļu monitoringu siltumnīcas apstākļos pie trīs dažādiem papildus apgaismojuma avotiem: LED COB Helle Top LED 280

lampas, indukcijas lampas un augstspiediena nātrija tvaika lampas Helle Magna. Katra veida gaismas avotu izvietoja atsevišķi virs gurķu un tomātu stādiem.

No 29.10.2020 līdz 25.02.2021 kukaiņu uzskaitēm siltumnīcā izvietojām dzeltenās līmes lamatas (4.2. att.).

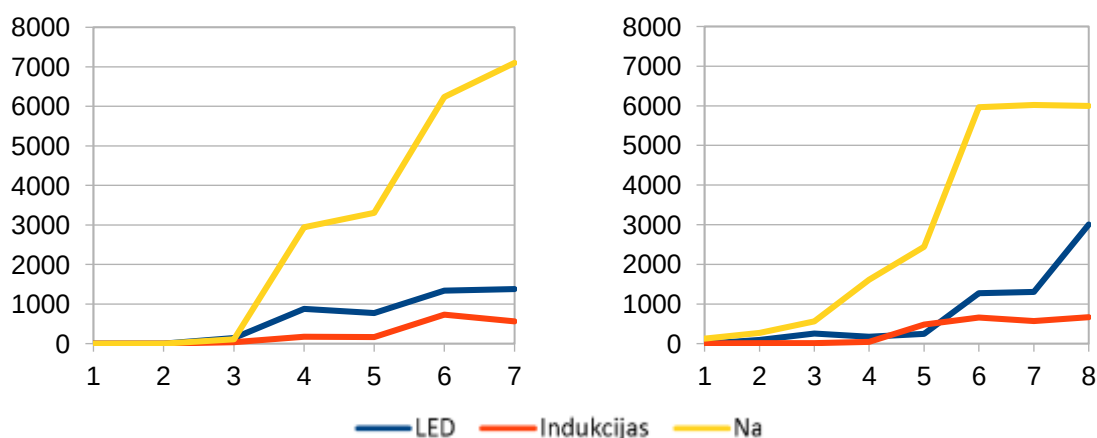


4.2. attēls. Dzeltenās līmes lamatas izvietotas tomātu siltumnīcā kaitēkļu monitoringam.

Kukaiņu uzskaites uz līmes lamatām veicām vienu reizi divās nedēļās. Katrā uzskaites reizē dzeltenās līmes lamatas novācām un aizvietojām ar jaunām. Kukaiņu uzskaiti un noteikšanu veicām laboratorijas apstākļos ar atstarojošās gaismas mikroskopa palīdzību.

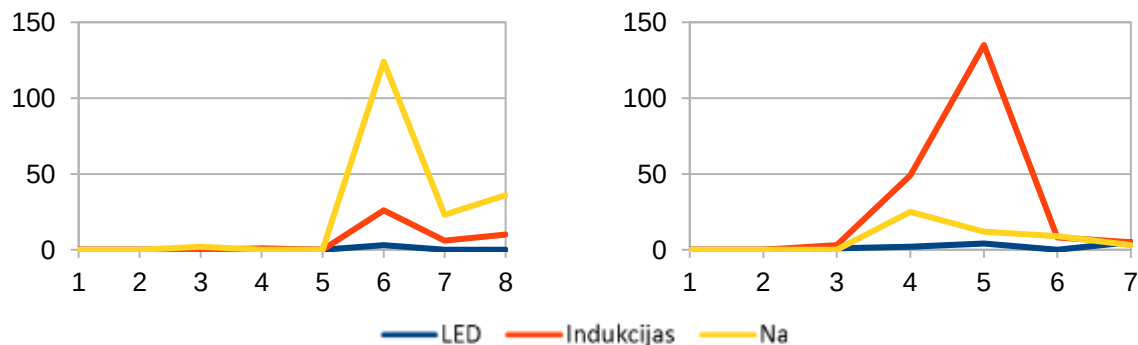
Laikā no 29.10.2020 līdz 25.02.2021 vienu reizi divās nedēļās veicām kaitēkļu uzskaites uz gurķu un tomātu lapām. No tomātu auga paņēmām vienu, lielu, nobriedušu lapu, uz kuras veicām kaitēkļu uzskaiti. No gurķa auga tādā pašā nolūkā paņēmām divas nobriedušas lapas.

Monitoringa gaitā uz tomātu lapām konstatējām baltblusiņu nepieaugušo īpatņu un uz dzeltenajām līmes lamatām pie tomātiem baltblusiņu pieaugušo īpatņu pieaugumu (4.3. att.). Īpaši izteikts šis pieaugums vērojams zem nātrija lampām. Savukārt, vismazākais baltblusiņu skaits un pieaugums bija vērojams zem indukcijas lampām.



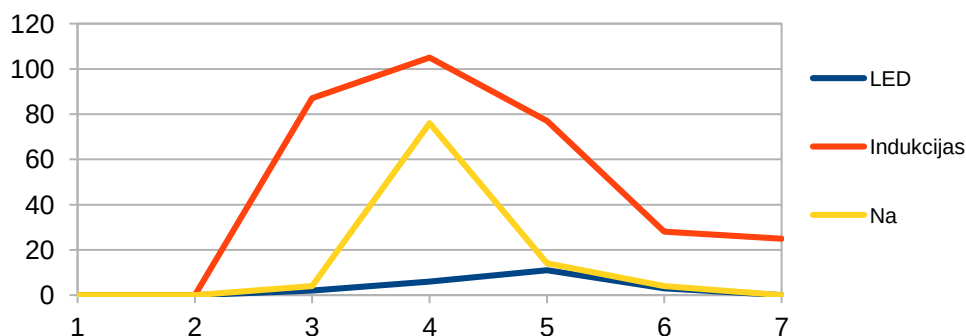
4.3. attēls. Pa kreisi - baltblusiņu nepieaugušo īpatņu uzskaites rezultāti uz tomātu lapām, pa labi – baltblusiņu imago uzskaites rezultāti uz dzeltenajām līmes lamatām pie tomātiem.

Tripši tomātos parādījās aptuveni sezonas vidū. Uz tomātu lapām vislielāko tripšu skaitu un pieaugumu konstatējām zem nātrija lampām (4.4. att.). Savukārt, uz dzeltenajām līmes lamatām pie tomātiem vislielākais skaits un pieaugums novērojams zem indukcijas lampām. Abos gadījumos tripšu skaits zem LED lampām bija niecīgs, kā arī kopumā tripšu skaits nebija vērojams liels.



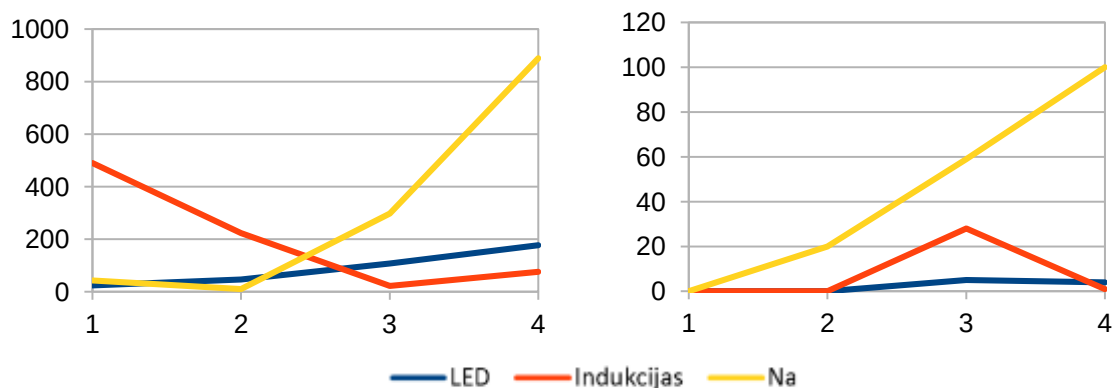
4.4. attēls. Pa kreisi – tripšu uzskaites rezultāti uz tomātu lapām, pa labi – tripšu uzskaites rezultāti uz dzeltenajām līmes lamatām pie tomātiem.

Trūdodiņu uzskaites veicām uz dzeltenajām līmes lamatām. Arī trūdodiņi parādījās aptuveni monitoringa vidū un to lielākais skaits un pieaugums bija vērojams zem indukcijas lampām (4.5. att.). Kopumā trūdodiņu skaits pie tomātiem nebija liels.



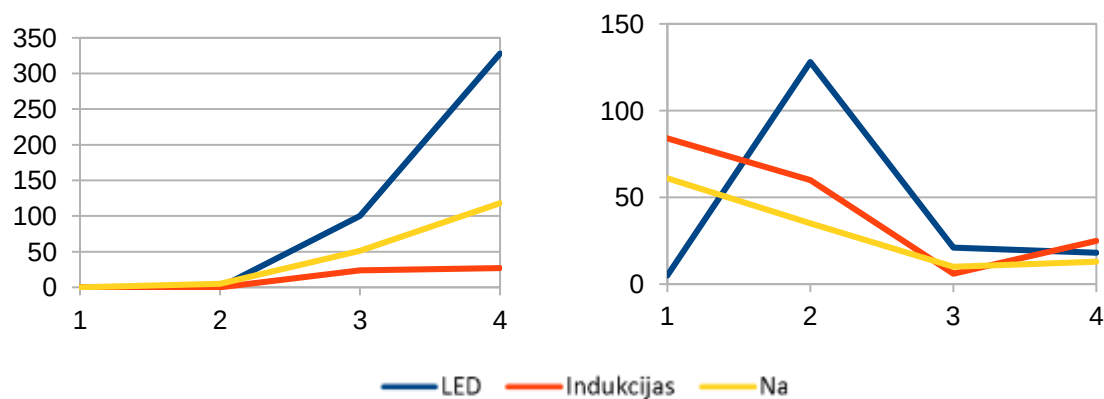
4.5. attēls. Trūdodiņu uzskaites rezultāti uz dzeltenajām līmes lamatām pie tomātiem.

Uz gurķu lapām lielāko baltblusiņu skaitu un skaita pieaugumu konstatējām zem nātrija lampām (4.6. att.). Kopumā baltblusiņu skaits uz gurķu lapām bija salīdzinoši neliels. Savukārt, uz dzeltenajām līmes lamatām pie gurķiem baltblusiņām bija vērojams sezonas laikā liels pieaugums zem nātrija lampām. Zem indukcijas lampām monitoringa sākumā bija ievērojams baltblusiņu skaits, kas sezonas gaitā samazinājās.



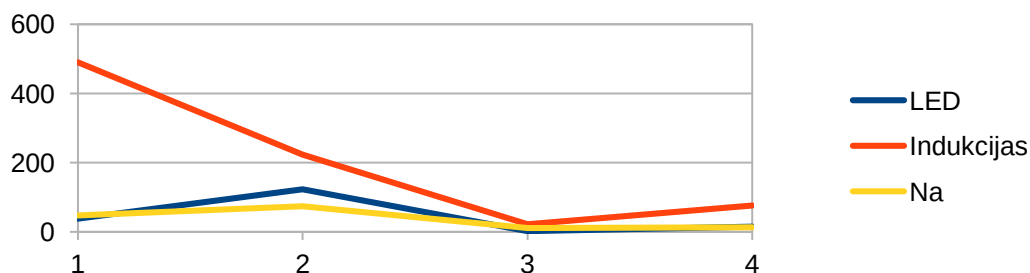
4.6. attēls. Pa kreisi – baltblusiņu nepieaugušo īpatņu uzskaites rezultāti uz gurķu lapām, pa labi – baltblusiņu imago uzskaites rezultāti uz dzeltenajām līmes lamatām pie gurķiem.

Tripšu uzskaites rezultāti uz gurķu lapām parāda ievērojamu pieaugumu monitoringa laikā zem LED lampām (4.7. att.). Arī zem indukcijas un nātrija lampām vērojams tripšu pieaugums, tomēr tas ir salīdzinoši neliels. Uz dzeltenajām līmes lamatām vērojams sākotnēji liels tripšu skaits, kas monitoringa laikā samazinās. Kopējais tripšu skaits ir salīdzinoši neliels uz dzeltenajām līmes lamatām.



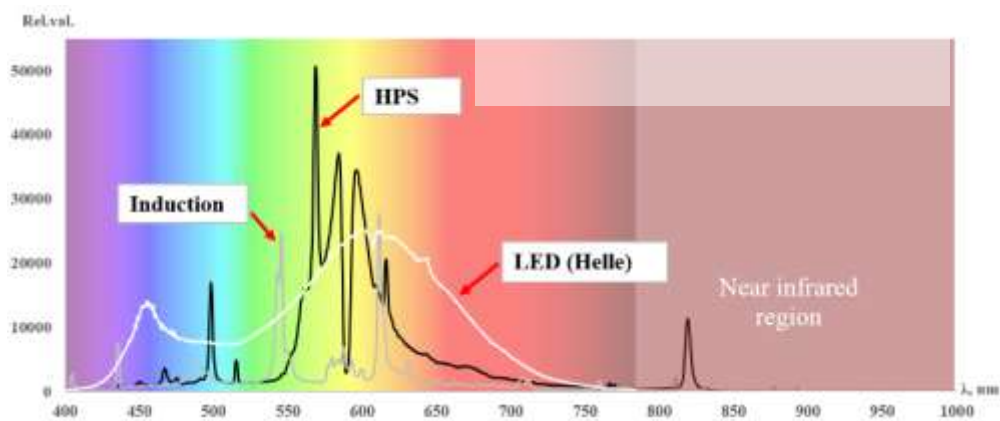
4.7. attēls. Pa kreisi – tripšu uzskaites rezultāti uz gurķu lapām, pa labi – tripšu uzskaites rezultāti uz dzeltenajām līmes lamatām pie gurķiem.

Uz dzeltenajām līmes lamatām pie gurķiem sākotnējais trūdodiņu skaits bija salīdzinoši liels zem indukcijas lampām, bet monitoringa laikā samazinājās. Zem LED un nātrija lampām trūdodiņu skaits un tā svārstības bija nelielas.



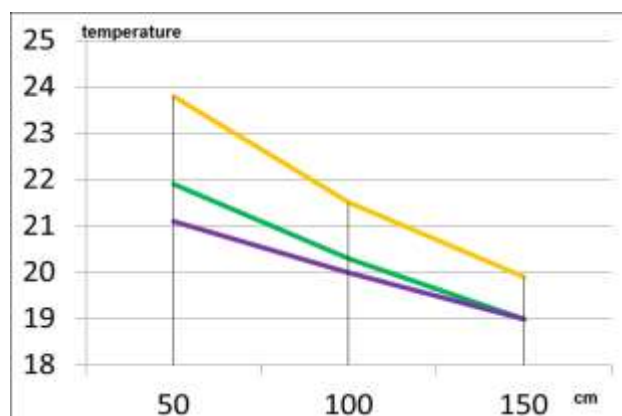
4.8. attēls. Trūdodiņu uzskaites rezultāti uz dzeltenajām līmes lamatām pie gurķiem.

Viennozīmīgi baltblusiņu skaitu tomātos un gurķos ietekmēja gaismas avota veids. Tās ievērojami lielākā skaitā konstatējām zem nātrija lampām. Baltblusiņām vislielākā gaismas jūtība ir pie 525 nm gaismas viļņa garuma, kas ir ļoti tuvs nātrija lampu gaismas viļņu maksimumam (4.9. att.), līdz ar to izraisa baltblusiņu koncentrāciju. Otrs faktors, ka ietekmējis baltblusiņu skaita palielināšanos zem nātrija lampām bija temperatūra.



4.9. attēls. LED COB Helle Top LED 280 lampu, indukcijas lampu un augstspiediena nātrija tvaika lampu Helle Magna gaismas viļņu spektri.

Temperatūrai ir liela nozīme kukaiņu attīstībā un salīdzinoši augstāka temperatūra zem nātrija lampām vērojama pat 150 cm attālumā (4.10. att.), līdz ar ko būtiski bija veicināta baltblusiņu attīstība tieši zem šī gaismas avota. Baltblusiņu attīstībai optimālā temperatūra ir 22-24 °C, kas arī veicināja to koncentrāciju zem nātrija lampām.



4.10. attēls. Temperatūras atšķirības 50, 100 un 150 cm attālumā no gaismas avota: dzeltenā krāsa – nātrija lampas, zaļā – indukcijas lampas, zilā – LED lampas.

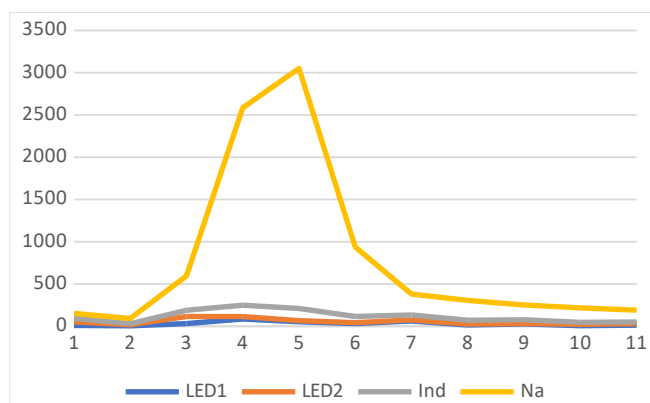
Tā kā uzskaites pie gurķiem bija iespējams veikt tikai četras reizes, līdz miltrasas invāzijas dēļ uzskaites vairs nebija iespējams izdarīt un augi bija jālikvidē, ir apgrūtināti izdarīt secinājumus, tomēr arī pie gurķiem zem nātrija lampām konstatējām lielāku baltblusiņu skaitu un skaita pieaugumu.

Trūdodīņus, iespējams, piesaista indukcijas lampas, tomēr secinājumiem ir nepieciešami vairāk pētījumi.

2021./2022. gada ziemas sezonā veicām tomātu kaitēkļu un parazītiskās lapsenītes enkarsijas *Encarsia formosa* monitoringu siltumnīcas apstākļos pie trīs dažādiem papildus apgaismojuma avotiem: LED COB Helle Top LED 280 lampas, indukcijas lampas un augstspiediena nātrija tvaika lampas Helle Magna. Katra veida gaismas avotu izvietoja atsevišķi virs tomātu stādiem.

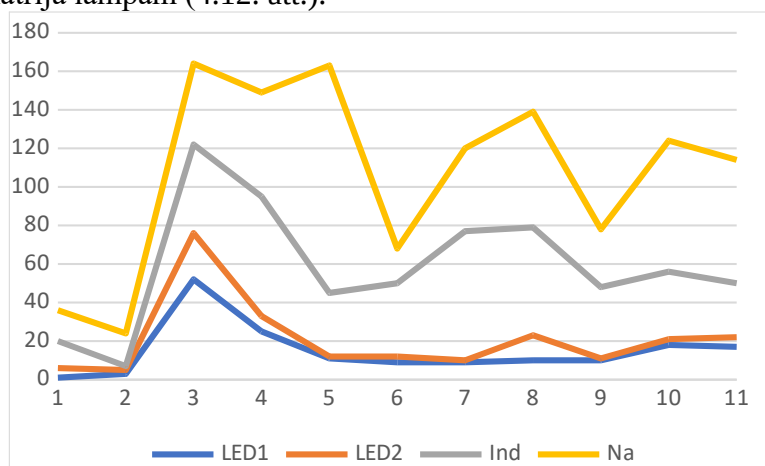
No 30.09.2021 līdz 22.02.2022 kukaiņu uzskaitēm siltumnīcā izvietojām dzeltenās līmes lamatas. Kukaiņu uzskaites uz līmes lamatām veicām vienu reizi divās nedēļās. Katrā uzskaites reizē dzeltenās līmes lamatas novācām un aizvietojām ar jaunām. Kukaiņu uzskaiti un noteikšanu veicām laboratorijas apstākļos ar atstarojošās gaismas mikroskopa palīdzību.

Monitoringa gaitā uz dzeltenajām līmes lamatām pie tomātiem novērojām baltblusiņu pieaugušo īpatņu pieaugumu (4.11. att.). Īpaši izteikts šis pieaugums bija vērojams zem nātrija lampām.



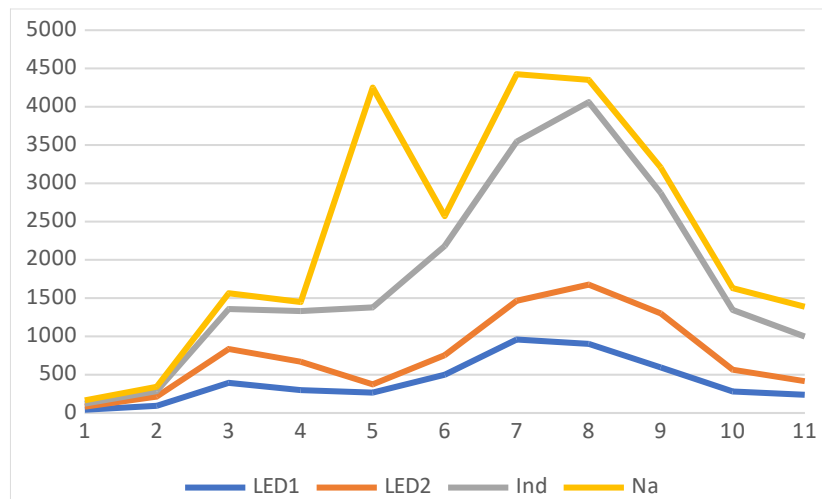
4.11. attēls. Baltblusiņu pieaugušo īpatņu uzskaites rezultāti uz dzeltenajām līmes lamatām pie tomātiem.

Vislielākais tripšu skaits un tripšu pieaugums uz dzeltenajām līmes lamatām bija novērojams zem nātrija lampām (4.12. att.).



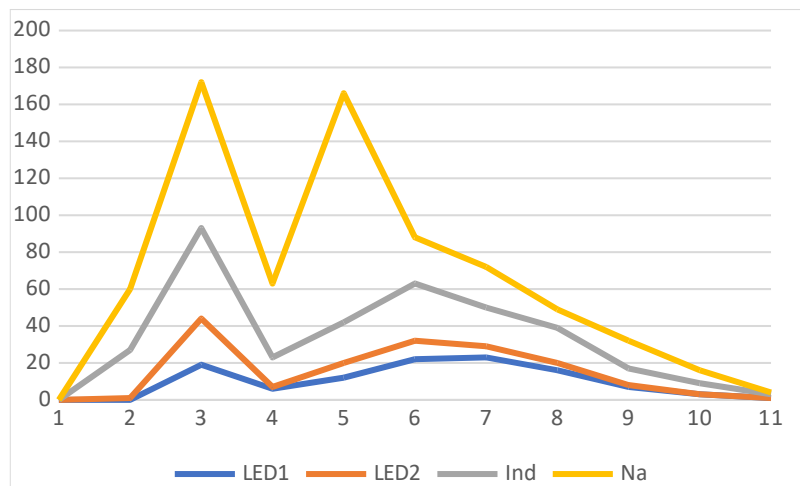
4.12. attēls. Tripšu uzskaites rezultāti uz dzeltenajām līmes lamatām pie tomātiem.

Trūdodiņiem liels īpatņu skaits bija vērojams zem nātrija lampām (4.13. att.). Arī zem indukcijas lampām trūdodiņu skaits bija ievērojami lielāks kā zem LED lampām. Trūdodiņi gan būtisku kaitējumu tomātu stādiem nevar nodarīt, jo to kāpuri barojas tikai ar ļoti mazām augu saknēm.



4.13. attēls. Trūdodiņu uzskaites rezultāti uz dzeltenajām līmes lamatām pie tomātiem.

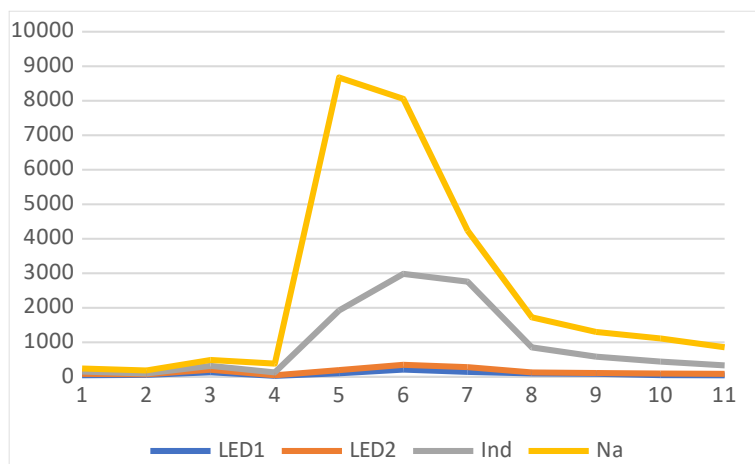
Šajā monitoringa sezonā uz dzeltenajām līmes lamatām novērojām arī laputis, kurām vislielāko skaitu konstatējām zem nātrija lampām (4.14. att.). Skaits zem pārējām lampām bija ievērojami mazāks.



4.14. attēls. Laputu uzskaites rezultāti uz dzeltenajām līmes lamatām pie tomātiem.

Kaitēkļu apkarošanai 17.09.2021 siltumnīca izlaidām derīgos organismus: enkarsijas *Encarsia formosa*, plēsīgās ērces *Amblyseius* spp. un *Phytoseiulus* spp. Visā monitoringa laikā uz tomātiem novērojām plēsīgo ērcu klātbūtni. Uz dzeltenajām līmes lamatām uzskaitīt bija iespējams enkarsijas. Primāri enkarsijas izmanto baltblusiņu ierobežošanai [21]. Kā 4.11. attēlā redzams, tad vislielākais baltblusiņu skaits bija zem nātrija lampām un, visticamāk, šī iemesla dēļ arī enkarsijas tieši zem šīm lampām bija visvairāk. Tāpat, acīmredzot, enkarsijas pozitīvi ietekmē augstākas intensitātes gaisma un ausgtāka temperatūra. Arī literatūrā atrodamas

atsauces par papildus mākslīgā apgaismojuma pozitīvu ietekmi, vai nu veicinot baltblusiņu parazitēšanas apjomus, vai arī veicinot to izplatīšanos, barošanās (ar baltblusiņām) apjomus vai olu dēšanu [22]-[26]. Arī garāks fotoperiods pozitīvi ietekmē enkarsiju aktivitātes un parazitismu.



4.15. attēls. Enkarsiju *Encarsia formosa* monitoringa rezultāti uz dzeltenajām līmes lamatām pie tomātiem.

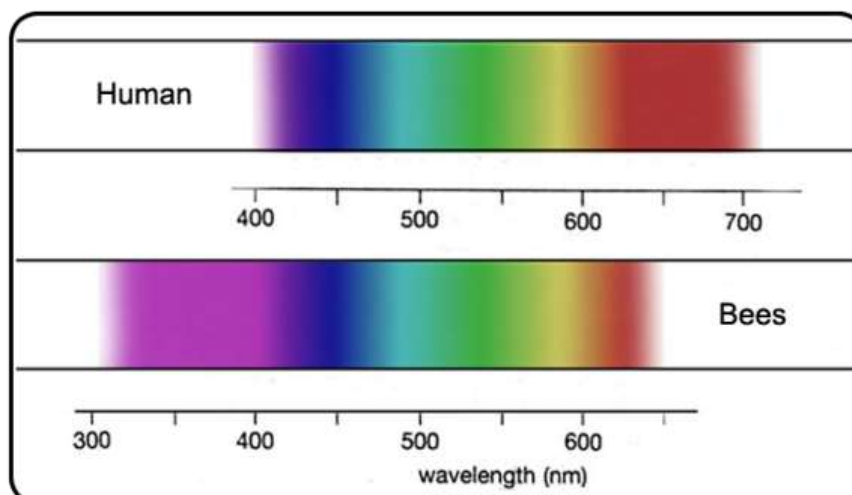
Kopumā pa abiem gadiem:

Viennozīmīgi, ka baltblusiņu attīstību pozitīvi ietekmē augstspiediena nātrija tvaika lampu Helle Magna gaismas spektrs un zem šīm lampām pastāvošā augstāka gaisa temperatūra salīdzinoši ar LED un indukcijas lampām. Gan saistībā ar baltblusiņu izplatību, gan arī tādēļ, ka enkarsijām arī šādi vides apstākļi veicina attīstību un parazitismu, arī enkarsijas daudz lielākā skaitā konstatējām zem nātrija lampām.

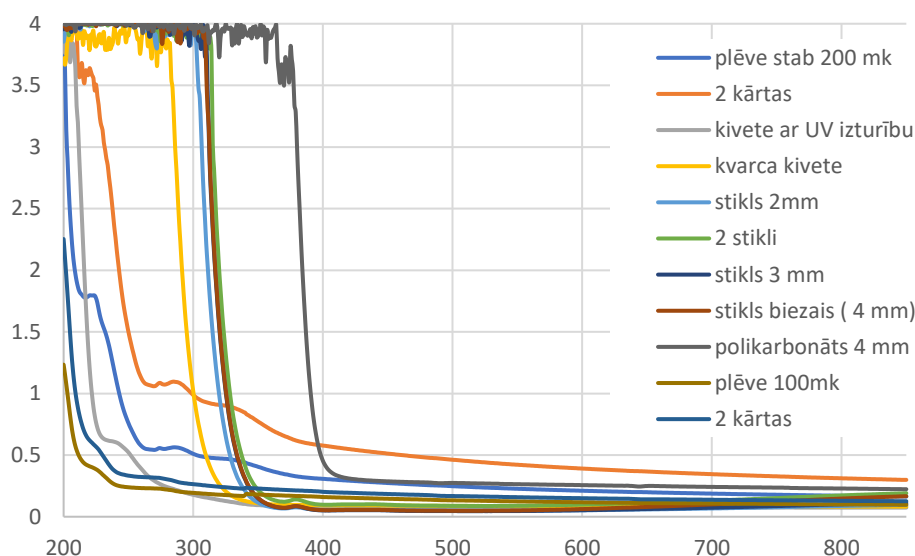
Par šo gaismas avotu ietekme uz pārējiem kaitēkļiem nevar viennozīmīgi atbildēt. 2020./2021. gada monitoringā arī tripši bija vairāk novēroti zem nātrija lampām, bet ne visos eksperimentos. Iespējams, ka tripšu attīstībai ir svarīgi vēl citi vides faktori, kurus mēs neņemām vērā un neuzskaitījām. Trūdodiņi 2021./2022. gada monitoringā, visticamāk, bija vērojami lielā skaitā saistībā ar konkrētas augsnes izmantošanu, kas bijusi invadēta ar trūdodiņu kāpuriem, jo tie savu attīstību iziet augsnē.

4.2.2 Dažāda siltumnīcu seguma ietekme uz gaismas caurlaidību.

Gan saimnieciski nozīmīgo kukaiņu, gan kaitēkļu daudzums ir atkarīgs no apgaismojuma apstākļiem siltumnīcā. Bišu un cilvēku redze atšķiras (4.16.att.), tāpēc ir būtisks siltumnīcu seguma materiāls. Dažādu segumu gaismas caurlaidība dota 4.17. attēlā. Redzams, ka 4 mm polikarbonāts absorbē gaismas viļņu garumus, kas ir mazāki par 390 nm, kas var būtiski ietekmēt kukaiņu vizuālo uztveri. Stikla UV starojuma caurlaidība samazinās viļņu garumus, kas ir mazāki par 360 nm. Stikla biezumam ir maza ietekme uz noteikta viļņu garuma gaismas caurlaidību.



4.16. attēls. Krāsu spektrs², kas redzams cilvēka acij (augšpusē) salīdzinot ar bišu redzi (apakšpusē).



4.17. attēls. dažādu materiālu gaismas absorbcija viļņu diapazonā no 200-850 nm

4.3 Sēņu slimību sastopamība dažādu tipu siltumnīcās un to attīstība atkarībā no audzēšanas tehnoloģijām (gaismas režīmiem)

Segtajās platībās sēņu ierosinātās slimības var radīt būtiskus ražas un tās kvalitātes zudumus. *Botrytis* spp., *Alternaria* spp., *Fulvia fulva* un citas ir nozīmīgi tomātu un/vai gurķu patogēni. Šīs grupas sēnes izplatās ar sporām gaisā, un salīdzinoši viegli var iekļūt arī segtajās platībās. Šo patogēnu attīstību ietekmē mikroklimatiskie apstākļi un audzēšanas tehnoloģijas.

Tā kā patērētāji vēlas dārzeņus, kas izskatās veselīgi, un bez redzamiem bojājumiem, un tai pašā laikā bez iespējamām pesticīdu atliekām. Pesticīdu, tai skaitā fungicīdu smidzināšana rada

² <https://www.radiantvisionsystems.com/blog/birds-bees-and-human-visual-perception>

vides un ūdens piesārņošanas risku, tādēļ lielāka uzmanība jāpievērš alternatīvajām slimību ierobežošanas metodēm.

Pēdējā laikā konstatēts, ka sēņu, tai skaitā augu patogēnu attīstību ietekmē dažādi pielietotie gaismas spektri (Schumacher, 2017). Ir pierādīts, ka noteikti gaismas spektri samazina nozīmīgā patogēna *Botrytis cinerea*, kas tomātiem ierosina pelēko puvi, sporulēšanas spēju (Imada *et al*, 2014). Tomēr, arī pasaulē kopumā, šādu pētījumu ir maz, līdz ar to ir nepieciešams novērtēt, kā dažādi gaismas spektri ietekmē slimību attīstību.

Pētījuma mērķis: izvērtēt sēņu slimību attīstību atkarībā no lietotajām tehnoloģijām.

Darba uzdevumi:

- 1) Identificēt slimības un to ierosinātājus:
 - a) vizuālie simptomi;
 - b) mikoloģiskās metodes.
- 2) Noteikt slimību spektru atkarībā no lietotajām tehnoloģijām;
- 3) Noteikti slimību attīstības pakāpi dinamikā, novērtēt dažādu tehnoloģiju ietekmi uz slimību attīstību – izvērtējot slimību attīstības līknes un AUDPC/AUDPS (area under diseases progress curves/area under diseases progress stairs; laukums zem slimību attīstības līknes/laukums zem slimību attīstības pakāpes) (Bankina *et al*, 2017).

4.3.1 Materiāli un metodes

Paraugu ievākšana un identificēšana

Augu paraugu, ar vizuāli redzamām slimības simptomiem, ievākšana veikta projekta partneru siltumnīcās (LBTU AAZI, LDL, BULD, z/s "Eži", z/s "Utāni", SIA Aberry) un mazo uzņēmēju siltumnīcās un plēves tuneļos (SIA "Gretes", SIA "Aiva G", I. Erdbergas siltumnīcas, SIA Very Berry, i/u. "Absolūts ēd"). Siltumnīcu apsekošana projekta laikā veikta 1-3 reizes.

Slimību uzskaitē un identificēšana veikta:

- 1) tomātiem - LDL, BULD, z/s "Eži", SIA "Aiva G", I. Erdbergas siltumnīcas
- 2) gurķiem - LBTU AAZI, z/s "Utāni"
- 3) zemenēm - z/s "Eži", SIA Aberry, BULD, SIA "Gretes"
- 4) avenēm - SIA "Gretes", SIA Very Berry
- 5) dažādi dārzeņi - i/u. "Absolūts ēd".

Pēc paraugu ievākšanas to analīze veikta AAZI Augu patoloģijas zinātniskajā laboratorijā. Slimību ierosinātāju identificēšana veikta trijos posmos:

- 1) izmantojot vizuālo identificēšanu – paraugus mikroskopēja uzreiz vai pēc ievietošanas mitrajā kamerā, kad bija novērojami tipiskie vairošanās orgāni. Šādi identificēja īsto miltrasu tomātiem (ier. *Leveillula taurica* un/vai *Erysiphe* spp.), gurķiem (ier. *Podosphaera xanthii* un/vai *Golovinomyces cichoracearum*) un zemenēm (ier. *Podosphaera aphanis*); tomātu augļu brūno puvi (ier. *Phytophthora infestans*), zemeņu vīte (ier. *Phytophthora coctorum* un /vai *Colletorichum* spp.)
- 2) Iegūstot sēņu tīrkultūras, izdalot tās no inficētajām auga daļām uz PDA (kartupeļu dekstrozes agara) barotnes un identificējot pēc izolātu morfoloģiskajām pazīmēm. Šādi identificēti patogēni, kas ierosina pelēko puvi (*Botrytis* spp.) (tomātiem, zemenēm) un lapu plankumainības (*Alternaria* spp., *Stemphylium* spp.) (tomātiem, gurķiem), gurķu vīte (ier. *Fusarium oxisporum*).
- 3) Veiktas molekulāri-ģenētiskās analīzes Latvijas Biomedicīnas pētījumu un studiju centrā – līdz sugai identificēti pelēkās puves ierosinātāji no *Botrytis* ģints.

Tīrkultūru ieguve veikta Augsnes un augu zinātņu institūta (AAZI) Augu patoloģijas zinātniskajā laboratorijā. Laminārajā boksā paraugi sagatavoti mikoloģiskajām analīzēm. Vispirms nogriezti 2 cm lapu, stublāja un augļu gabaliņi, kas vienu minūti dezinficēti 1% nātrija hipohlorīta (NaOCl) šķīdumā un tad skaloti destilētā ūdenī trīs reizes. Pēc tam no attiecīgās auga daļas izgriezti 4–5 mm gabaliņi un novietoti Petri platēs uz PDA. Katrā Petri platē ielikti 5 augu gabaliņi, kas pēc tam ievietoti Memmert ICP 500 klimata kamerā 12 h fotoperiodā 20 °C temperatūrā. Pēc 7 dienām Petri platēs ap inficētajiem augu gabaliņiem izveidojās micēlijs, kurš pārsēts uz tīrām PDA barotnēm, iegūstot patogēnu tīrkultūras (izolātus).

Izolātu identifikācija pēc morfoloģiskām pazīmēm. No iegūtajiem izolātiem atlasīja tos, kas varētu piederēt *Alternaria*, *Stemphylium* un *Botrytis* ģintij. Vispirms ar speciālu urbi izgriezta tīrkultūru diskus 5 mm diametrā un pārsēja 5 atkārtojumos uz PDA barotnēm. Divas nedēļas pēc uzsēšanas vērtētas šādas morfoloģiskās pazīmes: micēlija krāsa, micēlija augšanas īpatnības, micēlija faktūra, barotnes krāsošanās, kā arī sporu esamība, sklerociju esamība un to veidošanās īpatnības. Sklerocijiem vērtēts to izmērs (<4 mm jeb mazi; ≥4 mm jeb lieli) un izvietojums Petri platē (3.3.1. tab.).

Tabula 4.1. Morfoloģisko pazīmju raksturošanas kritēriji

Alternaria spp., *Stemphylium* spp. un *Botrytis* spp. izolātiem

Morfoloģisko pazīmju grupa	Kritēriji izolātu raksturojumam uz PDA barotnes	
	<i>Alternaria</i> spp., <i>Stemphylium</i> spp.	<i>Botrytis</i> spp.
Micēlija krāsa	Pelēks Pelēki balts Pelēki brūns Pelēki olīvzaļš	Pelēks Pelēki balts Balts Pelēki brūns

	Bēšs, jaunais micēlijs balts Pelēks, jaunais micēlijs balts Pelēks, jaunais micēlijs gaiši brūns	
Micēlija augšanas īpatnības	Aug vienmērīgi Aug nevienmērīgi Aug daivaini	Aug vienmērīgi Aug daivaini Aug staraini
Micēlija faktūra	Klājenisks Pūkains Nevienmērīgi pūkains	Klājenisks Graudains Pūkains Nevienmērīgi pūkains
Barotnes krāsojums	Krāso dzeltenu Nekrāso	Krāso dzeltenī brūnu Nekrāso
Sklerociju veidošanās un to izvietojums	×	Nav Daži, mazi (<4 mm), izklaidus Daži, lieli (≥4 mm), izklaidus Daudz, mazi (<4 mm), koncentriskos riņķos Daudz, lieli (≥4 mm), koncentriskos riņķos
Sporulācija	Ir Nav	Ir Nav

Botrytis spp. patogenitātes tests

Pētījums par *Botrytis* spp. agresivitāti tomātiem atkarībā no gaismas avota veikts LBTU AAZI mācību korpusa siltumnīcā Strazdu ielā 1 un Augu pataloģijas zinātniskajā laboratorijā. Pētījums ierīkots novembrī, kā trīs faktoru izmēģinājums: faktors A – *B. cinerea* izolāts (A1 – izdalīts no lauka pupām; A2 – izdalīts no tomātiem); faktors B – tomātu šķirne (B1 – ‘Balzano’; B2 – ‘Chocomate’; B3 – ‘Encore’; B4 – ‘Strabena’); faktors C – gaismas avoti (C1 – Led lampa, C2 – indukcijas lampa; C3 – Na lampa), divi izolāti četros atkārtojumos. Nedēļu pēc inokulācijas veikts vērtējums.

Inokulācija veikta ar diviem *Botrytis cinerea* izolātiem (4.18. att.):

A1 - izolāts Nr. J13 - *Botrytis cinerea*, kas izdalīts no lauka pupām;

A2 - izolāts Nr. J2 - *Botrytis cinerea*, kas izdalīts no Z/S ‘Eži’ ievāktiem tomātu paraugiem (1.att.). Vizuāli izvēlētie izolāti bija ļoti līdzīgi.



4.18. attēls. *Botrytis* spp. izolāti J13 un J2, kas izmantoti inokulācijai

Katras šķirnes augam inokulācija veikta ar abu izolātu *Botrytis* spp., četros atkārtojumos. Uz lapām novietoti agara diska gabaliņi (Ø 7mm) ar labi saskatāmu *Botrytis* spp. micēliju (4.19. att.). Lai nodrošinātu micēlija noturēšanos uz lapām, izmantotas adatiņas.



4.19. attēls. *Botrytis* spp. izolāti novietoti uz tomātu lapām

Pēc inokulēšanas tomātu lapas (turpat uz auga, nenorautas), ievietotas plastikāta maisiņos, kas noņemti pēc 3 dienām (4.20. att.).



4.20. attēls. Inokulētie tomāti

Pēc 7 dienām pēc inokulēšanas tomātu lapas nogrieztas un analizēta to inficēšanās pakāpe.
Pakāpe vērtēta pēc šādas skalas:

1 balle – uz lapas redzams tikai novietotais agara disks	
2 balles – ir sākusies lapas inficēšanās – laukums $\approx$ 2 disku lielumā	
3 balles – inficēšanās vieta palielinājusies 3X	
4 balles – inficēšanās vieta palielinājusies vairāk nekā 4X	

Slimību attīstības dinamikas vērtējums atkarībā no gaismas avota

Pētījums LBTU AAZI mācību korpusa siltumnīcā Strazdu ielā 1, vērtējot gurķu īstās miltrasas (ier. *Podosphaera xanthii* un/vai *Golovinomyces cichoracearum*) attīstību, gurķus audzējot zem trīs dažādām lampām - Led, Indukcijas un Na lampām. Augi izkārtoti piecos podos, katrā pa 2 augi. Uzskaitē veikta katram augam atsevišķi (katru uzskatot par atkārtojumu) (4.21. att.).



4.21. attēls. Gurķu izkārtojums zem lampām

Īstās miltrasas attīstība vērtēta pēc sekojošas skalas:

- 0 balles – īstās miltrasas simptomi nav novērojami
- 1 balles – novērojami īstās miltrasas simptomi uz 1 vai 2 lapām
- 2 balles - novērojami īstās miltrasas simptomi uz 3 vai 4 lapām
- 3 balles - novērojami īstās miltrasas simptomi uz 10% no lapām
- 4 balles - novērojami īstās miltrasas simptomi uz 25% no lapām
- 5 balles - novērojami īstās miltrasas simptomi uz 25% no lapām, un puse no inficētajām lapām gandrīz pilnībā pārklātas ar baltu apsarmi
- 6 balles - novērojami īstās miltrasas simptomi uz 50% no lapām
- 7 balles - novērojami īstās miltrasas simptomi uz 50% no lapām, un puse no inficētajām lapām gandrīz pilnībā pārklātas ar baltu apsarmi
- 8 balles - novērojami īstās miltrasas simptomi uz 75% no lapām
- 9 balles - novērojami īstās miltrasas simptomi uz visām auga lapām un puse no inficētajām lapām gandrīz pilnībā pārklātas ar baltu apsarmi

Uzskaitē veikta ar 10 dienu intervālu, no pirmo simptomu parādīšanās brīža. Lai raksturotu īstās miltrasas attīstību aprēķināts AUDPC (laukumu zem slimības attīstības līknes), pēc sekojošas formulas:

$$AUDPC = \sum_{n=1} \left[\frac{x_1 - x_2}{2} \right] * (t_1 - t_2)$$

kur AUDPC – laukums zem slimības attīstības līknes;

n – uzskaites reizes;

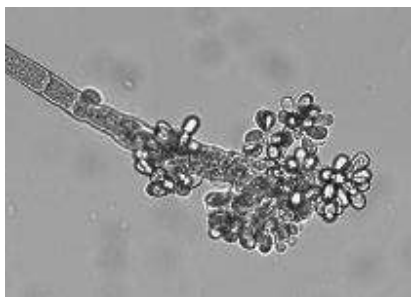
x – slimības attīstības pakāpe uzskaites reizē;

t1 – t2 – laika periods starp uzskaites reizēm.

4.3.2 Rezultāti

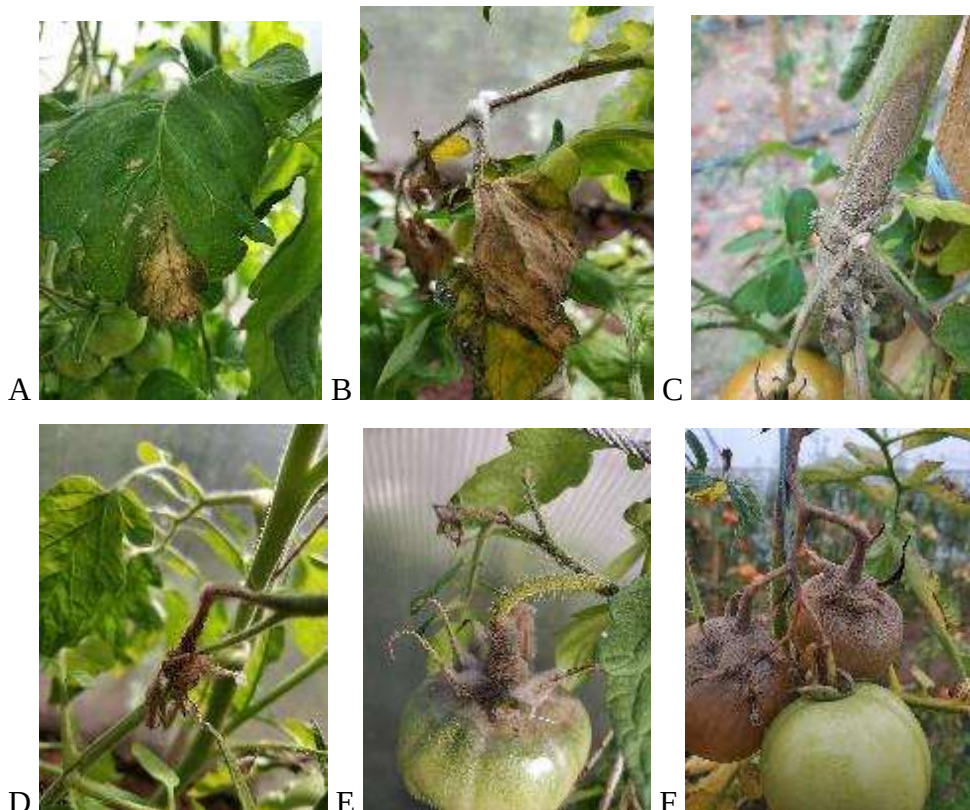
Identificētās slimības

Tomātiem dominējošā slimība visās pētījumu vietās bija **pelēkā puve**. Kā galvenais tās ierosinātais minēts *Botrytis cinerea*. Simptomus novēro visu tomātu augšanas laiku, gan uz ziedaizmetņiem, gan stublājiem, gan lapām, gan pašiem augļiem. Tipiskākais simptoms uz lapām brūns plankums, kas biežāk sākas no lapas malas, un, palielinoties gaisa mitrumam, uz plankuma bagātīgi veidojas sēnes vairošanās orgāni - konīdijnesēji ar konīdijām (4.22. att.).



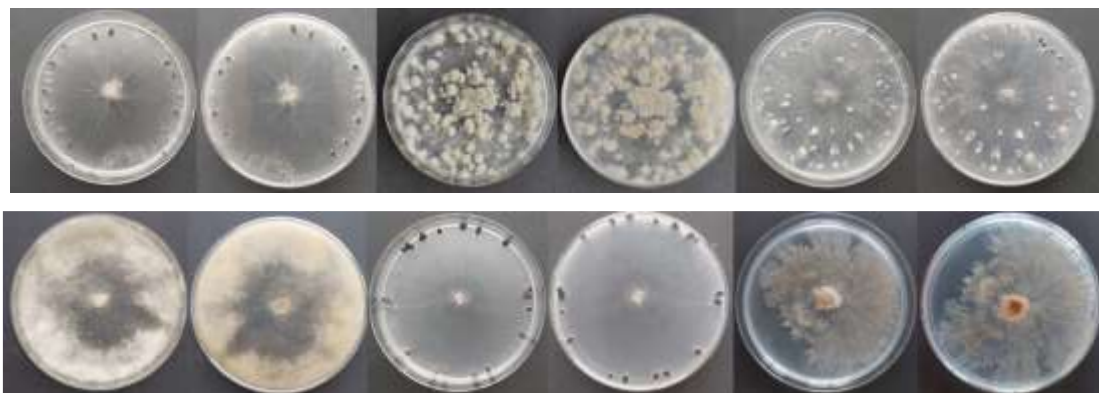
4.22. attēls. *Botrytis cinerea* konīdijnesējs ar konīdijām

Apsarme veidojas arī uz citām inficētajām auga daļām - uz tomātu augļiem bieža, voilokveida, bet uz stublājiem, lapām un ziedaizmetņiem retāka (4.23. att.).



4.23. attēls. Ar pelēko puvi inficēta tomātu lapa (A), lapu kāts (B) stublājs (C), ziedaizmetnis (D) un augļi (E, F)

Iegūtie *Botrytis* spp. izolāti bija morfoloģiski ļoti atšķirīgi (4.24. att.). Atšķīrās gan micēlija krāsas (no baltas līdz pelēkai), gan barotnes krāsošanās. Tāpat bija izolāti, kas veidoja sklerocijus (cietus micēlija saaugumus melnā krāsā), kā arī atšķīrās sklerociju izkārtojums un izmērs.



4.24. attēls. Dažādi *B. cinerea* izolāti (no augšpusē pa kreisi un no apakšpusē pa labi) uz PDA

Pelēkās puves attīstībai labvēlīgi apstākļi ir augsts gaisa relatīvais mitrums un gaisa temperatūra robežās no 18-24 °C. Sporveidošanās notiek ļoti strauji. Slimības izplatību veicina arī dažāda veida augu bojājumi – lapu izlaušana, dažādu kukaiņu bojājumi.

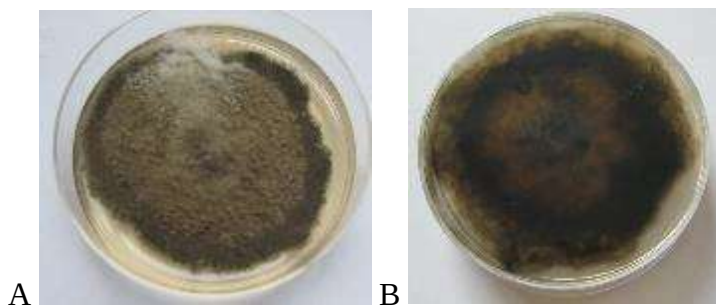
Tomātu lapu sausplankumainību ierosina *Alternaria* spp., konstatēta visās apsekotajās saimniecībās, kur audzēja tomātus. Slimības simptomi konstatēti uz lapām un augļiem, savukārt uz stublājiem netika konstatēti. Biežāk slimības simptomi novērojami uz apakšējām auga lapām, vai vairāk uz veģetācijas sezonas beigām, īpaši ja augi ir lielas ražas novājināti, vai ja tiem trūkst slāpekļa mēslojuma. Uz lapām veidojas salīdzinoši lieli (līdz pat 10 mm un lielāki) plankumi ar izteiktām koncentriskām joslām. Plankumi var veidoties gan no lapas malas, gan tās centrālajā daļā. Tipiski sausplankumainībai, apkārt plankumam bieži veidojas dzeltens oreols – audi atkrāsojas un kļūst dzelteni. Uz plankumiem labvēlīgos apstākļos novērojama tumšas krāsas apsarme, kuru veido sēnes konīdijas (4.25.att.).



4.25. attēls. Ar sausplankumainību inficēta tomātu lapa (A), auglis (B) un tipiskās *Alternaria* spp. konīdijas (C)

Sēnes attīstībai labvēlīgi apstākļi - paaugstināts gaisa mitrums un temperatūra 25-30°C.

Pēc paraugu analīzes iegūtas arī *Alternaria* ģints sēņu tīrkultūras. Iegūtie izolāti morfoloģiski raksturoti – micēlija krāsa, barotnes krāsošanās, sporu veidošana. *Alternaria* spp. raksturīgs tumši pelēks micēlijs un barotne krāsojas tumšā krāsā, sporas var arī neveidoties (4.26. att.)



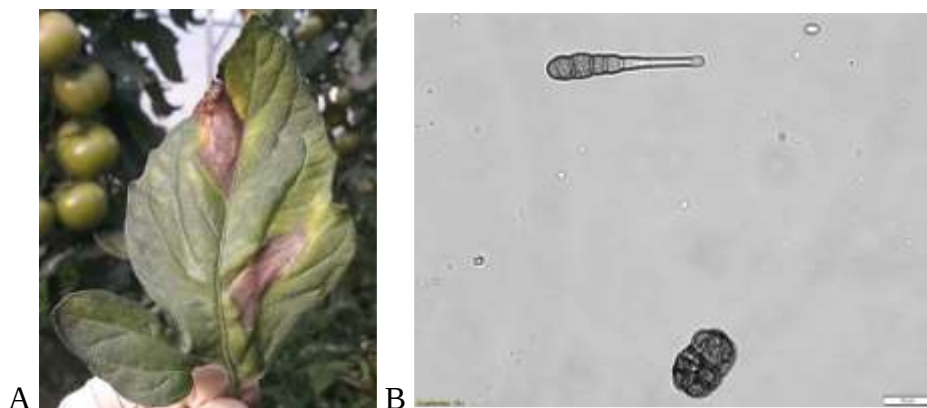
4.26. attēls. *Alternaria* spp. izolāti uz PDA barotnes – augšpuse (A) un apakšpuse (B)

Ļoti bieži *Alternaria* spp. izdalīts arī no augļiem, kuriem novērojami izteikti sausās galotņu puves bojājumi, ko var izraisīt dažādu faktoru kopums, tajā skaitā ūdenī šķīstošā kalcija trūkums; magnija (Mg⁺), kālija (K⁺), amonija (NH₄⁺) pārbagātība substrātā; pārāk zems/augsts vai mainīgs mitruma nodrošinājums, zema vai augsta transpirācija; paaugstināta temperatūra un arī citi faktori. Uz šādiem augļiem, kam jau bija iegrimuši un sausi plankumi augļa galotnē, bojājumu vietās var attīstīties *Alternaria* ģints sēnes (4.27.att.)



4.27. attēls. Tomātu sausās galotņu puves bojājumi uz augļa

IRIS projekta ietvaros (2021. gadā) pirmo reizi Latvijā segtajās platībās audzētiem tomātiem konstatēta lapu plankumainība, ko ierosina *Stemphylium* spp. Lauka apstākļos simptomus nav iespējams atšķirt no tiem, kurus ierosina *Alternaria* spp., un precīzai diagnostikai ir nepieciešama slimību ierosinātāju identificēšana laboratorijas apstākļos, izmantojot mikroskopu. Tāpat konstatēta kompleksa *Alternaria/Stemphylium* spp. inficēšanās tomātiem. Lapu plankumainība, ko ierosina šo abu patogēnu komplekss, novērota tikai tomātu intensīvas ražošanas beigās (4.28.att.). Iegūtie sēņu izolāti arī morfoloģiski ir vienādi.



4.28. attēls. *Alternaria* spp. un *Stemphylium* spp. ierosināta lapu plankumainība (A), un tipiskās *Alternaria* spp. / *Stemphylium* spp. konīdijas (B)

Tomātu īstā miltrasu ierosina vairākas sēnes - *Leveillula taurica*, *Erysiphe* spp., *Oidium neolycopersici*, *Oidium lycopersici*. Tā ir viena no pasaules biežāk sastopamākajām augu slimībām. Tomēr inficēšanās ar miltrasu ir atkarīga no audzēšanai izvēlētas šķirnes ieņēmības, jo minētais patogēns, ir šauri specializēts un nevar inficēt visas siltumnīcā audzētās šķirnes. Slimības simptomi pamanāmi, pateicoties bagātīgai konīdiju veidošanai. Tomēr inficēšanās agrās stadijas ir grūti diagnosticēt, tāpēc slimība var strauji izplatīties un labvēlīgos apstākļos, var samazināt tomātu ražu par 40%.

Simptomi parasti novērojami galvenokārt tikai uz lapām. Nelielu plankumu veidā novērojama apsarme, kas sastāv no sēnes micēlija un konīdijām kas labvēlīgos apstākļos atkārtoti veidojas ik pēc 5-7 dienām. Salīdzinoši strauji pārņem visu auga lapu un būtiski ietekmē fotosintēzes procesu. Lapu audi pakāpeniski iet bojā, plankumi kļūst brūni. Pati lapa nobrūnē, sačokurojas, bet paliek pie stublāja (4.29.att.).



4.29. attēls. Tomātu īstā miltrasas pirmie simptomi uz lapām (A), inficēti stublāji (B) un jau stipri inficētas lapas (C)

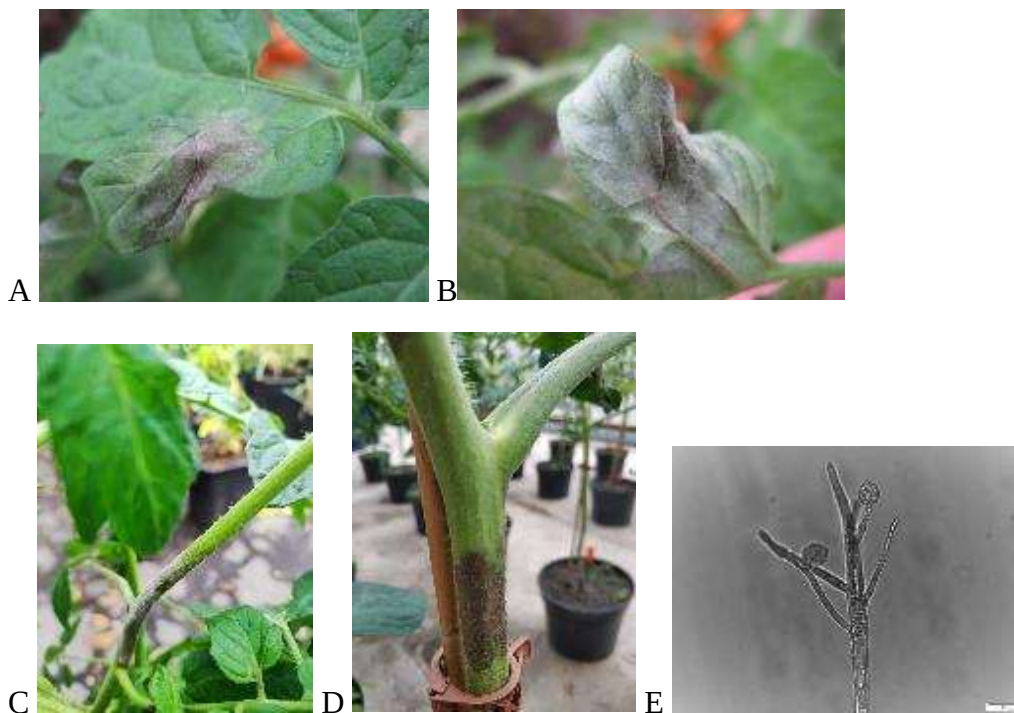
Slimības izplatību veicina paaugstināta temperatūra, sabiezināti stādījumi un slikta gaisa cirkulācija. Sporu dīgšanai un jaunu auga daļu inficēšanai nav nepieciešams brīvs ūdens, līdz ar to svarīgi ir kontrolēt gaisa mitrumu. Optimālā temperatūra patogēna attīstībai 20-27 °C.

Tomātu augļu brūnās puves (ier. *Phytophthora infestans*) sastopamība bija zema, un vairāk simptomi novēroti tomātu intensīvas ražošanas beigās. Simptomi novērojami uz visām auga daļām – lapām, stublāja, un augļiem. Slimība postīgāka ir tieši augļiem, uz kuriem novērojami brūni, izplūduši plankumi, un augsta gaisa relatīvā mitruma apstākļos arī gaiša apsarme (4.30. att.)



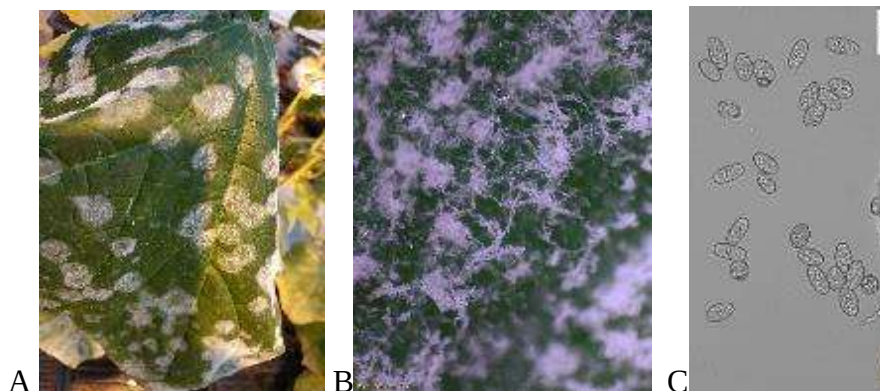
4.30. attēls. Tomātu augļu brūnās puves simptomi uz augļiem

Uz lapām novērojami brūni, pakāpeniski izplūstoši plankumi, atsevišķos gadījumos apkārt plankumiem veidojas olīvkrašas josla. Lapas apakšpusē zem plankumiem novērojama gaiši pelēcīga apsarme, kura sastāv no konīdijnesējiem un konīdijām (4.31.att.). Slimības attīstību veicina papaaugstināts gaisa mitrums. Optimālā temperatūra 22-24 °C.



4.31. attēls. Tomātu augļu brūnās puves simptomi uz lapas virspuses (A) uz lapas apakšpusē (B) un lapas kāta (C), uz stublāja (D) un *P. infestans* tipiskie konīdijnesēji ar konīdijām (E)

Gurķu stādījumos dominējošā slimība bija **ķirbjaugu īstā miltrasa** (ier. *Podosphaera xanthii* un/vai *Golovinomyces cichoracearum*). Slimības simptomi ir līdzīgi kā tomātu īstai miltrasai, un inficēšanās arī ir atkarīga no audzēšanai izvēlētas šķirnes ieņēmības, jo minētais patogēns, ir šauri specializēts un nevar inficēt visas siltumnīcā audzētās šķirnes (4.32.att.).



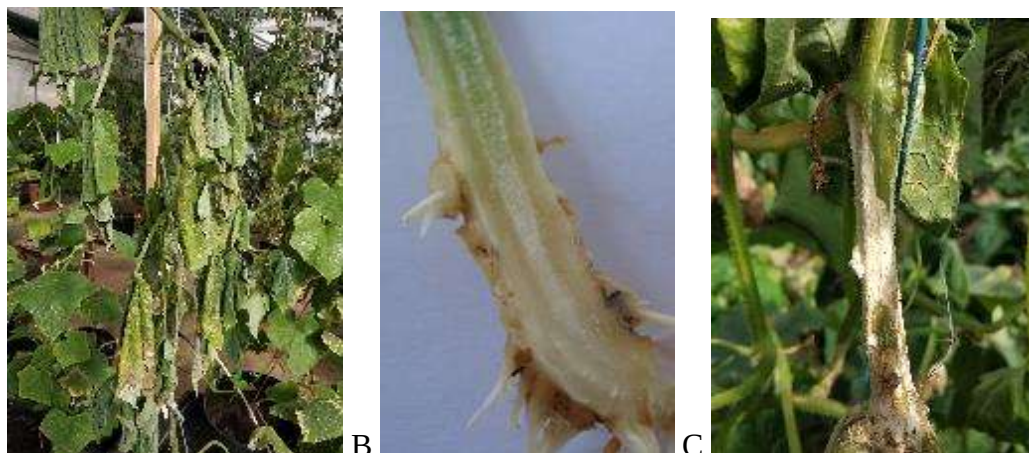
4.32. attēls. Ķirbjaugu īstās miltrasas simptomi uz gurķu lapām (A), ierosinātāj veidotās konīdiju ķēdītes (B) un konīdijas (C)

Ķirbjaugu sausplankumainība (ier. *Alternaria* spp.) ir biežāk novērojama gurķu slimība, tieši uz veģetācijas sezonas beigām, īpaši ja augi ir lielas ražas novājināti, vai ja tiem trūkst slāpekļa mēslojuma. Salīdzinot ar tomātu sausplankumainību, plankumi uz gurķu lapām ir mazāki un izteikti stūraināki (4.33. att.). Uz tiem veidojas tumša apsarme, kuru veido *Alternaria* spp. konīdijas.



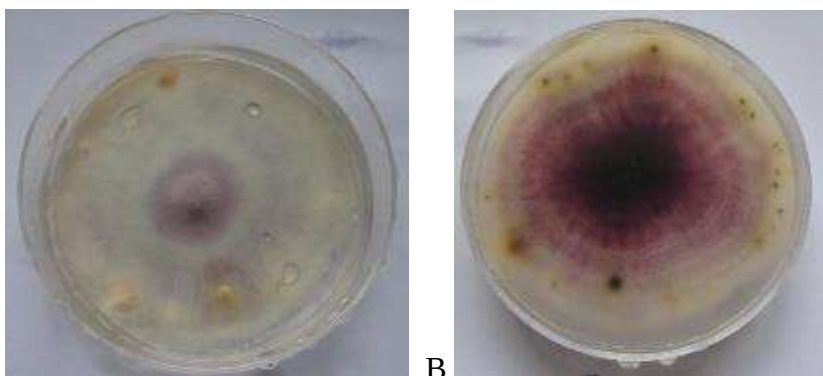
4.33. attēls. Ķirbjaugu sausplankumainības simptomi uz gurķu lapām

Divās saimniecībās, kur veikta slimību uzskaitē, novērota arī gurķu fuzariālā vīte. Tā ir salīdzinoši izplatīta slimība, kuru var ierosināt sēnes *Fusarium oxysporum* un *Fusarium solani*. Slimības attīstība noris ļoti strauji un var iznīcināt stādījumu īsā laika periodā. Parasti tā attīstās perēkļu veidā. Slimības ietekmē augi vīst. Augiem tiek bojāti vadaudi un, pārgriežot stublāju, tas skaidri ir redzams. Pirmie simptomi parasti ir atsevišķu sānzaru novīšana un tikai pēc laika novīst viss augs. Atsevišķos gadījumos uz stublāja pamatnes var novērot baltu vai viegli sārtu pūkainu sēnes micēliju (4.34. att.). Infekcijas avots ir augsne vai inficētas sēklas materiāls.

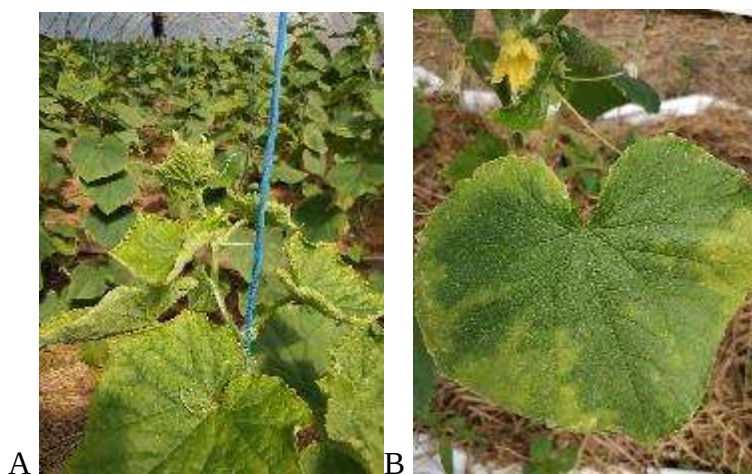


4.34. attēls. Gurķu fuzariālās vītes inficēts augs (A), bojāti vadaudi (B) un *Fusarium* spp. micēlijs uz stublāja (C)

Laboratorijā no inficētajiem vadaudiem izdalīts micēlijs, kas raksturīgs *Fusarium oxysporum* (4.35.att.). Micēlijs balts ar viegli rozīgi violetu nokrāsu centrā, barotne krāsojas rozīgi violeta. Arī ģenētiski-molekulārās analīzes apstiprināja, ka tas ir *Fusarium oxysporum*.



4.35. attēls. *Fusarium oxysporum* izolāti uz PDA barotnes – augšpuse (A) un apakšpuse (B), izdalīti no inficēta gurķa stublāja

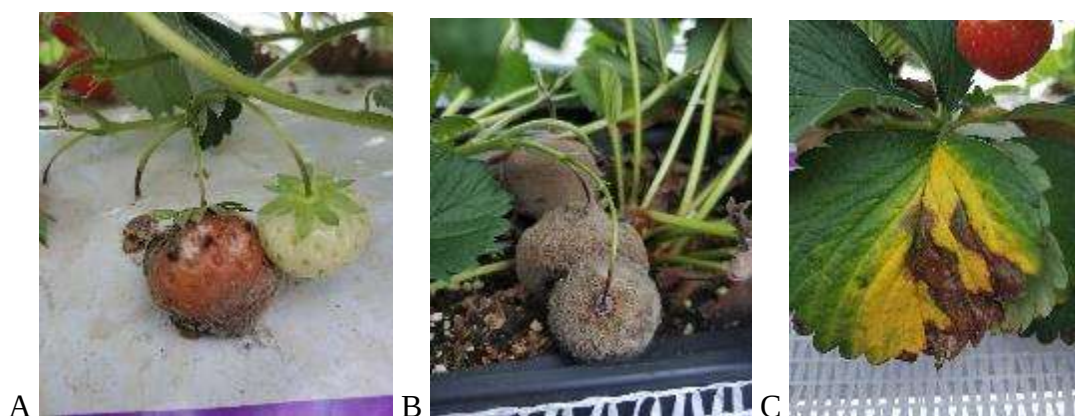


4.36. attēls. Lapu deformēšanās un atsevišķu lapu atkrāsošanās

Vēl vienā no saimniecībām atsevišķiem gurķu augiem novērota neliela galotnes lapu deformēšanās un atsevišķu lapu atkrāsošanās un atmiršana (4.36.att.). Simptomi varētu liecināt gan par atsevišķu barības elementu trūkumu, vai kādu no gurķu vīrusiem. Tomēr to nebija iespējams pierādīt.

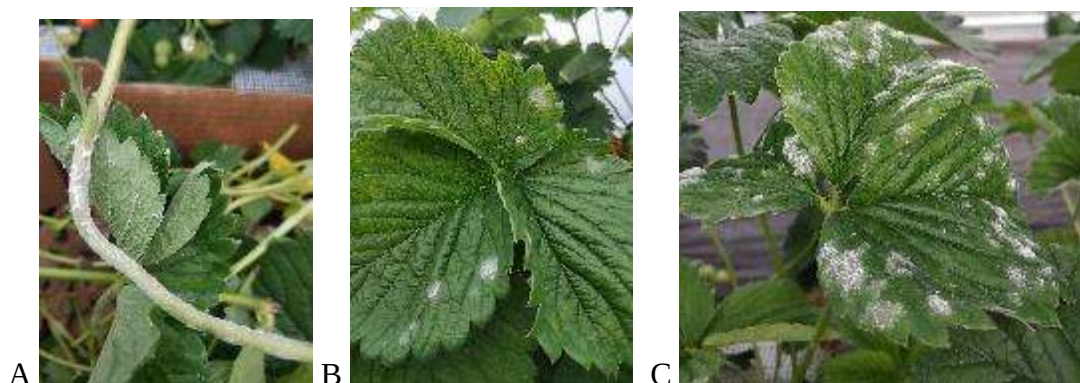
Zemeņu stādījumos dominējošās bija divas slimības – pelēkā puve (ier. *Botrytis cinerea*) un īstā miltrasa (ier. *Podosphaera aphanis*).

Pelēkā puve ir izplatītākā zemeņu slimība un inficē, visas auga daļas – ziedus, lapas, lapu un ziedu kātus un augļus. Slimības rezultātā ražas zudumi var sasniegt pat 50% līdz 90%. Biežāk slimība attīstās sabiezīnātos stādījumos, vai kad netiek nodrošināti optimāli mitruma apstākļi un ventilēšana. Tāpat slimība vairāk novērojama, kad dienas ir īsākas un vairāk uzkrājas rasa, nav tik daudz saules. Inficētie ziedi nobrūnē un atmirst. Uz lapām slimība izpaužas plankumu veidā. Plankumi ir brūni, salīdzinoši lieli, izplūstoši. Tomēr tipiskākie simptomi novērojami uz inficētajām ogām. Sākumā uz tām parādās ūdeņaini plankumi, kas pakāpeniski pārklājas ar bagātīgu konīdijnesēju un konīdiju apsarmi (4.37. att.). Patogēns savu attīstību turpina arī tad, kad ogas jau novāktas un simptomi var parādīties jau laiku pēc to novākšanas.



4.37. attēls. Pelēkās puves simptomi uz ogām inficēšanās sākumā (A), inficēšanās beigās (B) un uz lapām (C)

Zemeņu īstā miltrasa (ier. *Podosphaera aphanis*) arī ir izplatīta un postīga zemeņu slimība un jo īpaši segtajās platībās. Slimības simptomi galvenokārt novērojami uz lapām, lapu kātiem un stīgām. Uz inficētajām vietām novērojama balta apsarme, kuru veido sēnes micēlijs un vairošanās orgāni – konīdijnesēji un konīdijas (4.38. att.). Stipras infekcijas gadījumā ziedos var tikt traucēta apputeksnēšanās.



4.38. attēls. Zemeņu īstā miltrasa uz lapu kātiem (A) un lapām (B, C)

Slimības attīstību veicina nepietiekams apgaismojums, īsāka diena, augsts gaisa mitrums un pazemināta temperatūra. Segtajās platībās īpaši svarīgi ir nodrošināt kvalitatīvu ventilāciju un papildu apgaismojumu. Jāpievērš uzmanība arī stādu kvalitātei.

Apsekojot zemeņu stādījumu, tika pievērta uzmanība un īpaši meklēti vīstoši zemeņu stādi, jo saskaņā VAAD dienesta Augu karantīnas departamenta Nacionālajā fitosanitārajā laboratorijas sniegtā atzinuma vienā no zemeņu stādījumiem konstatēta **zemeņu vīte**, kuru ierosina patogēns – *Phytophthora cactorum*. Minētais patogēns ierosina arī zemeņu sakņu puvi un zemeņu ziedu un augļu puvi. Patogēns pieder *Chromista* valstij, *Oomycota* nodalījumam. Slimības radītie zudumi ir atkarīgi no izpausmes formas, ja inficējas zemeņu stāds – zudumi var būt 50-80%, ja ogas – 20-30%. Slimības simptomi zemenēm novērojami visās to attīstības stadijās. Uz zaļajām ogām novērojami tumši brūni plankumi, kas saglabājas līdz brīdim, kamēr ogas nogatavojas. Ogas pēc tekstūras kļūst cietas un ādainas. Mainās arī ogu garša. Ja inficējies pats augs, tas pakāpeniski novīst, jo patogēna micēlijs attīstās sakņu kakla vadaudos un nobloķē ūdens un barības vielu uzņemšanu. Pārgriežot horizontāli sakņu kaklu redzams, ka vadaudi iekrāsojušies sarkani brūnā krāsā. Slimības izplatība bija zema, jo tika atrasts tikai viens augs. Analizējot paraugu – konkrēti sakņu kaklu redzams, ka vadaudi bija nobrūnējuši (4.39. att.).



4.39. attēls. Zemeņu auga sakņu kakla nobrūnējošie vadaudi

Analizējot mikroskopā konstatētas oosporas, kas raksturīgas *Phytophthora cactorum* (4.40. att.) un arī sporas, kas raksturīgas sēnei no *Colletotrichum* ģints (4.41.att.).



4.40. attēls. *Phytophthora cactorum* raksturīga zoospora



4.41. attēls. Sēnei no *Colletotrichum* ģints raksturīgas konīdijas

Vairāku slimību ierosinātāju konstatēšana vienā paraugā liecina, ka inficēšanās var būt kompleksa. Diemžēl Latvijā nav reģistrēti AAL zemeņu stādījumos, lai ierobežotu konkrēti *P. cactorum* ierosinātās slimības. Līdz ar to konkrētajā situācijā slimības ierobežošana ir apgrūtināta un jāveic, ievērojot stingrus profilaktiskos pasākumus.

Aveņu stādījumā plēves tuneļos slimību sastopamība bija zema. Stādījumi bija salīdzinoši nesen ierīkoti un uzskaites reizē plānojās iegūt pirmo ražu. Vienā no saimniecībām aveņu stādiem konstatētas lapas ar vizuāli izteiktu mozaīkas zīmējumu (4.42. att.).



4.42. attēls. Aveņu augu lapas ar vizuāli izteiktu mozaīkas zīmējumu

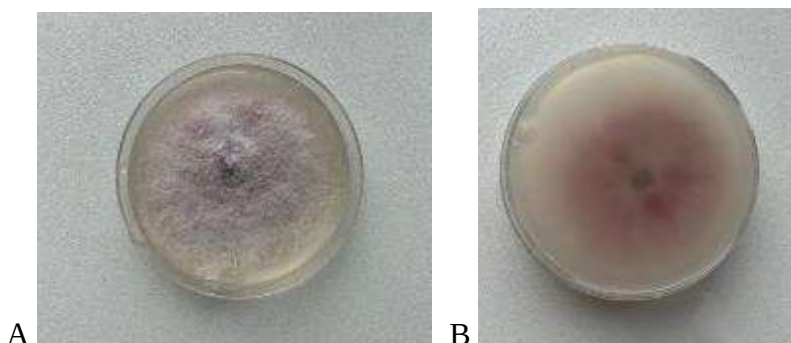
Simptomi novēroti vairāk nekā 20 augiem. Pēc pārrunām ar īpašnieku, ieteikts augus novērot un, ja simptomi turpina izplatīties, tad augus likvidēt. Šādi mozaīkveida plankumi raksturīgi vīrusu ierosinātām slimībām, bet Latvijā to identificēšana nav iespējama. Jau vēlāk sazinoties ar saimniecību noskaidrots, ka minētajiem augiem nebija nodrošināts augšanai optimāls pH līmenis. Otrā saimniecībā, kur arī bija jauns stādījums, atsevišķiem augiem

novēroja vīšanas pazīmes. Rūpīgāk apskatot un pārgriežot stublāju, arī novēroja vadaudu atmiršanu (4.43. att.).



4.43. attēls. Avenu stublājā vadaudu bojājums.

Laboratorijā no inficētajiem audiem izdalīta sēne *Fusarium oxysporum*. Micēlijs balts ar viegli rozīgi violetu nokrāsu centrā, barotne krāsojas rozīgi violeta 4.44. att.).



4.44. attēls. *Fusarium oxysporum* izolāti uz PDA barotnes – augšpuse (A) un apakšpuse (B) izdalīti no inficēta avenu stublāja.

Parasti šī slimība sākas, ja ir bijuši inficēti stādi, vai inficēta augsne. Tā ir salīdzinoši grūti ierobežojama, un nepieciešama regulāra stādījumu apsekošana un inficēto stādu iznīcināšana.

Slimību spektrs un attīstība atkarībā no lietotajām tehnoloģijām

Novēroto **tomātu slimību** spektrs atšķirās, atkarībā no siltumnīcas veida. Industriāla tipa siltumnīcās, kur iespējams nodrošināt garu audzēšanas periodu un tomātu audzēšanai piemērotu mikroklimatu biežāk novērotās slimības ir īstā miltrasa (ier. *Leveillula taurica*, *Erysiphe* spp., *Oidium neolycopersici*, *Oidium lycopersici*) un pelēkā puve (ier. *Botrytis cinerea*). Īstās miltrasas attīstību būtiski ietekmē šķirnes izvēlē. Tāpat abas minētās slimības ietekmē dienas garums un papildus apgaismojuma pieejamība. Pelēkas puves attīstība straujāk sākas uz ražošanas sezonas beigām, kad tomātu augi jau sāk novecot.

Augsto tuneļu un nelielās polikarbonāta tipa siltumnīcās novēroto slimību spektrs ir ievērojami lielāks. Tas skaidrojams ar to, ka grūtāk nodrošināt optimālu mikroklimatu, un bieži

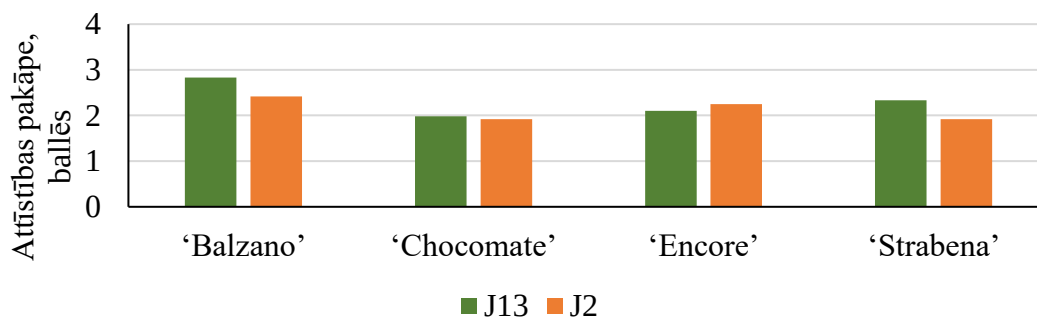
vien šādās siltumnīcās tiek audzēti dažādi kultūraugi. Šādās siltumnīcās biežāk novēro pelēko puvi, lapu plankumainības, kuras ierosina *Alternaria* spp., vai *Stemphylium* spp, vai novērojama abu sugu kompleksa inficēšanās. Tāpat biežāk novēro augļu brūnās puves (ier. *Phytophthora infestans*) simptomus.

Gurķu stādījumos novēro slimību spektrs atkarīgs no tā, kāds substrāts tiek izmantots, jo ja izmanto kūdras substrātu vai augsni, ir lielāk iespēja inficēties ar fuzariaļo vīti (ier. *Fusarium oxysporum*). Tāpat šīs slimības izplatību ietekmē izmantotā sēklas materiāla kvalitāte. Arī ķirbjaugu miltrasas (ier. *Podosphaera xanthii* un/vai *Golovinomyces cichoracearum*) izplatība ir atkarīga galvenokārt no šķirnes izvēles un optimāla mikroklimata nodrošinājuma. Gurķu sausplankumainība (ier. *Alternaria* spp.) novērojam gan industriālā tipa, gan mazākās siltumnīcās. Biežāk simptomi novērojami uz ražošanas sezonas beigām.

Zemeņu stādījumos dominējošā slimība ir pelēkā puve. Slimības attīstība ir atkarīga no mikroklimata nodrošinājuma, stādījumu biežības un gaisa plūsmu kustības. Tāpat siltumnīcās vai augstajos tuneļos bieži var novērot īsto miltrasu (ier. *Podosphaera aphanis*), kas nav raksturīgi stādījumos atklātā laukā.

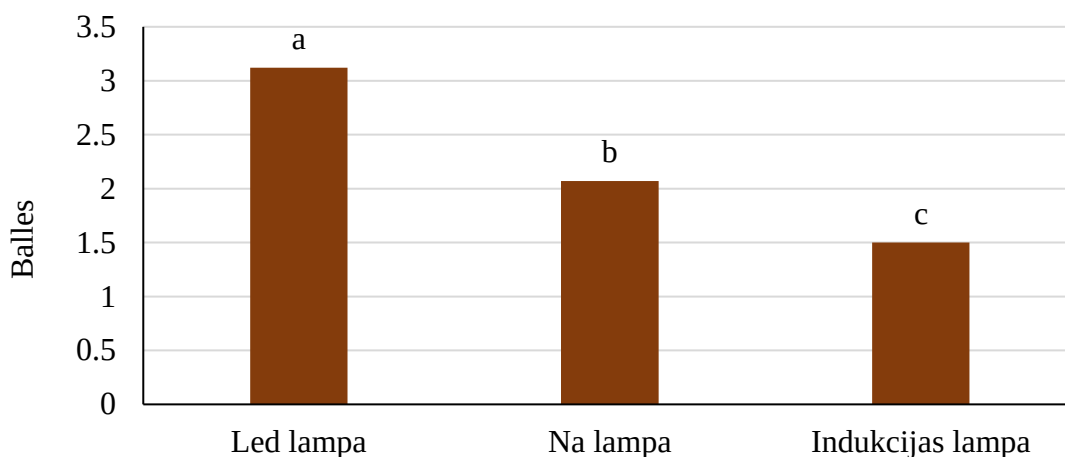
Šajā pētījumā dominējošā slimība visiem kultūraugiem bija pelēkā puve, kuru ierosina *Botrytis cinerea*. Šī patogēna attīstība analizēta arī veicot mākslīgo inokulāciju tomātiem, kas audzēti, izmantojot dažādus gaismas avotus - Led lampas, indukcijas lampas un Na lampas. Pētījums veikts LBTU AAZI mācību korpusa siltumnīcā Strazdu ielā 1 un Augu patoloģijas zinātniskajā laboratorijā. Mākslīgā inokulācija veikta tomātu šķirnēm - 'Balzano', 'Chocomate', 'Encore' un 'Strabena' izmantojot divus dažādus *Botrytis cinerea* izolātus - Nr. J13 - izolāts, kas izdalīts no lauka pupām un J2 - izolāts, kas izdalīts no Z/S 'Eži' ievāktiem tomātu paraugiem. Vizuāli uz PDA izdalīties izvēlētie izolāti bija ļoti līdzīgi.

Veicot *B. cinerea* attīstības analīzi, septiņas dienas pēc inokulācijas, vērtēšana veikta pēc četrballu skalas. Salīdzinot slimības attīstību atkarībā no audzēšanai izvēlētajās šķirnes, jāsecina, ka šķirne neietekmēja patogēna attīstību ($p > 0.01$) (4.45. att.) un visām šķirnēm novērota līdzīga inficēšanās pakāpe – šķirnei 'Balzano' vidēji 2.6 balles, 'Encore' – 2.2 balles, 'Strabena' - 2.1 balles un 'Chocomate' – 1.9 balles. Arī starp salīdzinātajiem *B. cinerea* izolātiem – J13 un J2 novērotas būtiskas atšķirības. Tas pierāda, ka patogēns *B. cinerea* ir plaši specializēts un izdalīts no lauka pupām vienlīdz labi ir spējīgs inficēt arī tomātus.



4.45. attēls. *Botrytis cinerea* attīstība atkarībā no tomātu šķirnes

Analizējot dažāda apgaismojuma ietekmi uz *B.cinerea* attīstību, jāsecina, ka būtiski augstāka ($p<0.01$) slimības attīstības pakāpe novērota tomātiem, kas audzēti zem Led lampām – 3.1 balle, zemāka tā novērota tomātiem, kas audzēti zem Na lampām – 2.1 balle un vēl zemāka tomātiem, kuri audzēti zem indukcijas lampām – 1.5 balles (4.46. att.). Abiem salīdzinātajiem izolātiem novēroja līdzīga tendence.



4.46. attēls. *Botrytis cinerea* attīstība atkarībā no pielietotā apgaismojuma

a,b,c – mazi burti norāda būtiskuma līmeni

Veicot datu matemātisko apstrādi, ar R programmu pierādās, ka *Botrytis spp.* inficēšanās gaitu neietekmē salīdzinātās šķirnes, bet **būtiski ietekmē izmantotās lampas** ($p<0.01$).

4.3.3 Slimības attīstības dinamika, novērtējot dažādu gaismas avotu ietekmi uz slimības attīstību

Pētījums veikts LBTU AAZI mācību korpusa siltumnīcā Strazdu ielā 1. Pētījumā analizēta ķirbjaugu īstās miltrasas (ier. *Podosphaera xanthii* un/vai *Golovinomyces cichoracearum*) attīstības dinamika atkarībā no gaismas avota (4.47.att.). Gurķi audzēti zem trīs dažādām lampām - Led, Indukcijas un Na lampām. Augi izkārtoti piecos podos, katrā pa 2 augi. Uzskaitē veikta katram augam atsevišķi (katru uzskatot par atkārtojumu).

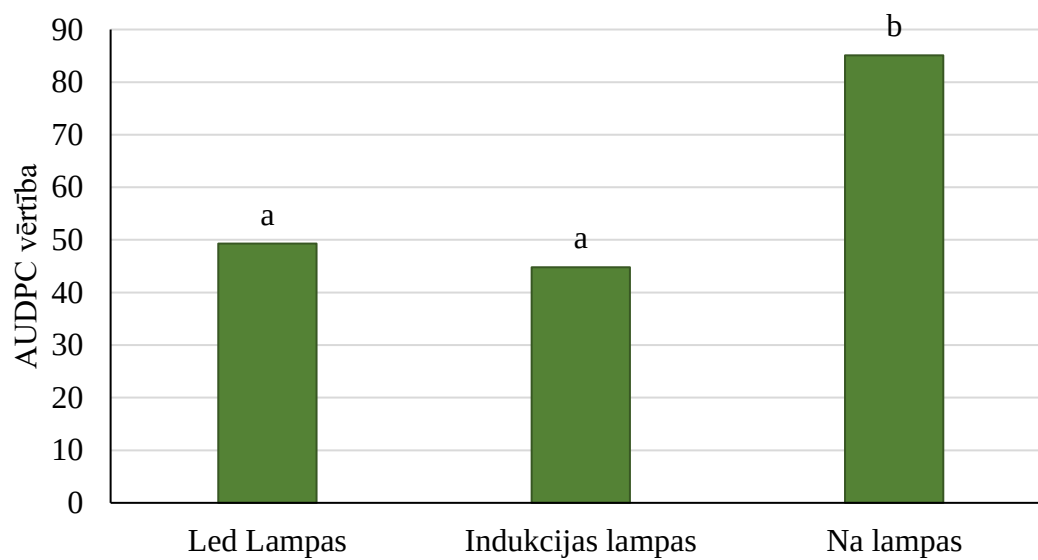
Ķirbjaugu īstās miltrasas uzskaitē uzsākta pēc pirmo simptomu novērošanas un turpināta ik pēc 10 dienām. Lai raksturotu īstās miltrasas attīstību aprēķināts AUDPC (laukumu zem slimības attīstības līknes). Matemātiski salīdzinot aprēķinātās AUDPC vērtības, redzam, ka straujāka īstās miltrasas attīstība novērojama gurķiem, kas auguši zem Na lampām (4.48.att.).

Veicot datu matemātisko apstrādi, ar R programmu pierādās, ka **gurķu īstās miltrasas** (ier. *Podosphaera xanthii* un/vai *Golovinomyces cichoracearum*) attīstību **būtiski ietekmē izmantotās lampas** ($p<0.01$). Augstāka slimības attīstība novērojama augiem., kas audzēti zem

Na lampām. Iespējams to varētu skaidrot ar pašu lampu izdalīto siltumu, kas bija augstāks nekā zem pārējām lampām.



4.47. attēls. Gurķu augu izkārtojums zem lampām



4.48. attēls. Ķirbjaugu īstās miltrasas attīstība atkarībā no audzēšanai izmantotajām lampām
a,b,c – mazi burti norāda būtiskuma līmeni

4.4 Jaunu novērtēšanas metožu izstrāde dažādām siltumnīcu sistēmām, ražošanas procesiem un tehnoloģijām.

Projekta gaitā tiek veikti metodiski pētījumi un to rezultāti (dārzeņu ontoģenēzes īpatnības, produkcijas bioķīmiskā sastāva izmaiņas atkarībā no apgaismojuma, sēņu slimību attīstību atkarība no tehnoloģijām.

Izstrādāta metodika:

Augu slimību monitorēšanai:

- lielajās siltumnīcās;
- mazajās siltumnīcās
- laboratorijas apstākļos

Veiktas Augsnes un augu zinātņu institūta siltumnīcā augošo tomātu un gurķu analīzes, slimību un kaitēkļu monitorings. Savākti paraugi patogēnu paraugi.

4.4.1 Metodiskie pētījumi un to rezultāti

Lai noskaidrotu augu augšanas, attīstības ražas formēšanās un ražas kvalitātes kontroles iespējas, veiktas gan augu, gan ražas bioķīmiskās un nedestruktīvās analīzes. Pielāgota metodika augu destruktīvam (4.1. tabula) un nedestruktīvām analīzēm. Augu nedestruktīvās analīzes veiktas izmantojot portatīvo lapu hlorofila mērītāju *atLeaf* un spektrometru RS-3500 (Spectral evaluation) un Hlorofila fluorescences mērītāju (Opti-Sciences OS5p)

Tabula 4.1. Veiktās bioķīmiskās analīzes

Parametri	Tomāti augļi	Tomāti veģetatīvās daļas	Gurķi veģetatīvās daļas	Gurķi augļi	Zemes augļi	Lapu dārzeni
Masa	x	x	x	x	x	x
Sausne	x	x	x	x	x	x
Morfoloģiskie parametri	x	x	x			x
Šķīstošā sausne	x	x			x	x
Hlorofili	x	x	x	x		x
Kopējie karotinoīdi	x	x	x	x		x
Likopēns	x					
β- karotīns	x					
Kopējie fenoli	x	x	x	x	x	x
Flavonoīdi	x	x	x	x	x	x
Kopējais skābums	x				x	
Garšas indekss	x				x	
Mīnerālelementi	x					
Antociāni						x

Katrā paraugu analīžu reizē pētītie parametri atšķiras.



4.49. attēls. Nedestruktīvajiem pētījumiem izmantotās iekārtas.

Pēc ar spektrometri iegūtajiem augu atstarošanas spektriem, aprēķināti veģetācijas indeksi (skat 4.2. tabulu).

Tabula 4.2. Augu parametru novērtēšanai izmantotie veģetācijas indeksi

Vegetation index	Abbreviation	Equation	Reference
Carotenoids	CRI1	$\frac{1}{W510} - \frac{1}{W550}$	Gitelson et al., 2001
Carter 1(Stress index)	CTR1	$\frac{W695}{W420}$	Carter, 1994
Greenness Index	GI	$\frac{W554}{W677}$	Zarco-Tejada et al., 2001
Lichtenthaler index 1	LIC1	$\frac{W800 - W680}{W800 + W680}$	Lichtenthaler, 1996
Lichtenthaler index2	LIC2	$\frac{W440}{W690}$	Lichtenthaler, 1996
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$\frac{W760 - W670}{W760 + W680}$	Padilla et al.,2017b
Plant Senescence Reflectance Index	PSRI	$\frac{W678 - W500}{W750}$	Merzlyak et al., 1999
Structure Intensive Pigment Index	SIPI	$\frac{W800 - W445}{W800 - W680}$	Peñuelas & Filella 1998, Zarco-Tejada et al., 2001
Simple Ratio Pigment Index	SRPI	$\frac{W430}{W680}$	Peñuelas et al., 1994
Vegetation fluorescence	DPI	$\frac{W688 + W710}{W697^2}$	Zarco-Tejada et al., 2003
Water use efficiency	WBI3	$\frac{W950}{W900}$	Peñuelas et al., 1993
Water Index	WI	$\frac{W900}{W970}$	Peñuelas et al., 1997
Flavonoid reflectance Index	FRI	$\left(\frac{1}{W410} - \frac{1}{W460} \right) W800$	Skoczowski et al., 2021
Normalized Difference Index	CNDVI	$\frac{W750 - W705}{W750 + W705}$	Lu et al.,2018
Red Edge Index	REI	$\frac{W760}{W730}$	Padilla,2017
Healthy index	HI	$\frac{W534 - W698}{W534 + W698 - 0.5W704}$	Mahlein et al., 2013
Powdery Mildew Index	PMI	$\frac{W520 - W584}{W520 + W584 + W724}$	Mahlein et al., 2013
Disease-Water Stress Index 1	DSWI-1	$\frac{W800}{W1660}$	Apan et al., 2004

Disease-Water Stress Index 2	DSWI-2	$\frac{W1660}{W550}$	Apan et al., 2004
Disease-Water Stress Index 3	DSWI-3	$\frac{W1600}{W680}$	Apan et al., 2004
Disease-Water Stress Index 4	DSWI-4	$\frac{W550}{W680}$	Apan et al., 2004
Disease-Water Stress Index 5	DSWI-5	$\frac{W800 - W550}{W1660 + W680}$	Apan et al., 2004

Projekta ietvaros izstrādāti jauni veģetācijas indeksi miltrasas noteikšanai gurķiem, likopēna un β -karotīna noteikšanai tomātu augļos (skat 4.3. tabulu), izveidots modelis tomātu augļu kvalitātes novērtēšanai, hlorofila satura izmaiņu augu lapās izmantošanai slāpekļa mēslojuma nepieciešamības novērtēšanā.

Tabula 4.3. Izveidotie veģetācijas indeksi

Gurķu miltrasas noteikšanai	PMI-1	$\frac{W759 - W553}{W759 + W553}$
	PMI-2	$\frac{W759 - W553}{W1188}$
	PMI-3	$\frac{W759 - W553}{W1684 - W1925}$
Likopēna noteikšanai		$\frac{W551 - W725}{W551 + W725}$
β -karotīna noteikšanai		$\frac{W710 - W538}{W710 + W538}$

Secinājumi.

Bioķīmiskās analīzes veiksmīgi var aizvietot ar nedestruktīvajām, ja tiek izmantoti gaismas atstarošanās spektri robežās no 500- 900 nm. Hlorofila daudzums augu lapās labi korelē ar NDVI. Gurķiem izmantojams arī Lihtentālera indeksi 1 (LIC1).

Pētījumā tika pierādīts, ka ar labu precizitāti var tomātos noteikt likopēna un β -karotīna saturu, un to korelācijas koeficienti ar bioķīmiski izmērītajiem bija attiecīgi augstāki par 0,93 un 0,85. Sausnas, šķīstošās sausnas un fenola satura noteikšanai var izmantot veģetācijas rādītājus, kas paredzēti ūdens satura noteikšanai, bet to korelācijas koeficienti ar ķīmiskajām metodēm ir vidēji augsti - attiecīgi 0,65, 0,56 un 0,57. Konstatēts, ka vislabākā korelācija starp bioķīmiski noteiktajiem parametriem un veģetācijas rādītājiem ir likopēns > β -karotīns > sausna > kopējie fenoli = titrējamais titrējamais skābums $\geq$ šķīstošās cietās vielas > garšas indekss > flavonoīdi.

4.4.2 Projekta partneru produkcijas bioķīmisko parametru mērījumi un analīze

Augu materiāls un audzēšanas apstākļi.

Izmēģinājumi veikti lielajās un mazajās siltumnīcās, kurās izmatots stikla, polikarbonāta vai polietilēna plēves vai dubultplēves segums. Lai precīzāk skaidrotu gaismas spektrālā sastāva ietekmi uz augu augšanas un bioķīmiskajiem parametriem, daļa eksperimentu iekārtota

LBTU Lauksaimniecības fakultātes augu audzēšanas telpā. Izmēģinājumos izmantotā augu materiāla izcelsme dota 3.2.1. tabulā.

Tabula 4.4. Pētījumos izmantoto augu izcelsme

Augu materiāla izcelsme	Siltumnīcas tips	Tomāti	Gurķi	Zemenes	Cits
LBTU	polikarbonāts	x	x		A,B,C,D
	dubultplēve			x	
	audzēšanas telpa				A,B,C,D
	lauka apstākļi	x	x	x	D
Mežvidi	stikla	x			
I.Erdbergas siltumnīca	plēve	x			
Eži					
S. Poriņas siltumnīca		x			
Bulduri		x			
Aberry					
Veikala produkcija		x		x	
Cits	plēve	x		x	

A- salāti, B- spināti, C- lapu sinepes, D- lapu redīsi

Augu kvalitatīvā sastāva pētījumi.

Pētījumos izmantotās tomātu šķirnes.

- Sarkanaugļu šķirnes ‘Amaneta F1’, ‘Aurea F1’, ‘Bellastar F1’, ‘Berberana F1’, ‘Conchita F1’, ‘Elegance F1’, ‘Gardener’s Delight F1’, ‘Gourmandia F1’, ‘Lancelot F1’, ‘Pozano F1’, ‘Sunstream F1’, ‘Bolstar Gimli F1’, ‘Encore F1’, ‘Delizia F1’, ‘Belfast F1’, ‘Nectar F1’, ‘Cristal F1’, ‘Forticia F1’, ‘Nectar F1’, ‘Borsalina F1’, ‘Sandoline F1’, ‘Panekra F1’, ‘Sakura F1’, ‘Cocktail Crush F1’, ‘De Barao Krasny’, ‘Hector F1’, ‘Strabena’, ‘Cornue des Andes F1’, and ‘Brooklyn F1’,
- Sārtaugļu šķirnes ‘Cipars F1’, ‘Dimerosa F1’, ‘DRK936 F1’, ‘Fuji Pink F1’, ‘Rosa Star F1’, ‘Rosetta F1’, ‘Pink Wonder F1’, ‘Pink Oxheart’, ‘Rhianna F1’, ‘Kongo F1’, ‘Gusto Pink F1’, ‘Pink Rock F1’, ‘Honey Moon F1’, and ‘Cassarosa F1’,
- Oranžo augļu šķirnes – ‘Apressa F1’, ‘Beorange F1’, ‘Organza F1’, ‘Santorange F1’, ‘Orange Wellington F1’, ‘Taijo F1’, ‘Orange Star F1’, ‘Kinkanstar F1’, and ‘Orange Queen’,
- Dzeltenaugļu šķirnes– ‘Bolzano F1’, ‘Gualdino F1’, ‘Citrusovij Sad’, ‘Taiko’, and ‘Lemon Tree’,
- Zaļaugļu šķirnes – ‘Green Envy F1’ and ‘Limetto F1’,
- Vairākrāsu augļu šķirnes – ‘Ananas’, ‘Gargamel’, ‘Green Tiger’, ‘Pink Tiger’, ‘Blush Tiger’, and ‘Zebrino F1’, ‘Ruskije Kolokola’, ‘Timenta’, ‘Sunstream’, ‘Toila’, ‘Pinedo’, ‘Luciestar’,
- Brūnaugļu šķirnes – ‘Black Cherry F1’, ‘Bucanero F1’, ‘Chocostar F1’, ‘Chocomate F1’, ‘De Barao Chornij’, ‘Noire De Crimee’, and ‘Sacher F1’,
- Violēto augļu šķirne ‘Indigo Rose’

Pētījumos izmantotās gurķu šķirnes

- ‘Julian’
- ‘Victoria’

Eksperimentos izmantoto zemeņu šķirnes

‘Kokinskaja raņņaja’,
 ‘Honeoye’,
 ‘Sonate’,
 ‘Rumba’

Pētījumos izmantotie lapu dārzeni:

- Salāti Dubacek, Michelina
- Spināti
- Lapu sinepes Red Giant
- Redīsi

Tabula 4.5. Analīžu metodika

Analīžu grupa	Parametrs	Mērvienība	Metode
Morfoloģiskie parametri	Lapu masa	g	gravimetrija
	Lapu garums	cm	
	Lapu skaits	skaits	
	Augu garums	cm	
Bioķīmiskās metodes	Pigmentu saturs hlorofīli, karotinoīdi	mg g ⁻¹	Spektrometrija
	Kopējais fenolu saturs	mg GAE 100 g ⁻¹	Spektrometrija
	Flavonoīdu saturs	mgCE 100 g ⁻¹	Spektrometrija
	Sausnes saturs	%	Gravimetrija
	Šķīstošā sausne	BRIX	Refraktometrija
	Vitamīns C	mg 100 g ⁻¹	Titrimetrija
	Kopējā skābe	mg 100 g ⁻¹	Titrimetrija
	Likopēna saturs	mg 100 g ⁻¹	Spektrometrija
	β-karotīna saturs	mg 100 g ⁻¹	Spektrometrija
	Antociānu saturs	mg 100 g ⁻¹	Spektrometrija
	Minerālelementi		Jonu selektīvie elektrodi

LBTU polikarbonāta siltumnīcā izmantotie apgaismojuma avoti: Led cob Helle top LED 280 (LED), indukcijas lampa (IND) un augstspiediena nātrija lampa Helle Magna (HPSL). Virsotnes augstumā augi saņēma $200 \pm 30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ zem LED un HPSL, $170 \pm 30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ zem IND lampām. Gaismas intensitāte un spektrālais sadalījums tika noteikts ar rokas spektrālo gaismas mērītāju MSC15 (Gigahertz-Optik GmbH). Izmantotās lampas atšķīrās ar gaismas spektrālo sadalījumu, spektrālais sadalījums dots 3.2.1. attēlā

4.4.3 Pētījumu rezultāti un analīze

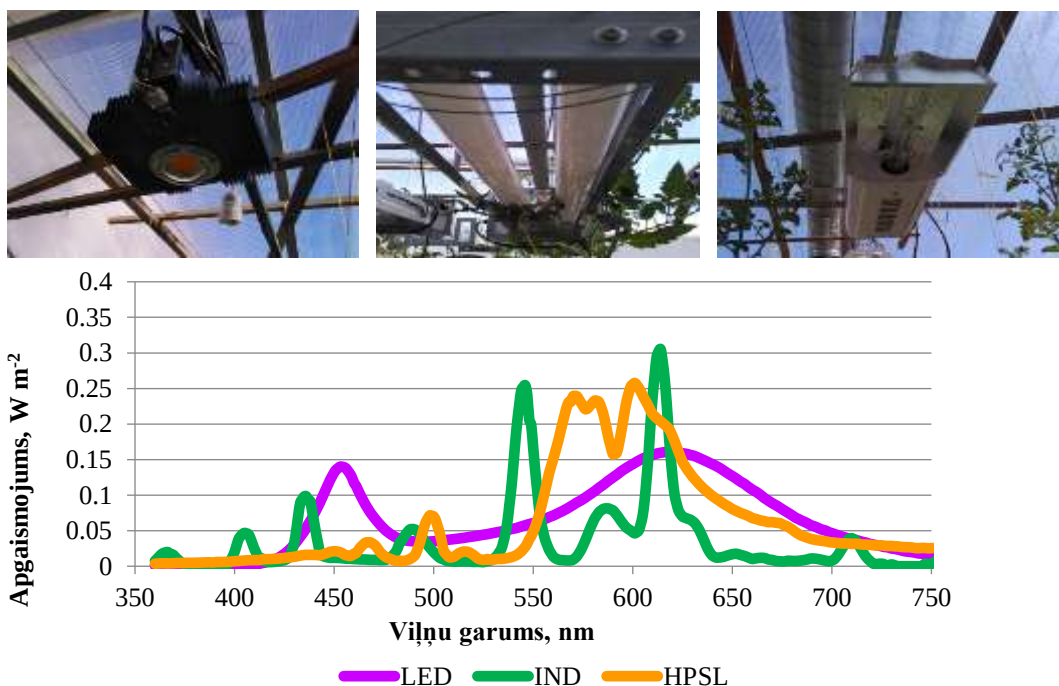
Projekta īstenošanas laikā tiek veikti testi projekta partneru siltumnīcās (LDL, BULD, Eži, Utāni, Aberry), kā arī 10 mazo siltumnīcu regulāras produkcijas bioķīmisko parametru analīzes. Analīžu veikšanas izmaksas ir iekļautas LLU budžetā.

Izstrādāta metodika bioķīmisko parametru noteikšanai

- Tomātos
- Gurķos
- Zemenēs
- Lapu dārzenos

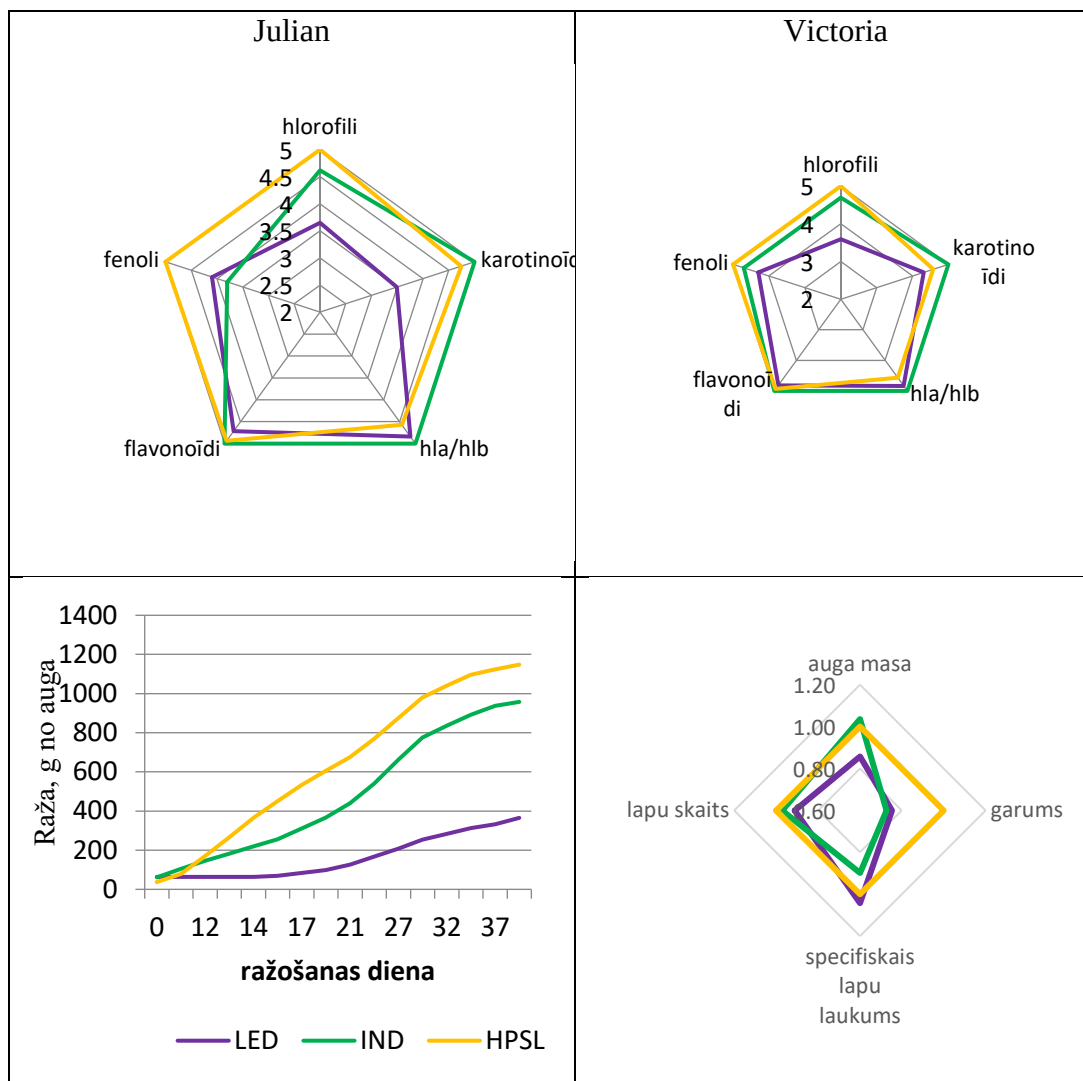
Gurķi

Izmēģinājumi iekārtoti LBTU polikarbonāta siltumnīcā 2020. un 2021. gada pavasara un rudens aprītē. Izmēģinājumos iekļautas divas gurķu šķirnes 'Julian' un 'Victoria'. Augi audzēti zem Led cob Helle top LED 280 (LED), indukcijas lampa (IND) un augstspiediena nātrija lampa Helle Magna (HPSL) 16/8 h fotoperiodā. 4.50. attēlā doti izmantoto gaismas avotu spektri



4.50. attēls. Pētījumos LBTU siltumnīcā izmantotie gaismas avoti un to izstarotās gaismas spektri





4.51. attēls. Pētījumā iekļauto augu morfoloģisko un bioķīmisko rādītāju salīdzinājums

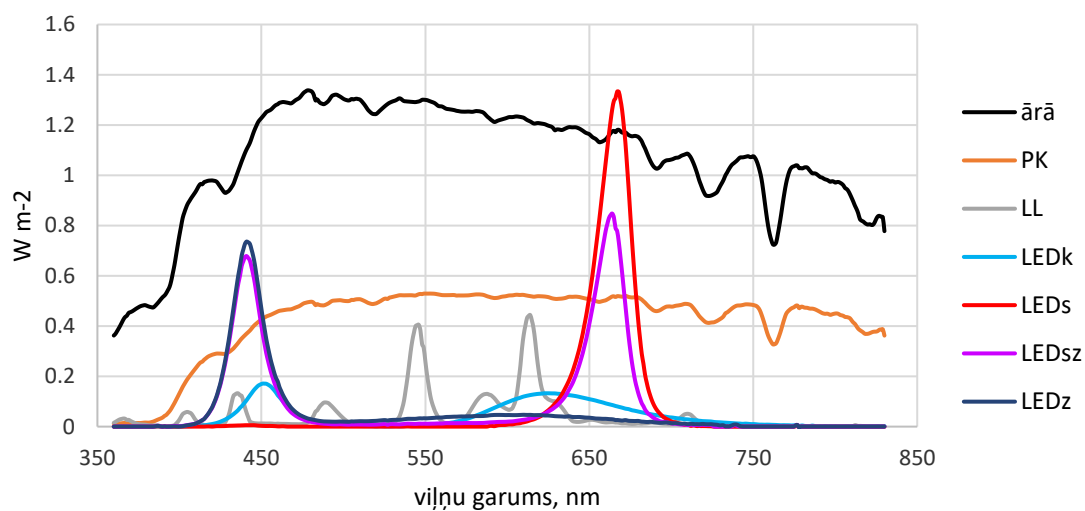
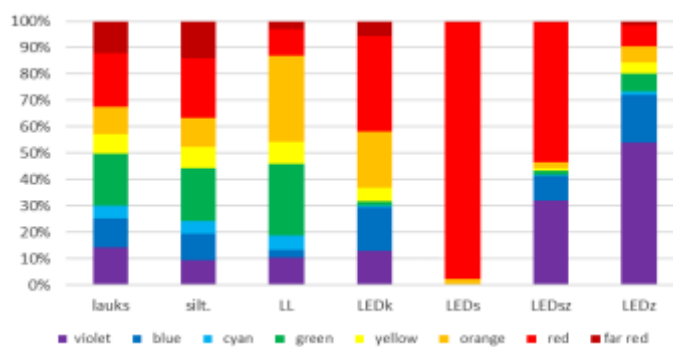
Gurķu augi, kas audzēti zem Led cob Helle top LED 280, vidēji bija mazāki, ar mazāk hlorofila, karotinoīdu un fenolu, bet lapām ir augstāka hlorofila a un b attiecība un īpatnējais lapu laukums, salīdzinot ar tradicionāli siltumnīcās izmantotajām augstspiediena nātrija lampām (HPSL). Indukcijas lampā audzētie gurķu augi vidēji bija īsāki, bet ar lielāku lapu laukumu, ar augstāku hlorofila un karotinoīdu saturu, bet samazinātu fenolu saturu. Neskatoties uz to, ka augi labi aug un normāli attīstās zem visām lampām, rezultāti liecina, ka gurķiem vispiemērotākās ir nātrija lampas. Ir nepieciešami turpmāki pētījumi, lai pielāgotu LED apgaismojumu gurķu audzēšanai.

Eksperimenti ar lapu redīsiem

Eksperimenti iekārtoti LBTU Augu audzēšanas telpā, polikarbonāta siltumnīcā un lauka apstākļos. Lapu redīsi audzēti 5L veģetācijas traukos kūdras substrātā. Eksperimentā izmantotie gaismas avoti – luminiscentā lampa (LL), komerciālā LED (LEDk), sarkana spektra LED (LEDs), zila un sarkana spektra LED (LEDsz), zila spektra LED (LEDz), kontrolei augi audzēti

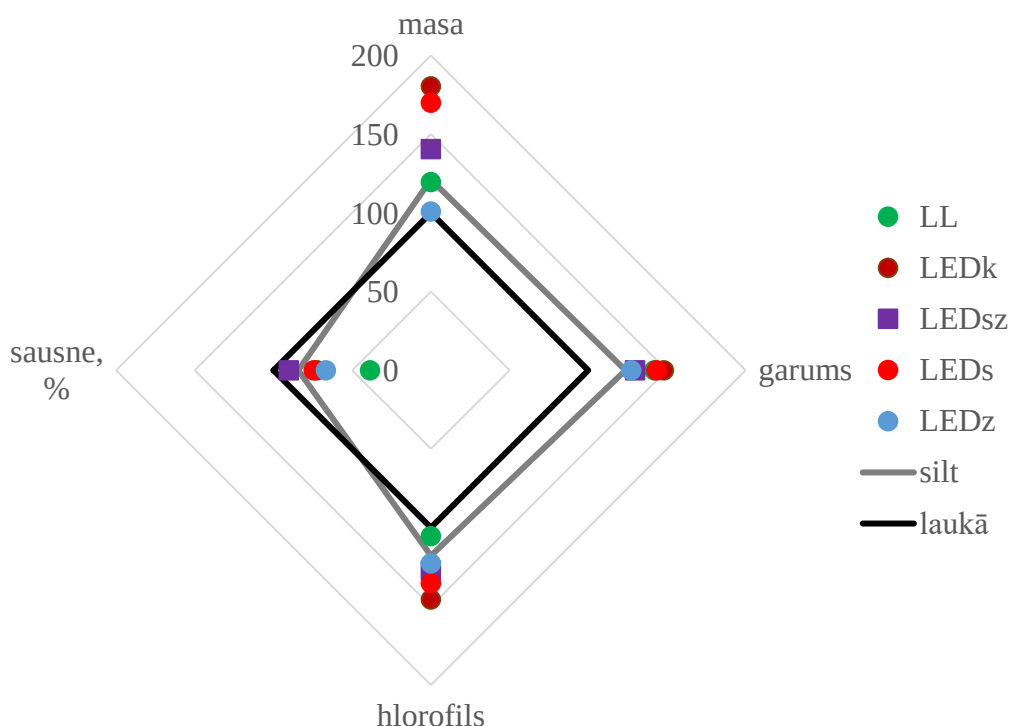
bez papildus apgaismojuma polikarbonāta siltumnīcā (SILT) un lauka apstākļos (laukā).
Gaismas parametri doti attēlos

Avots	PAR, $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\text{s})$
* Laukā	1653
Silt*	661.8
LL	94.4
LEDk	81.6
LEDs	206.6
LEDsz	196.5
LEDz	104.7



* gaismas daudzums un kvalitatīvais sastāvs mainīgs

4.52. attēls. Eksperimentos izmantoto gaismas avotu raksturojums avotu raksturojums



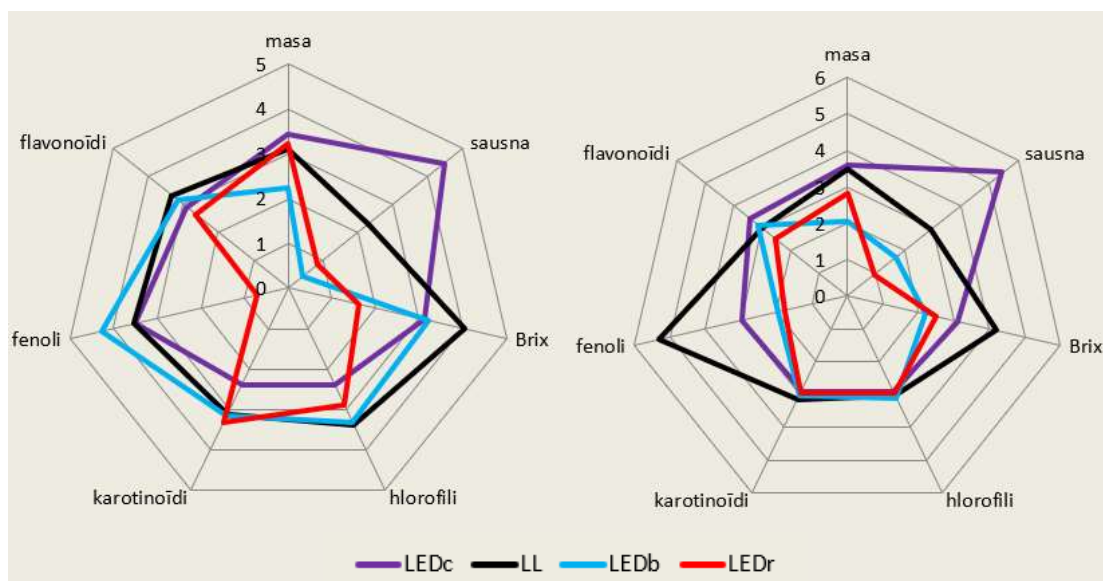
4.53. attēls. Lapu redīsu parametru izmaiņas dažāda apgaismojuma spektrālā sastāva ietekmē.

Izmēģinājumos noskaidrots, ka no lauka apstākļos audzētiem lapu redīsiem iegūst mazāko ražu, bet tā ir ar vislielāko sausnas saturu. Augu masa ir būtiski atkarīga no apgaismojuma un mainās $LEDk > LEDs > LEDsz > siltumnīca \approx LL > LEDz \approx \text{āra apstākļi}$. Auga garums visos siltumnīcas un veģetācijas telpas variantos par 24-48% pārsniedza āra apstākļos audzētu augu garumu. Visizstīdžējākie augi bijuši zem LEDk, LEDs un luminiscentajām lampām. Hlorofila saturs palielinās zem visām LED lampām, bet tas ir maz iespaidojis sausnas uzkrāšanos.

Eksperimenti ar salātiem

Eksperimentos ar salātiem izmantoti tie paši gaismas avoti, kuri eksperimentos ar lapu redīsiem





4.54. attēls. Salātu (pa kreisi – Dubacek, pa labi Michalina) parametru izmaiņas dažāda apgaismojuma ietekmē.

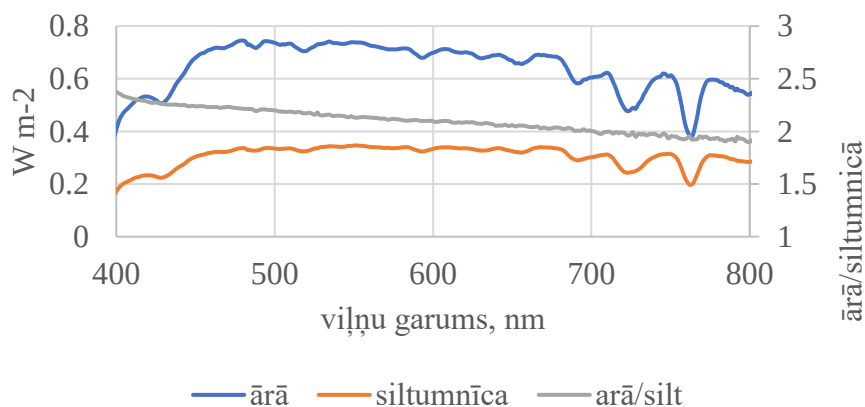
Izmēģinājumos noskaidrots:

- Augstākā salātu raža iegūta zem komerciālā LED (V-TAC premium series), bet šajos augos ir mazāk cukuru, pigmentu un fenolu.
- Labāka augu kvalitāte iegūta zem luminiscentās lampas. Augstāks cukuru, fenolu un flavonoīdu saturs.
- Salātu augšana zem zilās dominantes lampas aizkavējas, šajos augos ir augstāks hlorofilu saturs.
- Konstatētas atšķirības starp šķirnēm un ražas vākšanas laikiem.

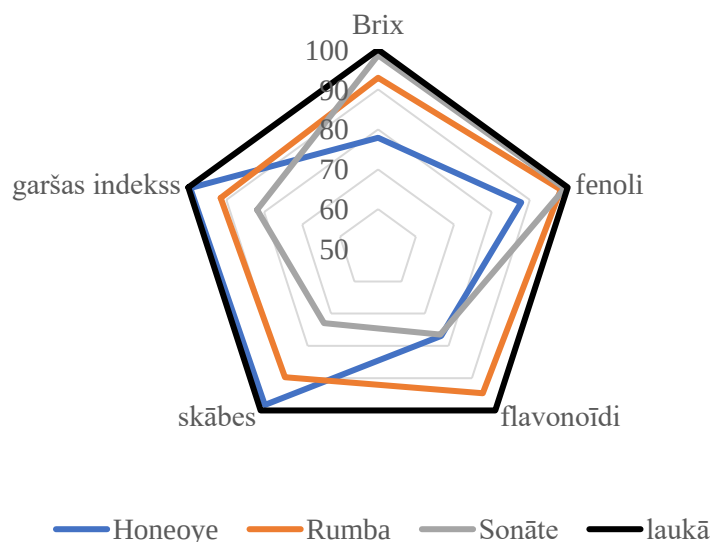
Zemenes

Zemenes audzētas gan lauka, gan siltumnīcu apstākļos. Izmantotās šķirnes Kokinskaja raņņaja, 'Honeye', 'Sonate', 'Rumba'.

Izmēģinājumi iekārtoti lauka apstākļos un polietilēna dubultseguma siltumnīcā.



4.55. attēls. Pētījumos audzēto zemeņu apgaismojuma raksturojums



4.56. attēls. Zemeņu bioķīmiskā sastāva izmaiņas atkarībā no audzēšanas apstākļiem

Izmēģinājumos noskaidrots, ka zemeņu bioķīmiskais sastāvs ir atkarīgs no audzēšanas apstākļiem.

- Lauka apstākļos audzētajās zemenēs ir lielāks šķīstošās sausas satur, tātad zemeņu ogas ir saldākas.
- Laukā audzētās zemeņu šķirnes 'Honeoyne' ogas raksturojas ar vislielāko kopējo fenolu un flavonoīdu saturu. Turpretī šķirnei 'Sonate' šie rādītāji ir vismazākie.
- Organisko skābju saturs mainījās no $1.08 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ('Kokinskaja raņņaja') līdz $1.76 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ('Honeoyne').
- Salīdzinot zemeņu ogu garšas indeksus, ieguvām sekojošu sakarību: 'Honey' laukā > 'Honey' siltumnīcā > 'Rumba' laukā > 'Sonate' siltumnīcā > 'Rumba' siltumnīcā > 'Sonate' laukā > 'Kokinskajā raņņaja' siltumnīcā.

Tomāti

Pētījumi veikti Latvijas Dzīvības zinātņu un tehnoloģiju universitātes Augsnes un augu zinātņu institūtā. Četras dažādu krāsu tomātu šķirnes (dzeltens BolzanoF1, sarkans EleganceF1 un EncoreF1, tumši brūns ChocomateF1) no saimniecības "Mežvidi" (Latvija) siltumnīcām, kurās tiek izmantotas augstspiediena nātrija lampas ar LED starpapgaisojumu.



4.57. attēls. Eksperimentos izmantotie tomāti.

Tabula 4.6. "Mežvidu tomātu bioķīmisko parametru izmaiņas veģetācijas perioda laikā

Datums	Šķirne	Sausne, %	Šķīstošā sausne, Brix	Titrējamā skābe*	Garšas indekss
novembris.	BolzanoF1	5.46±0.28	4.51±0.13	0.198±0.034	1.32±0.09
	EleganceF1	5.40±0.51	4.52±0.31	0.209±0.041	1.28±0.08
	ChocomateF1	6.01±0.31	5.26±0.15	0.221±0.003	1.39±0.10
	EncoreF1	5.06±0.37	4.28±0.12	0.218±0.088	1.20±0.09
decembris	BolzanoF1	5.58±0.33	4.22±0.04	0.512±0.004	0.92±0.08
	EleganceF1	5.96±0.18	4.71±0.22	0.702±0.016	1.04±0.09
	ChocomateF1	5.81±0.35	4.56±0.23	0.674±0.040	1.02±0.07
	EncoreF1	5.26±0.21	4.28±0.19	0.582±0.014	0.95±0.08
marts	Bolzano	5.08±0.18	4.46±0.16	0.647±0.004	0.99±0.09
	EleganceF1	6.02±0.24	4.72±0.08	0.647±0.047	1.01±0.09
	ChocomateF1	7.08±0.29	5.62±0.08	0.682±0.019	1.09±0.08
	EncoreF1	5.85±0.18	4.52±0.26	0.697±0.063	1.02±0.10
• Izteikta kā g citronskābes 100 g tomātu •					

Vislielākais kopējais karotinoīdu saturs bija Bolzano F1 šķirnes tomātiem (dzeltenā krāsā), bet mazāk sarkano tomātu šķirnēm. Tumši brūnā tomātu šķirne Chocomate F1 ir visbagātākā ar pigmentu likopēnu. Lielākas šķīstošās sausas saturas un zemā kopējā skābju saturas dēļ tomātu šķirnei Chocomate F1 bija augstākais garšas indekss (1,39), salīdzinot ar citām krāsainām tomātu šķirnēm. Sausnes un cukura saturs augstākais marta beigās, ko var skaidrot ar dabiskā apgaismojumu palielināšanos, zemākais uz decembra beigās, neskatoties uz papildus

apgaismojumu. Skābju saturs veģetācijas laikā vidēji palielinās. Garšīgākie tomāti ir veģetācijas perioda sākumā

4.5 Projektu partneru produkcijas bioķīmisko parametru mērījumi un analīze

Projekta īstenošanas laikā tiek veikti testi projekta partneru siltumnīcās (LDL, BULD, Eži, Utāni, Aberri), kā arī 10 mazo siltumnīcu regulāras produkcijas bioķīmisko parametru analīzes. Analīžu veikšanas izmaksas ir iekļautas LLU budžetā.

Lielo siltumnīcu monitorēšana

Otrajā projekta posmā notika šādi darbi:

- Veikts Mežvidu siltumnīcā slimību monitorings
- kaitēkļu monitorings.
- tomātu morfoloģiskās un bioķīmiskās analīzes.

Trešajā projekta posmā, ņemot vērā, kā no novembra noteikts valstī ierobežots darbības režīms, tad, lai samazinātu Covid-19 izplatību, klātienē lielās siltumnīcās nav apmeklētas.

Mazo siltumnīcu monitorēšana:

Otrajā projekta posmā tika veikts slimību un kaitēkļu monitorings z/s Eži, z/s Utāni. Tiek veiktas tomātu augļu bioķīmiskās analīzes. Kopā 54 paraugiem noteikts sausnes, likopēna, karotīna, karotinoīdu hlorofila, fenolu, flavonoīdu, organisko skābju saturs un Brix. Aprēķināti garšas un gatavības indeksi.

Veiktas divas zemeņu analīzes, kur noteikts sausnes, karotinoīdu, hlorofila, fenolu, flavonoīdu, organisko skābju un C vitamīna saturs, šķīstošās sausnes saturs (BRIX). Aprēķināts garšas indekss.

Trešajā projekta posmā tika veikts slimību un kaitēkļu monitorings, slimību un kaitēkļu uzskaitē LLU Augsnes un augu zinātņu institūta siltumnīcā.

Siltumnīcā veikta tomātu mākslīgā inokulēšana ar 2 dažādiem Botrytis izolātiem. Atsevišķi vērtēta arī salīdzināto gaismas avotu ietekme uz 13 dažādu Botrytis izolātu augšanu un attīstību. Siltumnīcā veikti izmēģinājumi ar kameņiem kā apputeksnētājām. Diemžēl eksperimenta rezultāts negatīvs - luminiscentās lampas nojauc kameņu orientāciju.

Siltumnīcā ir veiktas uzskaites uz tomātu un gurķu lapām. Pārsvārā konstatēti siltumnīcu baltblusiņu Trialeurodes vaporariorum kāpuri un olas, kā arī dažādu attīstības stadiju tripši Thysanoptera spp. un laputis Aphidoidea spp. Izliktas arī dzeltenās līmes lamatas ar nolūku uzskaitīt lidojošās kaitēkļu attīstības stadijas. Pārsvārā konstatēti siltumnīcu baltblusiņu Trialeurodes vaporariorum imago.

Veiktas tomātu un gurķu lapu un augļu bioķīmiskās analīzes. Kopā 60 tomātu augļu paraugiem noteikts sausnes, likopēna, karotīna, karotinoīdu hlorofila, fenolu, flavonoīdu, organisko skābju saturs un Brix. Aprēķināti garšas un gatavības indeksi.

Veiktas deviņas gurķu analīzes, kur noteikts sausnes, karotinoīdu, hlorofila, fenolu un flavonoīdu saturs.

Veiktas 69 paraugu lapu analīzes ar nedestruktīvajām (RS-3500, at leaf, hlorofila fluorescences un minerālu elementu (Horiba Laqua Twin), un destruktīvajām (lapu pigmenti, sausne, šķīstošā sausne) metodēm.

Ceturtajā un piektajā projekta posmā tika veikts slimību un kaitēkļu monitorings, slimību un kaitēkļu uzskaitē LLU Augsnes un augu zinātņu institūta siltumnīcā.

- Tomātu augļu bioķīmiskās analīzes kopā 4 mēneši x 4 lampas x 1 šķirne kopā 48 paraugi, ražas uzskaitē AAZI siltumnīcā.
- Tomātu lapu bioķīmiskās analīzes kopā 4 mēneši x 4 lampas x 1 šķirne kopā 48 paraugi
- Tomātu augļu bioķīmiskās analīzes kopā 2 mēneši x 2 lampas x 4 šķirnes kopā 48 paraugi, (Mežvidi).
- Lapu dārzena analīzes, kopā 3 mēneši x 4 lampas x 3 sugas 108 paraugi
- Sadarbības partneru tomātu augļu paraugi 1 reize x 28 šķirnes kopā 84 paraugi

Ievākti (x 3) tomātu augļi bez vizuāli redzamiem slimības simptomiem (gatavi un zaļi) un tomātu lapas. Augu patoloģijas zinātniskajā laboratorijā veikta paraugu mākslīgā inokulācija ar 12 (iepriekš no tomātu un kartupeļu lapām) izdalītiem *Alternaria* un *Stemphylium* ģints sēņu izolātiem. AAZI siltumnīcā analizēts dažādu (13) *Botrytis* ģints sēņu izolātu, kas izdalīti no inficētiem tomātu lapu, augļu un stublāju paraugiem, augšanas ātrums atkarībā no gaismas avota.

Apkopoti iegūtie rezultāti par laiku no 2021. gada septembra līdz 2022. gada martam uz tomātiem (LLU Augsnes un augu zinātņu institūta siltumnīcā) uzskaitītajām bezmugurkaulnieku sugām. No kaitēkļiem nozīmīgākie bijuši trūdodīņi *Sciaridae* spp. (Diptera). Tos lielākā skaitā konstatēja uz dzeltenajām līmes lamatām zem indukcijas spuldzēm, bet vismazāk to bijis uz lamatām zem Na spuldzēm. Baltblusiņas *Trialeurodes* spp. visvairāk konstatēja uz līmes lamatām zem Na spuldzēm, bet vismazāk – zem LED spuldzēm. Uz dzeltenajām līmes lamatām nelielā skaitā atrasti arī tripši *Thysanoptera* spp. – mazākā skaitā zem LED spuldzēm, zem pārējām aptuveni vienādā skaitā.

5 Viedo tehnoloģiju un kvalitātes parametru mērījumi mazo siltumnīcu monitorēšanai

5.1 IRIS platforma – nozares barometra izveide

IRIS sistēmas klientu lokā ir saimniecības no visiem Latvijas reģioniem (Kurzeme, Zemgale, Vidzeme un Latgale) un šajās saimniecībās ir uzstādīti standartizēti sensoru komplekti. Šie apstākļi sniedz iespēju no sensoru datiem izveidot standartizētas informācijas kopu, kas dod iespēju lietotājiem gūt priekšstatu par to kādi parametri un kādā apjomā atšķiras pašu saimniecībā attiecībā pret reģiona citu saimniecību vidējām vērtībām. Piemēram, temperatūras režīms diennakts/nedēļas laikā (minimālā, maksimālā un vidējā temperatūra), augsnes un gaisa mitruma režīms, saņemtās gaismas apjoms, u.c. parametri.

IRIS sistēmā realizētais barometrs attēlo 2 veidu datus:

1. Eksperimentāli/laboratoriski iegūta informācija, piemēram, gaismas ietekme uz ražību, sausni, u.c. parametriem. Šos datus sagatavoja IRIS projekta partneri veicot laboratoriskus izmeklējumus un eksperimentus. Šos datus var uzskatīt par relatīvi statistiskiem, proti, tie tiek atjaunināti tikai pēc kārtējo eksperimentu veikšanas un jaunu datu iegūšanas.
2. Aprēķināti dati, kas ir iegūti no sensoru mērījumiem un grupēti pēc reģionālā principa. Šīs grupas dati tiek atjaunināti 1 reizi nedēļā un var tikt uzskatīti par relatīvi dinamiskiem.



Attēls 5.1. Barometra datu apstrādes plūsma.

IRIS sistēmā esošie dati ļauj sistēmas lietotājam salīdzināt savus apstākļus siltumnīcā ar citiem kolēģiem un izvērtēt nepieciešamību veikt korekcijas, piemēram, vairāk apkurinot vai vēdīt siltumnīcu. Viens no būtiskiem parametriem, kas nav IRIS sistēmā ir ražība. Aptaujājot zemnieku saimniecības un izvērtējot iegūtos rezultātus ir secināts, ka ražības datus IRIS sistēmas lietotāji nav gatavi atklāt.



Attēls 5.2. Barometra skata paraugus izmantojot bioloģisko parametru datus.

Regulāri papildinot datus, ko iegūst gan no IoT sensoru sistēmas (ko nākotnē var papildināt ar dažādiem automatizētiem risinājumiem, tai skaitā novāktās ražas svara sensoriem), gan periodiskiem ražas kvalitātes un citiem bioloģiskiem mērijumu/apsekošanas datiem (slimības, kaitēkļi), variegūt reģionālu apskatu par esošo problemātiku.

Zemnieku saimniecības, ražotāji, u.c. dalībnieki var novērtēt savas veikspējas, izmantoto metožu un tehnoloģiju rezultātus salīdzinoties pret citiem nozares MIN/AVG/MAX rezultātiem (vai pret sev līdzīgajiem). Sava veida ražošanas procesa audita rīks, pie nosacījuma, ja visi dalībnieki to lieto un nodrošina šādus datus. Projekta gaitā bija novērojama nepieciešamība pret pilnībā automatizētu šādu datu ieguves iespēju, jo dalībniekiem bieži vien na pietiekams laika resurss, lai šādus datus nodrošinātu/apstrādātu un nodotu tālākai ievadei.

Projekta gaitā tika izstrādātas un notestētas divu veida anketas, kas dot informāciju gan par zemnieka saimniecības specifiku gan par ražošanas procesiem un par problēmjautājumiem:

- 1) Projekta dalībnieka pamatinformācija
- 2) Tehnoloģisko procesu novērtējums un tā pielietojums.

Abas anketas ir dokumentācijas pielikumos: Pielikums 2 un Pielikums 3.

5.2 IRIS platforma – vienkāršotais barometra risinājums

Atskaites sadaļā 2.3. ir aprakstīts Barometra tehniskais risinājums, kā iegūt sev interesējošos salīdzinošos datus pret anonimizētiem citu siltumnīcu vidējiem datiem (att.5.3.), kas ietver gan projekta partneru, gan 10 mazās siltumnīcas. Vienkāršotā sistēmā iespējams iekļaut arī sensoru

datus no citiem sensoriem, piemēram augu svāra sensoriem (Attēls 5.4), PAR sensoriem (Attēls 5.5), kā arī vienlaicīgi datus no vairākiem RhT, CO2 sensoriem (Attēls 5.6). Minētie dati, kā rāda lietotāju atsauksmes, vairāk ir piemēroti vidējām un lielām siltumnīcām.



Attēls 5.3. Barometrā izmantotie siltumnīcu dati pa Latvijas reģioniem.



Attēls 5.4. Svaru sensoru datu attēlojums vienā interneta pārlūka lapā.



Attēls 5.5. Vairāku RhTCO2 sensoru virtenų attēlojums vienā interneta pārlūka lapā.



Attēls 5.6. Par sensoru attēlojums vienā interneta pārlūka lapā.

5.3 Līgumu sagatavošana un noslēgšana ar mazajām saimniecībām

Saskaņā ar projekta plānu tika noslēgti sadarbības līgumi ar 10 mazo siltumnīcu apsaimniekotājiem. Saskaņā ar noslēgtiem līgumiem RTU uzstādīja uzņēmuma siltumnīcā šādu

aprīkojumu: T, RH (Temperatūras un relatīvais mitruma sensors); 1-f vai 3-fāzes elektroenerģijas patēriņa mērītājas; Electric IMP komplekts datu pārraidei; Rūteris WiFi, kur tas bija nepieciešams un uzturēs šo sistēmu arī pēc projekta īstenošanas, lai iegūtu periodiskus sezonālos mērījumu datus.

Nr	Saimniecības (uzņēmuma) nosaukums	Saimniecības atrašanās vieta - novads, ciems.	Kontaktpersonas vārds, uzvārds.	Kontaktpersonas telefona numurs.	Kontaktpersonas e-pasta adrese.	Saimniecības tips	Siltumnīcu kopējā kvadrātūra (m2)	Reģistrēts
1	GRETES SIA	Sece, Jaunjelgavas nov.	Vents Aperāns	25649999	gretes@gretes.lv	Mazais komersants	> 1000 m2	08.04.21
2	Ieva Erdberga	Kārķu 18, Odukalns, Ķekavas nov.	Ieva Erdberga	29267003	ieva.erdberga@llu.lv	Privātpersona	< 500 m2	26.03.21
3	Aiva G SIA	Madonas novads, Barkava	Silvija Grudule	37129128168	siaaivag@inbox.lv	Mazais komersants	> 1000 m2	09.06.21
4	Sanita Poriņa	Pāvilostas nov., Vērgales pagasts	Sanita Poriņa	29343504	porinasanita@inbox.lv	Privātpersona	> 1000 m2	28.04.21
5	ZS Klīģeni	Cēsis, Cēsu novads	Aleksandrs Raubiško Ieva Ārberga ZS Klīģeni t. 28350015	29110962	aleksandrs@darznieks.lv info@darznieks.lv	ZS	10000 m2.	06.04.23
6	SIA "Ar B Agro"	Kaive, Sēmes pagasts, Tukuma novads	Eva Bumbiere Arvis Bumbiers	29410309 29255448	eva.bumbiere@gmail.com arvis.bumbiers@gmail.com	SIA "Ar B Agro"	Kopējā platība 4800 m2	02.04.23
7	SIA Letis	„Jūlijas” Iecavas pagasts, Bauskas novads	Hēlija Feldmane	29115240	Sia.letis@gmail.com	SIA	4833,2 m2	24.04.23
8	Rītausma		Lāsma Bekina	26333225	lasma@ritausma.lv	SIA		13.07.23
9	Very Berry SIA	„Kalna purvs”, Gaujienas pagasts, Smiltenes novads, LV-4339	Gundega Sauškina	29233062	gundega@veryberry.lv	SIA		23.05.23
10	Krimuldas pusē "Absolūts Ēd" Juris Lipskis	Siguldas novads, Krimuldas pagasts, Jaunstokas, LV-2145	Ilze Lipska Juris Lipskis 18018412309	288337598	ilze@absolutsed.lv aimx@tvnet.lv	Privātpersona		01.09.23

5.4 Darbi mazajās siltumnīcās

5.4.1 SIA GRETES siltumnīcu komplekss

Pamatdati no aptaujas anketas

Vai piekrītat savu datu apstrādei vajadzībām?		Saimniecības (uzņēmuma) nosaukums	Saimniecības (siltumnīcas) atrašanās vieta - novads, ciems.	
Jā		GRETES SIA	Sece, Jaunjelgavas nov.	
Kontaktpersonas vārds, uzvārds.	Kontaktpersonas telefona numurs.	Kontaktpersonas e-pasta adrese.	Saimniecības tips	Siltumnīcu kopējā kvadrātūra (m ²)
Vents Aperāns	25649999	gretes@gretes.lv	Mazais komersants	> 1000 m ²
Siltumnīcas pārklājuma materiāls	Kādi dārzeni tiek audzēti siltumnīcā?	Audzēšanas laiks/sezona	Kāda audzēšanas metode tiek izmantota siltumnīcā?	Siltumnīcā ir pieejams 230V AC tīkla elektrības pieslēgums
Polietilēna plēve;	Ogas;	Pavasaris - rudens sezona	Organiskais substrāts (kūdra);	Ir iespējams ierīkot
Siltumnīcā ir pieejami komunikācijas sakari (interneta pieejamība)	Audzēšanas procesā tiek izmantots mākslīgais apgaismojums (nātrija, LED vai citi gaismekļi)		Kāda apūdeņošanas sistēma tiek izmantota siltumnīcā?	
WiFi;	Nē		Automatizēta (taimeris, sensors, aktuatori, u.c.);	
Vai siltumnīcas ventilācijas nodrošināšanā tiek izmantotas lūkas (jūmtā vai sānos)?	Sensoru vai citu mērinstrumentu izmantošana		Siltumnīcas ārpusē ir meteostacija?	Vai siltumnīcā tiek izmantota kāda vadības sistēma un programmatūra?
Jā. Manuāla atvēršana	Netiek veikti mērījumi un datu analīze		Nē	Nav neviena varianta

Siltumnīcas apsekošanas rezultāti un plāns sensoru uzstādīšanai

Siltumnīcas Nr.	IRIS sensori						Programma	
	Gaisa T/RH	CO2	P,W – 1f	P,W – 3f	WiFi	Electric IMP	PC	Mobile APP
Plānots:	3		1	1	1	4	1	1
Siltumnīca # 1	3	1	0	1	1	1	1	1
Siltumnīca # 2								
Siltumnīca # 3								
Siltumnīca # 4								
Siltumnīca # 5	3	1	0		1	1	1	1
Siltumnīca # 6								
Siltumnīca # 7								
Siltumnīca # 8								
Siltumnīca # 9								

SIA GRETES kopumā ir 9 plēves siltumnīcas, kurās audzē ogas, Nr.1-Nr5 audzē avenes podos, kas novietoti uz zemes, (3 rindas, starp stabiem ailēs 8 podi, rindā 29 ailes), bet Nr.6-Nr.9 audzē zemenes uz galdiem (apmēram 10 augi/m²). Vienas siltumnīcas garums ir 76 m, platums 8 m.



Attēls 5.7. SIA GRETES platību kopskats



Attēls 5.8. SIA GRETES a) Avenū siltumnīca



b) Zemeņu siltumnīca





Attēls 5.9. IRIS sensoru uzstādīšana SIA GRETES siltumnīcās (divos plēves tuneļos).

5.4.2 Sensoru uzstādīšana IRIS projekta partnera ZS "Kliģēni" siltumnīcā (2023.g. jūlijs)

ZS "Kliģēni" tika uzstādīti 5 sensori – gaisa mitruma, temperatūras, CO₂, augsnes mitruma un ePAR gaismas sensors, kā arī kontrolleris (IMP) un programmatūra ar mobilo aplikāciju.

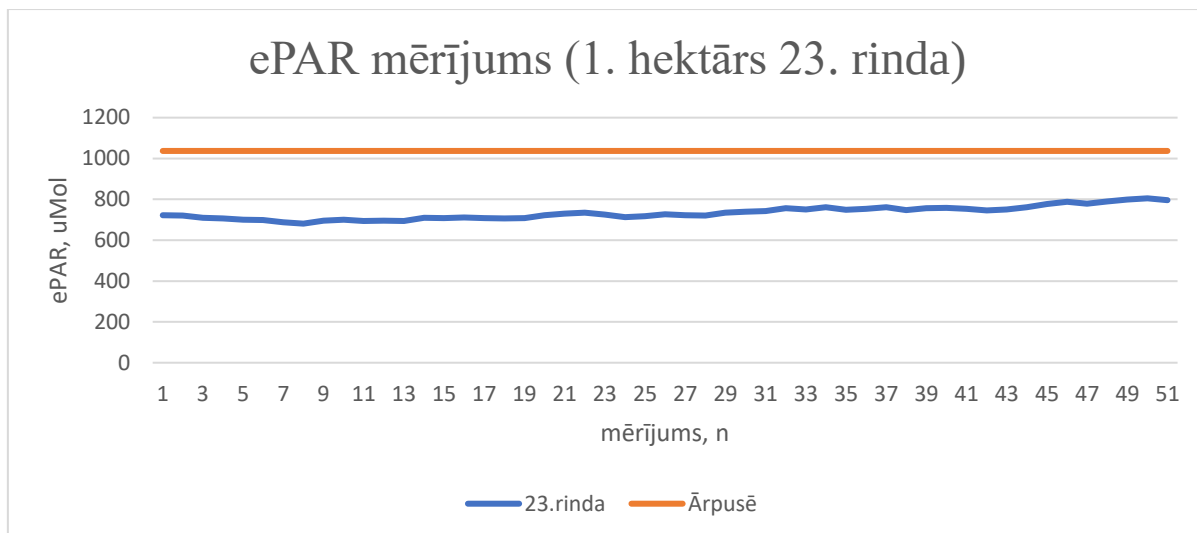
Uzstādīties sensori ZS "Kliģēni"

#51 IMP + 0., 1., 2. RH/T + SoilH	1.hektārs, tomāti, 23. rinda 5. stabs	RTU_IRIS
#5 ePAR	1.hektārs, tomāti, 23. rinda 5. stabs	RTU_IRIS

Interneta pārklājuma nodrošināšanai uzstādīto sensoru zonā tika izmantots IRIS projekta "Teltonika" rūteris ar ZS "Kliģēni" sagādāto mobile interneta SIM karti.

Elektrobarošanai tika izmantots esošais siltumnīcas elektrobarošanas tīkls.

Papildus tika veikta fotosintētiski aktīvā starojuma (ePAR) mērījumu sērija gar visu siltumnīcas rindu, kurā tika uzstādīts ePAR sensors (Zemenes 8. Rinda) ar kontrolmērījumu siltumnīcas ārpusē. Iegūto mērījumu rezultāti redzami 5.10. att.



5.10. attēls. ePAR mērījums (1. hektārs 23. rinda)

Jaudas mērītāja uzstādīšana netika veikta, jo pēc veiktās siltumnīcu apsekošanas atsevišķās siltumnīcās nebija pieejamas jaudas mērītāja uzstādīšanai atbilstošas elektriskās sadalnes, savukārt jaudas mērītāja uzstādīšanai galvenajā sadalnē ir nepieciešama strāvmaiņu nomaiņa uz lielāku nominālu (250A +).

Turpmāk seko fotomateriāli no sensoru uzstādīšanas un kalibrēšanas procesa.



5.11. attēls. “1.hektārs tomāti” siltumnīca



5.12. attēls. Sensoru pievienošana interneta tīklam un augsnes mitruma sensora kalibrēšana



5.13. attēls. Uzstādītie sensori “1.hektārs tomāti” siltumnīcā

5.4.3 Sensoru uzstādīšana IRIS projekta partnera SIA "Letis" siltumnīcā (2023.g. jūlijs)

SIA "Letis" tika uzstādīti 4 sensori – gaisa mitruma, temperatūras, CO₂, augsnes mitruma un jaudas sensors, kā arī kontrolleris (IMP) un programmatūra ar mobilo aplikāciju.

Uzstādīties sensori SIA "Letis"

#44 IMP + 0., 1., 2. RH/T + SoilH	6. siltumnīca tuvāk vidum	RTU_IRIS
Nr.16 3 fāžu jaudas mērītājs (IMP001)	Saimniecības ēka	textile

Interneta pārklājuma nodrošināšanai uzstādīto sensoru zonās tiek izmantots gan esošais WiFi tīkls (jaudas mērītājam), gan IRIS projekta "Teltonika" rūteris bezvadu interneta pārklājuma zonas nodrošināšanai (siltumnīcas sensoram), kuru nepieciešams aprīkot ar SIM karti. Elektrobaošanai tika izmantots esošais elektriskais tīkls ar papildus pieliktu ap 20m garu elektrobarošanas kabeli līdz nepieciešamajam sensoru uzstādīšanas punktam.

Jaudas mērītāja uzstādīšana tika veikta saimniecības ēkā, kur ir pieslēgts galvenais abelis, kurš nodrošina elektrobarošanu visai siltumnīcu grupai.

Turpmāk seko fotomateriāli no sensoru uzstādīšanas un kalibrēšanas procesa.

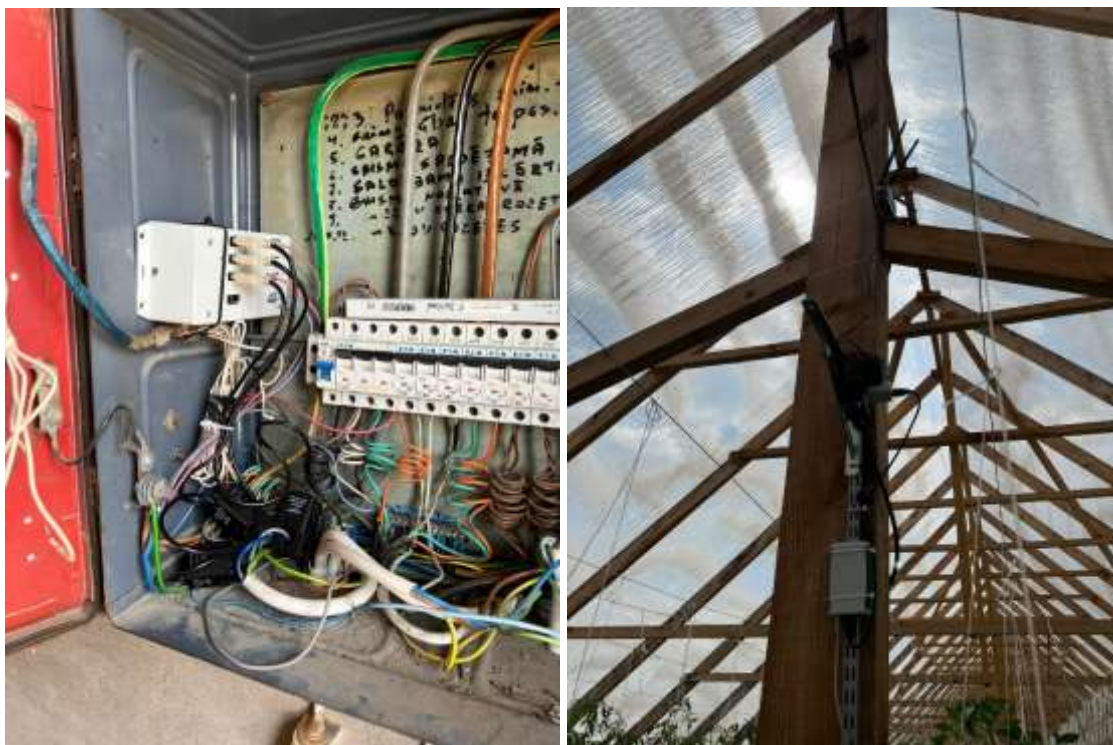




5.14. attēls. Sensoru pievienošana barošanai un esošajam interneta tīklam



5.15. attēls. Augsnes mitruma sensora kalibrēšana



5.16. attēls. Uztādītie sensori 6. siltumnīcā un saimniecības ēkā

5.4.4 Sensoru uzstādīšana IRIS projekta partnera SIA “Ar B Agro” siltumnīcā (2023.g. jūlijs)

SIA “Ar B Agro” tika uzstādīti 7 sensori – gaisa mitruma, temperatūras, CO₂, augšnes mitruma un ePAR gaismas sensors, kā arī kontrolleris (IMP) un programmatūra ar mobilo aplikāciju.

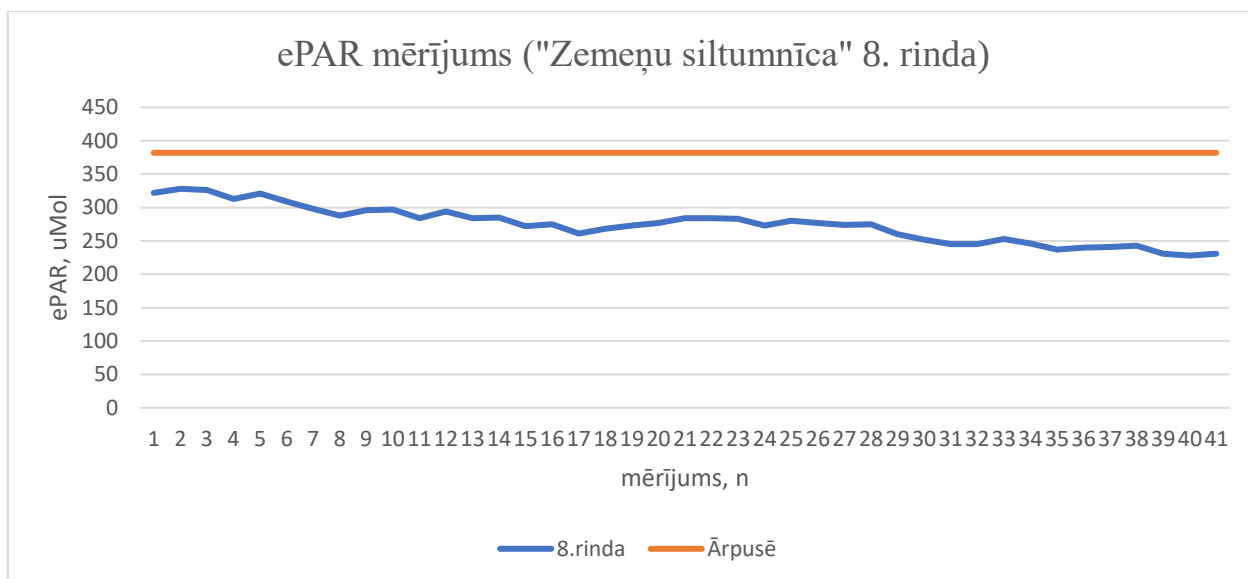
Uztādītie sensori SIA “Ar B Agro”

#50 IMP + 0., 1., 2. RH/T + SoilH	Zemenes 8. rinda, 5. stabs	RTU_IRI S
#6 ePAR	Zemenes 8. rinda, 5. stabs	RTU_IRI S
#48 IMP + 0., 1. RH/T	Gurķi, 2.siltumnīca, 31.rinda, 5.stabs	RTU_IRI S

Interneta pārklājuma nodrošināšanai uzstādīto sensoru zonās tiek izmantots esošais WiFi tīkls.

Sensoru elektrobarošanai tika izmantots esošais siltumnīcu elektrobarošanas tīkls un piedāvātie pagarinātāji.

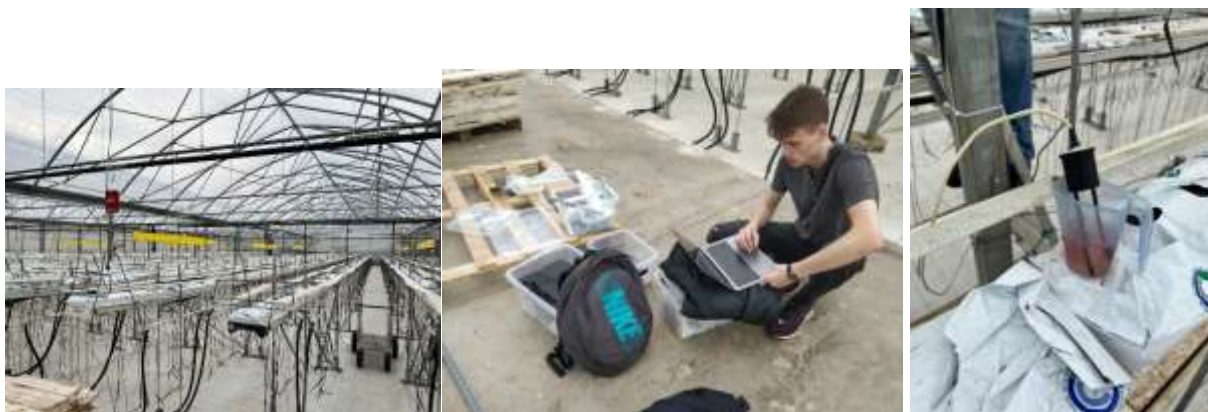
Papildus tika veikta fotosintētiski aktīvā starojuma (ePAR) mērījumu sērija gar visu siltumnīcas rindu, kurā tika uzstādīts ePAR sensors (Zemenes 8. Rinda) ar kontrolmērījumu siltumnīcas ārpusē. Iegūto mērījumu rezultāti redzami 5.17. att.



5.17. attēls. ePAR mērījums ("Zemeņu siltumnīca" 8. rinda)

Jaudas mērītāja uzstādīšana netika veikta, jo pēc veiktās siltumnīcu apsekošanas atsevišķās siltumnīcās nebija pieejamas jaudas mērītāja uzstādīšanai atbilstošas elektriskās sadalnes, savukārt jaudas mērītāja uzstādīšanai galvenajā sadalnē ir nepieciešama strāvmaiņu nomaina uz lielāku nominālu (250A +).

Turpmāk seko fotomateriāli no sensoru uzstādīšanas un kalibrēšanas procesa.



5.18. attēls. Sensoru pievienošana esošajam interneta tīklam un augsnes mitruma sensora kalibrēšana

5.4.5 Sensoru uzstādīšana IRIS projekta partnera SIA VeryBerry siltumnīcā

SIA "Very Berry" tika uzstādīti 4 sensori – gaisa mitruma, temperatūras, CO₂ un augsnes mitruma sensors, kā arī kontrolleris (IMP) un programmatūra ar mobilo aplikāciju.

#55 IMP + 0., 1., 2. RH/T + SoilH	2. telts no iebrauktuves 1. eja	RTU_IRIS
-----------------------------------	---------------------------------	----------

Interneta pārklājuma nodrošināšanai uzstādīto sensoru zonā tiek izmantots IRIS projekta "Teltonika" rūteris ar ielikto SIA "Very Berry" SIM karti ar mobilo internetu.

5.4.6 Sensoru uzstādīšana IRIS projekta partnera SIA "Absolūts Ēd" siltumnīcā (07.07.23.)

ZS "Rītausma" tika uzstādīti 4 sensori – gaisa mitruma, temperatūras, CO2 un augsnes mitruma, kā arī kontrolleris (IMP) un programmatūra ar mobilo aplikāciju.

Uzstādītais sensors ZS "Absolūts Ēd"

#54 IMP + 0., 1., 2. RH/T + SoilH	3. siltumnīca pa kreisi	RTU_IRIS
-----------------------------------	-------------------------	----------

Interneta pārklājuma nodrošināšanai uzstādīto sensoru zonā tiek izmantots IRIS projekta "Teltonika" rūteris ar ielikto ZS "Absolūts Ēd" SIM karti ar mobilo internetu. Sensoru elektrobarošanas nodrošināšanai no esošās sadalnes līdz siltumnīcai ap 20 m garumā tika ierakts elektrības kabelis. Jaudas mērītāja uzstādīšana netika veikta, jo pēc veiktās siltumnīcu apsekošanas atsevišķās siltumnīcās nebija pieejamas jaudas mērītāja uzstādīšanai atbilstošas elektriskās sadalnes.

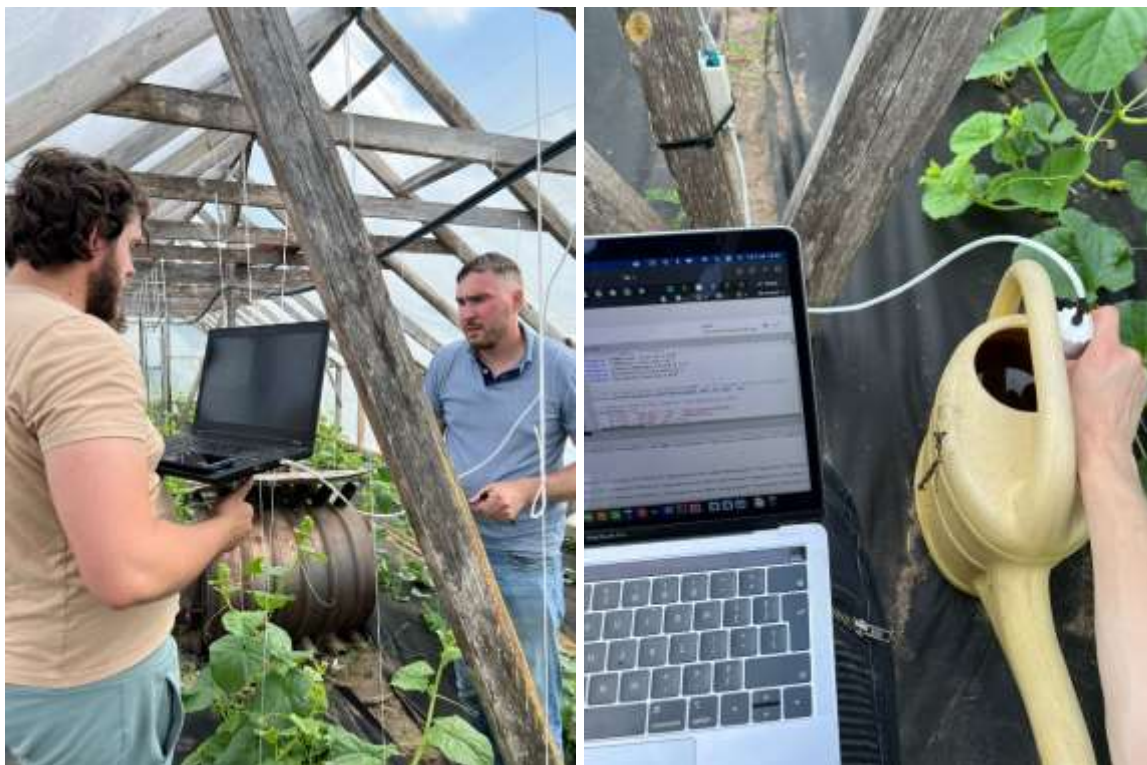
Turpmāk seko fotomateriāli no sensoru uzstādīšanas un kalibrēšanas procesa.



5.19. attēls. Siltumnīcas



5.20. attēls. Kabeļa un IRIS sensoru sistēmas instalācija.



5.21. attēls. Sensoru pievienošana interneta tīklam un augsnes mitruma sensora kalibrēšana.

5.4.7 Sensoru uzstādīšana IRIS projekta partnera ZS "Rītausma" siltumnīcā (2023.g. jūlijs)

ZS "Rītausma" tika uzstādīti 5 sensori – gaisa mitruma, temperatūras, CO₂, augsnes mitruma un ePAR gaismas sensors, kā arī kontrolleris (IMP) un programmatūra ar mobilo aplikāciju.

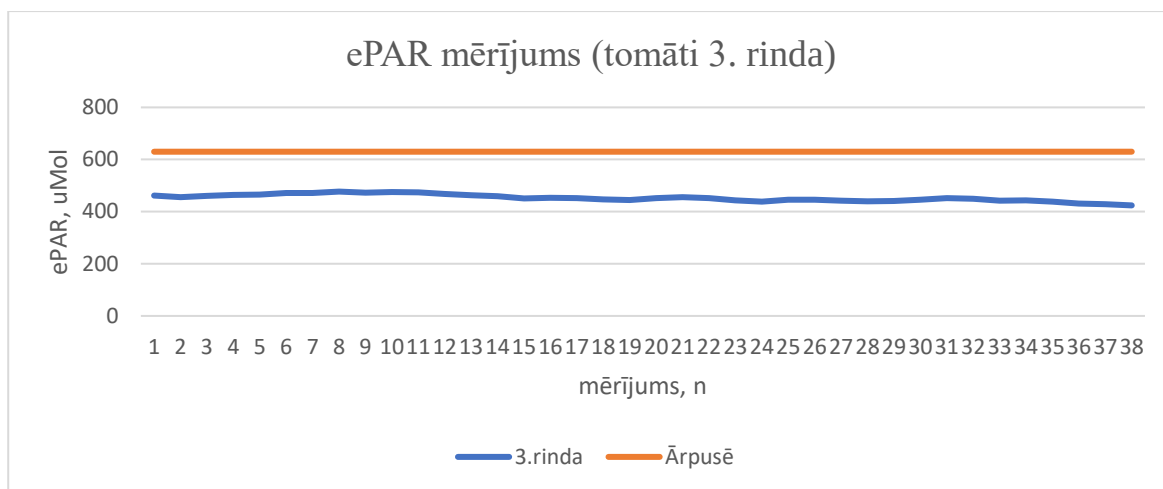
Uzstādīties sensori ZS "Rītausma"

#49 IMP + 0., 1., 2. RH/T + SoilH	Tomāti, no galvenās ejas pa kreisi un tad 3. rinda no kreisās puses tuvāk galam	RTU_IRIS
#8 ePAR	Tomāti, no galvenās ejas pa kreisi un tad 3. rinda no kreisās puses tuvāk galam	RTU_IRIS

Interneta pārklājuma nodrošināšanai uzstādīto sensoru zonās tiek izmantots esošais WiFi tīkls un IRIS projekta "Teltonika" rūteris bezvadu interneta pārklājuma zonas palielināšanai (*extender* režīmā).

Elektrobarošanai tika izmantots esošais elektriskais tīkls ar papildus pieliktu ap 25m garu elektrobarošanas kabeli līdz nepieciešamajam sensoru uzstādīšanas punktam.

Papildus tika veikta fotosintētiski aktīvā starojuma (ePAR) mērījumu sērija gar visu siltumnīcas rindu, kurā tika uzstādīts ePAR sensors (tomāti 3. rinda) ar kontrolmērījumu siltumnīcas ārpusē. Iegūto mērījumu rezultāti redzami 5.22. att.



5.22. attēls. ePAR mērījums (tomāti 3. rinda)

Jaudas mērītāja uzstādīšana netika veikta, jo pēc veiktās siltumnīcu apsekošanas atsevišķās siltumnīcās nebija pieejamas jaudas mērītāja uzstādīšanai atbilstošas elektriskās sadalnes, savukārt jaudas mērītāja uzstādīšanai galvenajā sadalnē ir nepieciešama strāvmaiņu nomaiņa uz lielāku nominālu (250A +).

Turpmāk seko fotomateriāli no sensoru uzstādīšanas un kalibrēšanas procesa.



5.23. attēls. Sensoru pievienošana esošajam interneta tīklam un augsnes mitruma sensora kalibrēšana



5.24. attēls. Uzstādītie sensori “Tomātu” siltumnīcā



5.25. attēls. Sensoru pievienošana esošajam interneta tīklam un augsnes mitruma sensora kalibrēšana



5.26. attēls. Uzstādītie sensori “Zemeņu siltumnīca” 8.rinda 5.stabs un “Gurķu siltumnīca” 31.rinda 5.stabs

5.4.8 SIA AivaG

Aiva G SIA saimniecībā ir viens zemstikla siltumnīcu bloks ar 16 korpusiem. Katrs korpus ir 6,4m plats, 4m augsts un 75m garš. Kopējā platība 7680m².

- 6 korpusos tiek audzēti gurķi līdz 15.-20.jūlijam (2880m²);
- 6 korpusos pēc gurķiem otrajā apritē aug tomāti;
- 8,5 korpusos aug tomāti (4080m²);
- 1,5 korpusi tiek izmantoti stādu audzēšanai, tajā izvietota arī ūdens tvertne un kompjūters automātiskai augu pilienvēida barošanai;
- Tiek ierīkota pilienvēida laistīšanas un mēslošanas sistēma;
- Ūdens piegādātājs siltumnīcai SIA "Madonas ūdens";
- Ir 4G internets;
- Ir 3 fāžu elektrība ar pietiekošu jaudu;
- Stādus audzē paši.



5.27. attēls. SIA AivaG siltumnīca un IRIS sensoru izvietojuma vietas

5.4.9 Sanitas Poriņas saimniecības siltumnīcas

Sanitas Poriņas saimniecībā ir septiņas siltumnīcas, ko kurām 6 ir zem jumta seguma un viena ar plānotu rekonstrukciju.

	Siltumnīca 1	Siltumnīca 2	Siltumnīca 3	Siltumnīca 5	Siltumnīca 6	Siltumnīca 7	
a	1,65	1,55	1,35	1,3	1,4	1,8	
b	4,05	3,15	2,55	3,1	3,8	4,25	
c	8,1	5,5	3,15	5,15	8,25	8	
d	40	40	40	40	50	40	
Platība	324	220	126	206	412,5	320	
Pārseguma veids	Plēves jumts, stikla sāni un gali	Plēves jumts, polikarbonāta sāni un gali	Plēves jumts, polikarbonāta sāni un gali	Plēves jumts, polikarbonāta sāni un gali	Pilns polikarbonāta pārsegums	Pilns polikarbonāta pārsegums	

Audzētie kultūraugi:

- tomāti,
- gurķi,
- redīsi,
- salāti,
- garšaugi.

Dabīga augsne, kapilārā laistīšanas sistēma un smidzināšana no gaisa ar ūdens pievadu no dziļurbuma ar sūkni, elektriski vadāmas jumta lūkas. Saimniecības teritorijā pieejams 4G internets, iespēja ierīkot WiFi siltumnīcās. Pievadīts 1 fāzes, 16A elektrības pieslēgums.



5.28. attēls. Sanitas Poriņas siltumnīca un IRIS sensoru izvietojuma vietas



5.29. attēls. Santas Poriņas siltumnīca un IRIS sensoru izvietojuma vietas

5.4.10 Ievas Erdbergas saimniecība

Siltumnīcas atrašanās vieta ir Ķekavas pagasts, Odukalns, Kārķu iela 18. Norādītajā adresē atrodas siltumnīca, kas veidota no impregnēta koka konstrukcijām ar 4 mm šūnu polikarbonāta segumu izmēros 25m x 7,5m, ierīkota nogāzē. Zemākajā punktā griestu augstums 2,5m, augstākajā 5,5m. Vienā no siltumnīcas daļām tika uzstādīts viens sensoru stabs (skat. att. 5.30.), ar kura palīdzību tiek mērīti tādi parametri kā:

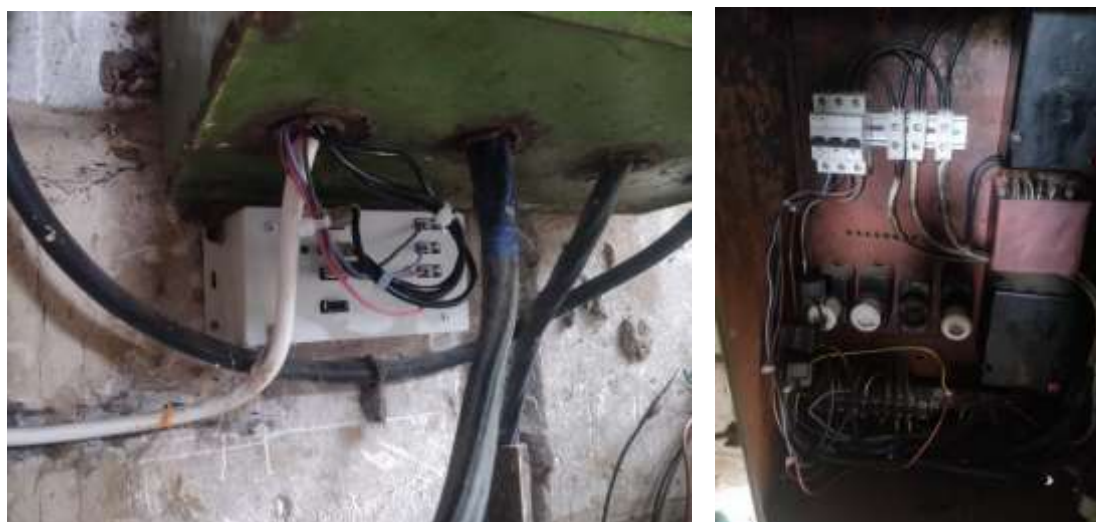
- a) 3 līmeņos (0,5m, 1,5m un 2,5m) gaisa temperatūra un mitrums;
- b) 1 līmenī (2,5 augstumā) CO₂;
- c) 1 līmenī (zemē) augsnes temperatūra.

Sensoru staba atrašanās vieta izvēlēta siltumnīcas telpas vidienē, kur notiek aktīva dārzeņu audzēšana.



5.30. attēls. Uztādītais gaisa temperatūras, mitruma, CO2 un augsnes temperatūras sensoru stabs.

Papildus galvenajā elektriskās sadales kastē tika uzstādīts 3 fāzu jaudas mērītājs, kas mēra kopējo siltumnīcas elektroenerģijas patēriņu (skat. 5.31. att.).



5.31. attēls. Uztādītais 3 fāzu jaudas mērītājs.

5.4.11 Lietotāju pieredzes kopsavilkums

Digitālo prasmju uzlabošana:

- Līdz šim mazo siltumnīcu īpašnieki nav lietojuši IoT sensorus;
- Patīk ka viss strādā, ka var redzēt datus, ka analīze gan notiek, kad augam parādās problēmas;
- Sensors gribētu vairākās vietās pa siltumnīcu, bet interesē cik tas izmaksās (vai var tādu atļauties);
- Gribētu arī cita tipa sensorus izmēģināt, kas nebija pamatkomplektā;
- Software ir izstrādāts lietotājiem draudzīgs un viegli uztverams, bet daļa gribētu ērtāku/pielāgojamu GUI (diennakts MIN, MAX un vidējās vērtības, trauksmes līmeņi, SMS, u.c.).

Sensoru lietošana:

Temperatūras sensors - strādāja labi un atbilda mērījumiem no citām mums pieejamajām ierīcēm.

CO2 mērītājs - arī strādāja labi un atbilda mērījumiem no citām mums pieejamajām ierīcēm.

Augsnes mitruma mērītājs - saimniecībā kur izmanto kokosa substrātu, ir mainīgi mitruma līmeņi substrātā (dienas laikā) un atšķirīgajiem blīvumiem katrā maisā ļoti sarežģīti ir iegūt reprezentablus mērījumus.

Nākotnes attīstības vajadzības

- Augsnes mitrums + PH (tabulas, laboratorijas mērījumi).
- SI-NDVI sensors ar datorredzi (zonu/augu līmenis).
- Augu kaitēkļu/labdarīgo kukaiņu populācijas monitorings (siltumnīcām un āra apstākļiem).
- Lokālais datu mezgls ar «5G» telemetriju (pēc vajadzības un bez mākoņa) – unificēts sakaru modulis ar integrētu datoru
- "Tipveidīgais" sensoru komplekts ar vadības aktuatoriem.
- Cena ir izaicinājums, jo vēlme ir pēc iespējas lētāku risinājumu (līdz 400 EUR/kompl.)

6 IRIS projekta publicitāte

Zinātniskas publikācijas

1. Iesniegts publicēšanai zinātniskais raksts (kopējais LBTU un RTU): Manuscript: AR-2023-74/R1 RESUBMISSION, I. Alsina, M. Dūma, L. Dubova, R. Alksnis, L. Dučkēna, I. Erdberga, T. Harbovska and A. Avotiņš "Determination of tomato quality with hyperspectral imaging akceptēts publicēšanai Agronomy Research". Agronomy Research XX(x), xx–xx, 2023.
2. Dubova L. Harbovska T., Dučkēna L., Alsina I., "Changes in the biochemical composition of tomato fruits during the ripening". Теоретичні і практичні аспекти розвитку галузі овочівництва в сучасних умовах: Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції (25 травня 2023 р., сел. Селекційне Харківської обл.) / Інститут овочівництва і баштанництва НААН. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2023. С 56-57
3. Dūma M., Alsina I., Dubova L. Phytochemicals in tomatoes, FoodBalt 2023: 16th Baltic conference on food science and technology "Traditional Meets Non-Traditional in Future Food": abstract book, Jelgava, Latvia, May 11-12, 2023 / Latvia University of Life Sciences and Technologies, Faculty of Food Technology - Jelgava, 2023. - 68.lpp.
4. Alksnis R., Alsina I., Dubova L., Harbovska T., Duma M. Non-destructive detection of tomato maturity FoodBalt 2023: 16th Baltic conference on food science and technology "Traditional Meets Non-Traditional in Future Food", Abstract book, Jelgava, Latvia, May 11-12, 2023 / Latvia University of Life Sciences and Technologies, Faculty of Food Technology – Jelgava, 2023. – 48.lpp.
5. Atstarošanas spektru izmantošana tomātu augļu kvalitātes novērtēšanā, I.Alsina, M. Dūma, L.Dubova, R.Alksnis, L.Dučkēna, I Erdberga, T.Harbovska, A.Avotiņš, LBTU publikāciju bāze, https://www.lf.ltu.lv/sites/lf/files/2023-02/lidzsvarota_lauksaimnieciba_tezes_2023_1.pdf. LBTU, Jelgava, Latvija.
6. R.Alksnis, M.Dūma, I.Alsina and L.Dubova, Non-destructive assessment of dietary antioxidants of greenhouse-grown tomato (*Solanum lycopersicum* L.), Fruits- Food-Balt , Kauņa 2022.
7. L.Dučkēna, I.Alsina, L.Dubova, M.Dūma, B.Buša, K.Skutele, T.Harbovska, I.Erdberga, M. Bērtiņš, R. Alksnis, A. Avotiņš, G. Dūda-Kraukle, E. Gūtmane, E. Gūtmanis, Ceļvedis tomātu augļu izvēlē, Ražas svētki „Vecauce –2022”: Miers baro, karš posta, Vecauce, 2022. - 27.-31.lpp.
8. M.Dūma, I.Alsina, L. Dubova, D. Gavare, I. Erdberga, Quality of different coloured tomatoes depending on the growing season, Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact and Applied Sciences. - Vol. 76(1) (2022), p. 89-95. DOI: 10.2478/prolas-2022-0014 - ISSN 2255-890X.
9. I.Salmane, E. Juceviča., Būtiskākie tomātu kaitēkļi siltumnīcās. Saimnieks. <https://www.saimnieks.lv/raksts/butiskakie-tomatu-kaitekli-siltumnicas> .
10. I.Alsina, G. Bimsteine, L. Dubova, J. Kaņeps, K. Kviesis, B. Bankina, M. Duma, A. Avotins, Possibilities of cucumber powdery mildew detection by hyperspectral imaging- Agronomy Research. - Vol. 20(X) (2022), xxx–ccc. - ISSN 1406-894X

11. Dučkēna L., Bimšteine G. (2021) Novērotās tomātu slimības Latvijas centrālajā daļā 2021. gadā. No: Zinātniskā semināra Ražas svētki "Vecauce – 2021", Raža ekstremālos apstākļos, Zinātniskās semināra rakstu krājums. Jelgava, 2021, 23-26. lpp.
12. M. Dūma, I. Alsiņa, L. Dubova, D. Gavare, I. Erdberga, Quality of different colored tomatoes depending on growing season Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact and Applied Sciences. - Vol. 76(1) (2022), p. 89-95. - ISSN 2255-890X
13. I. Alsina, I. Erdberga, M. Duma, R. Alksnis, L. Dubova, Changes in greenhouse grown tomatoes metabolite content depending on supplemental light qualit. Front. Nutr., 2022, 9:830186. doi: 10.3389/fnut.2022.830186.
14. A. ZABASTA A. AVOTINS, R. PORINS, P. APSE-APSITIS, J. BICANS, D. KORABICKA, Development of IoT based Monitoring and Control System for Small Industrial Greenhouses, The 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO2021 and 9 th International Conference on CPS and IoT CPS&IoT2021.
15. G. Bimšteine "Tomātu slimības dažāda tipa siltumnīcās" žurnālā "Dārzs un Drava".
16. D. Bīrzleja, D. Gavare, I. Alsiņa, L. Dubova, "Lapu atstarošanās spektru izmantošana gurķu fizioloģiskā stāvokļa novērtēšanā". Ražas svētki "Vecauce – 2020": Pētniecība COVID–19 ēnā: zinātniskā semināra rakstu krājums. Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Lauksaimniecības fakultāte. SIA "LLU mācību un pētījumu saimniecība "Vecauce"" - Vecauce, LLU, 2020. - 17.-20. lpp. - ISBN 9789984483603.
17. P. Apse-Apsitis, A. Avotins, J. Graudone, R. Porins, RGB BASED SENSOR FOR SEMI-SPHERICAL LIGHT MEASUREMENTS, "19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development 20.-22.05.2020.
18. G. Bimšteine "Tomātu slimības dažāda tipa siltumnīcās", žurnāls "Dārzs un druva" nr.3(708) 2020 Rudens izlaidumā.

Dalība konferencēs, semināros un izstādēs

1. IRIS projekta gala seminārs, Rīga 30.10.2023. (prezentācijas www.irisproject.lv)
2. Lilija Dučkēna, Ina Alsiņa, Laila Dubova, Reinis Alksnis, Ieva Erdberga Tetiana Harbovska, Māra Dūma, "Vai visi tomāti ir vienlīdz garšīgi?" "Rīga Food 2023" 7. - 9. septembris, 2023.g., Ķīpsalā.
3. Dūma M., Alsiņa I., Dubova L. Phytochemicals in tomatoes, FoodBalt 2023: 16th Baltic conference on food science and technology "Traditional Meets Non-Traditional in Future Food": Jelgava, Latvia, May 11-12.
4. Alksnis R., Alsina I., Dubova L., Tetiana Harbovska T., Duma M. Non-destructive detection of tomato maturity, FoodBalt 2023: 16th Baltic conference on food science and technology "Traditional Meets Non-Traditional in Future Food": Jelgava, Latvia, May 11-12, 2023.
5. Dubova L. Harbovska T., Dučkēna L., Alsiņa I. Changes in the biochemical composition of tomato fruits during the ripening. Conference: Теоретичні і практичні аспекти розвитку галузі овочівництва в сучасних умовах (25 травня 2023 р., сел. Селекційне Харківської обл.) / Інститут овочівництва і баштанництва НААН.

6. I. Alsīņa, M. Dūma, L. Dubova, R. Alksnis, L. Dučkēna, I. Erdberga, T. Harbovska, A. Avotiņš "Atstarošanas spektru izmantošana tomātu augļu kvalitātes novērtēšanā". Zinātniski praktiskā konference "LĪDZSVAROTA LAUKSAIMNIECĪBA 2023", 23.-24.02.2023., LBTU, Jelgava, Latvija.
7. Alsīņa I., Dūma M., Dubova L., Alksnis R., Dučkēna L., Erdberga I., Harbovska T., "Tomātu kvalitatīvo rādītāju nedestruktīva noteikšana". 81. Latvijas Universitātes starptautiskā zinātniskā konference 2023. gada 19. janvārī.
8. Dučkēna L., Harbovska T., Erdberga I., Alsīņa I., Dubova L. Apputeksnētāju nozīme tomātu ražas ieguvē. 81. Latvijas Universitātes starptautiskā zinātniskā konference 2023. gada 19. janvārī.
<https://conferences.lu.lv/event/217/attachments/222/545/Augu%20biolo%C4%A3ija%202023.pdf>
9. LLU komandas locekli piedalījās seminārā (02.02.2023) "Inovatīvi un energoefektīvi risinājumi zemeņū, tomātu un citu dārzeņu audzēšanai segtajās platībās".
10. LDL, RTU, LLU/LBTU, Aberry, Eži un Utāni pārstāvji piedalījās seminārā: "Pētniecisko projektu un Mežvidu lauksaimniecības un tehnoloģiju parka investīciju projekta apspriežu tikšanās Ludzas novada, Mežvidu pagasta, Klonešņikos, Mežvidu lauksaimniecības un tehnoloģiju parkā" 2023.gada 2. un 3. februārī.
11. R. Alksnis, M. Dūma, I. Alsīņa un L. Dubova. Prezentācija: Non-destructive assessment of dietary antioxidants of greenhouse-grown tomato (*Solanum lycopersicum* L.), Fruits-Food-Balt 2022, September 26-27, Kaunas, Lithuania.
12. Dučkēna L., et al., Ceļvedis tomātu augļu izvēlē, Ražas svētki „Vecauce –2022”: Miers baro, karš posta, 2022. gada 3. novembris.
13. Dučkēna L., Bimšteine G., "Most common fungal diseases of tomato in Latvia". 18th International Conference of Young Scientists on Energy and Natural Sciences Issues – CYSENI 2022 May 24.-27.
14. Dučkēna L., Bimšteine G., "Morphological characteristics and pathogenicity of *Alteranaria* and *Stemphylium* isolates on tomato in vitro". IHC 2022 ANGERS-FRANCE, 14-20. Augustā.
15. RTU, LDL, Bulduru komandas pārstāvji piedalījās izstādē "GreenTech", 2022 14.-16.06.2022. (<https://www.greentech.nl/>), kur notika tikšanās un pārrunas ar daudziem uzņēmumiem (Piem. Signify, BioBest, Helle, Sylvania, Hortilife u.c.), kuras ietvaros tika prezentēts IRIS projekts un apspriesta potenciālā sadarbība.
16. RTU komanda ar IRIS stendu piedalījās "Zinātnieku Nakts 2022" (30.09.2022), RTU EVIF 114.telpā (<https://www.rtu.lv/lv/zinatne/zinatniskie-pasakumi/zinatnieku-nakts>)
17. RTU komanda ar IRIS stendu piedalījās "RigaCom 2022". (06.-07.10.2022. <https://rigacomm.com/en/catalogue/>).
18. Dalība seminārā Kārsavā (06.05.2022) ar referātiem:
 - a. Alsīņa, L., Dubova, M. Dūma, "Ražas kvalitātes izmaiņas dažāda apgaismojuma spektrālā sastāva ietekmē".
 - b. Biruta Bankina, Gunita Bimšteine, Lilija Dučkēna, "IRIS: Slimību izplatība segtajās platībās".
 - c. Ansis Avotiņš, "Klimata monitoringa sistēma segtajās platībās".

19. Dučkēna L., Bimšteine G. (2021) Novērotās tomātu slimības Latvijas centrālajā daļā 2021. gadā. Zinātniskais seminārs Ražas svētki "Vecauce – 2021", Vecauce, 2021. gada 4. novembrī. Stenda ziņojums.
20. Alsina I., Bimšteine G., Dubova L., Kaņeps J., Kviesis K., Bankina B., Dūma M., Avotiņš A. Hiperspektrālās attēlveidošanas izmantošana gurķu īstās miltrasas noteikšanai Zinātniskais seminārs Ražas svētki "Vecauce – 2021", Vecauce, 2021. gada 4. novembrī. Stenda ziņojums.
21. Kviesis K., Avotiņš A., Alsina I., Dubova L., Erdberga I. NDVI un SI-NDVI mērījumu salīdzinājums augu labklājības uzraudzībai Zinātniskais seminārs Ražas svētki "Vecauce – 2021", Vecauce, 2021. gada 4. novembrī. Stenda ziņojums.
22. Ineta Salmane, Edīte Juceviča. Impact of light source on distribution of greenhouse whiteflies *Trialeurodes* spp. (Hemiptera: Aleyrodidae) on tomatoes in greenhouses. LU 80. starptautiskā zinātniskā konference, 3.02.2022.
https://conferences.lu.lv/category/20/attachments/100/190/LU80_%20LUBI-programm%20and%20abstracts.pdf
23. I. Alsina, L. Dubova, M. Dūma, A. Avotiņš, Veģetācijas indeksu izmantošana Siltumnīcā audzētu lapu dārzeņu augšanas un attīstības novērtēšanā, Zinātniski praktiskā konference "LĪDZSVAROTA LAUKSAIMNIECĪBA 2022", 24.-25.02.2022., LLU, Jelgava, Latvija.
24. I. Alsina, G. Bimšteine, Laila Dubova, Jānis Kaņeps, Kristis Kviesis, Biruta Bankina, Mara Duma, Ansis Avotins Possibilities of cucumber powdery mildew detection by hyperspectral imaging. Biosystems engineering (BSE). May 5-7, Tartu, Estonia
25. I. Alsina, Gunita Bimšteine, Laila Dubova, Jānis Kaņeps, Kristis Kviesis, Biruta Bankina, Mara Duma, Ansis Avotins, Использование вегетационных индексов для ранней диагностики мучнистой росы огурцов, "XI международный форум «Дни сада в Бирюлево: достижения науки в реализации доктрины продовольственной безопасности», Maskava.
26. K. Kviesis, A. Avotiņš, Ina Alsina, Laila Dubova, Ieva Erdberga, NDVI and SI-NDVI measurement comparison for continuous plant "well-being" monitoring, 4th International scientific conference "Sustainable horticulture from plant to product: Challenges in temperate climate", August 25-26, 2021, Dobeles.
27. I. Erdberga, I. Alsina, Laila Dubova, Māra Dūma, Diāna Gavare, Dynamics of tomato yield and its quality under different types of lighting, 4th International scientific conference "Sustainable horticulture from plant to product: Challenges in temperate climate", August 25-26, 2021, Dobeles.
28. A. Zabasta, A. Avotins, R. Porins, P. Apse-Apsitis, J. Bicans, D. Korabicka, "Development of IoT based Monitoring and Control System for Small Industrial Greenhouses", The 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO2021 and 9th International Conference on CPS and IoT CPS&IoT2021, Budva, Melnikane, 8-9th June, 2021.
29. D. Bircleja, D. Gavare, I. Alsina, L. Dubova. Lapu atstarošanās spektru izmantošana gurķu fizioloģiskā stāvokļa novērtēšanā Ražas svētki "Vecauce – 2020": Pētniecība COVID–19 ēnā: zinātniskā semināra rakstu krājums. Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Lauksaimniecības fakultāte. SIA "LLU mācību un pētījumu saimniecība "Vecauce" 2020. gada 5. novembris
30. M. Dūma, I. Alsina, L. Dubova, D. Gavare, I. Erdberga. Quality of different colored tomatoes depending on growing season. 3rd International Conference "Nutrition and

Health": conference programme and book of abstracts, Riga, Latvia, December 9 – 11, 2020.

31. I. Alsīņa, L. Dubova, G. Bimšteine, J. Kaņeps, B. Bankina, K. Kviesis. Nedestruktīvo metožu izmantošana īstās miltrasas izraisīto fizioloģisko izmaiņu novērtēšanā gurķu lapās Latvijas Universitātes 79. starptautiskā zinātniskā konference, 2021. gada 3. februāris.
32. G. Bimšteine, B. Bankina, Jānis Kaņeps, Jēkabs Priede un Ina Alsīņa "Borytis cinerea agresivitāte tomātiem atkarībā no gaismas avota" LLU Lauksaimniecības fakultātes, Latvijas Agronomu biedrības, Latvijas Lauksaimniecības un meža Zinātņu akadēmijas organizētā zinātniski praktiskā konference „Līdzsvarota lauksaimniecība”, 2021. gada 25 un 26. februārī.
33. Dalība "International Scientific Conference Engineering for Rural Development 20.-22.05.2020 Jelgava, LATVIA
34. Dalība Izgudrojumu un inovāciju izstādē "MINOX ZEMGALE 2020".

Projekta ietvaros izstrādātie un aizstāvētie studentu darbi.

1. Dučkēna L. Tomātu (*Lycopersicon esculentum* L.) slimību ierosinātāji – 1. kursa maģistrante
2. Diāna Gavare "Gaismas ietekme uz bioloģiski aktīvo savienojumu uzkrāšanos dažādās tomātu šķirnēs", LU, maģistra darbs,
3. Jēkabs Priede "Tomātu slimības un Botrytis cinerea bioloģiskās īpatnības"- bakalaura darbs
4. Krists Kviesis "Gaismas parametru sensoru izstrāde industriālo siltumnīcu monitoringa un vadības sistēmām", prof. bakalaura darbs, RTU, 2021.
5. Krists Kviesis "Spektra sensora izmantošana uz auga krītošās gaismas enerģijas noteikšana", maģistra darbs, RTU, 2022.

7 Secinājumi par projekta sasniegtiem rezultātiem

Projekta ietvaros ir sasniegti visi izvirzītie mērķi. Projekta rezultāti pārliecinoši demonstrē, ka projekta pētījumu rezultātā tiek izstrādāti efektīvi un Latvijas apstākļiem atbilstoši siltumnīcas iekārtu vadības un procesa analīzes algoritmi, apgūtas jaunas metodes un rekomendācijas, lai veicinātu Latvijas siltumnīcu sektora efektivitāti, konkurētspēju un videi draudzīgu saimniekošanu. Inovatīva IRIS sistēma tiek ierīkota un izmēģināta visas projektu partneru saimniecības. IRIS sistēmas speciāla versija tiek uzstādīta un izmēģināta desmit mazo saimniecību siltumnīcās.

Projekta ietvaros atlasīti piemērotākie veģetācijas indeksi augu augšanas un attīstības, kā arī bioķīmiskā sastāva novērtēšanai. Izstrādāti jauni indeksi miltrasas noteikšanai gurķiem. Projekta ietvaros skaidrota dažāda spektrālā sastāva gaismas ietekme uz augu ražas formēšanos un ražas kvalitāti. Novērtēta dažādu gaismas avotu piemērotība gurķu, tomātu un lapu dārzeņu vajadzībā. Tiek veikts saimnieciski nozīmīgo kukaiņu un kaitēkļu monitorings.

Projekta gaitā ir iegūti **neplānotie sasniegumi**: projekta laikā ir iegūta datu kopa ar kuras palīdzību ir iespējams izveidot uz mikro kontrolieriem darbināmu mašīnmācīšanās un dziļās apmācības mākslīgo neironu tīklu modeļus. Tādējādi ir iespējams radīt intelektuālu mikroklimata vadības sistēmu bez nepieciešamības pēc ārējās skaitļošanas un papildu uzturēšanas izmaksām. Tiek identificētas iespējas aizstāt mākoņskaitļošanu ar skaitļošanu tīkla iekārtā, proti, noteikti Mikrotik maršrutētāji nodrošina iespēju darbināt Docker konteinerus tīkla iekārtā

Galvenie secinājumi par IoT (Lietu Internet) pieejas pielietošanu IRIS sistēmā:

- Lietu interneta sistēmas izvēlēta arhitektūra un tehniskais risinājums ir piemēroti tikai liela izmēra/mēroga sistēmu izvietojumam. Mazām un vidējām saimniecībām daudz piemērotāka ir decentralizēta arhitektūra ar stingri limitētu datu uzkrāšanas kapacitāti un lokālu skaitļošanas jaudu izvietojumu.
- Individuālu sensoru esamība bez efektoriem/aktuatoriem nenodrošina gaidīto pievienoto vērtību un ražības uzlabošanu. Tā vietā ir jāveido sistēma, kurā sensori darbojas ciešā sazobē ar izpildmehānismiem. Piemēram, temperatūras sensora mērījumi spēj iedarbināt apkures un/vai ventilācijas sistēmas, u.tml. lietošanas gadījumā.
- Mūsdienu mikro kontrolieru attīstība sniedz iespējas realizēt jaunus skaitļošanas scenārijus, proti, mikrokontrolierī realizēt mākslīgā intelekta un mašīnmācīšanās algoritmus.
- Izvēlētais sistēmas izvietojuma tehniskais risinājums (centralizēta infrastruktūra) diemžēl rada ilgtermiņa lielas izmaksas, kas ir saistītas ar datu uzkrāšanu. Šī situācija atstāj negatīvu ietekmi uz sistēmas un monitoringa pakalpojuma pašizmaksu.

Risinātas IRIS sistēmas tehniskās problēmas:

- Izstrādātā sistēma ir ļoti atkarīga no stabila mobila interneta pārklājuma un darbības. Šis aspekts būtiski ietekmē sistēmas darbības stabilitāti un nebija paredzams projekta sākuma posmā.
- Relāciju datubāze nav piemērota lietu interneta sistēmu izstrādei, ja ierakstu skaits individuālā tabulā pārsniedz 10 miljonus rindiņu. Tā vietā ir jāizvērtē dokumentu un izkliedēto datu krātuvju tehnoloģijas izmantošana. Šo tehnoloģiju galvenais trūkums ir stingri limitētas datu analīzes iespējas, kuras pilnā apjomā nodrošina relāciju datubāzes.
- Mobilā interneta darbības nestabilitāte ietekmēja mērījumu noraidīšanas kvalitāti un apjomu.

Iestrādājot IRIS sistēmu, tika izmantoti dažādi tehniskie risinājumi, tajā skaitā gan atvērta izejas koda risinājumi, gan rūpnieciskā ("aprīate") koda risinājumi. Potenciāliem, līdzīgas IRIS sistēmas izstrādātājiem, ir iespējams saņemt izstrādātās IT programmas izejas kodus, kas ir publicēti RTU repozitorijā.

Daži projekta partneru atzinumi par ieguvumiem no dalības projektā:

SIA "Latgales Dārzu Loģistika": "LDL komanda ieguva nepieciešamas zināšanas un kompetences: padziļinātas tehniskās zināšanas par IoT sensoru uzbūvi un darbību, sensoru lietošanu, uzstādīšanas īpatnībām (t.sk. «mazajiem projekta partneriem» tuneļa tipa siltumnīcās), pieredze par sensoru datu precizitāti un datu ticamību, IT sistēmas darbību, esošiem risinājumiem, apguva spēju izveidot savu sistēmu – nākotnes produktiem nozarei, ka arī zināšanas par to, ka varētu efektivizēt audzēšanas procesu/samazināt audzēšanas izmaksas".

SIA «Aberry» ieguvumi: "IRIS iekārtas ļāva uzlabot oriģinālo SIA «Aberry» automatizācijas sistēmu uz «Siemens» logo kontroliera bāzes izveidojot optimālāku siltumnīcas vadību. IRIS sensoru sistēmas palīdzēja optimizēt audzēšanas procesu, t.sk. uzlaboja augu barošanas procesu (vienmērīgumu) un siltumnīcas vēdināšanu. Tika efektivizēta (izmantojot PAR gaismas sensoru) papildus gaismošanas sistēmas darbība (SIA «Aberry» siltumnīcā pirmo reizi Latvijā zemenes tiek audzētas nodrošinot papildus mākslīgo apgaismojumu agrā pavasara un rudens periodā)".

ZS Utāni Ieguvumi: "Izmantojot IRIS projekta sistēmas tika nodrošināta z/s «Utānu» siltumnīcu augu vizuālā kontrole, kas bija būtiska, ņemot vērā siltumnīcu atrašanās vietu (nav pastāvīga darbinieku klātbūtne, siltumnīcas atrodas ievērojamā attālumā no īpašnieka dzīvesvietas). Ņemot vērā augstāk minētos faktorus, ļoti būtiska IRIS sistēmas priekšrocība ir datu vizualizācija tiešsaistes režīmā (t.sk. traukmes signāls/ziņa uz mobilo ierīci pēc noteiktajiem kritiskajiem uzstādījumiem (temperatūra, mitrums)). Ļoti labs ieguvums bija iespēja saņemt profesionālas konsultācijas no LBTU IRIS komandas pārstāvjiem par jaunumiem cīņā ar augu kaitēkļiem un slimību apkarošanu kā arī LDL IRIS pārstāvjiem par optimālākiem risinājumiem augu barošanā un labturībā".

Izmantotās literatūras avoti

- [1] Interneta avots: <https://www.electricimp.com>
- [2] Interneta avots: <https://www.twilio.com/en-us>
- [3] Interneta avots: <https://www.korewireless.com>
- [4] Interneta avots: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/Methods/POST>
- [5] Interneta avots: <https://https.cio.gov>
- [6] Interneta avots: <https://letsencrypt.org>
- [7] Interneta avots: <https://www.mysql.com>
- [8] Interneta avots: <https://canvasjs.com/>
- [9] Lapu spektrometrs RS-5400 https://spectralevolution.s3.us-east-2.amazonaws.com/assets/Remote_Sensing_Bundles_72220b.pdf
- [10] Alsina, I., Bimsteine, G., Dubova, L., Kaņeps, J., Kviesis, K., Duma, M., Avotins, A., Possibilities of cucumber powdery mildew detection by hyperspectral imaging. Precision Agriculture, 2021.
- [11] Rakutko, S., Avotiņš, A., Alsina, I., Berzina, K., New assessment tool for artificial plant lighting: Case of tomato (*lycopersicon esculentum* mill.), Agronomy Research, 2020, 18(2), pp. 507–515.
- [12] Hogewoning et al. 2012. Photosynthetic Quantum Yield Dynamics: From Photosystems to Leaves. The Plant Cell, 24: 1921–1935.
- [13] Murakami et al. 2018. A Mathematical Model of Photosynthetic Electron Transport in Response to the Light Spectrum Based on Excitation Energy Distributed to Photosystems. Plant Cell Physiology. 59(8): 1643–1651.
- [14] Zhen and Van Iersel. 2017. Far-red light is needed for efficient photochemistry and photosynthesis. Journal of Plant Physiology. 209: 115–122.
- [15] Zhen et al. 2019. Far-red light enhances photochemical efficiency in a wavelength-dependent manner. Physiologia Plantarum. 167(1):21-33.
- [16] Zhen and Bugbee. 2020a. Far-red photons have equivalent efficiency to traditional photosynthetic photons: Implications for redefining photosynthetically active radiation. Plant Cell and Environment. 2020; 1–14.
- [17] Zhen and Bugbee. 2020b. Substituting Far-Red for Traditionally Defined Photosynthetic Photons Results in Equal Canopy Quantum Yield for CO₂ Fixation and Increased Photon Capture During Long-Term Studies: Implications for Re-Defining PAR. Frontiers in Plant Science. 11:1-14.
- [18] Zhen et al. 2021. Why Far-Red Photons Should Be Included in the Definition of Photosynthetic Photons and the Measurement of Horticultural Fixture Efficacy. Frontiers in Plant Science. 12:1-4
- [19] ABB B24 Elektroenerģijas skaitītājs, tiešsaiste: https://library.e.abb.com/public/b6057db260e64776a72c8ff1453ea9f4/2CMC485003M02_01_C_en_B23_B24_User_Manual.pdf
- [20] Raspberry Pi papildinājumu plate RS-485, tiešsaiste: https://wiki.seeedstudio.com/RS-485_Shield_for_Raspberry_Pi/
- [21] Gammara, H., Sporleder, M., Carhuapoma, P., Kroschel, J., Keuze, J., 2020. A temperature-dependent phenology model for the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). Virus Research 289. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2020.198107>
- [22] Interneta avots: <https://www.koppert.lv/en-strip/>

- [23] Interneta avots: <https://pilight.com/pest-management-strategies-and-lighting/>
- [24] G.M.G. Zilahi-Balogh, J. L. Shipp, C. Cloutier, J. Brodeur, 2006. Influence of Light Intensity, Photoperiod, and Temperature on the Efficacy of Two Aphelinid Parasitoids of the Greenhouse Whitefly, *Environmental Entomology*, Volume 35, Issue 3: 581–589.
- [25] van Lenteren, J.C., Szabo, P., Huisman, P.W.T., 1992. The parasite-host relationship between *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera, Aphelinidae) and *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera: Aleyrodidae). XXXVII. Adult emergence and initial dispersal pattern of *E. formosa*. *J. Appl. Entomol* 114: 392–399.
- [26] Light affects pests, beneficials - Greenhouse Management (greenhousemag.com).
- [27] Bankina B., Bimšteine G., Arhipova I., Kaņeps J., Stanka T. (2018). Importance of agronomic practice on the control of wheat leaf diseases. *Agriculture*, 8, 56.
- [28] Imada K., Tanaka S., Ibaraki Y., Yoshimura K., Ito S. (2014). Antifungal effect of 405-nm light on *Botrytis cinerea*. *Letters in applied microbiology*, 59 (6), 670-676.
- [29] Schumacher J. (2017) How light affects the life of Botytis? *Fungal genetics and biology*, 106, 26-41.

Pielikumi

Pielikums 1. Projekta dalībnieka pamatinformācija

Pieteikuma anketa dalībai projektā



Inovatīvu risinājumu izpēte un jaunu metožu izstrāde efektivitātes un kvalitātes veicināšanai Latvijas siltumnīcu sektorā - IRIS

Projekta mērķis ir izstrādāt efektīvus un Latvijas apstākļiem atbilstošus siltumnīcas iekārtu vadības un procesa analīzes algoritmus, izmantojot jaunākos siltumnīcu tehnoloģiju risinājumus (IoT sensoru sistēmas, apgaismes sistēmas, u.c.).

Projekta dalībnieka pamatinformācija

Saimniecības (uzņēmuma) nosaukums:

Atrašanās vieta (novads, ciems):

Kontaktpersona (vārds, uzvārds):

Telefona numurs:

E-pasts:

Saimniecības apraksts

Saimniecības tips	☐ Lielražotājs ☐ Mazais komersants ☐ _____	☐ Vidējais komersants ☐ Zemnieku saimniecība
Siltumnīcu kopējā kvadrātūra (m ²)	☐ < 500 m ² ☐ 500 – 1000 m ² ☐ > 1000 m ²	
Siltumnīcas pārklājuma materiāls	☐ Stikls ☐ Polietilēna plēve	☐ Polikarbonāts ☐ Stiklšķiedras materiāls
Kādi dārzeņi tiek audzēti siltumnīcā?	☐ Tomāti ☐ Gurķi ☐ Jauka kombinācija	☐ Zemesenes ☐ Lapu augi
Audzēšanas laiks (sezona)	☐ Vasara ☐ Pavasaris - rudens ☐ Visu gadu	

Siltumnīcas automatizācijas un tehnoloģijas līmenis (pieejamība)

Kāda audzēšanas metode tiek izmantota siltumnīcā?	☐ Augsne	☐ Substrāts (veģetācijas trauki, maisi, tranšejas)
	☐	☐ Hidroponika (akmens vai minerālvate, kokosa plātnes, keramzīta u.c. granulas)
Siltumnīcā ir pieejams 230VAC tīkla elektrības pieslēgums	☐ Jā	☐ Nē ☐ Ir iespējams ierīkot
Siltumnīcā ir pieejami komunikācijas sakari (interneta pieejamība)	☐ WiFi	☐ Ethernet kabelis ☐ 4G tīkla pārklājums
Audzēšanas procesā tiek izmantots mākslīgais apgaismojums (nātrija, LED vai citi gaismekļi)	☐ Jā	☐ Nē ☐ Tikai stādu gatavošanās stadijā
Apūdeņošanas sistēma	☐ Manuāla (tikai šļūtene)	☐ Automatizēta (taimeris, sensors, aktuatori, u.c.)
	☐ Daļēji automatizēta (ir sūknis un manuāls slēdzis)	☐
Minerālā barošana	☐ Integrēta apūdeņošanas sistēmā	☐ Manuāla
Siltumnīcas ventilēšanai tiek izmantotas lūkas (jūmtā vai sānos)	☐ Jā. Automatizēta atvēršana	☐ Jā. Manuāla atvēršana
	☐ Nē. Vēdina izmantojot durvis	
Sensoru vai citu mērinstrumentu izmantošana	☐ Ir sensori un vēsturiskie dati	☐ Ir veikti kontrolmērījumi
	☐ Netiek veikti mērījumi un datu analīze	
Siltumnīcas ārpusē ir uzstādīta meteostacija	☐ Jā	☐ Nē
Siltumnīcas vadības sistēma un programmatūra	☐ Ir abas	☐ Nav neviena ☐ Ir tikai kontrolieris (piem. PLC)

Pielikums 2. Tehnoloģisko procesu novērtējums un tā pielietojums.



#2 - Tehnoloģisko procesu novērtējums un tā pielietojums

Aplaužas mērķis ir ievākt informāciju un gūt priekšstatu par IRIS partneru siltumnīcu ražošanas specifiku un gatavību sadarbīties kopīgā projektā, kā arī noskaidrot kultūras audzēšanas apstākļus, lai varētu plānot:

- produkcijas panāgu ieviešanas iespējas un lēkumus;
- apzināt iespēju veikt metodisku slimbību un kaitēkļu identifikāciju un ietekmi uz ražu novērtēšanu;
- IRIS IoT tehnoloģiju uzstādīšanu un testēšanu.

* Obligāts

Saimniecības tehnoloģisko procesu novērtējums

1. Vai ir kāds informācijas avots, kurā iegūstat nepieciešamo informāciju par dažādiem audzēšanas panēmieniem, tehnoloģijām? *

- ☐ Apgūst pieejamo informāciju no žurnāliem, preses, interneta
- ☐ Konsultējās ar pieredzējušajiem audzētājiem
- ☐ Aktīvi meklēju un sekoju līdzi jaunākajiem atklājumiem un tendencēm
- ☐ Nē, nesekoju un neinteresējas

2. Vai dalāties pieredzē un viedokļu apmaiņā ar citiem audzētājiem? *

- ☐ Jā, ļoti bieži
- ☐ Tikai tad, kad ir kāda problēmsituācija (vajadzīga padoms)
- ☐ Nē

7. Vai siltumnīcā novērojāt augu inficēšanos ar slimībām? *

*apriņķis par slimībām (populārākās) līnās uz [www](#)

- ☐ Regulāri
- ☐ Reti
- ☐ Nē
- ☐ Nevēlos atbildēt

8. Vai audzēšanas procesā esat novērojis dažāda veida kaitēkļus, kas dzīvo uz audzējamās kultūras? (skudras, kukaiņi, u.c.) *

*nepieciešams apriņķis! līnās uz [www](#)

- ☐ Bieži
- ☐ Reti
- ☐ Nē
- ☐ Nevēlos atbildēt

9. Vai izmantojat kādus augu aizsardzības līdzekļus? *

*nepieciešams apriņķis!

- ☐ Jā, lietāju bioloģiskos līdzekļus
- ☐ Nē, neizmantoju

Cits

3. Kāda veida informāciju Jums būtu noderīgi uzzināt no citiem audzētājiem? *

- ☐ Audzēto šķirņu kvalitātes parametrus.
- ☐ Audzēto šķirņu ražuma rādītājus
- ☐ Informāciju par augu aizsardzības līdzekļu pielietojumu
- ☐
- Cits

4. Vai piekristāt projekta ietvaros dalīties ar informāciju, kas ievāka par Jūsu saimniecību (siltumnīcu). *

- Audzēto šķirņu izvēles parametri un ražuma rādītāji
- Izmantotie augu aizsardzības līdzekļi un cita informācija

- ☐ Vēlos dalīties (atklāti)
- ☐ Vēlos dalīties (anonīmi)

5. Vai Jums ir informācija, kāds ir Jūsu audzējamo šķirņu paredzamais ražīgums? (kg/m²) *

- ☐ Jā, ir zināms šķirnes ražīgums
- ☐ Nē, nav zināms
- ☐ Nācīšu precīzi kādu šķirni audzēju

6. Saimniecībā tiek veikta ražas uzskaitē? *

- ☐ Pastiek precīza ražas uzskaitē
- ☐ Ražu uzskaitēm aptuveni (konteineri, mani)
- ☐ Nevēlam uzskaitē

10. Vai audzēšanas perioda laikā siltumnīcā tiek sekots līdzi gaisa temperatūrai un mitruma līmenim? *

*apriņķis par to parāmetru ieteikumi uz ražu!

- ☐ Jā, tiek sekots līdzi gan temperatūrai, gan mitruma līmenim
- ☐ Tiek kontrolēts tikai viens no šiem rādītājiem
- ☐ Sekoju līdzi pēc sajūtām
- ☐ Nenovēroju

11. Vai Jūs būtu gatavs praktiski pārbaudīt citu iepriekš nelietotu panēmieni un tehnoloģiju pielietojumu kaitēkļu un slimību iznīcināšanai? *

- ☐ Jā
- ☐ Nē

Tehnoloģiju pielietojums audzēšanas procesu pārvaldībai

12. Kādu aktuālo informāciju par siltumtīcu būtu nepieciešams rādīt lietotjumprogrammā? *

- ☐ Siltumtīcas temperatūru
- ☐ Gaisa mitruma līmeni
- ☐ CO2 līmeni
- ☐ Aktuatoru (lūkas, ventilatoru, apūdeņošanu) stāvokli (ieslēgts/izslēgts)
- ☐ Apkures sistēmas dati
- ☐ Gaisma intensitātes rādītājus
- ☐
- Cits

14. Kāds pēc Jūsu domām būtu vispiemērotākais trauksmes izziņošanas veids? *

- ☐ Sms
- ☐ E-pasts
- ☐ Paziņojuma telefonā no šī telefona
- ☐
- Cits

13. Kādu procesu automatizācija palīdzētu vieglāk uzturēt audzēšanas tehnoloģisko procesu? *

1. Manuāli - pogas vai pults, kurā atrodas siltumtīcas zona
2. Laika funkcija - kalendārs vai diennakts iestatījumi pēc kuriem tiek regulēta procesa darbība
3. Attālināti - iespēja vadīt procesu no lietotjumprogrammas
4. Trauksmes režīms - nosūdzēt pie noteiktiem parametru pārsniegšanas vai kritiskās robežas sasniegšanas

	Manuāli	Laika funkcija	Attālināti	Trauksmes režīms	Iekļaut visus
Vēdināšanas lūkas	☐	☐	☐	☐	☐
Augu apūdeņošanas process	☐	☐	☐	☐	☐
Augu apgaismošanas sistēma	☐	☐	☐	☐	☐
Ventilatoru darbība	☐	☐	☐	☐	☐

Paldies par atsaucību!

Projekta partneru siltumtīcu un tehnoloģisko procesu dati tiek ievākti, lai pilnvērtīgi tiktu nodrošināta ražas bioķīmisko parametru analīze projekta ietvaros, kā arī veicinātu nozares barometra izveidi, lai būtu iespējams projekta dalībniekiem novērtēt savas saimniecības veikspēju, metodes, tehnoloģiju pret nozares MIN/ VID/ MAX rezultātiem, kā arī pret sev līdzīgajiem.

Projekta mājaslapa: www.irisproject.lv (<http://www.irisproject.lv>)

Šis saturs nav ne Microsoft izveidots, ne apstiprināts. Jūsu iesniegtie dati tiks nosūtīti veidlapas īpašniekam.

Microsoft Forms

Pielikums 3. RGBW sensora izveidošanas instrukcija

Šī ir detalizēta instrukcija gaismas spektra sensora izveidošanai. Atsaucoties uz [PmodCOLOR datasheet](#), tā izejas dati no katra datu kanāla atbilst starojuma plūsmai uz laukuma vienību [$\mu W/cm^2$] (pie noklusētā pastiprinājuma (*Gain*) 1x) integrācijas laikā, kuru var uzstādīt lietotājs (*PmodColor.setIntegrationCycles(..)*). Viens integrācijas cikla laiks ir 2.4ms.

1. Nepieciešamās detaļas

Nepieciešamās detaļas:

1. PmodCOLOR gaismas sensors (att.1.1.);
2. IMP001 - mikrokontrolieris ar WiFi (att.1.2.);
3. Mini USB kabelis (att.1.3.);
4. Barošanas bloks/adapteris 5V (att.1.4.);
5. Kastīte (att.1.5.);
6. Aizsargplastmasa (att.1.6.).



Att.1.1. PmodCOLOR



Att.1.2. IMP001



Att.1.3. Mini

USB kabelis



Att.1.4. 5V adapteris



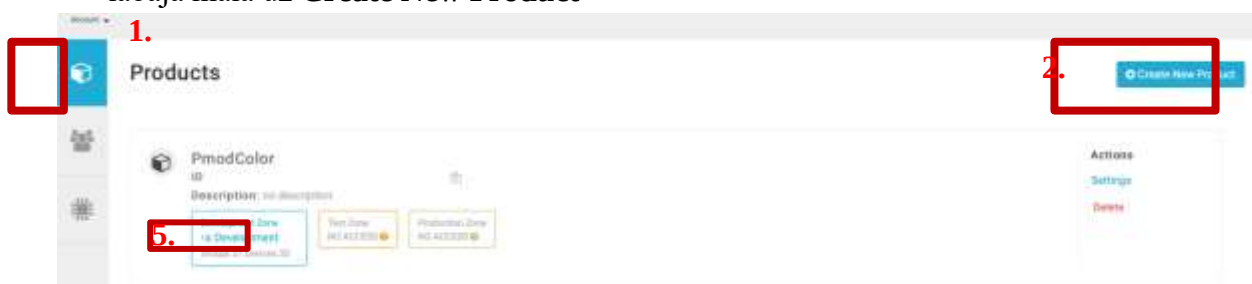
Att.1.5. Kastīte Z23B

2. Electric IMP

Gan gaismas sensors, gan IMP001 nāk ar jau pielodētām kājiņām, lai tos varētu spraut uz *breadboard*'a. Pirms ķerties pie to izlodēšanas būtu labi pārbaudīt abus elementus - vai tie strādā.

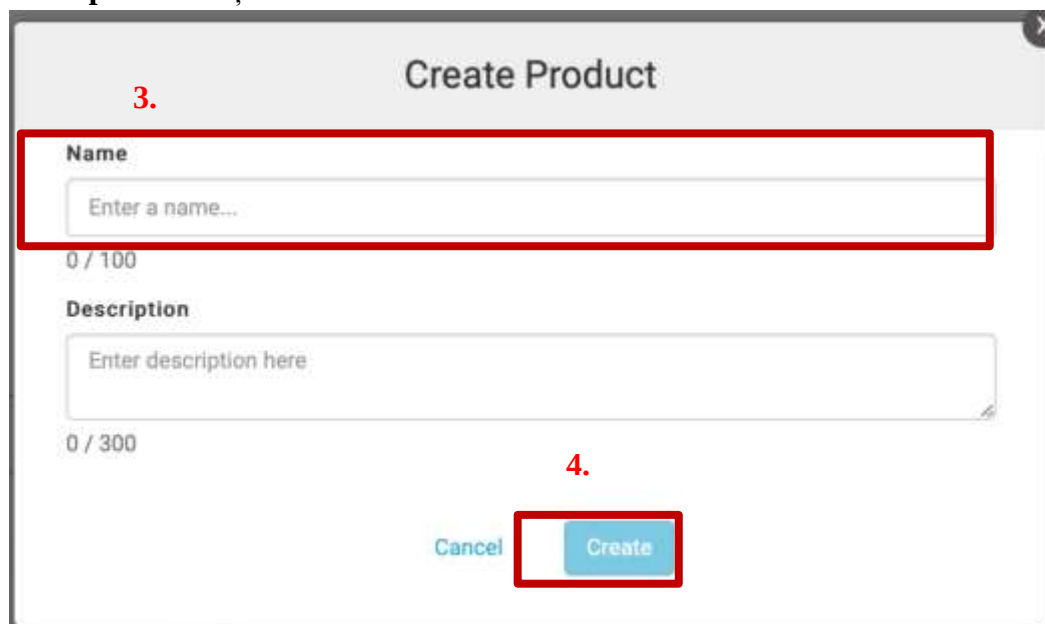
Darbības pārbaudes soļi:

1. Ir jāizveido savs kods šeit: <https://impcentral.electricimp.com/login>, pirmoreiz izvēloties **Sign Up**, pēc tam jau **Sign In** ar savu e-pastu un paroli;
2. Kolīdz veiksmīgi ir izveidots savs kods, kreisajā malā spiežam uz **Products** un tad labajā malā uz **Create New Product**



Att.2.1. Produkta izveidošana

3. Tad atveras šāds lodziņš, pie **Name** rakstām mūsu projekta nosaukumu (ja projektā būs dažādi sensori, tad labāk ir rakstīt projekta nosaukumu, nevis sensora nosaukumu), **Description** lauciņu var atstāt tukšu:



Att.2.2. Produkta izveidošana

Pēc nosaukuma ierakstīšanas spiežam **Create**.

4. Tad sadaļā **Products** parādās tikko izveidotais produkts ar mūsu nosaukumu. Tālāk spiežam **Development** (att.2.1.).
5. Tālāk mēs redzam šo, spiežam **Create a New Development Group**:



Att.2.3. Projekta ierīču pievienošana

6. Atveras šāds lodziņš, pie **Device Group Name** rakstām mūsu sensora nosaukumu, lai projekta ietvaros (kura nosaukumu mēs rakstījām att.2.2.) varētu viegli atrast mūsu sensoru, pārējos lodziņus var atstāt tukšus. Pēc nosaukuma piešķiršanas spiežam **Create**:

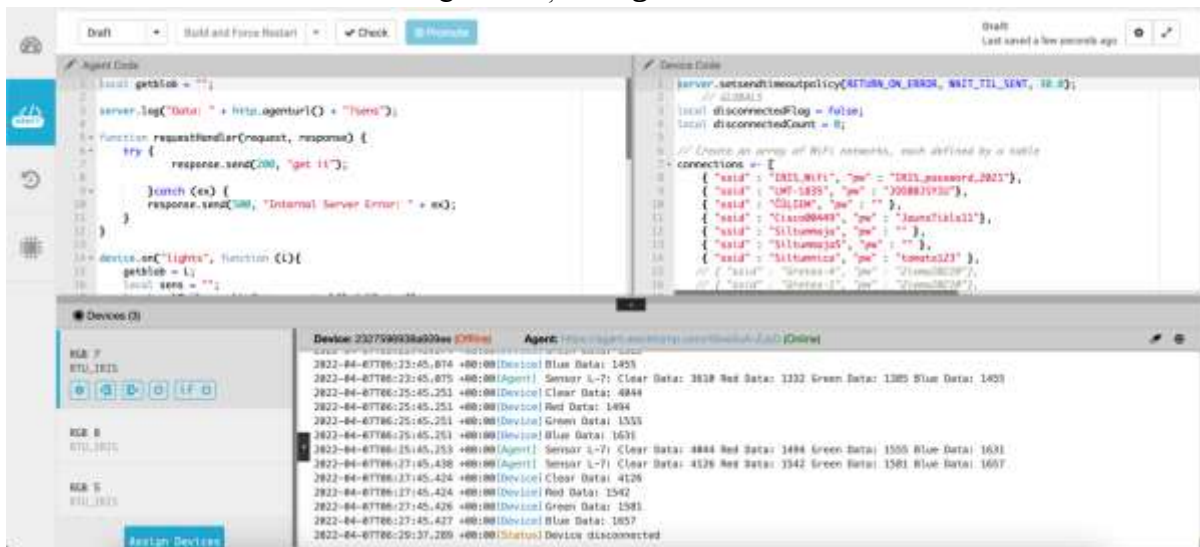
Att.2.4. Projekta ierīču pievienošana

7. Tad sadaļā *Development Device Groups* būs redzamas ierīču grupas ar mūsu piešķirtajiem nosaukumiem, tālāk spiežam **Code**:



Att.2.5. Projekta ierīču pievienošana

8. Tālāk mēs redzam šādas svarīgas sadaļas - **Agent Code** un **Device Code**:



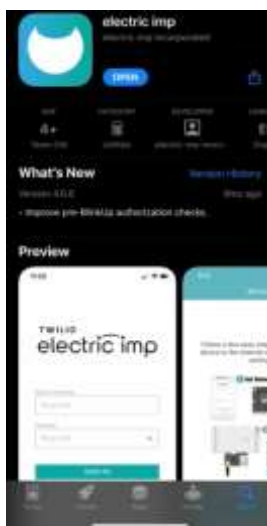
Att.2.6. Kodēšana

9. **Device Code** logā rakstām kodu, kas nodrošina komunikāciju ar *agentu*, un kodu sensoram, kas nodrošina datu nolasīšanu. **Agent Code** logā nodrošinām komunikāciju ar *device* un tālāko datu saglabāšanu kādā serverī/datu bāzē.

Sīkāk par savstarpējo komunikāciju var palasīt šeit: <https://developer.electricimp.com/examples/deviceagent>.

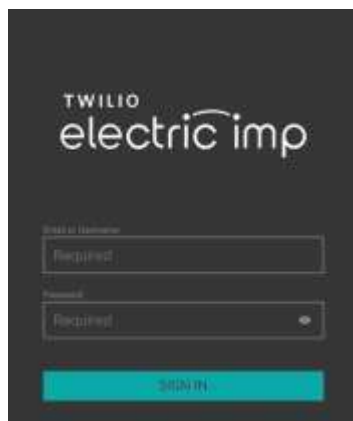
Tekošā koda versija ir pieejama dokumentā: **RGBW Code Versions**.

10. Tālāk ir nepieciešams lejupielādēt **Electric Imp** aplikāciju no *App Store* vai *Google Play* Jūsu mobilajā telefonā.



Att.2.7. Aplikācijas lejupielādēšana mobilajā telefonā

11. Veram vaļā lejupielādēto aplikāciju. Ieejam iekšā savā *Electric Imp* kontā.



Att.2.8. Ieejam savā Electric Imp kontā

12. Spiežam **CONFIGURE A DEVICE**:



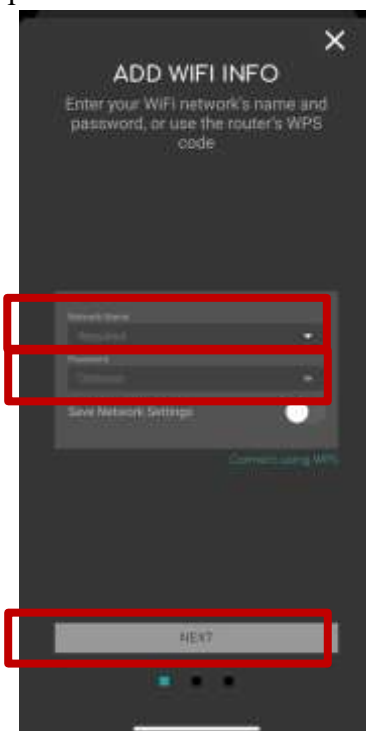
Att.2.9. IMP001 konfigurēšana

13. Izvēlamies IMP001 interneta savienojuma tipu. Mūsu gadījumā **WiFi**:



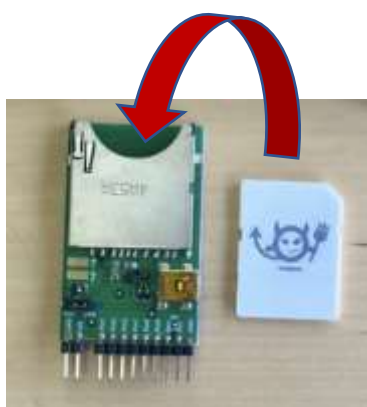
Att.2.10. IMP001 interneta savienojuma izvēle

14. Ievadām uz doto brīdi pieejamā WiFi informāciju - nosaukumu (**Network Name**) un paroli (**Password**) un tad spiežam **NEXT**:



Att.2.11. IMP001 WiFi iestatīšana

15. Ievietojam balto IMP001 karti tai paredzētā vietā. Pieslēdzam mūsu IMP001 pie barošanas ar *Mini USB kabeli* pie datora vai ar *Mini USB kabeli* un *5V adapteri* pie rozetes. Pārlicināmies vai diode uz IMP001 plates mirgo. Ja diode vispār nespīd - tad droši vien IMP001 ir bojāts. Ja diode mirgo - spiežam **NEXT**:



Att.2.12. IMP001 kartes ievietošana



Att.2.13. IMP001 "blinkošana"

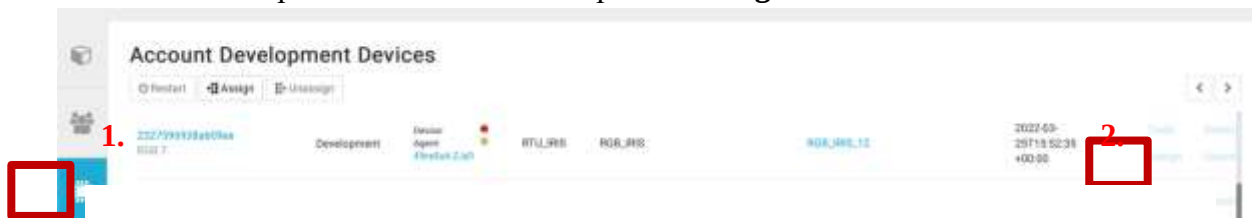
16. Spiežam **START BLINKUP** un uzreiz vēršam telefona ekrānu pret IMP001 balto karti (turam cik tuvu vien var), tiklīdz telefons novibrē un dzirdam pīkstieni telefonu varam ņemt nost.



Att.2.14. IMP001 "blinkošana"

17. Pēc veiksmīgas IMP001 "pieblinkošanas":

- a. uz telefona izvēlamies pie kura **Product** un **Device Group** viņu pielikt (Device Group izveidošana punktā 2.6.);
- b. **vai** uz datora ieejam mūsu *Electric Imp* kontā, spiežam **Devices**, atrodam mūsu tikko pieblinkoto IMP001 un spiežam **Assign**:



Att.2.15. IMP001 nozīmēšana

Atveras šāds logs, pie **Product** izvēlamies mūsu projekta nosaukumu (skat. punktu 2.3.) un pie **Device Group** mūsu sensoru grupu (skat. punktu 2.6.). Tālāk spiežam **Assign Devices**:

Att.2.16. IMP001 nozīmēšana

3. Elektrisko savienojumu veidošana

1. Kolīdz IMP001 ir nozīmēts pie projekta un ierīču grupas (kur atrodas šim sensoram paredzētais kods) varam pārbaudīt vai IMP001 un PmodCOLOR darbojas korekti. Šim nolūkam mums papildus ir nepieciešams:
 - a. *breadbord's*;
 - b. 4 *jumper'i (male-male)*.
 vai
 - c. tikai 4 *jumper'i (bet female-female)*.



a) *breadboard's*
female)

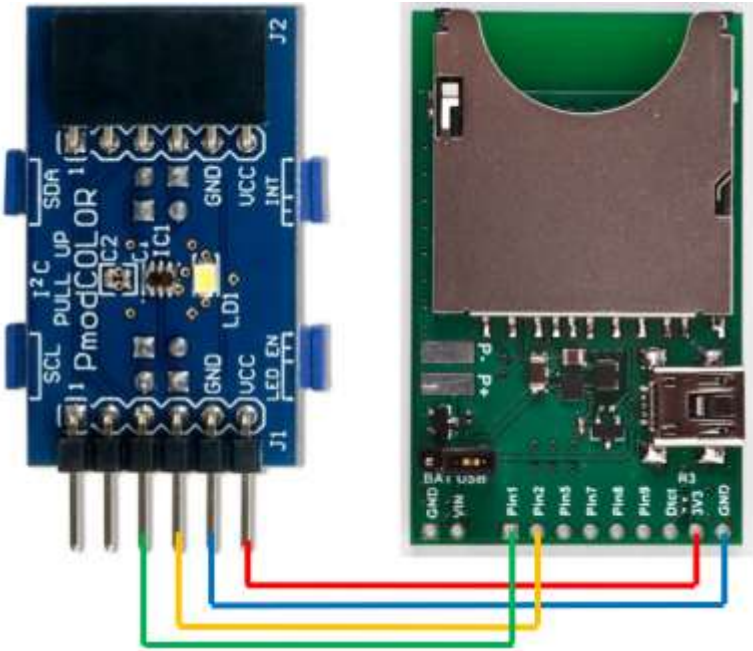


b) *jumper'i (male-male)*

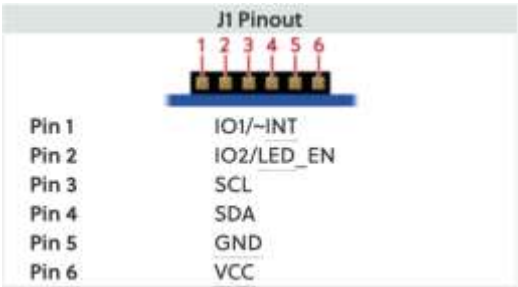


c) *jumper'i (female-*

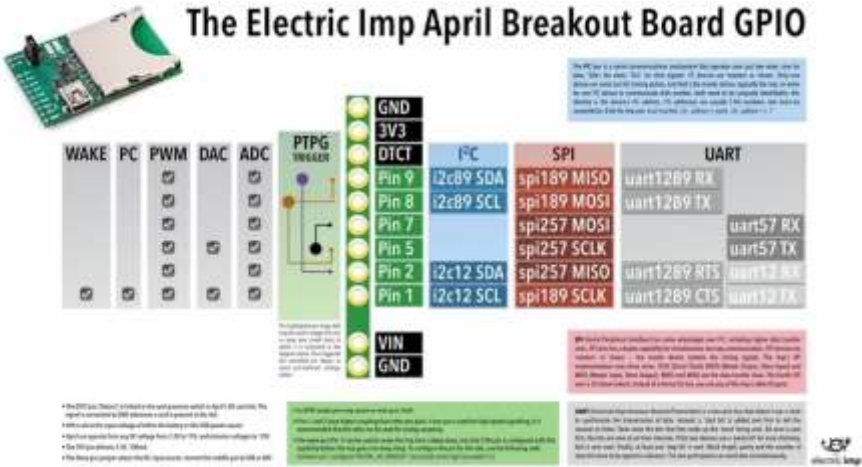
Veidojam šādu savienojumu:



Att.3.1. Elektriskais savienojums



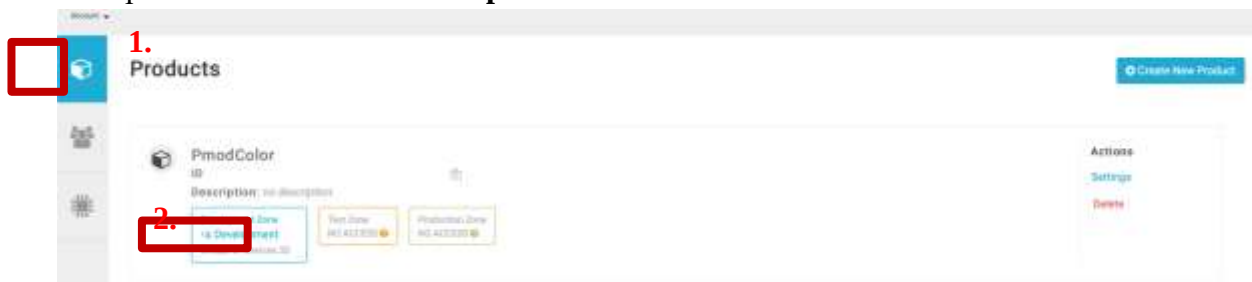
Att.3.2. PmodCOLOR pinout



Att.3.3. IMP001 pinout

Tā kā IMP'am001 ir divas I2C komunikācijas (pin 1-2 un pin 8-9), tad var izmantot arī 8. un 9. kājiņu I2C komunikācijas pieslēgšanai. **BET**, tad *Electric Imp Device* kodā ir visur jānomaina "**hardware.i2c12**" uz "**hardware.i2c89**" un pie viena *Device Group* nedrīkst likt IMP'us ar atšķirīgiem I2C komunikācijas pāriem - pin1-2 komunikācija ir pie viena *Device Group* un pin8-9 pie cita!

2. Kad tas ir paveikts, pieslēdzam barošanu *IMP001* ar *Mini USB* kabeli.
3. Atveram *Electric Imp* mājaslapu uz datora: <https://impcentral.electricimp.com/login>.
4. Spiežam **Products** -> **Development**



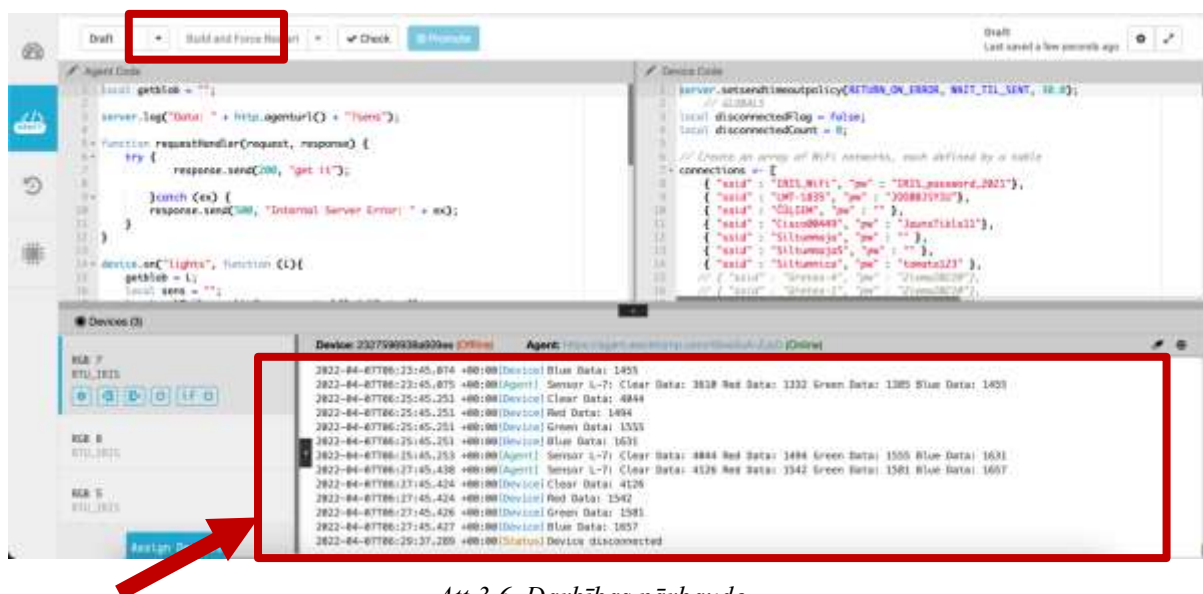
Att.3.4. Darbības pārbaude

5. Spiežam **Code**



Att.3.5. Darbības pārbaude

6. Ja tas nav noticis automātiski, tad spiežam **Build and Force Restart**



Att.3.6. Darbības pārbaude

7. Tad šajā logā skatāmajos vai sensors ar IMP001 strādā, vai nav nekādu kļūdu, un pārbaudām datu ticamību (pagriežam sensoru uz gaismas pusi un tad nosedzam ar roku vai apsedzam ar kaut ko - *Clear, Red, Green, Blue Data* rezultātiem ir jābūt lielākiem, kad tas ir vērsts pret gaismu). Ja viss darbojas korekti, tad varam ķerties pie lodēšanas.
8. Ņemam nost melnos kājiņu savienotājus (parasti tos var novilkt nost ar pirkstiem):



Att.3.7. PmodCOLOR



Att.3.8. IMP001

9. Kad melnie savienotāji ir noņemti, lodējam ārā kājiņas pa vienai. No pretējās puses (kur kājiņa īsāka) karsējam ar lodāmuru, no otras ar jebko, ar ko ir ērti (knīpstangām/pinceti/knaiblēm) velkam ārā kājiņu. Savienojumu ir **labi jāuzkarsē**, kamēr kājiņa nenoliecas pati, to nevajag vilkt ar spēku. Ar *PmodCOLOR* **VCC** un **GND** kājiņām ir jābūt īpaši uzmanīgam, tās nav tik vienkārši izlodēt, jo tie savienojumi praktiski nesakarst un kājiņas pašas nenolieksies. Tāpēc savienojumu ir jācenšas karsēt no visām pusēm un kājiņu uzmanīgi jāvelk ārā grozot.
10. Kolīdz visas kājiņas ir izlodētas, sagatavojam vadiņus, ar kuriem savienosim *PmodCOLOR* ar *IMP001*. Katram sensoram 4 vadiņi garumā ~14cm. Galus notīrām no izolācijas.



Att.3.9. Vadiņi lodēšanai

11. Lodējam vadiņus pie *IMP001* un *PmodCOLOR* tā pat kā attēlā 3.1.
12. Pēc salodēšanas pārbaudām - vai viss strādā, vai nekas netika sabojāts lodēšanas laikā. Atkārtojam soļus 3.2.-3.7. Ja viss darbojas korekti, tad varam ķerties pie kastītes sagatavošanas.

Sensora kods: **Versija - v1.01.**

Agent Code:

```
local getblob = "";

server.log("Data: " + http.agenturl() + "?sens");

function requestHandler(request, response) {
    try {
        response.send(200, "get it");

    }catch (ex) {
        response.send(500, "Internal Server Error: " + ex);
    }
}

device.on("lights", function (L){
    getblob = L;
    local sens = "";
    local urlTail = split(http.agenturl(), "/").top();
    if(urlTail == "OU3ho9ZiCgRH") { sens = "L-5";}
    else if(urlTail == "45ne3uA-ZJyD") { sens = "L-7";}
    else if(urlTail == "y-drIwtLje7N") { sens = "L-8";}

    getblob = "Sensor "+ sens + ": " + getblob;
    server.log(getblob);

    local response = http.post("https://remotelab.lv/power/power.php",
        {"Content-Type":"application/x-www-form-urlencoded"},
        http.urlencode({coord = getblob})).sendsync();
    getblob = "";
} );
```

```
http.onrequest(requestHandler);

function round(vall, decimalPoints) {
  local f = math.pow(10, decimalPoints) * 1.0;
  local mathVal = vall * f;
  mathVal = math.floor(mathVal + 0.5)
  mathVal = (mathVal * 1.0) / f;
  return mathVal;
}
```

Device Code:

```
server.setsendtimeoutpolicy(RETURN_ON_ERROR, WAIT_TIL_SENT, 30.0);
  // GLOBALS
local disconnectedFlag = false;
local disconnectedCount = 0;

// Create an array of WiFi networks, each defined by a table
connections <- [
  { "ssid" : "IRIS_WiFi", "pw" : "IRIS_password_2021"},
  { "ssid" : "LMT-1835", "pw" : "J0080JSYIU"},
  { "ssid" : "ČŪĻIEM", "pw" : "" },
  { "ssid" : "Cisco00449", "pw" : "JaunsTikls11"},
  { "ssid" : "Siltummaja", "pw" : "" },
  { "ssid" : "Siltummaja5", "pw" : "" },
  { "ssid" : "Siltumnica", "pw" : "tomato123" },
  // { "ssid" : "Gretes-4", "pw" : "Ziema2021@"},
  // { "ssid" : "Gretes-1", "pw" : "Ziema2021@"},
  // { "ssid" : "Gretes-2", "pw" : "Ziema2021@"},
  // { "ssid" : "Gretes-3", "pw" : "Ziema2021@"},
];

currentConnection <- 0;

function changeWifi(ssid, pw, callback) {
  if (server.isconnected()) {
    // Server is connected, so make sure all the pending data has been sent...
    server.flush(10);
    server.disconnect(); // ... and disconnect from the server
  }
  imp.setwificonfiguration(ssid, pw); // Re-configure the imp's WiFi and attempt
to connect
  server.connect(callback, 20);
}

function connectOrFailToNextConnection(result = null) {
  if (!server.isconnected()) {
    // Server is not connected
    if (currentConnection >= connections.len()) {
      // We've tried all the available networks without success, so put the imp
to sleep for 10 minutes
      imp.onidle(function() {
        imp.deepsleepfor(60);
      });
    }
  }
}
```



```

    } else {
        // If there are still connections to try, grab current ssid and pw, and
increment currentConnection
        // for the next attempt (if connection fails)
        local ssid = connections[currentConnection].ssid;
        local pw = connections[currentConnection].pw;
        currentConnection++;
        // Attempt to connect
        changewifi(ssid, pw, connectOrFailToNextConnection);
    }
}
}

connectOrFailToNextConnection();

const PmodColor_addressA=0x29;
const cmd_auto_increment=0xA0;
const cmd_repeated_byte=0x80;
const PmodColor_Enable=0x00;
const PmodColor_Enable_PON=0x01;
const PmodColor_Enable_AEN=0x02;
const PmodColor_integrationTimeReg=0x01;
const PmodColor_Control=0x0F; /* Set the gain level for the sensor */
const PmodColor_ID=0x12; /* 0x44 = TCS34721/TCS34725, 0x4D = TCS34723/TCS34727
*/
const PmodColor_Status=0x13;
const PmodColor_Status_Aint=0x10; /* RGBC Clean channel interrupt */
const PmodColor_Status_Avalid=0x01; /* Indicates that the RGBC channels have
completed an integration cycle */
const PmodColor_CdataL=0x14; /* Clear channel data */
const PmodColor_CdataH=0x15;
const PmodColor_RdataL=0x16; /* Red channel data */
const PmodColor_RdataH=0x17;
const PmodColor_GdataL=0x18; /* Green channel data */
const PmodColor_GdataH=0x19;
const PmodColor_BdataL=0x1A; /* Blue channel data */
const PmodColor_BdataH=0x1B;

class PmodColor{

    function begin(){

        if (detect()){ /*if the ID doesn't match either possible ID tag
            enable();
            return true;
        }
        else{
            return false;
        }
    }

    function detect(){

        local idValue=readByteI2C(PmodColor_ID); //read the ID of the chip

        if ((idValue != 0x44) && (idValue != 0x10)) //if the ID doesn't
match either possible ID tag

```

```

    {
        return false;
    }

    return true;
}

function writeByteI2C(reg, value){

    local subAddress = cmd_repeated_byte | reg;
    local dataToSend = value & 0xFF;
    hardware.i2c12.write(PmodColor_address,      subAddress.tochar()      +
dataToSend.tochar());

}

function writeSingleByteI2C(reg, value){

    local subAddress = cmd_repeated_byte | reg;
    local dataToSend = value & 0xFF;

    hardware.i2c12.write(PmodColor_address,      subAddress.tochar()      +
dataToSend.tochar());

}

function readByteI2C(reg){

    local subAddress = cmd_auto_increment | reg;

    hardware.i2c12.write(PmodColor_address,  subAddress.tochar()); //Send the
register of interest

    local result = hardware.i2c12.read(PmodColor_address, subAddress.tochar(), 1);
        //return the received data
    return result[0];

}

function readWordI2C(reg){
    local x; local t;
    local subAddress = cmd_auto_increment | reg;

    hardware.i2c12.write(PmodColor_address, subAddress.tochar()); //send the
register of interest to communicate with

    local word = hardware.i2c12.read(PmodColor_address, subAddress.tochar(), 2);
        //request 2 bytes of data from the previously sent address

    t = word[0]; //receive the 2 bytes
    x = word[1];

    x = x<< 8;
    x = x | t;
    //merge the two bytes
    return x;
}

function getData(){

```

```

local c; local r; local g; local b;
local x; local t;

local subAddress = cmd_auto_increment | PmodColor_CdataL;

hardware.i2c12.write(PmodColor_address, subAddress.tochar());
//send the register of interest to communicate with
// local result = blob(8);

local result = hardware.i2c12.read(PmodColor_address, subAddress.tochar(), 8);
//request all 8 bytes of color data starting from the previously sent address

//Collect the low and high bytes of the clear data
//receive the 2 bytes

t=result[0];
// server.log("Clear Data Low Byte: " + t);
x=result[1];
// server.log("Clear Data High Byte: " + x);
x = x<< 8;
//shift the high byte
x = x|t; //merge
the two bytes
c = x; //store
the clear data
server.log("Clear Data: " + c);

t=result[2];
x=result[3];
x = x<< 8;
//shift the high byte
x = x|t; //merge
the two bytes
r = x; //store
the red data
server.log("Red Data: " + r);

t=result[4];
x=result[5];
x = x<< 8;
//shift the high byte
x = x|t; //merge
the two bytes
g = x; //store
the green data
server.log("Green Data: " + g);

t=result[6];
x=result[7];
x = x<< 8;
//shift the high byte
x = x|t; //merge
the two bytes
b = x; //store
the blue data
server.log("Blue Data: " + b);

```

```

    local datastring = "Clear Data: " + c + " Red Data: " + r + " Green Data: " + g
+ " Blue Data: " + b;
    agent.send("lights", datastring);

}

function enable(){

    writeSingleByteI2C(PmodColor_Enable, PmodColor_Enable_PON);
    imp.sleep(0.003);          //required delay of 2.4 ms
    writeSingleByteI2C(PmodColor_Enable, 0x03);

}

function setIntegrationCycles(cycles){

    if(cycles<1){
        cycles = 1;
    }
    if(cycles>255){
        cycles=255;
    }

    local integration_cycles = 256 - cycles;
    writeSingleByteI2C(PmodColor_integrationTimeReg, integration_cycles);
}

function setGain(gain){
    writeSingleByteI2C(PmodColor_Control, gain);
}

function clearInterrupt(){

    local sub = cmd_auto_increment | 0x66;
    hardware.i2c12.write(PmodColor_address, sub.tochar());

}

function setIntLimits(low, high){

    writeByteI2C(0x04, low & 0xFF);
    writeByteI2C(0x05, low >> 8);
    writeByteI2C(0x06, high & 0xFF);
    writeByteI2C(0x07, high >> 8);
}

}

hardware.i2c12.configure(CLOCK_SPEED_100_KHZ);

PmodColor_address <- PmodColor_addressA << 1;

if(!PmodColor.begin()){
    server.log("Color sensor not found, check your connections");
    while(1);
}
cycles <- 30;
PmodColor.setIntegrationCycles(cycles);

```

```
PmodColor.setGain(0);

function loop(){

    local waitTime = (0.0024 + 0.0024*2*cycles);
    imp.sleep(waitTime);
    PmodColor.getData();
    imp.wakeup(120.0, loop);

}

loop();
```

***Komentārs:** Ja PmodCOLOR un IMP001 savstarpējai I2C komunikācijai tiek izmantotas IMP001 8. un 9. kājiņas, nevis 1. un 2., tad *Device* kodā visur **hardware.i2c12/...** ir jānomaina uz **hardware.i2c89/...**