Latvijas Lauku attīstības programmas 2014. - 2020.gadam pasākuma 16 "Sadarbība" 16.12 apakšpasākuma: "Atbalsts EIP lauksaimniecības ražīguma un ilgtspējas darba grupu projekta īstenošanai"

projekts

“AUTOMATIZĒTA KOKAUDZĒTAVU STĀDU ATTĪSTĪBAS, VESELĪBAS, AIZZĒLUMA KONTROLES SISTĒMAS IZVEIDOŠANA”

LAD projekta numurs 23-00-A01612-000002

Pārskatu sagatavoja: RTU vadošais pētnieks Dr. sc. ing. Andrejs Zujevs, Andrejs.Zujevs@rtu.lv

Projekta koordinators: RTU vadošais pētnieks Dr. sc. ing. Andrejs Zujevs, Andrejs.Zujevs@rtu.lv

Sadarbības partneri: Rīgas Tehniskā universitāte, Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte, SIA “Rīgas meži”, zemnieku saimniecība “Pasakas”, biedrība “Mežvidu lauksaimniecības un tehnoloģiju parks”, SIA “Energouzraugs”

Projekta īstenošanas periods: 01.07.2023. – 30.06.2025.

Kopējās projekta izmaksas: 464 360.00 EUR

NACIONĀLAIS ATTĪSTĪBAS PLĀNS 2020

EIROPAS SAVIENĪBA
EIROPA INVESTĒ LAUKU APVIDOS
Eiropas Lauksaimniecības fonds lauku attīstībai

Atbalsta Zemkopības ministrija un Lauku atbalsta dienests

SATURA RĀDĪTĀJS

1. Ievads 5

2. Projekta mērķis 7

3. Izmantotie termini 8

4. Darbības un projekta kopsavilkums 9

4.1. Kokaudzētavas siltumnīca un tās infrastruktūra 14

4.2. Sensoru bloks 18

4.3. Sējeņu vizuālo datu ieguve 25

4.4. Vizuālo datu anotēšana un datu kopas izveide 29

4.5. Risinājuma programmatūras attīstība 38

4.6. Risinājuma lietotāja saskarne 40

5. Kopsavilkums 43

6. Pieeja programmatūrai, projektējumiem, datu kopām un DM modeļiem 44

ATTĒLU SARAKSTS

Attēls 1. Tipiska kokaudzētavas siltumnīca....5
Attēls 2. SIA Rīgas meži siltumnīca ar laistīšanas iekārtu darbībā....15
Attēls 3. Koku sējeņu kasetes organizētas gultās jeb galdos....16
Attēls 4. Priežu sējeņi kasetēs....16
Attēls 5. Egles sējeņi kasetēs....17
Attēls 6. Bērza sējeņi kasetēs....17
Attēls 7. Melnalkšņa sējeņi kasetēs....18
Attēls 8. Priežu sējeņi kasetēs. Pa labi to skats no augšas jeb skats no RGB kameras perspektīvas....18
Attēls 9. Ar termo kameras uzņemtais attēls, kur katram pikselim iespējams noteikt tā temperatūru....19
Attēls 10. Ar daudzspektrālo kameru uzņemtā attēla piemērs....20
Attēls 11. Sensoru bloka 3D modelis....20
Attēls 12. Sensoru bloka 3D modelis ar tā komponentēm....21
Attēls 13. Sensora bloka gaisa sliežu 3D modelis....21
Attēls 14. Koku sējeņu virsmas skenēšanas princips siltumnīcā....22
Attēls 15. Sensoru bloka izmēģinājumi RTU laboratorijā....23
Attēls 16. Sensoru bloks ar gaisa sliedēm integrēts siltumnīcas infrastruktūrā....23
Attēls 17. Sensoru bloks pietuvinājumā....24
Attēls 18. RGB kamera ar *NVIDIA Jetson* iegulto datoru SIA Rīgas meži siltumnīcā (2023.g.)....25
Attēls 19. Sējeņu vizuālo datu ieguve SIA Rīgas meži siltumnīcā (2023.g.)....25
Attēls 20. Sējeņu vizuālo datu ieguve SIA Rīgas meži siltumnīcā (2024.g.) ar RTU pētniekiem....26
Attēls 21. Vizuālo datu ierakstu žurnāls par 2024.g. (koku sējeņu morfoloģija)....26
Attēls 22. Vizuālo datu ierakstu žurnāls par 2024.g. (koku sējeņu morfoloģija)....27
Attēls 23. Vizuālo datu ierakstu žurnāls par 2024.g. (koku sējeņu morfoloģija)....27
Attēls 24. Vizuālo datu ierakstu žurnāls par 2024.g. (koku sējeņu morfoloģija)....28
Attēls 25. Vizuālo datu ierakstu žurnāls par 2024.g. (koku sējeņu morfoloģija)....28
Attēls 26. Vizuālo datu ierakstu žurnāls par 2024.g. (koku sējeņu morfoloģija)....29
Attēls 27. Kasešu raksturiezīmju anotēšanas process....29
Attēls 28. Priedes sējeņu anotēšanas process....30
Attēls 29. Priedes sējeņu un nezāļu anotēšanas process....31

Attēls 30. Priedes sējeņu un nezāļu anotēšanas process 32
Attēls 31. Priedes sējeņu un nezāļu anotēšanas process 33
Attēls 32. Bērza sējeņu anotēšanas process 34
Attēls 33. Bērza sējeņu un nezāļu anotēšanas process 35
Attēls 34. Kasešu raksturiezīmju anotēšanas process (automātiski) 36
Attēls 35. Kasešu raksturiezīmju anotēšanas process (automātiski) 36
Attēls 36. Monitoringa sistēmas programmatūras attīstības diagramma 39
Attēls 37. Monitoringa sistēmas blokshēma 40
Attēls 38. Monitoringa sistēmas logs ar RGB kameras attēlu analīzes rezultātiem 41
Attēls 39. Monitoringa sistēmas logs ar RGB kameras redzeslauku un tajā detektētiem vizuālajiem objektiem (tukšas šūnas, nezāles un koku sējeņi) vienai no sensoru bloka pozīcijām siltumnīcā 41
Attēls 40. Monitoringa sistēmas logs ar termo kameras redzeslauku un tajā detektētiem vizuālajiem objektiem (tukšas šūnas, nezāles un koku sējeņi) vienai no sensoru bloka pozīcijām siltumnīcā 42
Attēls 41. Monitoringa sistēmas logs ar termo kameras datu vizuālo interpretāciju 42
Attēls 42. Monitoringa sistēmas logs ar daudzspektrālās kameras datu vizuālo interpretāciju 43

1. Ievads

Šobrīd kokaudzētavās (vidējā siltumnīcu platība ir ~1000 m2), kur uzskaiti par stādu ravēšanu, barošanu, laistīšanu un apstrādi ar augu aizsardzības līdzekļiem veic manuāli, izmantojot lielu cilvēkresursu (sk. att. 1.).

Attēls 1. Tipiska kokaudzētavas siltumnīca

2012. gadā ar ANO Ģenerālās Asamblejas rezolūciju dibināta Starptautiskā Meža diena. Tās mērķis – palielināt vispārējo informētību par mežu nozīmību un iespējām, ko tas var sniegt tagadnes un nākotnes paaudžu vajadzībām. Šī gada meža dienas tēma - Mežs un ilgtspējīga ražošana un patēriņš. Būtiska ir starptautiskā pieredze un tās apmaiņa, kas ir virzības faktors uz ilgtspējīgu attīstību. Latvijas kokaudzētavas mērķēti virzās uz nozares digitalizāciju, automatizāciju un gudru resursu pārvaldību. Pasaules tirgū nav pieejama gatava tehnoloģija kokaudzētavu (citu sektoru) stādu attīstības, veselības, aizzēluma kontrolei. Kokaudzētavas inventarizācijai, veselības monitoringam pasaulē izmanto dronu tehnoloģijas, kas telpiski var fiksēt koku bojājumus. Jaunā tehnoloģija ir rādīta izmantojot valsts intelektuālo potenciālu, kur

Rīgas Tehniskā universitāte, Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte kopā ar SIA "Rīgas meži" iegulda savas zināšanas un pieredzi tehnoloģijas radīšanā.

Meža nozares misija ir veidot sakoptu, neatkarīgu un pārtikušu Latviju. Tas ir Latvijas zaļais zelts. Meža nozare nodarbina ap 40 tūkstošiem cilvēku, bet netieši vēl ~ 30 tūkstošu darbinieku saistītajās nozarēs – transports, zinātne, izglītība, enerģētika. Valsts budžetā un algās katru gadu tiek samaksāti ~645 miljoni EUR, kā arī cilvēki gūst nekoksnes vērtības (sēnes, ogas, medības) ~90 miljonu EUR vērtībā. Vienlaikus mežs nodrošina daudzas citas būtiskas funkcijas – balansē ūdens apriti, novērš erozijas riskus, nodrošina bioloģisko daudzveidību, ražo O2 un piesaista CO2, tādējādi mazinot klimata izmaiņu riskus. Meža nozares produkciju Latvija 2022. gada septiņos mēnešos eksportēja 2,54 miljardu EUR vērtībā, kas ir par 27,8% vairāk nekā 2021. gada attiecīgajā periodā. Tostarp koksne un tās izstrādājumi 2022.gada septiņos mēnešos eksportēti 2,24 miljardu EUR. 2021. gadā meža atjaunošanai vai ieaudzēšanai izaudzēti 63,7 miljoni, t. sk. 51,9 miljoni ģenētiski augstvērtīgo kategoriju meža koku sējiņu un stādu. No tiem Latvijā izmantoti 50,8 miljoni, no tiem eksportēti – 12,9 miljonu. Latvijas selekcionēto stādu pieprasījums pieaug gan vietējā tirgū, gan ārvalstīs. Izrietoši pieaug saistīto nozares pakalpojumu pieprasījums. Lai apmierinātu pieprasījumu ir jāpalielina piedāvājums. To var panākt, kāpinot kokaudzētavu jaudu, kā arī piedāvājot augstākas kvalitātes stādmateriālu.

Meži ir vērtīgas ekosistēmas, kas ir nozīmīgs valsts resurss gan Latvijā, gan Eiropā. Meži ir būtisks sabiedrotais cīņā pret klimata pārmaiņām un bioloģiskās daudzveidības zudumu. ES meža stratēģijas 2030.gadam mērķis ir uzlabot meža ilgtspējīgas apsaimniekošanas koncepciju attiecībā uz klimata un bioloģiskajai daudzveidības aspektiem, tā veicina klimatam un bioloģiskajai daudzveidībai vislabvēlīgākās meža apsaimniekošanas prakses. Stratēģija sakņojas Eiropas zaļajā kursā un ES Biodaudzveidības stratēģijā 2030.gadam, kurā ir atzīta mežu svarīgā, daudzfunkcionālā loma, mežsaimnieku un visas meža resursu vērtības ķēdes devums ilgtspējīgas un klimatneitrālas ekonomikas izveidē līdz 2050.gadam. Vienlaicīgi tiecoties nodrošināt, ka visas ekosistēmas ir atjaunotas, izturētspējīgas un pienācīgi aizsargātas. Viens no uzdevumiem ir nodrošināt meža atjaunošanu un uzlabot ilgtspējīgu meža apsaimniekošanu, kas nāk par labu klimatadaptācijai un meža izturētspējai, kā arī atkārtota un pirmreizēja apmežošana, kuras mērķis ir biodaudzveidīgi meži. Stratēģija paredz līdz 2030.gadam ES iestādīt vēl vismaz 3 milj. koku. Projekta jaunradītā tehnoloģija varētu interesēt arī vides organizācijas, kas attiecas uz resursu patēriņa samazināšanu un ilgtspējīgas mežsaimniecības prakses veicināšanu, palīdzot veicināt un izplatīt izpratni par projekta rezultātiem un ieguvumiem, kas, iespējams, novedīs pie līdzīgu tehnoloģiju un prakses plašākas ieviešanas. Meža nozarē darbojoties, tiecoties uz ilgtspējīgāku un klimatam

draudzīgāku praksi, var rasties iespējas, ka projekta tehnoloģiju pārņems nozares piegādātāji un pakalpojumu sniedzēji. Piemēram, uzņēmumi, kas nodrošina aprīkojumu vai pakalpojumus kokaudzētavām vai mežu apsaimniekotājiem, varētu izmantot jaunradīto tehnoloģiju, lai uzlabotu piedāvājumus un labāk apkalpotu savus klientus. Ieguvēji noteikti būtu pētnieki un novatori: projekta fokuss uz jaunu tehnoloģiju un procesu izstrādi ilgtspējīgai mežsaimniecībai varētu interesēt citus pētniekus un novatorus, kas strādā šajā vai līdzīgā jomā. Daloties ar rezultātiem un sadarbojoties, palīdzētu uzlabot jaunākos sasniegumus un veicinātu plašākus centienus risināt klimata pārmaiņu un bioloģiskās daudzveidības samazināšanās problēmas. Projekta tiešā mērķa grupa ir kokaudzētavas, kas iegūtu jaunradītu tehnoloģiju, kas veicinās resursu ietaupījumu, palielinās produktivitāti un stādu lietderīgo iznākumu. Izrietoši netiešā mērķa grupa ir meža atjaunošanas sektors, meža nozares apsaimniekotāji.

Pašreiz stādāmā materiāla lietderīgais iznākums ir mazāks par 85%. Lai sasniegtu augstāku lietderīgo iznākumu ir vitāli svarīgi stādiem nodrošināt pareizā daudzumā mitrumu, laicīgi pamanīt un noteikt kaitēkļu bojājumus un slimību pazīmes. Stādu kokaudzētavās stādāmā materiāla kontrole un apstrāde notiek manuālas apsekošanas veidā, izmantojot lielu cilvēkresursu. Tā nenotiek pietiekami detalizētā līmenī. Stādu apsekošana, plānošana, konkrētu uzdevumu noteikšana un došana ir laikietilpīgs process, kuru lietderīgi varētu izmantot stādu apstrādei. Paralēls process ir stādu veselības novērtēšana, kas šobrīd kokaudzētavās norit subjektīvi vizuāli. Tas izslēdz iespēju laicīgi fiksēt veģetācijas stresa līmeni, iejaukties ar precīzi mērķētu laistīšanu un augu aizsardzības līdzekļu lietošanu. Projekta ietvaros, sadarbojoties mežsaimniecības nozares un dažādu jomu ekspertiem un zinātniekiem, ir plānots izstrādāt automatizētu kokaudzētavu stādu attīstības, veselības, aizzēluma kontroles sistēmu, kas ļaus digitāli un savlaicīgi apkopo un noteikt datus par stādu veselības stāvokli, kaitēkļu bojājumiem, un kontrolēt stādījumu platību mitrumu. Projekta ideja tieši sasaucas ar ES meža stratēģiju 2030.gadam.

2. Projekta mērķis

Mērķis - izstrādāt automatizētu sistēmu (prototips), kas nodrošinās kvalitatīvu kokaudzētavu stādu attīstības, veselības un aizzēluma kontroli.

Mērķis iekļauj aparatūras projektēšanu un izstrādi, sensoru datu apstrādes un analīzes programmatūras izstrādi un integrēšanu kokaudzētavas ĢIS sistēmā.

3. Izmantotie termini

Mašīnmācīšanās bibliotēka – programmatūras bibliotēka, kas ļauj apmācīt dažāda tipa matemātiskos modeļus, kuri risina klasifikācijas vai regresijas uzdevumu. Apmācības laikā modeļu ieejā tiek padoti nevis jēldati, bet to raksturiezīmes.

Dziļās mašīnmācīšanās bibliotēka – programmatūras bibliotēka, ļauj apmācīt dažādus dziļos mākslīgo neironu tīklus klasifikācijas, regresijas, objektu detektēšanas, teksta ģenerēšanas u. c. uzdevumu risināšanai. Dziļajos neironu tīklos datu raksturiezīmes tiek noteiktas automātiski (hiperparametru līmenī) tīkla apmācības laikā, kas šādus matemātiskos modeļus arī atšķir no klasiskajām mašīnmācīšanās metodēm.

Dziļās mašīnmācīšanās modelis (DM modelis) – apmācīts mākslīgo neironu tīkls, kas sastāv no vairākiem specializētiem neironu tīklu slāņiem ar savām hiperparametru vērtībām (kuras noteiktas tīkla apmācības laikā). Neironu tīkls domāts atsevišķa uzdevuma risināšanai. Projekta ietvaros apmācīts modelis domāts koku detektēšanai attēlos.

YOLO – populāra atklāta koda dziļo neironu tīklu programmatūras bibliotēka, kura ļauj apmācīt, validēt un testēt *YOLO* neironu tīkla arhitektūras modeļus. Projekta ietvaros tiek izmantota *YOLO* v5.0. bibliotēkas versija.

Anotēšana – attēlu apstrādes procedūra, kuru pilda cilvēks vai tas notiek automātiski. Attēlos vizuāli tiek iezīmēti objekti (projekta ietvaros koku sējeņi, nezāles un kasešu tukšas šūnas), apvelkot tos ar robežlodziņu (*bounding box*) un piešķirot objekta klasi, piemēram, "nezāke" vai "tukša šūna".

Datu kopa – specifiski sagatavoti dati (t. sk. vizuālie), kuri mašīnmācīšanās laikā tiek izmantoti DM modeļa apmācībai, tā validācijai un testēšanai.

Testēšanas datu kopa – datu apakškopa, kura tiek izmantota DM modeļa testēšanai un nekad netiek izmantota DM modeļa apmācībai.

Kasete – koku sējeņu ietvars, kur katrs sējenis tiek audzēts savā šūnā.

Gulta – koku sējeņu kasešu ietvars, ko ērti pārvietot uz siltumnīcu un izvest no tās.

Sējenis – no sēklas bez pārstādīšanas izaudzēts jauns koks.

Sensoru bloks – projekta ietvaros izveidota iekārta, kurā ir integrēta RGB kamera, termo kamera un daudzspektrālā kamera. Iekārta ir aprīkota ar motoriem un to vadības elektroniku bloka kustībai pa gaisa sliedēm, kā arī iekārta ir aprīkota ar LED gaismām.

NDVI indekss – veģetācijas atšķirību indekss (ang.val. - *Normalized Difference Vegetation Index*).

4. Darbības un projekta kopsavilkums

Sadaļā minētas projekta galvenās darbības un to ietvaros sasniegtie rezultāti. Visas aprakstītās darbības ir dotas projekta īstenošanas secībā.

Projekta darbības ir sagrupētas četrās darba pakās:
DP1 - Iepirkumu organizēšana. Nepieciešamo iekārtu, materiālu, kā arī instrumentu iegāde projekta mērķa sasniegšanai.
DP2 - Aparatūras projektēšana un izstrāde. Darba paka sevī ietver aparatūras, elektronikas un to savienojumu, mehatronikas, iesaistīto sistēmu integrācijas, kā arī sensoru bloka un tā datu analīzes programmatūras projektēšanas darbības.
DP3 - Sensoru datu apstrādes un analīzes programmatūras izstrāde. Programmatūras izstrāde sensoru bloka vadībai, sensoru bloka vizuālo datu analīzei un analīzes rezultātu attēlošanai.
DP4 - Risinājuma komponenšu savstarpēja integrācija un sistēmas testēšana. Sensoru bloka integrācija ar siltumnīcas laistīšanas iekārtu, kā arī SIA Rīgas meži ĢIS sistēmu. Monitoringa sistēmas visaptveroša testēšana un sistēmas darbības uzlabojumu veikšana.

Darbības:

1. Projekta koordinācija un vadība. Projekta iesaistīto partneru darbību koordinācija, iepirkumu īstenošana un projekta vadība administratīvi un saturiski, kā arī nepieciešamās dokumentācijas sagatavošana un tās korespondence. Projektā iesaistītie partneri:
    a. Rīgas Tehniskā universitāte (RTU, vadošais partneris) - veica visa projekta īstenošanas koordinēšanu starp visiem partneriem, kā arī veica sensoru aparatūras iepirkumus un izstrādāja sensoru bloka vadības un sensoru datu apstrādes programmatūras risinājumus;
    b. Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte (LBTU, partneris) – veica sensoru bloka, tehnoloģijas mehatronikas un elektronikas komponenšu projektēšanas, izstrādes un uzstādīšanas darbus SIA Rīgas meži kokaudzētavā "Norupe". LBTU nodrošināja arī tehniskā risinājuma (programmatūra) izstrādi, kas ļauj vadīt kokaudzētavas siltumnīcas laistīšanas iekārtas vadību (ūdens padeves ieslēgšana/atslēgšana, iekārtas pārvietošana siltumnīcas garumā un iekārtas pārvietošana par noteikto soli uz priekšu);

c. SIA "Rīgas meži" (RM, partneris) – nodrošināja kokaudzētavas “Norupe” siltumnīcas infrastruktūru, koku sējeņu audzēšanas tehnoloģiskas ekspertzināšanas, konsultācijas, kā arī materiālus koku sējeņu audzēšanai RTU laboratorijā. RM izstrādāja ĢIS sistēmu kokaudzētavas darba uzdevumu plānošanai un attēlošanai, piesaistot datus to ģeogrāfijai. ĢIS sistēma ļauj attēlot siltumnīcas automatizētā monitoringa rezultātus;
d. Konstantinovas pagasta zemnieku saimniecība “Pasakas” (partneris) – nodrošināja kokaudzēšanas nozares tehnoloģiskās zināšanas, konsultācijas, kā arī nodrošināja ar sēklu materiālu, ja tas bija nepieciešams;
e. Biedrība “Mežvidu lauksaimniecības un tehnoloģiju parks” (partneris) – nodrošināja projekta publicitātes pasākumu organizēšanu un informācijas publicēšanu, kā arī projekta rezultātu izplatīšanu publiskajā un industrijas informācijas telpā;
f. SIA "Energouzraugs" (partneris) – nodrošināja ekspertu zināšanas par siltumnīcas infrastruktūru un iekārtām.

2. Iekārtu un materiālu iepirkšana. Projektā ietvaros tika iegādātas vizuālie sensori un to optiskās komponentes, aprēķinu moduļi, mehatronikas komponentes, elektronikas komponentes un datu pārraides iekārtas, dažādi materiāli un instrumenti, kā arī tika iegādāti ārējie pakalpojumi iekārtu izgatavošanai. Iepirkumus īstenoja RTU, LBTU un RM.

3. ĢIS funkcionalitātes papildināšanas iepirkšana. RM īstenoja ĢIS funkcionalitātes papildināšanu, specificējot prasības RM ĢIS sistēmai, lai turpmāk nodrošinātu kokaudzētavas darbu plānošanu ĢIS sistēmas līmenī un attēlotu jaunās tehnoloģijas vizuālo sensoru (RGB kameras, termo kameras un daudzspektrālās kameras) datu analīzes rezultātus.

4. Sensoru aizsardzības korpusa projektēšana un izstrāde. LBTU (atbildīgais) veica sensoru bloka korpusa projektēšanas, izstrādes un integrācijas ar siltumnīcas laistīšanas iekārtu darbus.

5. Sensoru pozicionēšanas aparatūras projektēšana un izstrāde. LBTU (atbildīgais) veica mehatronikas un elektronikas komponenšu projektēšanu, izstrādi un programmēšanu, lai rezultātā nodrošinātu sensoru bloka pozicionēšanu visas siltumnīcas platības ietvaros.

6. Integrācija ar siltumnīcas laistīšanas iekārtu. LBTU (atbildīgais) veica sensoru bloka integrāciju ar kokaudzētavas siltumnīcas laistīšanas iekārtu gan fiziski, gan programmatūras līmenī, lai nodrošinātu sensoru bloka pozicionēšanu visas siltumnīcas platības ietvaros.

7. Siltumnīcas laistīšanas iekārtas un sensoru attālinātas vadības izstrāde. RTU (atbildīgais) veica programmatūras izstrādi, lai automatizēti vadītu sensoru bloku (t. sk. konfigurētu tā

sensorus), siltumnīcas laistīšanas iekārtu (t. sk. ieslēgtu/atslēgtu ūdens padevi), un nodrošinot iekārtas pārvietošanu pa soļiem uz priekšu ar programmatūras palīdzību.

8. Kociņu stādu vizuālo datu ierakstīšana (datu kopas izveide/papildināšana). RTU (atbildīgais) izveidoja vizuālās datu kopas, kuru ieguvei tika izstrādāti aparatūras un programmatūras risinājumi, kas ļāva ierakstīt dažādu koku sējeņu sugu vizuālos datus, izmantojot RGB kameru. Kamera dati (attēli) tika anotēti un apstrādāti, lai rezultātā izveidotu DM modeļu apmācībai nepieciešamas vizuālās datu kopas. Vizuālo datu anotēšana sākumā notika manuāli, tad automātiski. RGB attēlos tika anotētas priežu, egļu, bērza sējeņi, koku sējeņu kasešu raksturiezīmes un tukšas šūnas. RGB kamera datu ierakstīšana notika 2023.g. un 2024.g. turpinājās. Pirmā vizuālā datu kopa tika izveidota 2023.g., tad tā tika papildināta 2024.g. un 2025.gadā. Dati kopas izmērs - 100k JPG attēli, ar kopējo datu apjomu ~ 600 GB.

9. Programmatūras izstrāde nezāļu detektēšanai. RTU (atbildīgais) apmācīja DM modeli nezāļu detektēšanai RGB kameras attēlos, vēlāk tas tika integrēts monitoringa sistēmā, lai automātiski to pielietotu siltumnīcas automātiska monitoringa laikā.

10. Programmatūras izstrāde kociņu anomāliju detektēšanai. RTU (atbildīgais) izstrādāja programmatūra, kas detektē koku sējeņu anomālijas, balstoties uz koku detektēšanas rezultātiem no RGB kameras attēliem.

11. Programmatūras izstrāde kociņu veselības noteikšana (vizuāli). RTU (atbildīgais) izstrādāja programmatūru, kas ļauj notiek siltumnīcas koku sējeņu NDVI indeksu, izmantojot daudzspektrālās kameras vizuālos datus, un pēc kura tiek noteikts koku sējeņu veselības līmenis. Tika sagatavota programmatūra, kas nolasa daudzspektrālās kameras datus, apstrādā tos, un saglabā tos lokālajā datu bāzē.

12. Programmatūras izstrāde stādiņu augsnes relatīvā mitruma noteikšanai. RTU (atbildīgais) izstrādāja programmatūru, kas ļauj noteikt relatīvo mitrumu un virsmas temperatūru koku sējeņiem un substrātam. Tika sagatavota programmatūra, kas nolasa termo kameras datus, apstrādā tos, un saglabā tos lokālajā datu bāzē.

13. Programmatūras izstrāde sensoru attālinātai konfigurēšanai un vadībai. RTU (atbildīgais) izstrādāja programmatūru, kas ļauj automātiski konfigurēt un vadīt visus monitoringa sistēmas sensorus, t. sk. sensoru bloka pārvietojuma sensorus.

14. Programmatūras izstrāde datu apstrādes rezultātu nodošanai ĢIS sistēmai. RTU (atbildīgais) izstrādāja programmatūru, kas ļauj automātiski iegūtos monitoringa datus nodot RM ĢIS sistēmai, izmantojot datu apmaiņas saskarnes.

15. Sensoru pozicionēšanas iekārtas integrācija un testēšana. RTU kopā ar LBTU un citiem partneriem veica sensoru bloka pozicionēšanas iekārtas gala integrāciju ar siltumnīcas laistīšanas iekārtu un veica testus, lai noskaidrotu integrācijas nepilnības un novērstu tās.
16. Sensoru datu analīzes risinājuma aprobācija un testēšana. RTU (atbildīgais) veica sensoru datu analīzes risinājuma gala aprobāciju un testēšanu kokaudzētavas siltumnīcā, veica atklāto nepilnību novēšanu un atsevišķo algoritmu/programmatūras uzlabojumus.
17. Visa risinājuma aprobēšana un demonstrēšana. RTU kopā ar LBTU un citiem partneriem veica visaptverošo risinājuma (tehnoloģijas) aprobāciju un demonstrēšanu, darbinot monitoringa sistēmu reālajā laikā dienas un nakts apstākļos.
18. Projekta publicitāte. Projekta partneri īstenoja projekta publicitātes pasākumus, piemēram, šādi pasākumi tika īstenoti:

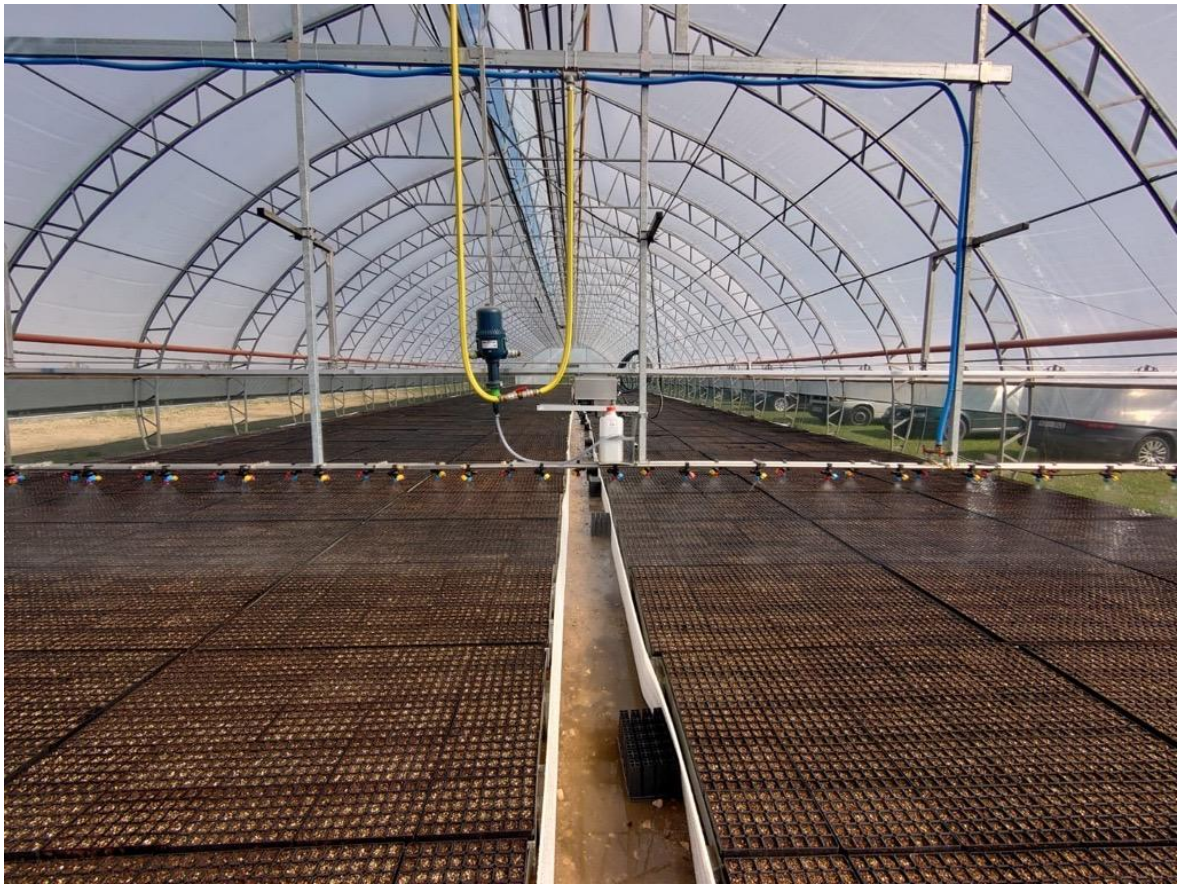
1. RTU https://www.rtu.lv/lv/universitate/projekti/atvert?project_number=4767
2. SIA "Rīgas meži" https://rigasmezi.lv/sadarbibas-projekti/automatizeta-kokaudzetavu-stadu-attistibas-veselibas-aizzeluma-kontroles-sistemas-izveidosana
3. Latvijas radio, Latgales studija: https://www.youtube.com/watch?v=o6QpCG-Eo7I Dalība tiešsaistes sarunā "*Digitālais brunch*" Vidzemes inovāciju nedēļas ietvaros https://www.youtube.com/watch?v=8M-QWX_ZUvY
4. Informācija par RTU un Mežvidu LTP vizīti "Rīgas mežu" kokaudzētavā "Norupe" https://www.mezvidi.lv/tpost/abdjapema1-vizte-pie-projekta-partneriem-rgas-meu-k un https://m.facebook.com/story.php?story_fbid=pfbid037gqRAoBrX5k9aHVgbUeSMp4sNFv4VDua95bXtk8wWdCEX4p9BDd3bW2oerm6Pcdhl&id=100064657390299
5. Raksts par projekta progresu žurnālā "Čiekurs" https://new.llkc.lv/sites/default/files/baskik_p/pielikumi/ciekurs_3_2024.pdf 4.lpp.
6. Semināra rīkošana par projekta progresu: https://www.mezvidi.lv/tpost/yos37xape1-projekta-apspriedeseminrs-automatizta-ko
7. Video sižets LSM.LV *RTU pētnieki audzē simtiem priedīšu un izstrādā inovatīvu monitoringa sistēmu kokaudzētavām* https://www.lsm.lv/raksts/dzive--stils/tehnologijas-un-zinatne/09.04.2025-rtu-petnieki-audze-simtiem-priedisu-un-izstrada-inovativu-monitoringa-sistemu-kokaudzetavam.a594781/
8. Video sižets TV3.LV *Latvijas pētnieki izstrādājuši īpašu sistēmu, kas rūpējas par koku stādiem* https://www.tv3.lv/dzivesstils/darzs-un-maja/latvijas-petnieki-izstradajusi-ipasu-sistemu-kas-rupejas-par-koku-stadiem/
9. Tv3 ziņas *Instagram* kontā: https://www.instagram.com/reel/DHDaLYmiQ7z/

10. Zinātne Latvijai - *Research Latvia* publikācija *Facebook* kontā par projektu: https://www.facebook.com/researchLatvia/posts/-latvijas-p%C4%93tnieki-izstr%C4%81d%C4%81ju%C5%A1i-%C4%ABpa%C5%A1u-sist%C4%93mu-kas-r%C5%ABp%C4%93jas-par-koku-st%C4%81diem-par-r/1395616195193975/
11. Projekta "Automatizēta kokaudzētavu stādu attīstības, veselības, aizzēluma kontroles sistēmas izveidošana" seminārs dalībniekiem RTU.
12. Mežvidu LTP pārstāvja E.Romanovska vizīte Z/S "Pasakas" 02.04.2025, kur notika gatavošanās jaunajai siltumnīcu sezonai.
13. Mežvidu LTP pārstāvja E.Romanovska vizīte Z/S "Pasakas" 24.06.2025. https://www.facebook.com/story.php?story_fbid=1128224016009501&id=100064657390299&mibextid=wwXIfr&rdid=1jXia67iz1Z4GanT#
14. Publikācija Mežvidu LTP tīmekļa vietnē par projekta rezultātu prezentāciju: https://www.mezvidi.lv/kokaudzetavu/tpost/ldzre9nv31-notiks-projekta-automatizeta-kokaudzetav
15. Publikācija Mežvidu Facebook kontā par projekta rezultātu prezentāciju: https://www.facebook.com/MezviduLauksaimniecibasTehnologijuParks
16. Publikācija LBTU tīmekļa vietnē par projekta rezultātu prezentāciju: https://www.lbtu.lv/lv/notikumi/2025-06-16/projekta-automatizeta-kokaudzetavu-stadu-attistibas-veselibas-aizzeluma
17. Preses relīze par projektu nacionālajā informācijas aģentūrā LETA: https://leta.lv/search/browse/?_=1&s=me%C5%BEvid%2A&t%5B0%5D=news&cs=0&id=F161F307-366D-498D-88CC-311C1A43ED70.
18. Video sižets TV3.lv no projekta gala rezultātu prezentācijas: https://www.tv3.lv/dzivesstils/darzs-un-maja/latvija-radita-tehnologija-kas-varetu-butiski-mainit-mezsaimniecibas-nakotni/
19. Video sižets demonstrēts divos TV kanālos raidījuma "Atspēriens izaugsmei" ietvaros kanālos RETV un TV24, šādos laikos:
20. TV kanāls "RETV" sestdiena (12.jūlijā) plkst. 16:30, atkārtojums (17.jūlijā, ceturtdiena) plkst. 14.30.
21. TV kanāls "TV24" sestdiena (12.jūlijā) , plkst. 11.00, atkārtojums (17.jūlijā , ceturtdiena) plkst. 7:30.
22. Intervija "Rēzeknes ziņas" https://rezekneszinas.lv/lv/RADIO-RAIDIJUMI/1/33252/Izstrada-automatizetu-sistemu-kokaudzetavu-stadu-monitoresanai

23. Intervija “Daugavpils ziņas”https://daugavpilszinas.lv/lv/Radio-raidijumi/1/11927/Izstrada-automatizetu-sistemu-kokaudzetavu-stadu-monitoresanai
24. Intervija “Divu krastu radio” https://dkradio.lv/lv/aktualas-intervijas/1952/petnieki-izstrada-automatizetu-sistemu-kokaudzetavu-stadu-monitoresanai
25. Intervija “Daugavpils ziņas” https://daugavpilszinas.lv/lv/Radio-raidijumi/1/11933/Ari-ityma-goda-Lauku-dinys-ar-glanci
26. V. Osadčuka dalība konferencē "*Biosystems Engineering (BSE)*" (https://bse.emu.ee/topics-and-scope/). Konferencē tika apskatītas dažādas tēmas kā piemēram, precīzā lauksaimniecība un lauksaimniecības inženierzinātne, kuras sasaucās ar projekta tēmu. Iegūtās zināšanas tieši sekmēja projekta rezultātu sasniegšanu.
27. MLTP raksts par projektu *HortiDaily*, kas ir starptautisks tiešsaistes ziņu portāls, ar specializāciju dārzkopības nozarē (īpaši dažādu siltumnīcu stādu audzēšanā). Tajā tiek publicētas nozares ziņas, jaunākās tirgus tendences, tehnoloģiju un inovāciju apskati: https://www.floraldaily.com/article/9754862/latvia-development-of-automatic-tree-seedling-monitoring-system-underway/
28. Zinātniskais raksts. *Osadcuks V., Muska K., Zujevs A., Ardavs A., Evaluation of Visual Odometry Algorithms for Tree Nursery Inspection Machines, Engineering for rural development, Jelgava, 21.-23.05.2025, pp. 1119-1125, DOI: 10.22616/ERDev.2025.24.TF287*.
29. Citas publicitātes aktivitātes un tikšanās ar industriju, kuras notika pēc 30.06.2025.

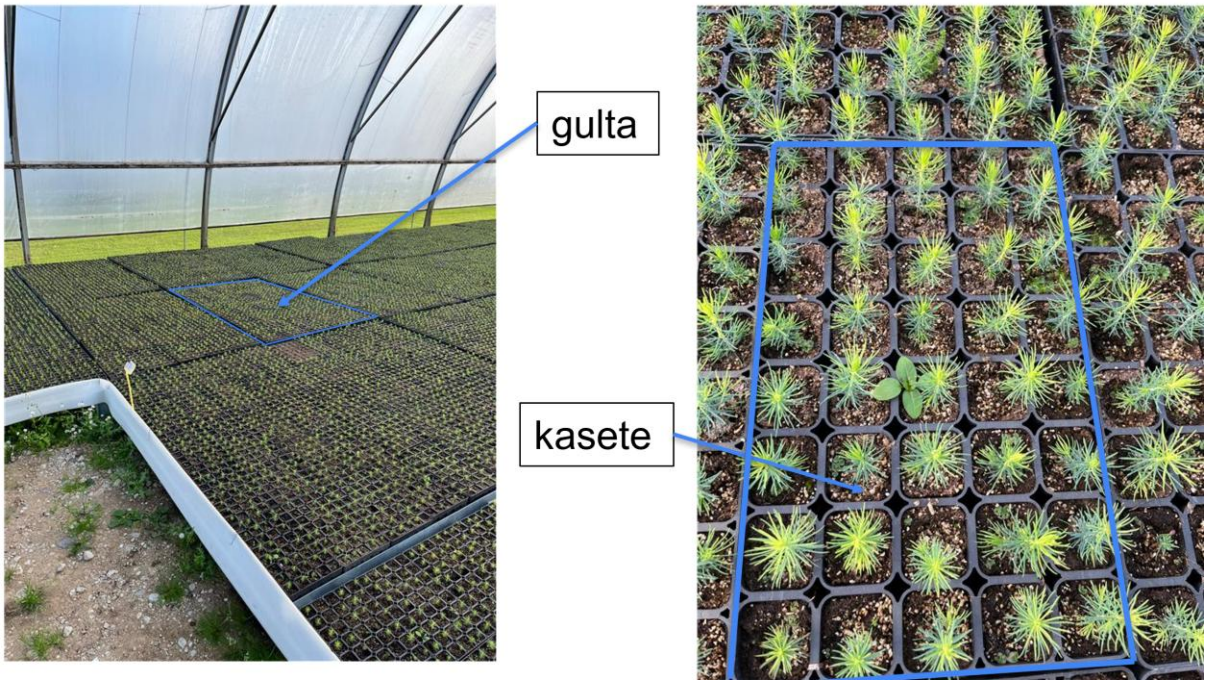
4.1. Kokaudzētavas siltumnīca un tās infrastruktūra

Kokaudzētavas koku sējeņus vispirms audzē siltumnīcā, kas nodrošina to dīgšanai labvēlīgus apstākļus un klimatu. Sasniedzot noteiktu vecumu, sējeņi tiek izvesti uz lauka, tālākai to attīstībai. Katra siltumnīca ir aprīkota ar laistīšanas iekārtu, ar kuras palīdzību sējeņu substrāts tiek mitrināts vai piesātināts ar papildu barošanas vielām (sk. att. **Attēls** 2.)



Attēls 2. SIA Rīgas meži siltumnīca ar laistīšanas iekārtu darbībā

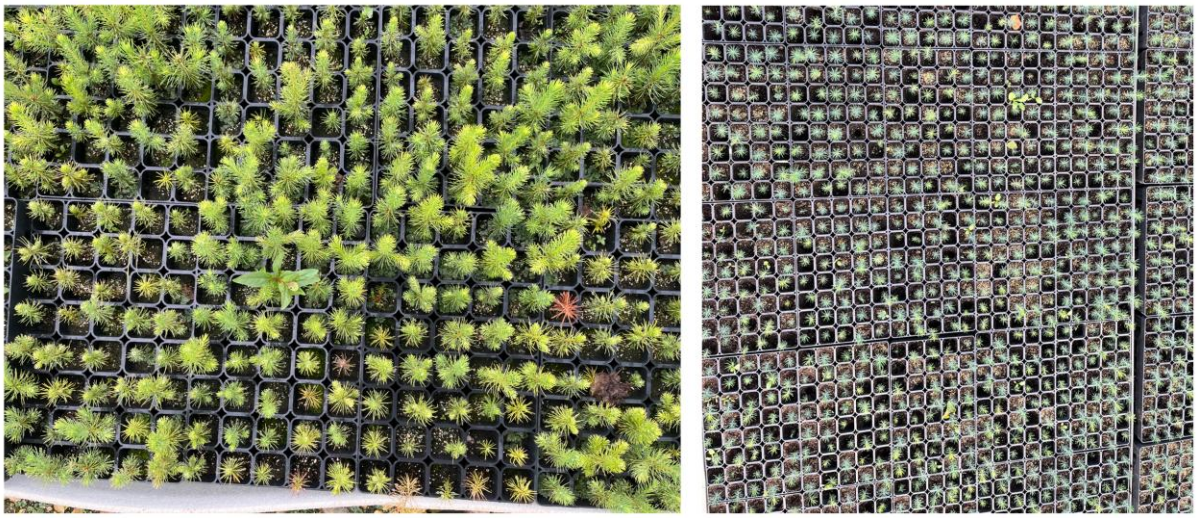
Koku sējeņu sēklas vispirms tiek iestādītas kasetēs, izmantojot sēklu stādīšanas mašīnu. Kasetes tiek saliktas gultās/galdos, kurus ar traktortehnikas palīdzību novieto siltumnīcā (sk. att. **Attēls** 3.).



Attēls 3. Koku sējeņu kasetes organizētas gultās jeb galdos

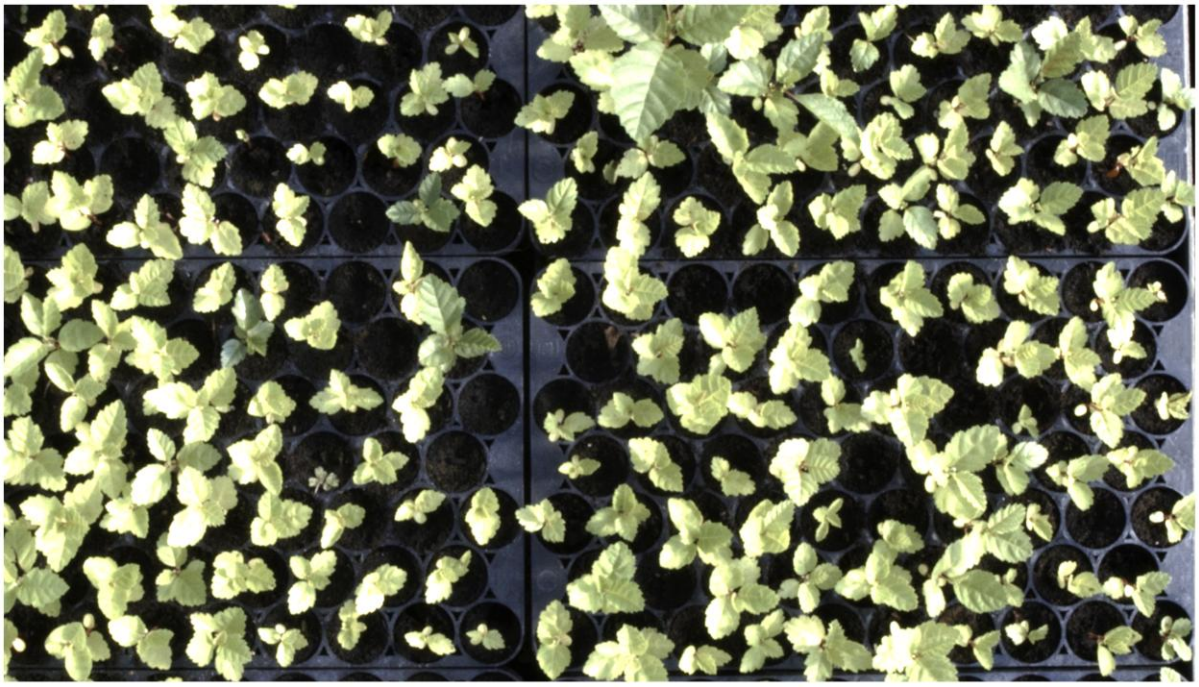
Dažādām koku sugām ir sava morfoloģija un fizioloģija. Zemāk attēlos ir doti piemēri priedei (att. **Attēls** 4.), eglei (att. **Attēls** 5.), bērzam (att.**Attēls** 6.) un melnalksnim (sk. att. 7.).

Attēls 4. Priežu sējeņi kasetēs



Attēls 5. Egles sējeņi kasetēs

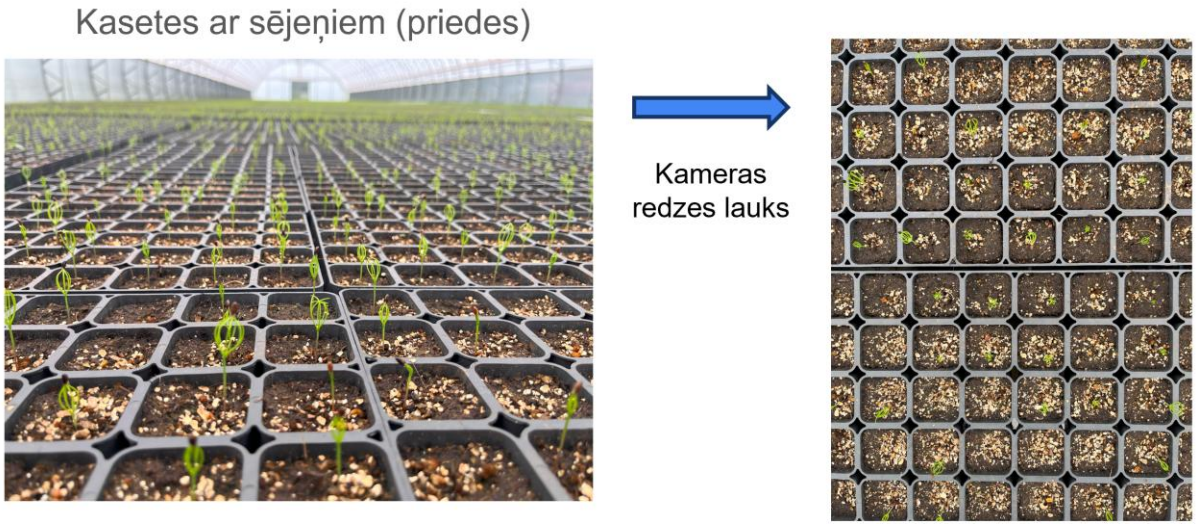
Attēls 6. Bērza sējeņi kasetēs



Attēls 7. Melnalkšņa sējeņi kasetēs

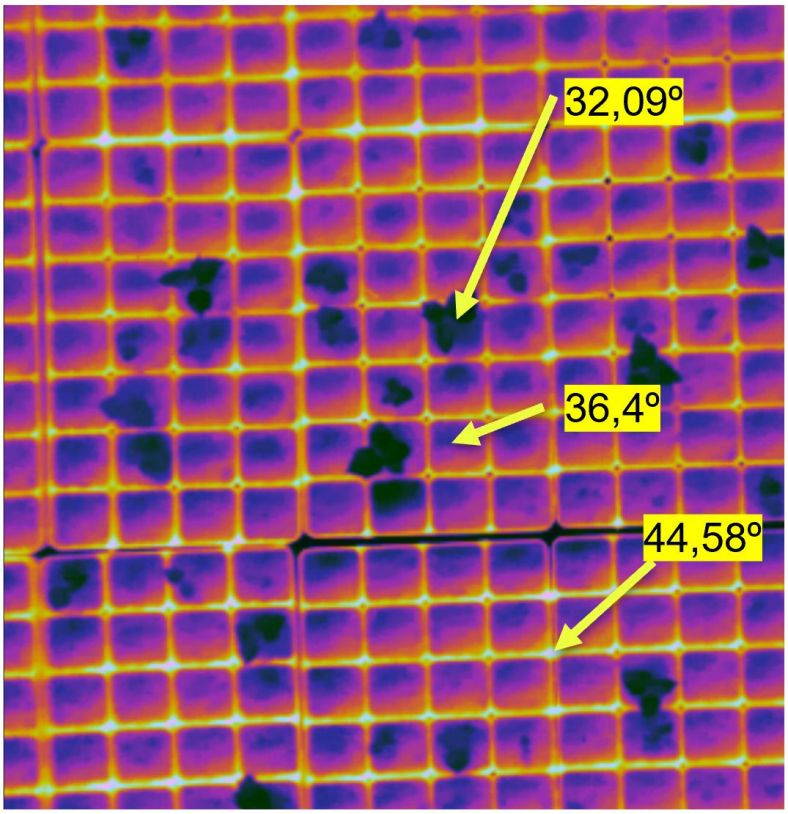
4.2. Sensoru bloks

Jaunās tehnoloģijas izstrādei tika izvēlēti vizuālie sensori siltumnīcas virsmas monitoringam. *Krāsu digitālā kamera* (RGB - *red, green, blue*), ar kuras palīdzību ir iespējams uzņemt virsmas attēlus, un izmantojot DM modeļus, atpazīt koku sējeņus, tukšas kasēšu šūnas un nezāles (sk. att.**Attēls** 8.).



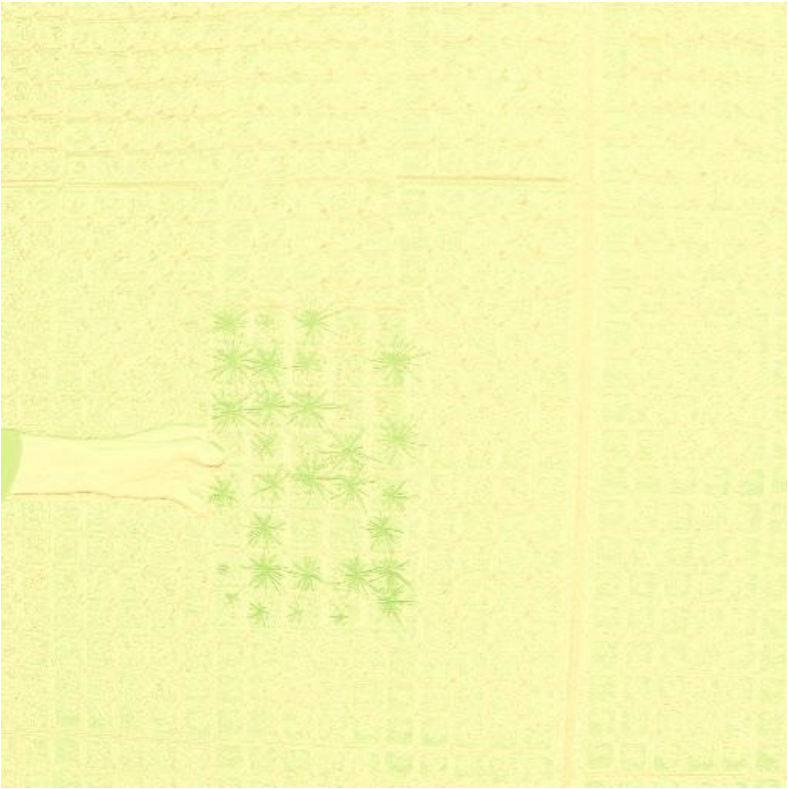
Attēls 8. Priežu sējeņi kasetēs. Pa labi to skats no augšas jeb skats no RGB kameras perspektīvas

Termo kamera. Ļauj noteikt temperatūru katram pikselim atsevišķi, mērot temperatūru kasešu virsmai no augšas (sk. att. 9.). Ar tās palīdzību iespējams noteikt laistīšanas režīma efektivitāti vizuāli un kvantitatīvi, novērot kasešu substrāta virsmas žūšanas procesus, noteikt sējeņu virsmas un substrāta relatīvo mitrumu.



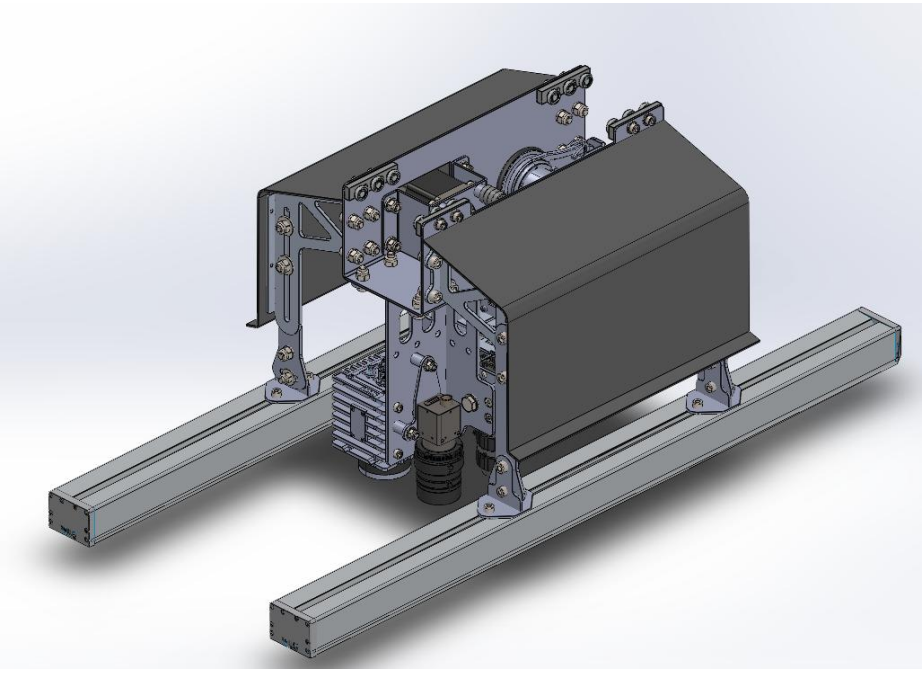
Attēls 9. Ar termo kameras uzņemtais attēls, kur katram pikselim iespējams noteikt tā temperatūru

Daudzspektrālā kamera. Pamatā tā tiek izmantota NDVI indeksa aprēķiniem sējeņu kasešu virmai (sk. att.**Attēls** 10.) . Ar tās palīdzību laicīgi iespējams noteikt koku sējeņu bojāeju, nezāļu blīvuma līmeni un nezāļu izplatības dinamiku, kā arī noteikt sējeņu dažādas anomālijas.

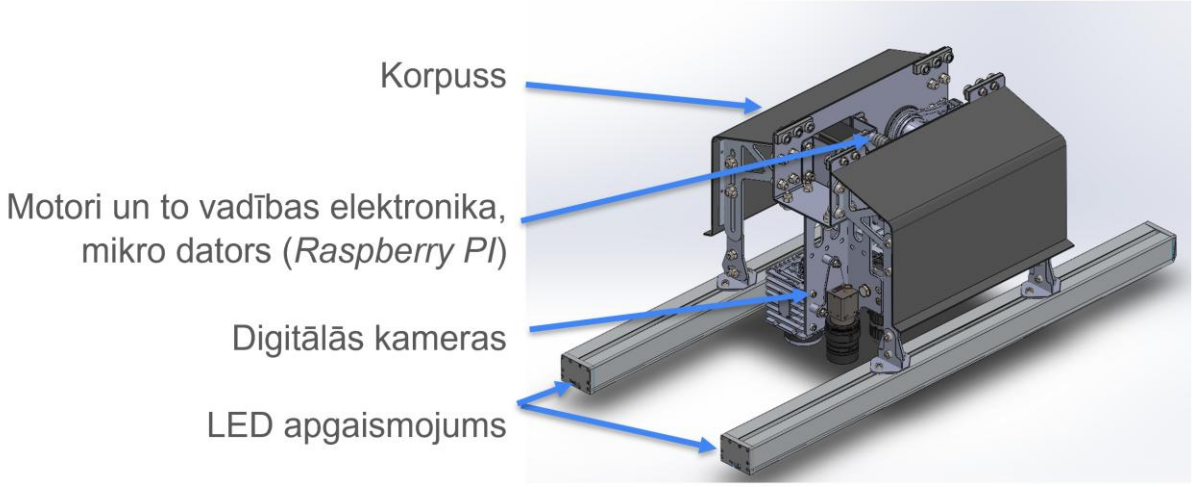


Attēls 10. Ar daudzspektrālo kameru uzņemtā attēla piemērs

Sensoru bloks sevī iekļauj visas iepriekšminētās kameras (sensorus), aizsargā tos, kā arī nodrošina sevis pārvietošanu pa gaisa sliedēm, kuras ir integrētas ar siltumnīcas laistīšanas iekārtu. Sensoru bloka 3D projektējuma modeļa attēli ir doti zemāk (sk. att. **Attēls** 11. un **Attēls** 12.).

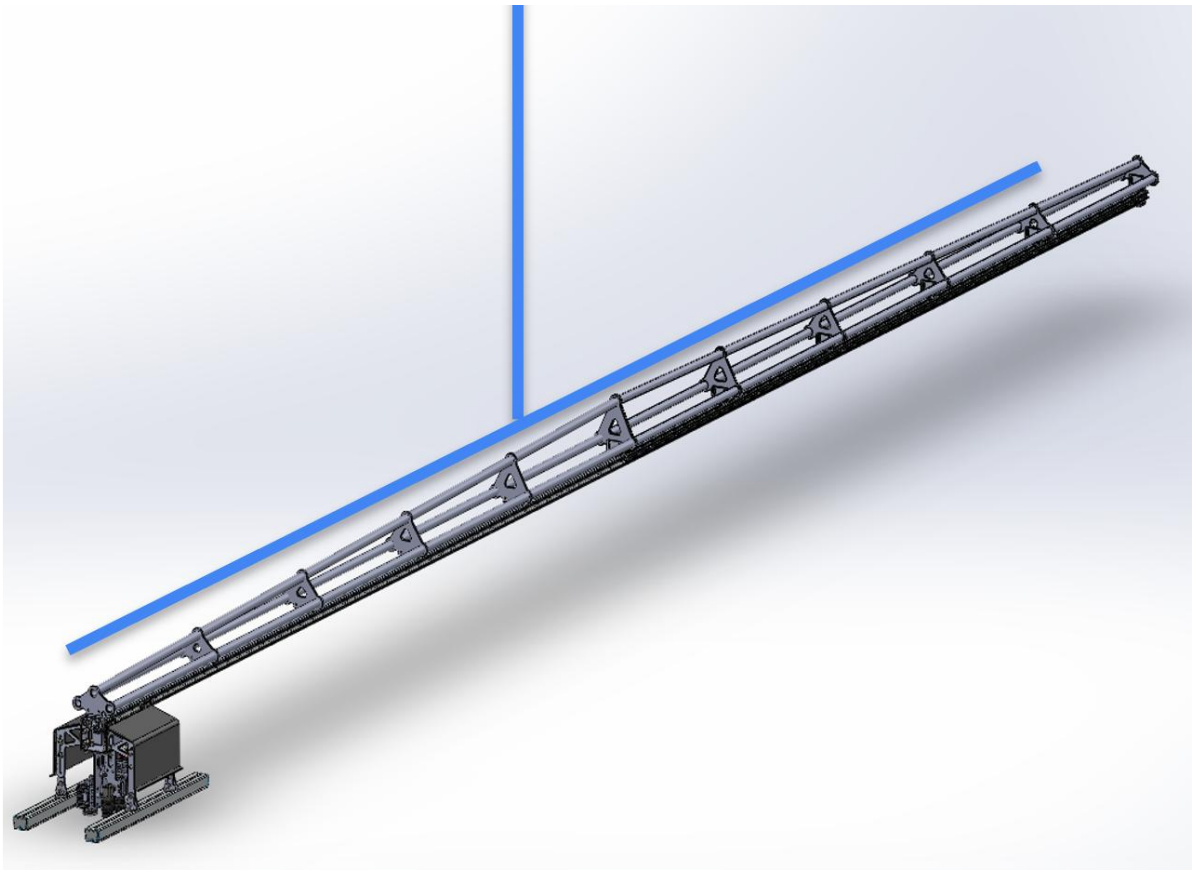


Attēls 11. Sensoru bloka 3D modelis



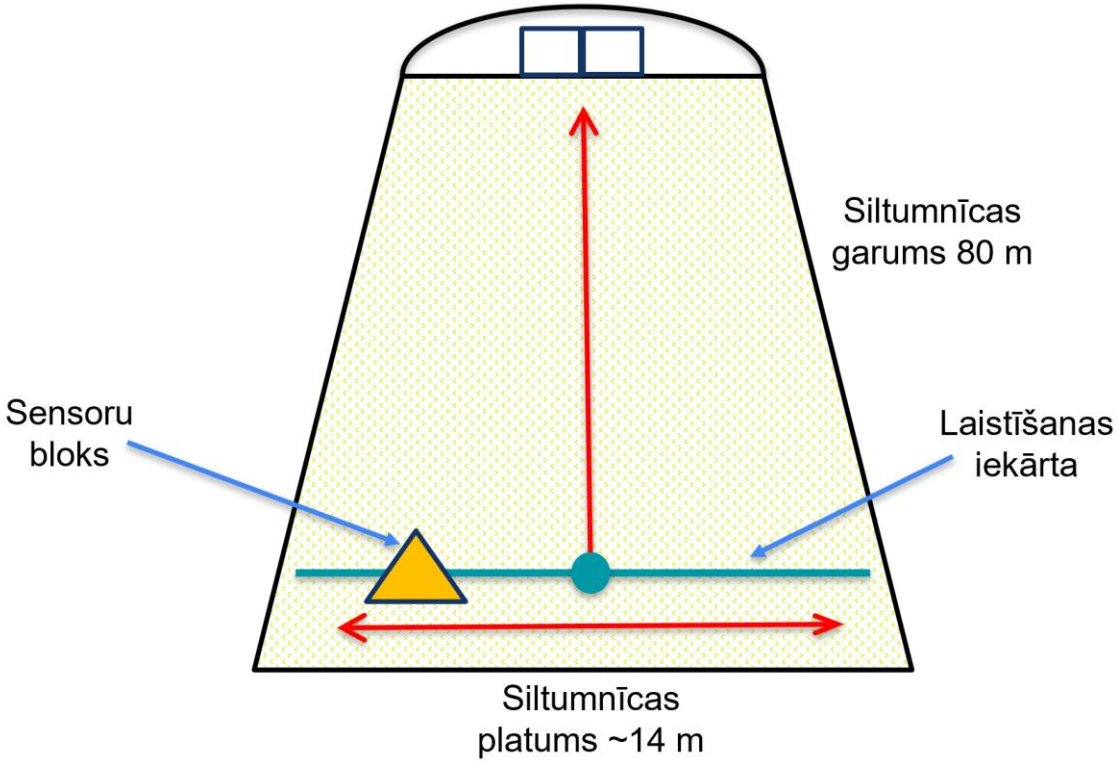
Attēls 12. Sensoru bloka 3D modelis ar tā komponentēm

Sensoru bloks tiek integrēts ar siltumnīcas laistīšanas iekārtu, kurai papildus tiek piestiprinātas sensoru bloka gaisa sliedes (sk. att.**Attēls** 13.).



Attēls 13. Sensora bloka gaisa sliežu 3D modelis

Monitoringa sistēma skenē siltumnīcas sējeņu un kasešu virsmu pēc CNC mašīnas darbības principa. Sensoru bloks pārvietojas gar laistīšanas iekārtas galveno stieni no kreisās puses uz labo, tas laistīšanas iekārta pārvietojas uz priekšu un sensoru bloks pārvietojas atpakaļvirzienā (sk. att. **Attēls** 14.)



Attēls 14. Koku sējeņu virsmas skenēšanas princips siltumnīcā

Sensora bloka pirmie izmēģinājumi notika RTU laboratorijā (sk. att.**Attēls** 15.), kur arī tika izaudzētas ap 2000 priežu sējeņi. Izmēģinājumi ļāva turpināt izstrādāt nepieciešamo sensoru bloka vadības programmatūru (sensoru konfigurēšana, sensoru vadība, sensoru datu lasīšana un apstrāde, sensoru bloka motoru vadība u.c.) ārpus koku sējeņu audzēšanas sezonas. Šie izmēģinājumi palīdzēja korekti pārbaudīt RGB kameras optisko sistēmu kopumā un integrēt to ar papildu LED gaismu apgaismojumu. Visbeidzot, sensoru bloks tika uzstādīts SIA Rīgas meži kokaudzētavas "Norupe" vienā no siltumnīcām un integrēts gan fiziski, gan vadības līmenī ar siltumnīcas laistīšanas iekārtu (sk. att.**Attēls** 16. un **Attēls** 17.).

Attēls 15. Sensoru bloka izmēģinājumi RTU laboratorijā

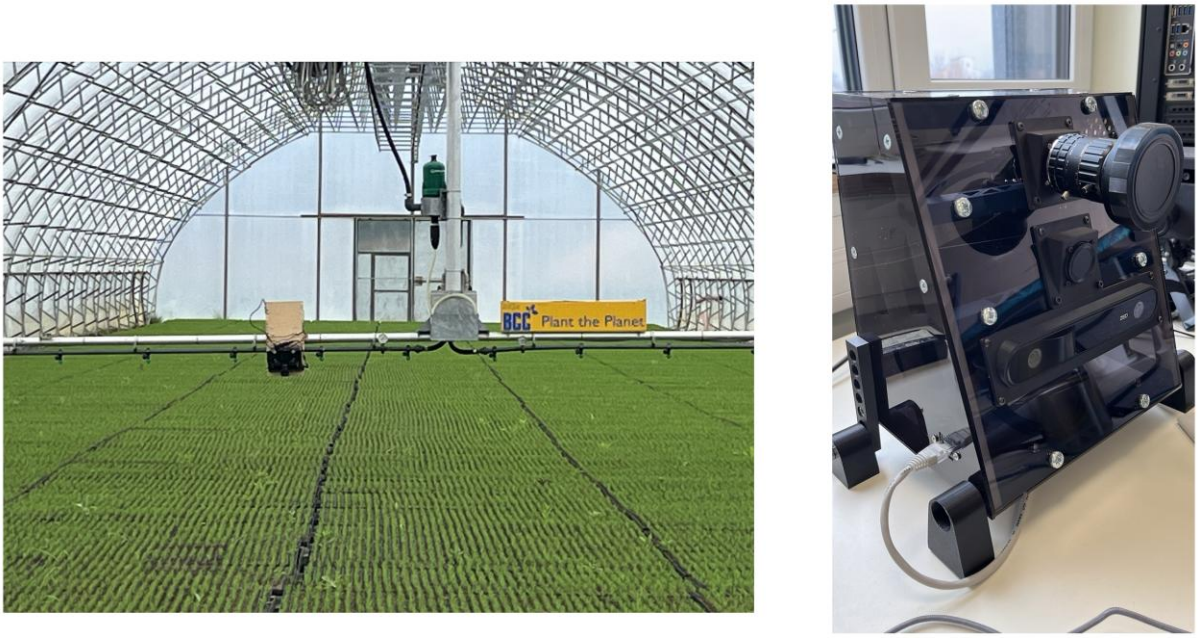
Attēls 16. Sensoru bloks ar gaisa sliedēm integrēts siltumnīcas infrastruktūrā

Attēls 17. Sensoru bloks pietuvinājumā

4.3. Sējeņu vizuālo datu ieguve

Projektā sējeņu vizuālo datu ieguve sākusies jau pirms projekta pieteikums tika iesniegts. Tas notika 2023.g. sākumā, kad sensoru bloks vēl nebija pieejams. Tā vietā tika izmantota cita RTU aparatūra, kas bija pieejama (sk. att.**Attēls** 18. un **Attēls** 19.).

Attēls 18. RGB kamera ar *NVIDIA Jetson* iegulto datoru SIA Rīgas meži siltumnīcā (2023.g.)



Attēls 19. Sējeņu vizuālo datu ieguve SIA Rīgas meži siltumnīcā (2023.g.)

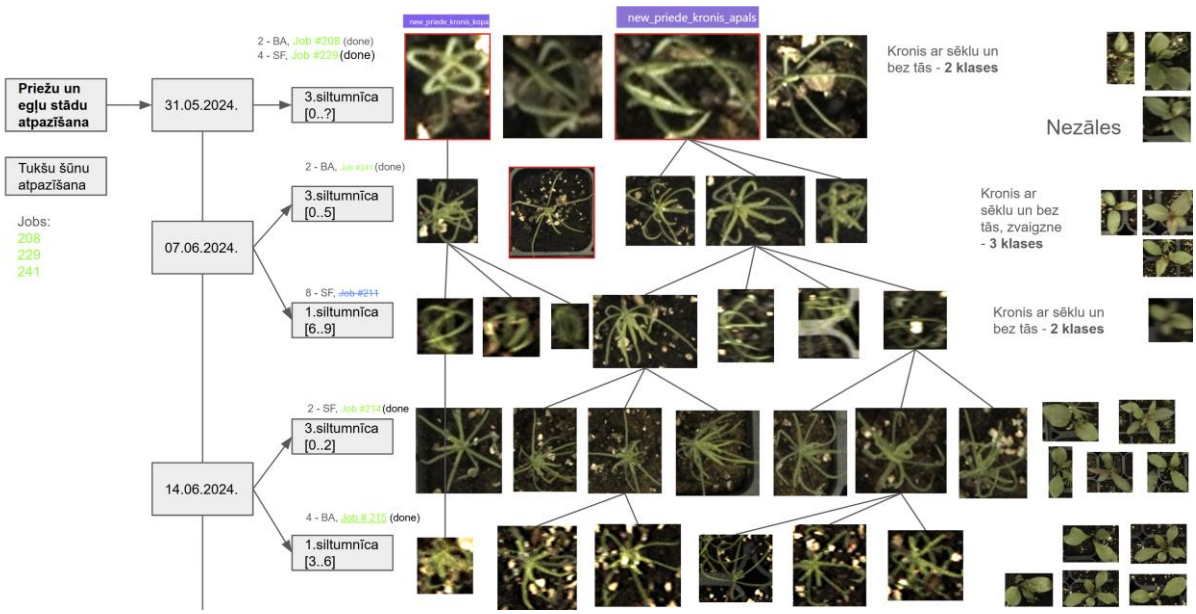
Attīstot sensoru bloku un RGB kameras vadības programmatūru, vizuālo datu ieguve intensīvi turpinājās arī 2024.g. (sk. att. **Attēls** 20.).

Kopumā projekta īstenošanas laikā tika iegūti vizuālie dati:

- par 2023.g. veikti vairāk kā 50 datu ieraksti (egle, priede, melnalksnis) - 5 izbraukumi;
- par 2024.g. veikti vairāk kā 150 datu ieraksti (priede, bērzs, egle) – 12 izbraukumi.

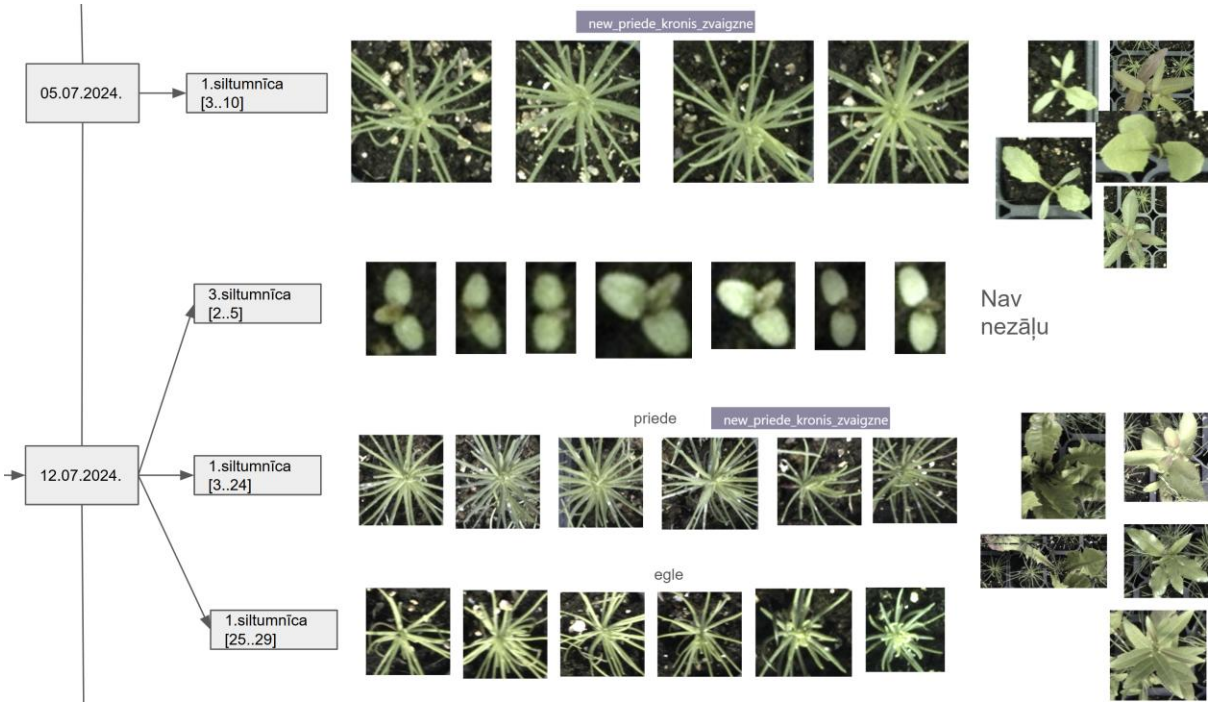
Attēls 20. Sējeņu vizuālo datu ieguve SIA Rīgas meži siltumnīcā (2024.g.) ar RTU pētniekiem

Vizuālo datu analīze parādīja, ka koku sējeņi attīstoties maina savu morfoloģiju un fizioloģiju. Attēlos zemāk ir parādīti sējeņu morfoloģijas izmaiņas atbilstoši to vecumam (sk. att. **Attēls** 21., **Attēls** 22., **Attēls** 23., **Attēls** 25. un Attēls 26.).

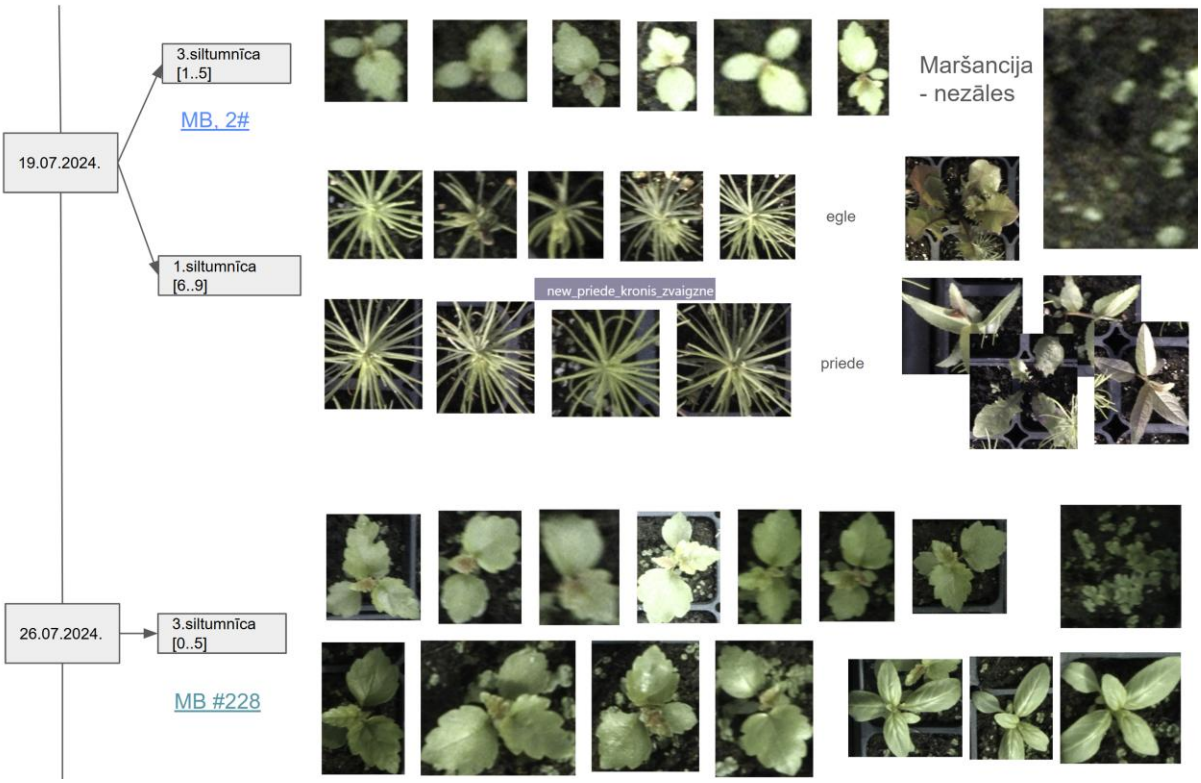


Attēls 21. Vizuālo datu ierakstu žurnāls par 2024.g. (koku sējeņu morfoloģija)

Attēls 22. Vizuālo datu ierakstu žurnāls par 2024.g. (koku sējeņu morfoloģija)



Attēls 23. Vizuālo datu ierakstu žurnāls par 2024.g. (koku sējeņu morfoloģija)



Attēls 24. Vizuālo datu ierakstu žurnāls par 2024.g. (koku sējeņu morfoloģija)

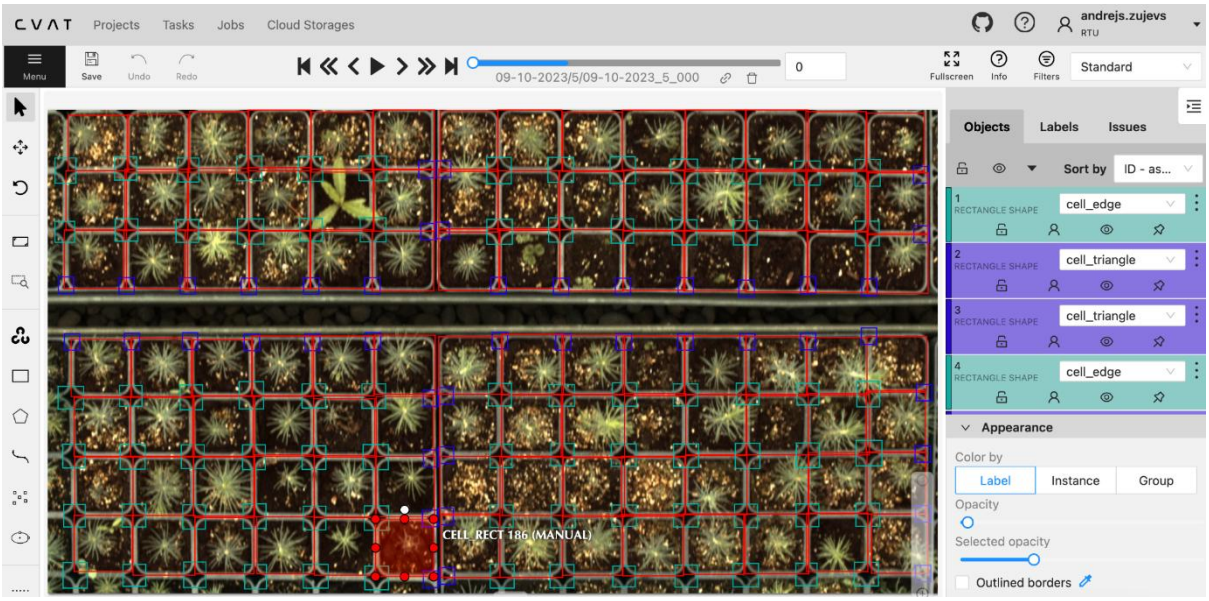
Attēls 25. Vizuālo datu ierakstu žurnāls par 2024.g. (koku sējeņu morfoloģija)

Attēls 26. Vizuālo datu ierakstu žurnāls par 2024.g. (koku sējeņu morfoloģija)

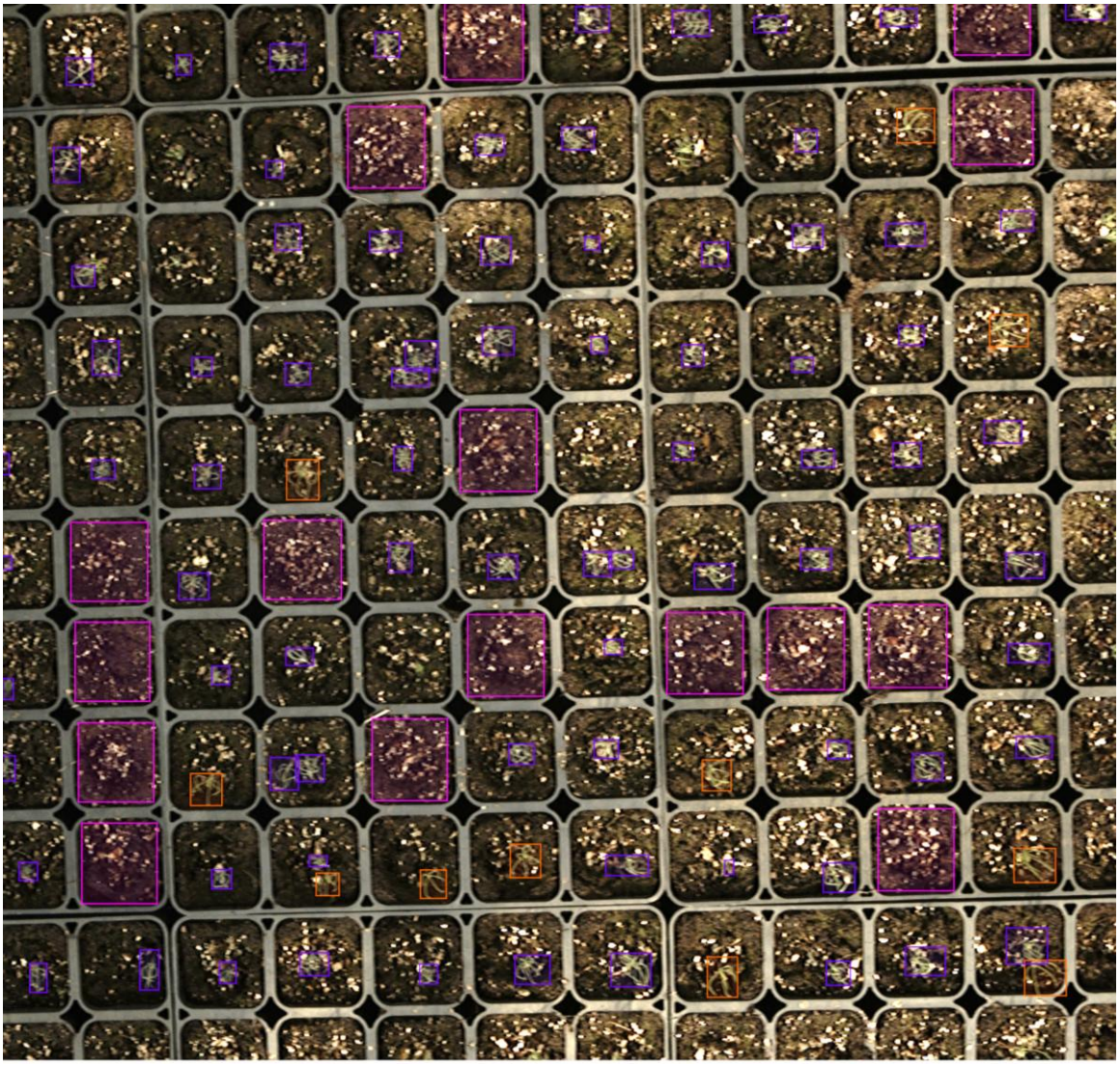
Kopumā projekta ietvaros tika iegūti vairāk nekā 100 tūkst. JPG attēlu, kas satur koku sējeņus, ar kopējo apjomu vairāk nekā 600 GB.

4.4. Vizuālo datu anotēšana un datu kopas izveide

Koku sējeņu vizuālie dati (attēli) vispirms tiek anotēti manuāli, kur lietotājs attēlā atrod koka sējeņu, tukšu kasetes šūnu vai nezāli un apvelk to ar robežlodziņšu, piešķirot tam klasi. Piemēram, "priede", "egle", "bērzs", "tukša šūna" vai "nezāle" (sk. att. **Attēls** 27., **Attēls** 28., **Attēls** 29., **Attēls** 30., **Attēls** 31., **Attēls** 32., **Attēls** 33., **Attēls** 34. un **Attēls** 35.). Vizuālo datu anotēšanai tika izmantots CVAT tiešsaistes rīks.



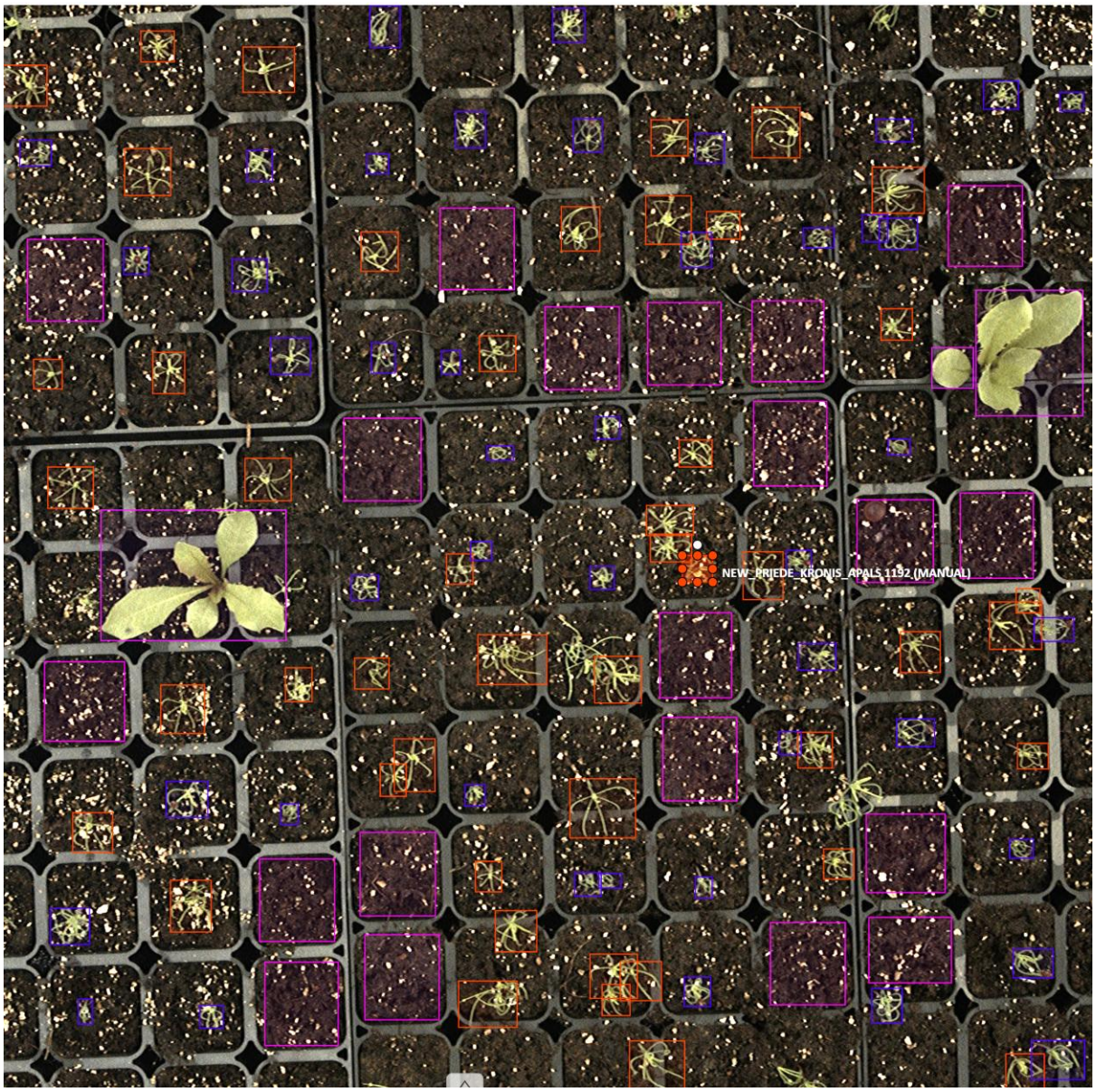
Attēls 27. Kasešu raksturiezīmju anotēšanas process



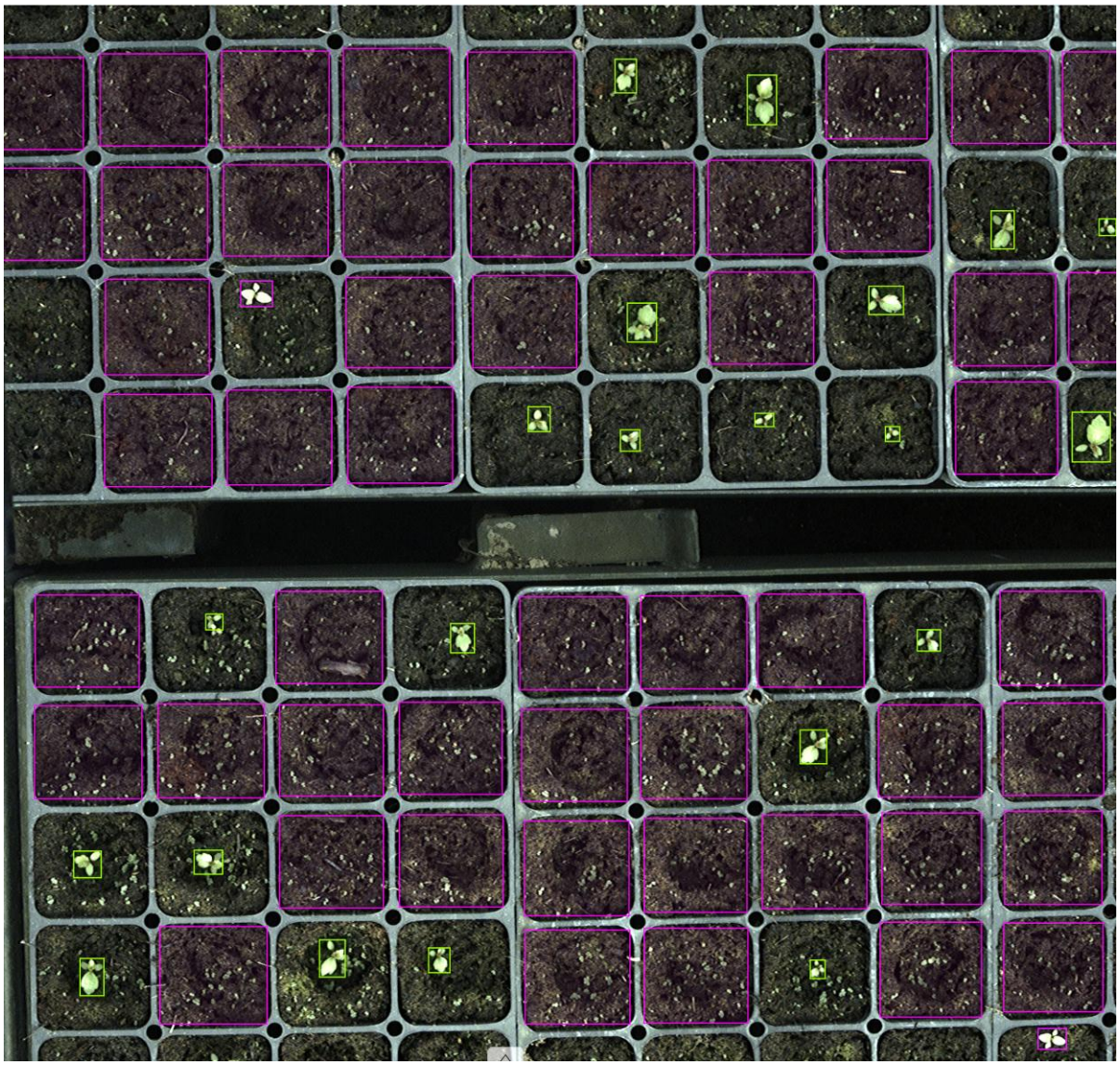
Attēls 28. Priedes sējeņu anotēšanas process

Attēls 29. Priedes sējeņu un nezāļu anotēšanas process

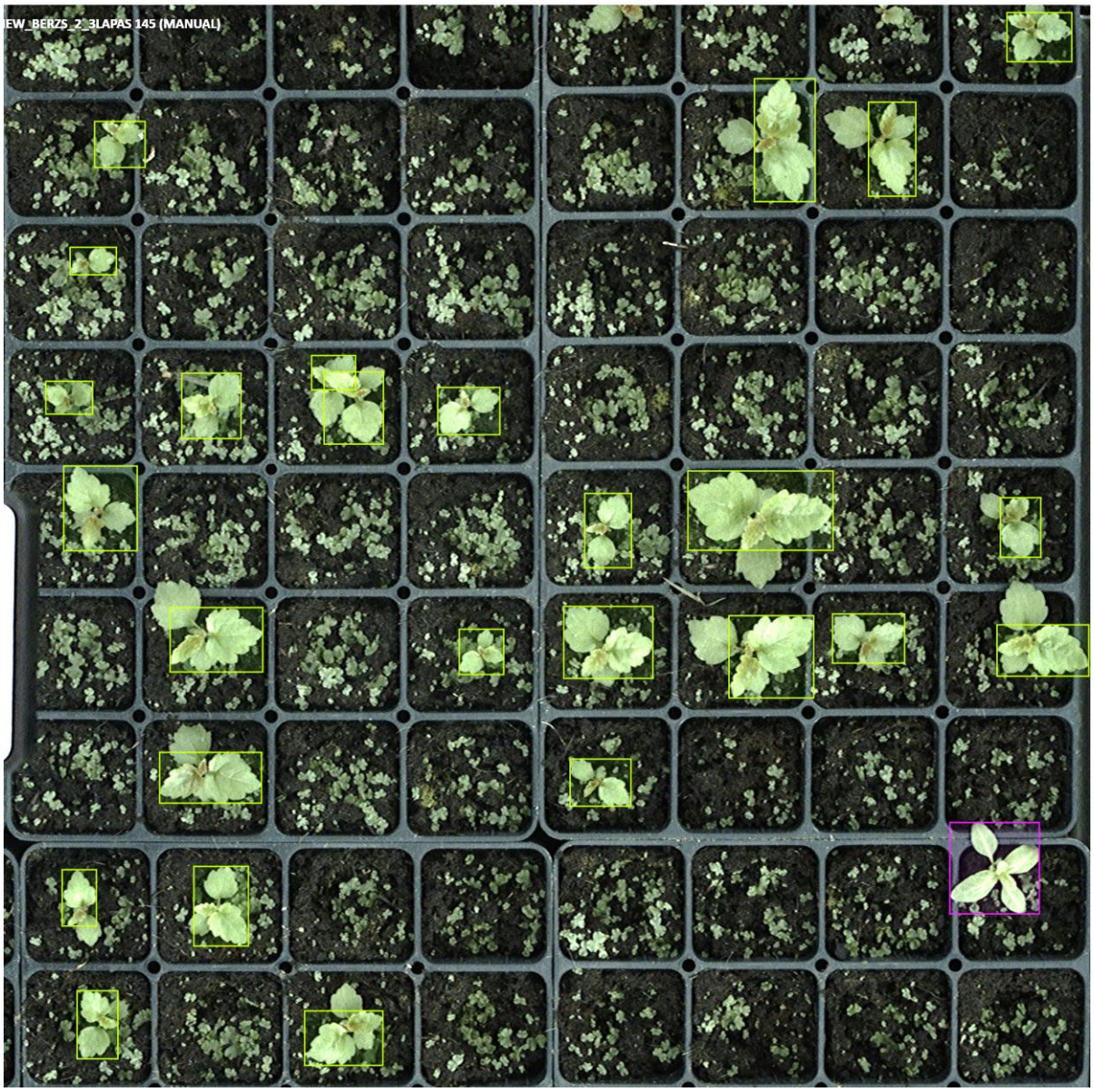
Attēls 30. Priedes sējeņu un nezāļu anotēšanas process



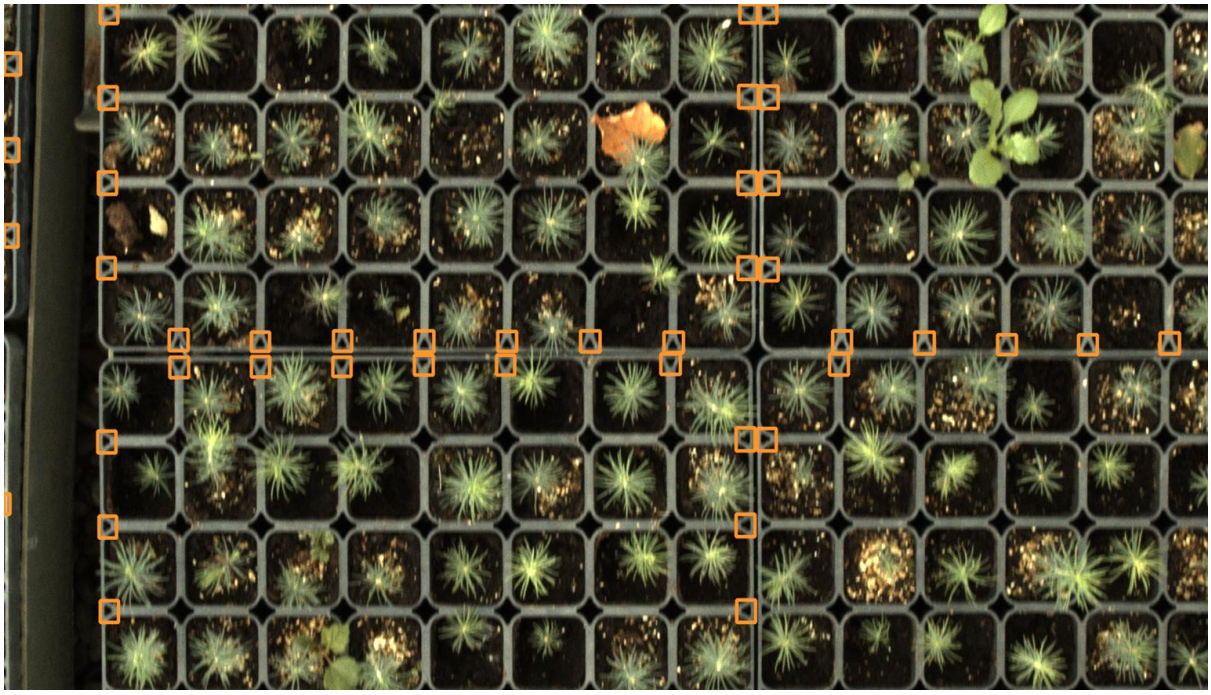
Attēls 31. Priedes sējeņu un nezāļu anotēšanas process



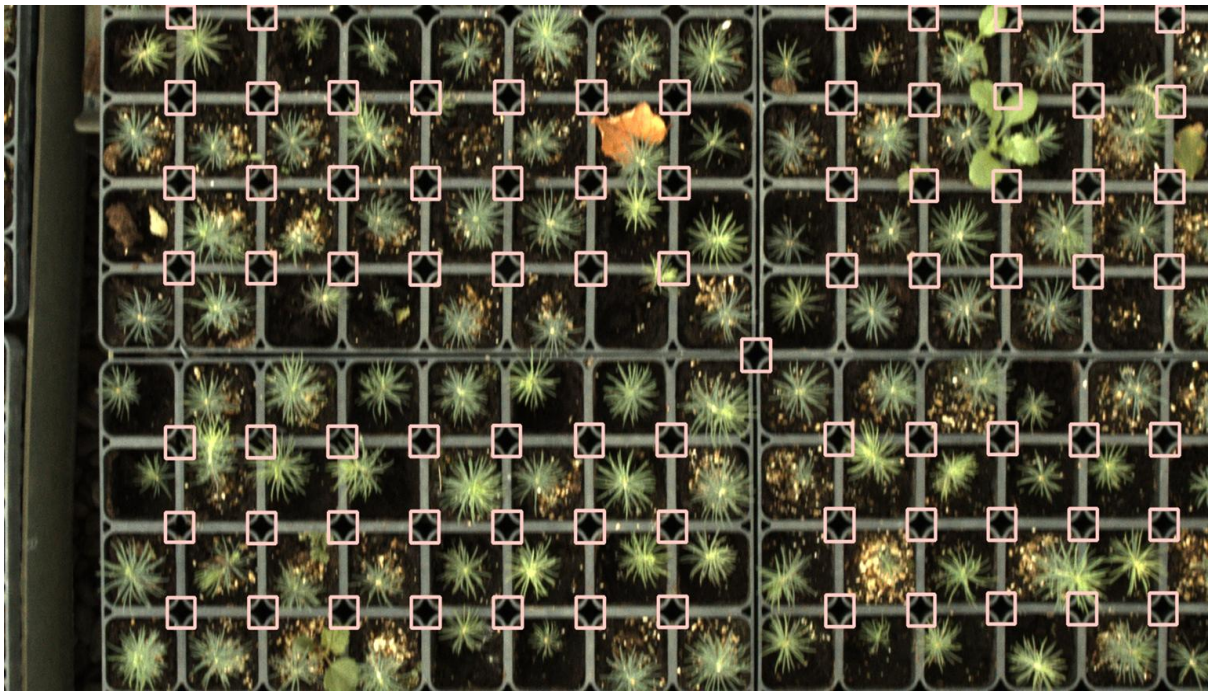
Attēls 32. Bērza sējeņu anotēšanas process



Attēls 33. Bērza sējeņu un nezāļu anotēšanas process



Attēls 34. Kasešu raksturiezīmju anotēšanas process (automātiski)



Attēls 35. Kasešu raksturiezīmju anotēšanas process (automātiski)

Vizuāli anotētie dati tālāk tiek izmantoti DM modeļu apmācības datu kopas izveidei. Projektā tika izmantota YOLO v.5.0 DM bibliotēka, lai apmācītu *YOLO* DM mākslīgo neironu tīklu modeļus, izmantojot RTU HPC skaitļošanas centra infrastruktūru.

Piemēram, priedes sējeņu detektēšanai tika sagatavota datu kopa ar šādu datu sadalījumu:

total_train_freq:

6: new_priede_kronis_kopa = 13726

7: new_priede_kronis_apals = 8070

14: new_tuksa_shuna = 9855

total_val_freq:

6: new_priede_kronis_kopa = 2313

7: new_priede_kronis_apals = 1378

14: new_tuksa_shuna = 1665

volume:

img_size: 1024 x 1024 px

test_size: 0

train_size: 1420

val_size: 245"

Savukārt, tukšu kasešu šūnu atpazīšanai šāda datu kopa:

total_train_freq:

5: nezale = 1222

total_val_freq:

5: nezale = 217

volume:

img_size: 1024 x 1024 px

test_size: 0

train_size: 3983

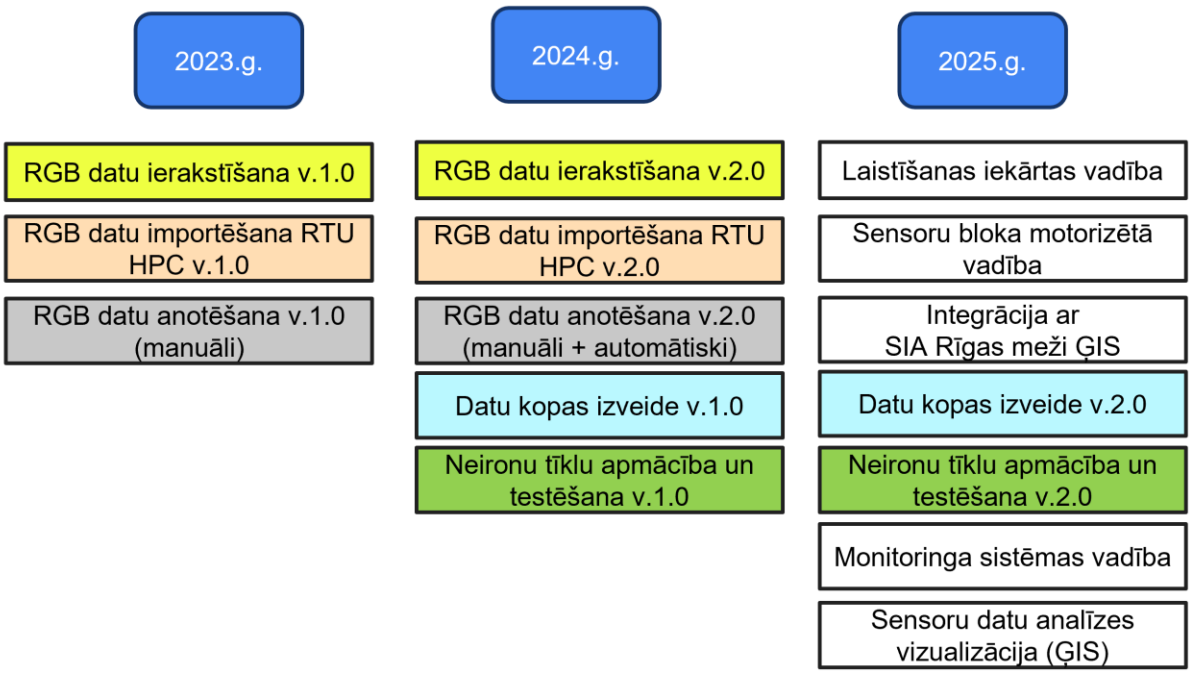
val_size: 733"

4.5. Risinājuma programmatūras attīstība

Projekta īstenošanas laikā programmatūras attīstība turpinājās, sākot ar 2023.g. Atsevišķiem programmatūras blokiem kods tika būtiski mainīts/uzlabots projekta īstenošanas gaitā, kur lielākie programmatūras izstrādes darbi notika tieši 2025.g (sk. att. **Attēls** 36.). Zemāk ir dots programmatūras bloku īss apraksts:

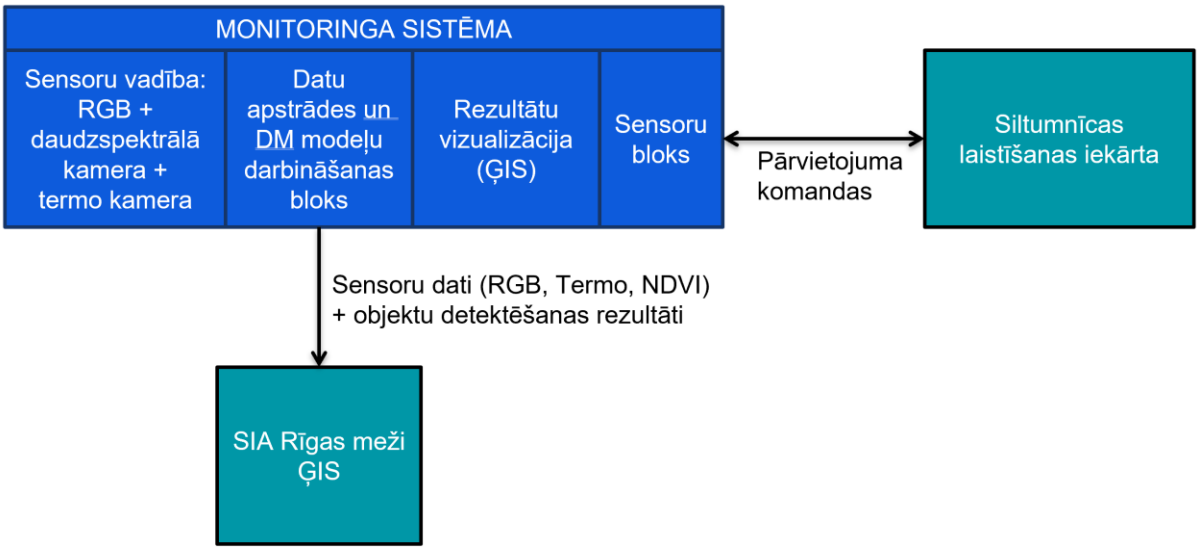
1) **RGB datu ierakstīšana** – programmatūras kopums, kas balstās uz ROS v.1.0 bibliotēkām. Tas ļauj konfigurēt, vadīt RGB kameru, kā arī ierakstīt kameras datus, gan video, gan atsevišķu attēlu datņu formātā, iepakojot tos *rosbag* datnē;
2) **RGB datu importēšana RTU HPC** – programmatūras kopums, kas importē RGB kameras ierakstu datu RTU HPC datu glabāšanas infrastruktūrā, ļauj veikt ierakstu datņu (*rosbag*) atpakošanu un datu izvietošanu to lietošanai CVAT rīka ietvaros;
3) **RGB datu anotēšana** – CVAT tiešsaistes rīks, kas konfigurēts atbilstoši projekta vajadzībām, kā arī integrēts ar DM modeļu darbināšanas programmatūru;
4) **datu kopas izveide** – programmatūras kopums, kas ļauj izmantot CVAT rīka attēlu anotāciju rezultātus un konvertēt tos *YOLO* v.5.0 datu formātā DM modeļu apmācībai;
5) **neironu tīklu apmācība un testēšana** – programmatūras kopums, kas ļauj apmācīt *YOLO* v.5.0 DM bibliotēkas modeļus, izmantojot RTU HPC infrastruktūru, kā arī veikt DM modeļu testēšanu un to rezultātu atspoguļošanu CVAT rīka ietvaros;
6) **laistīšanas iekārtas vadība** – programmatūras kopums, kas ļauj datu apmaiņas protokolu līmenī sensoru blokam komunicēt ar siltumnīcas laistīšanas iekārtu, vadot to automatizēti visas siltumnīcas garuma ietvaros;
7) **sensoru bloka motorizētā vadība** – programmatūras kopums, kas nodrošina zemā līmeņa sensoru bloka motoru vadību, nodrošinot tā pārvietošanu ar augstu precizitāti (kļūda ±1,0 mm) gar siltumnīcas laistīšanas iekārtas galveno stieni;
8) **integrācija ar SIA Rīgas meži ĢIS** – programmatūras kopums, kas nodrošina monitoringa sistēmas datu analīzes rezultātu importēšanu SIA Rīgas meži ĢIS sistēmā, izmantojot tīmekļa pakalpojumu interfeisus (*web services*);
9) **monitoringa sistēmas vadība** – programmatūras kopums (ROS1 sakņots), kas tiek darbināts ārpus sensora bloka, tā uzdevums vadīt sensoru bloku, konfigurēt un vadīt tā sensorus, pārvietot sensoru bloku, nodrošinot visas siltumnīcas virsmas skenēšanu, apstrādāt un analizēt sensoru datus, darbināt DM modeļus un eksportēt datu analīzes rezultātus uz lokālo ĢIS sistēmu, kā arī apstrādāt monitoringa sistēma dažādas kļūdas;

10) **sensoru datu analīzes vizualizācija** (ĢIS) – tīmekļa programmatūras kopums, kas ļauj sekot monitoringa sistēmas darba progresam reālajā laikā un aplūkot vēsturiskos datus par iepriekšējām siltumnīcas skenēšanas reizēm. Programmatūra ļauj vizualizēt sensoru (RGB, termo un daudzspektrālās kameras) datus sistēmas lietotājam ērtā veidā, atsevišķi piedāvājot: a) aplūkot RGB attēlus ar detektētiem koku sējeņiem, tukšām kasešu šūnām un nezālēm; b) aplūkot termo kameras datu vizualizāciju; c) aplūkot daudzspektrālās kameras datu vizualizāciju. Papildus tam, visu sensoru datu analīzes rezultāti tiek atspoguļoti objektu veidā uz siltumnīcas kartes (ĢIS slānis).



Attēls 36. Monitoringa sistēmas programmatūras attīstības diagramma

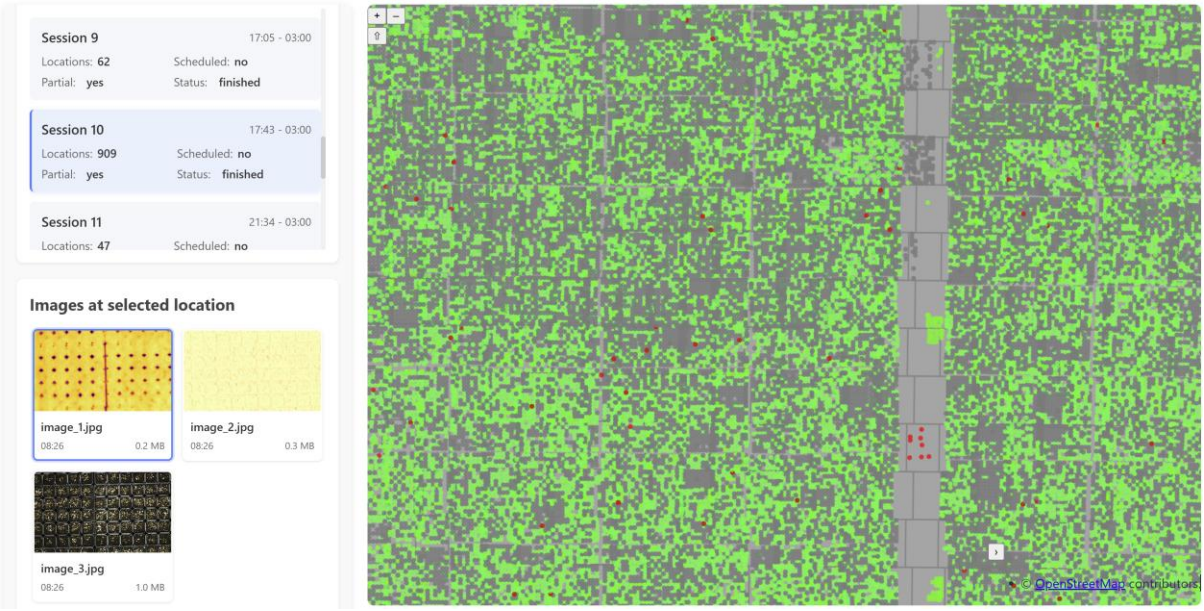
Monitoringa sistēmu var iedalīt četros lielos loģiskos blokos, kur atsevišķi bloki tiek integrēti ar ārējām sistēmām: siltumnīcas laistīšanas iekārtu un SIA Rīgas meži ĢIS (sk. att. **Attēls** 37.).



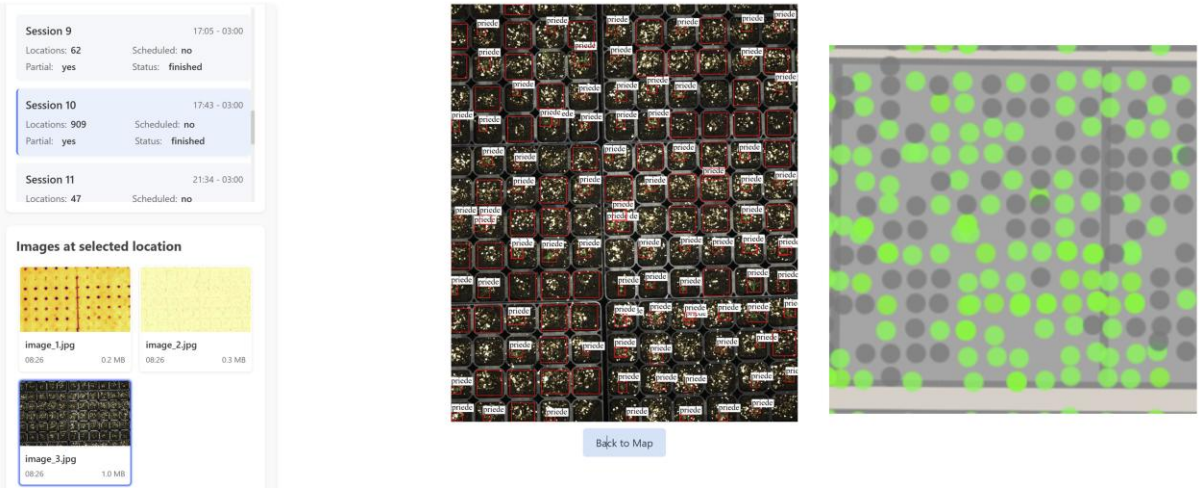
Attēls 37. Monitoringa sistēmas blokshēma

4.6. Risinājuma lietotāja saskarne

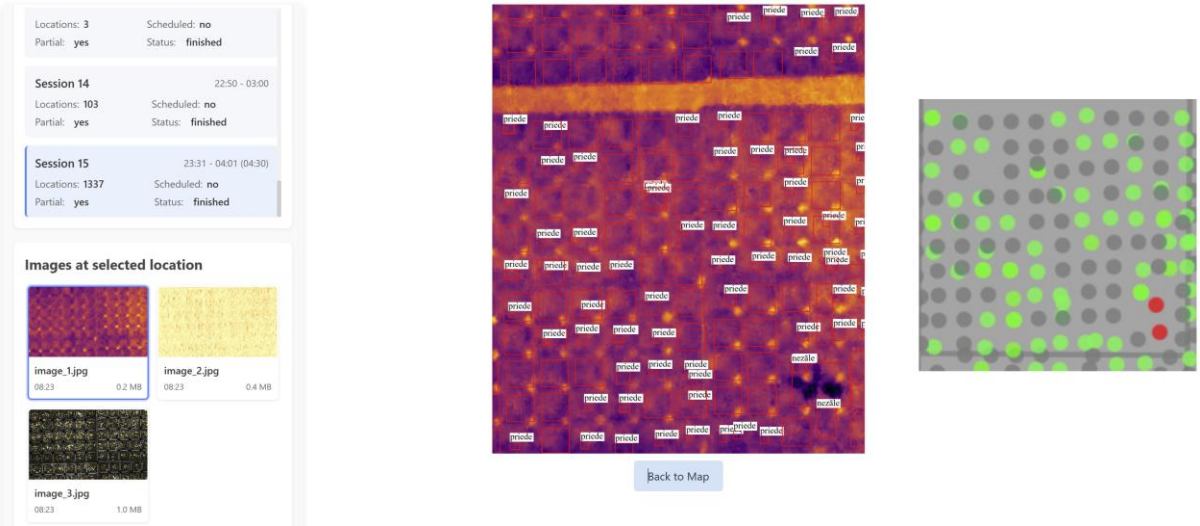
Monitoringa sistēmas saskarnei ir nozīmīga loma sistēmas lietderīgai izmantošanai un tās sensoru datu analīzes rezultātu interpretācijai no lietotāja puses. Lietotāja saskarne vizuāli atspoguļo monitoringa sistēmas darbību reālajā laikā, kur lietotājam ir iespēja sekot sējeņu kasešu virsmas temperatūras un relatīvās temperatūras mērījumu datiem, NDVI indeksa datiem, RGB kameras attēlu analīzes rezultātiem un aplūkot sensoru jēldatus (sk. att. **Attēls** 38.). Attēlā zemāk ir dots monitoringa sistēmas ekrānuzņēmums, kur zaļie punkti atbilst detektētiem koku sējeņiem, tumšipelēki punkti atbilst tukšām kasešu šūnām, un sarkanie punkti – nezālēm. Lietotājam kreisajā apakšējā loga stūrī iespējams izvēlēties attēlu, kas atbilst sensora bloka pozīcijas siltumnīcas sensora datiem: RGB (sk. att. **Attēls** 39.), termo (sk. att. **Attēls** 40.), vai daudzspektrālo kamera.



Attēls 38. Monitoringa sistēmas logs ar RGB kameras attēlu analīzes rezultātiem

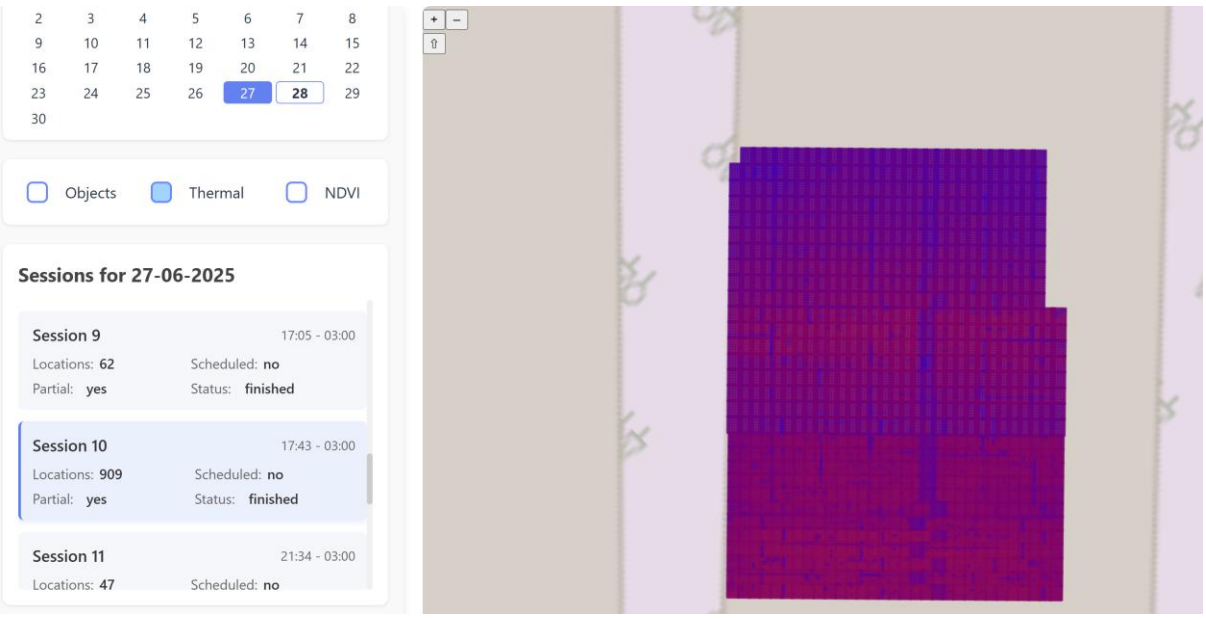


Attēls 39. Monitoringa sistēmas logs ar RGB kameras redzeslauku un tajā detektētiem vizuālajiem objektiem (tukšas šūnas, nezāles un koku sējeņi) vienai no sensoru bloka pozīcijām siltumnīcā

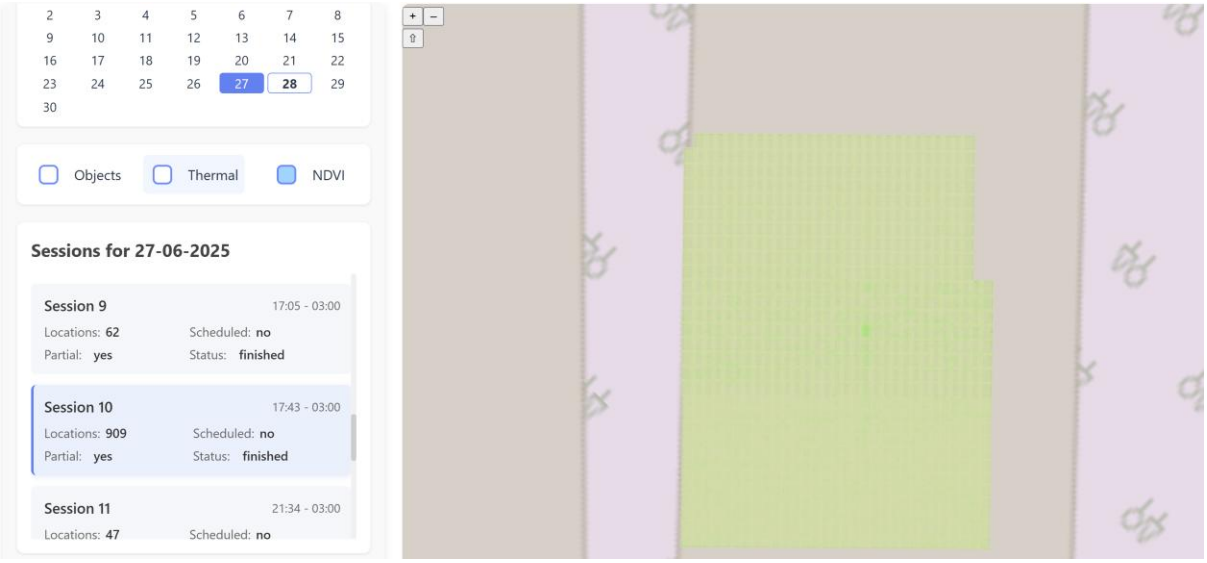


Attēls 40. Monitoringa sistēmas logs ar termo kameras redzeslauku un tajā detektētiem vizuālajiem objektiem (tukšas šūnas, nezāles un koku sējeņi) vienai no sensoru bloka pozīcijām siltumnīcā

Monitoringa sistēma ļauj vizualizēt arī termo kameras mērījumu datus siltumnīcas skenētai platībai. Vizualizācija ļauj iegūt priekštatu par temperatūras un relatīvā mitruma svārstībām (sk. att. **Attēls** 41.). Līdzīgas iespējas tiek piedāvātas arī NDVI indeksa mērījumiem (sk. att. **Attēls** 42.).



Attēls 41. Monitoringa sistēmas logs ar termo kameras datu vizuālo interpretāciju



Attēls 42. Monitoringa sistēmas logs ar daudzspektrālās kameras datu vizuālo interpretāciju

5. Kopsavilkums

Projekta rezultāti veicina precīzās mežsaimniecības (projekta kontekstā - kokaudzēšanas) pētījumu un ražošanas virziena tālāko attīstību, kur lēmumu pieņemšana balstās uz precīziem datiem/faktiem. Reālo datu pieejamība ļaus efektīvāk pārvaldīt pieejamus resursus, t. sk. finanšu. No precīziem datiem varēs iegūt informāciju, kura nav saskatāma uzreiz vai tās iegūšana ir ārkārtīgi dārga.

Jaunā monitoringa sistēma nodrošina šādas iespējas:

a) siltumnīcas koku sējeņu un to augšanas procesu detalizētu monitoringu:
   i) koku sējeņu dīgšana un augšana;
   ii) nezāļu izplatība;
   iii) veģetācijas līmeņa novērtējums, t. sk. par nezālēm;
   iv) dubultsējeņu eksistences noteikšana;
b) siltumnīcas substrāta un sējeņu virsmas temperatūras un relatīvā mitruma mērījumi:
   i) substrāta un koku sējeņu virsmu temperatūras, kā arī relatīvā mitruma svārstību noteikšana;
   ii) laistīšanas režīma un siltumnīcas klimata kontroles ietekme uz siltumnīcas virsmas temperatūras un relatīvā mitruma svārstībām;
c) dažādu anomāliju noteikšana:
   i) tukšas šūnas;
   ii) sēklu dīgstība;
   iii) nezāļu izplatība;

iv) veģetācijas novirzes;
v) sējeņu morfoloģijas nevienlīdzīgums;

d) attālināta procesu uzraudzība, izmantojot ĢIS:
i) koku sējeņu augšanas procesu uzraudzība un pārvaldība, t. sk. kokaudzēšanas uzdevumu plānošana;
ii) sēklu dīgstības kontrole;
iii) virsmu relatīvā mitruma un temperatūras kontrole;
iv) nezāļu izplatības kontrole;
v) veģetācijas līmeņa (NDVI) kontrole;
vi) vizuālā kontrole (izvēlētai sensoru bloka lokācijai vietai siltumnīcā).

Monitoringa sistēmas attīstības iespējas nākotnē:

1) koku sējeņu morfoloģijas un fizioloģijas analīze;
2) produkcijas apjomu precizēta prognozēšana;
3) nezāļu un dubultsējeņu ravēšanas robotizācija;
4) siltumnīcas laistīšanas režīmu optimizācija;
5) siltumnīcas klimata kontroles režīmu optimizācija;
6) koku sējeņa dzīves cikla novērošana līdz tā stādīšanai mežā;
7) darbspēka noslodzes plānošana, balstoties uz precīziem datiem;
8) sēklu materiāla dīgstības pētījumi.

6. Pieeja programmatūrai, projektējumiem, datu kopām un DM modeļiem

Interesentiem viena mēneša laikā tiks sagatavota pieeja projekta ietvaros radītai programmatūrai, aparatūras un elektronikas projektējumiem, datu kopām un DM modeļiem, rakstiski iesniedzot pieprasījumu un nosūtot to uz e-pasta adresi: andrejs.zujevs@rtu.lv adresēto RTU vadošajam pētniekam Dr. sc. ing. Andrejam Zujevam.