



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

projekts

**“JAUNAUDŽU KOPŠANAS DARBU KONTROLES AUTOMATIZĒTA BEZPILOTA
GAISA KUĢU SISTĒMA”**

LAD projekta numurs 23-00-A01612-000005

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 Valsts mežzinātnes institūts

“Silava”, SIA “Rīgas meži”, Mežsaimniecības pakalpojumu kooperatīvā sabiedrība

“Mežsaimnieks”, SIA “Sodra Latvia”, SIA “Mana mežs”

Projekta īstenošanas periods: 01.07.2023. – 30.06.2025.

Kopējās projekta izmaksa: 444 490.00 EUR



SATURA RĀDĪTĀJS

1.	Ievads	6
2.	Projekta mērķis	8
3.	Izmantotie termini	8
4.	Darbības un projekta kopsavilkums	10
4.1.	Jaunaudžu nogabalu apkopošana	10
4.2.	Bezpilota gaisa kuģi	16
4.3.	Integrācija ar LVM GEO lietojumu	17
4.4.	Jaunaudžu kartēšana	17
4.5.	Risinājuma programmatūras arhitektūra	23
4.6.	Vizuālo datu anotēšana	26
4.7.	Datu kopu izveide un modeļu apmācība	29
4.8.	Jaunās tehnoloģijas validācijas rezultāti	34
4.9.	Risinājuma lietotāja saskarne	42
5.	Kopsavilkums	44
6.	Pieeja programmatūrai, datu kopām un DM modeļiem	45

ATTĒLU SARAKSTS

Attēls 1. Meža nogabali un to lokāciju vietas Latvijā. <i>GoogleEarth</i> lietojums.	10
Attēls 2. Jaunaudžu nogabalu robežu vizualizācija ar <i>GoogleEarth</i> lietotni.....	11
Attēls 3. BGK uzņemtais attēls egļu jaunaudzei kadastra Nr. 78520060090, kvartāls 4., nogabalu Nr. 4, 5, 6, un 7.....	12
Attēls 4. BGK uzņemtais attēls egļu jaunaudzei kadastra Nr. 44980020033, kvartāls 1., nogabals Nr. 1	12
Attēls 5. BGK uzņemtais attēls papeļu jaunaudzei kadastra Nr. 78600030014, kvartāls 1., nogabals Nr. 1	12
Attēls 6. BGK uzņemtais attēls priežu jaunaudzei kadastra Nr. 80480140049, kvartāls 142., nogabals Nr. 5	13
Attēls 7. BGK uzņemtais attēls egļu jaunaudzei kadastra Nr. 80480140048, kvartāls 235., nogabals Nr. 8	13
Attēls 8. BGK uzņemtais attēls egļu jaunaudzei kadastra Nr. 80480140048, kvartāls 238., nogabals Nr. 24	14
Attēls 9. BGK uzņemtais attēls priežu jaunaudzei kadastra Nr. 74290030022, kvartāls 48., nogabals Nr. 26	14
Attēls 10. BGK uzņemtais attēls bērzu jaunaudzei kadastra Nr. 78520060102, kvartāls 2., nogabals Nr. 13	15
Attēls 11. BGK uzņemtais attēls priežu jaunaudzei kadastra Nr. 80480140049, kvartāls 141., nogabals Nr. 20	15
Attēls 12. Projekta ietvaros izmantotie BGK modeļi	16
Attēls 13. BGK jēldati, izmantojot fotogrammetrijas metodes, tiek apvienoti gala attēlā.....	18
Attēls 14. Neveiksmīgs fotogrammetrijas rezultāts ar DJI <i>Terra Agriculture</i> programmatūru	19
Attēls 15. Neveiksmīgs fotogrammetrijas rezultāts ar DJI <i>Terra Agriculture</i> programmatūru	19
Attēls 16. Neveiksmīgs fotogrammetrijas rezultāts ar DJI <i>Terra Agriculture</i> programmatūru	20
Attēls 17. Neveiksmīgs fotogrammetrijas rezultāts ar DJI <i>Terra Agriculture</i> programmatūru	21
Attēls 18. Funkcionālo prasību grupas un to realizācija tehnoloģijas programmatūras arhitektūras līmenī (arhitektūras blokshēma).....	24

Attēls 19. Egļu anotēšanas piemērs, izmantojot CVAT rīku tiešsaistē	26
Attēls 20. Priežu anotēšanas piemērs, izmantojot CVAT rīku tiešsaistē	26
Attēls 21. Egļu anotēšanas piemērs, izmantojot CVAT rīku tiešsaistē	27
Attēls 22. Egļu automatizētās anotēšanas piemērs, izmantojot CVAT rīku tiešsaistē	27
Attēls 23. Priežu automatizētās anotēšanas piemērs, izmantojot CVAT rīku tiešsaistē	28
Attēls 24. Egļu automatizētās anotēšanas piemērs, izmantojot CVAT rīku tiešsaistē	28
Attēls 25. YOLO v.5.0 tīkla apmācības progresa metriku grafiki egļu un priežu detektēšanai attēlos	29
Attēls 26. Pikseļu klusuma karte, YOLO modelim detektējot priedi attēlā	30
Attēls 27. Pikseļu klusuma karte, YOLO modelim detektējot priedi attēlā	30
Attēls 28. Apmācītā YOLO tīkla testēšanas rezultāti par egļu atpazīšanu attēlos	31
Attēls 29. Apmācītā YOLO tīkla testēšanas rezultāti par egļu atpazīšanu attēlos	31
Attēls 30. Apmācītā YOLO tīkla testēšanas rezultāti par priežu atpazīšanu attēlos	32
Attēls 31. Apmācītā YOLO tīkla testēšanas rezultāti par priežu atpazīšanu attēlos	32
Attēls 32. Apmācītā YOLO tīkla testēšanas rezultāti par priežu atpazīšanu attēlos	33
Attēls 33. Apmācītā YOLO tīkla testēšanas rezultāti par priežu atpazīšanu attēlos	33
Attēls 34. Apmācītā YOLO tīkla testēšanas rezultāti par priežu atpazīšanu attēlos	34
Attēls 35. Priežu jaunaudze ar augstu aizzēlumu. Kreisajā pusē ir veikta agrotehniskā kopšana, bet labajā tā nav veikta. Ar dzelteno rāmīti iekrāsotas priedes, kuras netika detektētas.....	34
Attēls 36. Priežu jaunaudze pēc agrotehniskās kopšanas. Ar dzelteno rāmīti iekrāsotas priedes, kuras netika detektētas	35
Attēls 37. Priežu jaunaudze pēc agrotehniskās kopšanas. Ar dzelteno rāmīti iekrāsotas priedes, kuras netika detektētas	36
Attēls 38. Priežu jaunaudze pēc agrotehniskās kopšanas. Ar dzelteno rāmīti iekrāsotas priedes, kuras netika detektētas	37
Attēls 39. Egļu jaunaudze pēc agrotehniskās kopšanas. Egļu koki pamatā netika detektēti....	37
Attēls 40. Egļu jaunaudze pēc agrotehniskās kopšanas. Egļu koki pamatā netika detektēti (39.att. palielinājums)	38
Attēls 41. Priežu jaunaudze. Koku detektēšanas rezultāti	39
Attēls 42. Priežu jaunaudze. Koku detektēšanas rezultāti	39
Attēls 43. Priežu jaunaudze. Koku detektēšanas rezultāti	39
Attēls 44. Priežu jaunaudze. Koku detektēšanas rezultāti	40
Attēls 45. Egļu morfoloģijas variācijas apmācības datu kopā.....	40

Attēls 46. Priežu morfoloģijas variācijas apmācības datu kopā	41
Attēls 47. Jaunaudzū aizzēluma variācijas apmācības datu kopā.....	41
Attēls 48. BGK jēldati (attēli) tiek ielādēti risinājumā, izmantojot lietotāju saskarni	42
Attēls 49. BGK attēlu apstrāde un vizualizācija jaunaudzes nogabala ietvaros.....	43
Attēls 50. BGK attēla apstrādes rezultāts un aprēķinātais vidējais koku blīvums virtuālajā parauglaukumā.....	43

1. Ievads

Meža stādīšana ir visbiežāk izmantotā meža atjaunošanas metode. Izveidotai jaunaudzei vai meža plantācijai pirmajos divos - trīs gados svarīgi veikt agrotehnisko kopšanu, kā arī laicīgi noteikt iznīkušos kociņus un laicīgi tos aizvietot. Kopšana nodrošina aizzēluma mazināšanu jaunaudzē, kas negatīvi ietekmē jaunaudzes kociņus – aizkavē par vairākiem gadiem augšanu, veicina bojāeju, veido līkus stumbrus, veicina slimības un grauzēju populācijas pieaugumu. Tāpēc agrotehnisko kopšanu ir jāveic un jākontrolē. Nekvalitatīvi izpildīta kopšana ilga laika periodā negatīvi ietekmē jaunas mežaudzes attīstību un koksnes pieaugumu. Latvijā šī kontrole notiek, izmantojot cilvēka darbu. Tā ir tikai daļēji automatizēta un ar katru nākamo gadu cilvēkresursu trūkums arvien stiprāk ietekmēs kontroles kvalitāti. Projekta ietvaros paredzēts izstrādāt jaunaudžu kopšanas darbu kontroles automatizēto bezpilota gaisa kuģu (BGK) tehnoloģiju. Jaunā tehnoloģija ļaus veikt meža jaunaudžu agrotehniskās kopšanas darbu kontroli, izmantojot bezpilota gaisa kuģus un mākslīgā intelekta metodes. BGK (komerciāli pieejams) automatizēti veiks meža nogabala apgaitu, kur uzņemtie ar BGK attēli tiks apstrādāti ar mākslīgā intelekta un datorredzes metodēm. Projekta ideja balstās uz tirgū pieejamām BGK tehnoloģijām, mākslīgā intelekta atvērtā koda tehnoloģijām un skaitļotāju iespējām, kuras integrējot kopā ļauj izveidot mūsdienīgu risinājumu. Piedāvātajai tehnoloģijai ir nozīmīgs potenciāls to izmantošanai arī nākotnē, ņemot vērā darba spēka pieejamības samazināšanos un vienlaicīgi jaunaudžu platību strauju palielināšanos. Meža jaunaudzes iespējams kartēt ar atvērtā koda programmatūru un DJI uzņēmuma programmatūru (atsevišķi nopērkama), t.sk. aprēķināt reljefa svārstības, savukārt, izmantojamo vizuālo sensoru izšķirtspēja ļauj saskatīt smalkas kociņu un jaunaudzes augu detaļas. Mākslīga intelekta atvērtā koda programmatūras bibliotēkas (piem., *PyTorch*, *TensorFlow*, *OpenCV* kopā ar paralēlās skaitļošanas tehnoloģiju *NVIDIA CUDA*), ļauj veidot un tālāk izmantot datorredzes un mašīnmācīšanās datu modeļus, lai attēlos detektētu nepieciešamos objektus un klasificētu tos. Tirgus izpēte parādīja, ka šādas tehnoloģijas nav iespējams iegādāties Eiropas Savienības ietvaros.

Latvijas meži klāj 53% valsts teritorijas, turklāt Latvija ir 4. mežainākā valsts Eiropā. Piemēram, Latvijā meža atjaunošana, sējot vai stādot, 2015.g. notika 13,7 tūkst. ha, 2017.g. – 12,9 tūkst. ha, 2019.g. – 17 tūkst. ha un 2021.g. - 18,22 tūkst. ha. Plantāciju mežu ieaudzēšana 2015.g. notika 2 731 ha, 2017.g. - 2 750 ha, 2019.g. - 3 565 ha, un 2021.g. - 4 481 ha (<https://stat.gov.lv/>). Paralēli, palielinoties jaunaudžu platībām, eksistē cilvēkresursu nepietiekamības problēma. Piemēram, 2015.g. 4.kv. – 37,4 tūkstoši kvalificētu

lauksaimniecības, mežsaimniecības un zivsaimniecības darbinieku, 2017.g. 4.kv. – 30,6 tūkst. darbinieku, 2019.g. 4.kv. - 31,2 tūkst. darbinieku, 2022.g. 2.kv– 29,5 tūkst. darbinieku (<https://stat.gov.lv/>). Procesu digitalizācija un automatizācija ir veids kā veikt mežsaimniecību ar esošiem cilvēkresursiem, kuri tomēr ar laiku turpinās samazināties. BGK pielietošana kopā ar jaunākām IT tehnoloģijām tādām kā paralēlā skaitļošana, mākslīgais intelekts, mašīnmācīšanās un datorredzes ļaus automatizēt sarežģītus un laikietilpīgus mežsaimniecības darbus. Tehnoloģiju pieejamība un to izmaksas turpina samazināties, savukārt kvalificēta darbaspēka izmaksas šodien un nākotnē tikai augs. Jaunā sistēma ļaus automatizēt jaunaudzū agrotehniskās kopšanas kontroli un palielinās precizitāti mežsaimniecības procesiem saistītiem ar jaunaudzū kopšanu un veidošanu pirmos trīs gados.

Potenciālo labuma guvēju loks ir plašs. Projektā izstrādātā sistēma ļaus automatizēt jaunaudzū agrotehniskās kopšanas darbu kontroli, novērtējot kopšanas progresu un kvalitāti, noteikt iznīkušo kociņu skaitu, kā arī to blīvumu. Jaunā tehnoloģija būtiski samazinātu cilvēkfaktoru un ļautu vēl vairāk digitalizēt esošus mežsaimniecības procesus. Valsts un privātie mežsaimnieki efektīvi un laicīgi varētu veikt jaunaudzū kopšanas darbu novērtēšanu, kā arī iegūt analītisko informāciju par jaunaudzū kociņiem. Jaunā sistēma ļautu samazināt nepieciešamo cilvēkresursu, ņemot vērā, ka jaunaudzū platības ar katru gadu turpina pieaugt un cilvēku trūkums sāk iespaidot esošu procesu īstenošanas kvalitāti un ātrumu. Ja jaunā sistēma tiks komercializēta, var tikt veidoti jauni uzņēmumi, kas sniegs automatizētus mežu apsekošanas pakalpojumus, tātad tiks efektīvi izmantoti esošie cilvēkresursi. Netiešu labumu no projekta īstenošanas gūs arī kokapstrādes uzņēmumi, jo, palielinot meža produktivitāti, tiks nodrošināta koksnes resursu pieejamība ilgtermiņā un netiks ierobežota šo uzņēmumu darbība. Ilgtspējīgai mežu apsaimniekošanai ir nozīmīga loma tādu ES sociālo un politisko mērķu īstenošanā kā enerģijas pāreja, klimata pārmaiņu mazināšana un pielāgošanās tām, kā arī stratēģijas „Eiropa 2020” un bioloģiskā daudzveidības mērķu īstenošanā. Projektā piedāvātā sistēma var sniegt ieguldījumu šo mērķu sasniegšanā. Piemēram, kvalitatīva meža atjaunošana un kopšana samazina koka augšanas laiku līdz pat 2 desmitgadēm, tātad ātrāk ir iespējams iegūt koksnes resursus, t.sk. energokoksnes resursus. Savukārt, plantāciju mežu, ko ierīko tikai ar stādīšanas metodi, biomasa biežāk tiek izmantota energošķeldas vai granulu ražošanai. Tuvākajā nākotnē plantāciju mežu ierīkošana koksnes energoresursu iegūšanai varētu būtiski pieaugt.

Agrotehniskās kopšanas darbu monitorings ļauj noteikt tās izpildes kvalitāti, iznīkušo kociņu skaitu un blīvumu jaunaudzē. Jaunā tehnoloģija ļaus precīzi veikt kopšanas darbu monitoringu,

racionāli izmantot pieejamus cilvēkresursus, mazināt cilvēkfaktoru un veicināt meža apsaimniekošanas procesu ilgtspējīgumu. Kopšanas darbu kvalitāte nākotnē uzlabo jaunaudzes koku veselību un spēju augt, tādā veidā vairāk piesaistīt CO₂.

Jaunaudžu agrotehniskās kopšanas darbu kontrole notiek manuālas apsekošanas veidā, izmantojot lielu cilvēkresursu. Izstrādātā tehnoloģija būtiski samazinās kvalificēta darbaspēka noslodzi un atvieglos to darbu. Jaunaudžu kvalitāte ir nākotnes investīcija ar ilgtspējīgu ietekmi, kas ir būtisks rādītājs privāto mežu apsaimniekošanā. Piemēram, SODRA grupas uzņēmumi Latvijā apsaimnieko 107120 ha privāto mežu zemes. Projekta ideja tieši sasaucas ar ES meža stratēģiju 2030.gadam.

2. Projekta mērķis

Mērķis - izstrādāt automatizētu bezpilota gaisa kuģu tehnoloģiju jaunaudžu agrotehniskās kopšanas darbu kontrolei.

Jaunā tehnoloģija ļaus mežsaimniekiem un potenciāli Valsts meža dienesta darbiniekiem, veikt jaunaudžu kopšanas darbu izpildes automatizēto kontroli. Tehnoloģija ļaus noteikt arī jaunaudzes koku blīvumu un to iznīkšanu.

3. Izmantotie termini

Bezpilota gaisa kuģis (BGK) – projekta ietvaros DJI uzņēmuma mikro drons, kuru vada drona pilots vai drons tiek pilotēts automātiski.

Jaunaudze – meža koku jaunaudze (tīraudze), projekta ietvaros no viena līdz trīs gadiem veca.

Nogabals – viendabīga meža platība, kurā ir vienādi audzi raksturojoši taksācijas dati, vienāds augšanas apstākļu tips un kurai piemērojams viens apsaimniekošanas režīms¹.

Kvartāls – meža inventarizācijas vienība, kas sastāv no viena vai vairākiem nogabaliem.

Kadastrs – mežsaimniecības jomas kontekstā tas ir zemes vienība, kuras sastāvā ir viens vai vairāki kvartāli.

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.

¹ Avots: [nogabals](#) | [Tēzauris](#)

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, kas tika uzņemti ar BGK virs jaunaudzes.

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 jaunaudzes koki), apvelkot tos ar robežlodziņu (*bounding box*) un piešķirot objekta klasi, piemēram, “priede” vai “egle”.

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.

Kartēšana – procedūra, kuras ietvaros BGK tiek pilotēts (manuāli vai automātiski) virs jaunaudzes, uzņemot secīgi tās virsmas attēlus ar zināmu BGK digitālās kameras redzes lauka pārklāšanos sliekšni % starp secīgiem vai blakus attēliem.

Fotogrammetrija – matemātisko metožu un algoritmu kopums, kas, saglabājot mērogu, ļauj apvienot atsevišķi uzņemtos attēlus vienā gala attēlā.

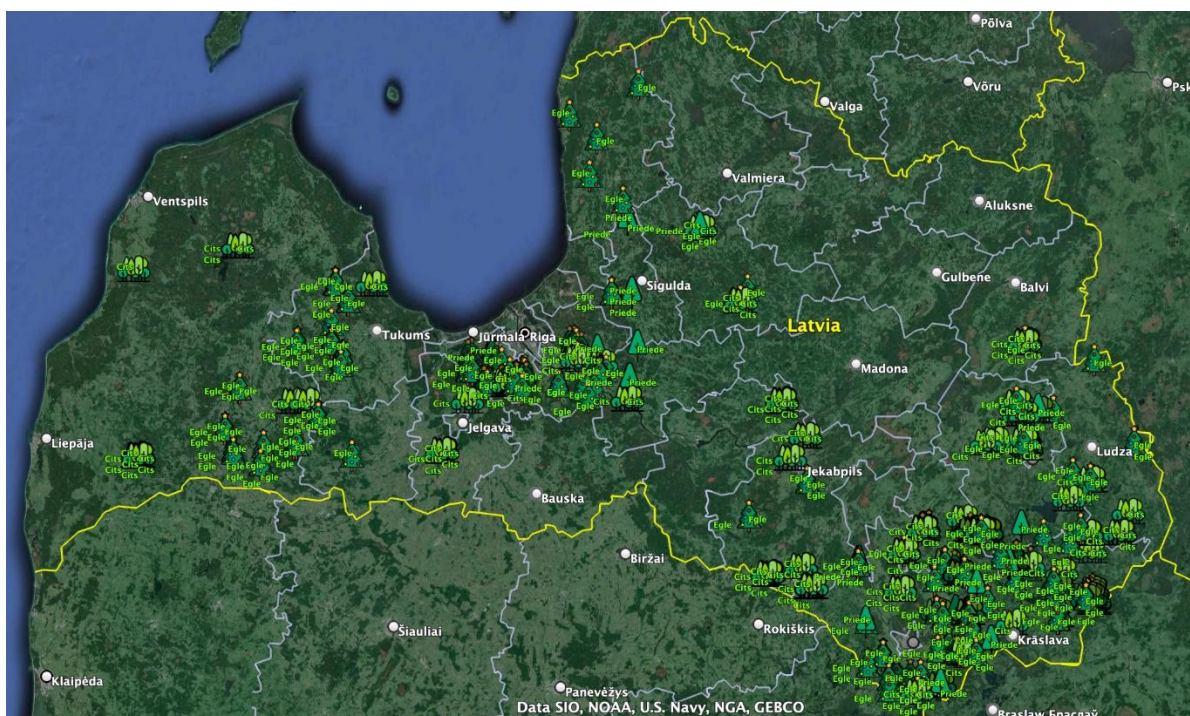
Koku blīvums – jaunaudzes kokus skaits uz hektāru.

4. Darbības un projekta kopsavilkums

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

4.1. Jaunaudžu nogabalu apkopošana

Pateicoties projekta partneriem, tika apkopoti vairāk nekā 700 dažādu jaunaudžu nogabalu vecumā no viena līdz trīs gadiem par egli, priedi, bērzu un plantāciju mežu papelēm (sk. att.1.).



Attēls 1. Meža nogabali un to lokāciju vietas Latvijā. *GoogleEarth* lietojums.

Katrs meža nogabals raksturo meža vecumu, koku blīvumu atbilstoši meža nogabala formulai, mežaudzes veidu, meža augsnes tipu, ģeogrāfiskās perimetra koordinātas, u. c. rādītājus.

Projekta ietvaros tika izstrādāta programmatūra, kura, izmantojot LVM GEO lietojuma ģeogrāfiskos datu slāņus, iegūst nogabala GPS koordinātas un ģenerē KML datni. Šo datni iespējams izmantot, lai vizualizētu nogabala robežas (sk. att. 2.), piemēram, ar *GoogleEarth* lietojumu, kā arī datni var izmantot BGK autopilotēšanai - kartēšanai (ja BGK modelis to ļauj darīt).



Attēls 2. Jaunaudžu nogabalu robežu vizualizācija ar *GoogleEarth* lietotni

Izvērtējot meža nogabalu raksturojošo informāciju un nogabalu lokācijas vietas, tika izvēlēti meža nogabali to turpmākai kartēšanai un apsekošanai dabā.

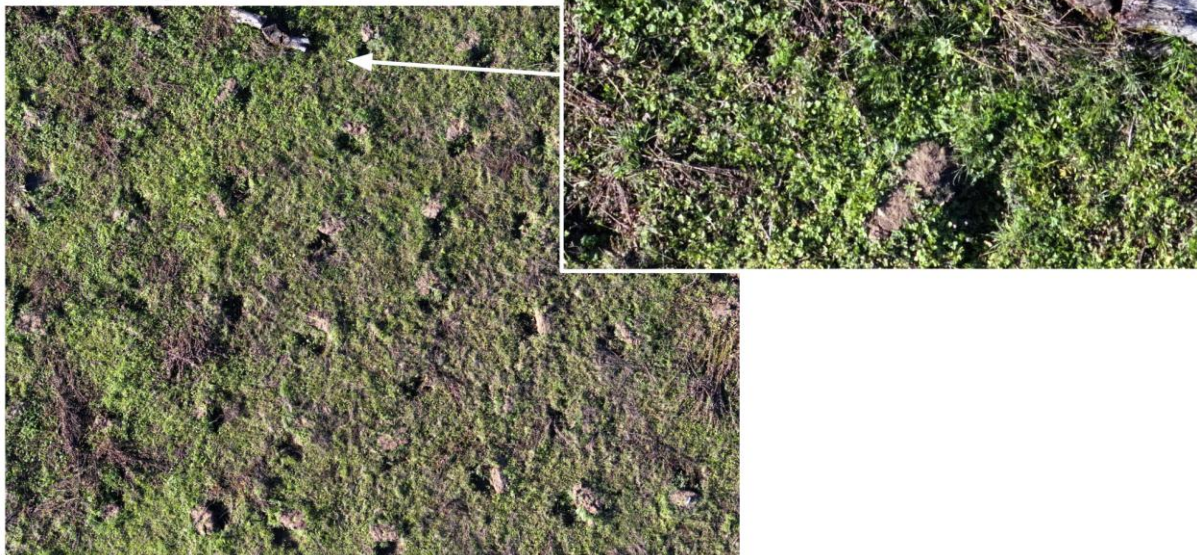
Zemāk ir doti meža nogabalu ar BGK uzņemtie attēli par dažādām koku sugām (sk. att. 3., 4., 5., 6., 7., 8., 9., **Attēls 10.** un 11.).

78520060090-4_4-5-6-7 (egle)
2023.g.



Attēls 3. BGK uzņemtais attēls egļu jaunaudzēi kadastra Nr. 78520060090, kvartāls 4., nogabalu Nr. 4, 5, 6, un 7.

44980020033-1-1 (egle)
2023.g.



Attēls 4. BGK uzņemtais attēls egļu jaunaudzēi kadastra Nr. 44980020033, kvartāls 1., nogabals Nr. 1

78600030014-1-1 (papele)
2023.g.



Papeļu jaunaudzēm
modeļi netika veidoti

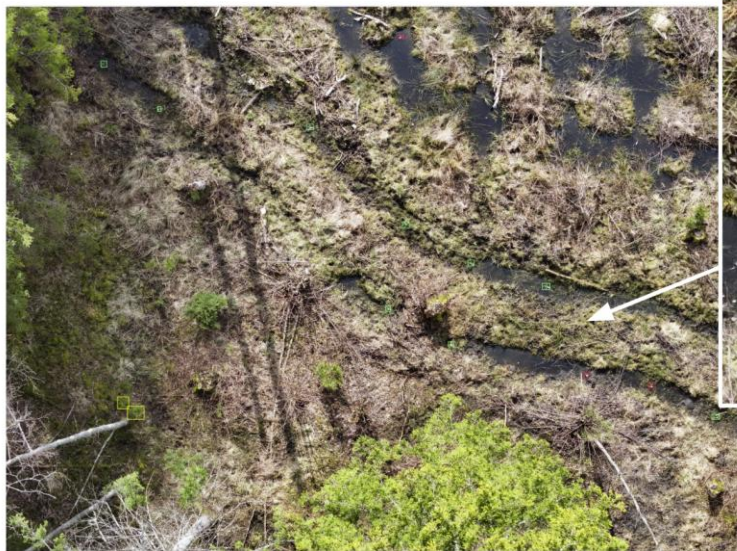
Attēls 5. BGK uzņemtais attēls papeļu jaunaudzēi kadastra Nr. 78600030014, kvartāls 1., nogabals Nr. 1

80480140049-142-5 (priede)
2024.g.



Attēls 6. BGK uzņemtais attēls priežu jaunaudzei kadastra Nr. 80480140049, kvartāls 142., nogabals Nr. 5

80480140048-235-8 (egle)
2024.g.



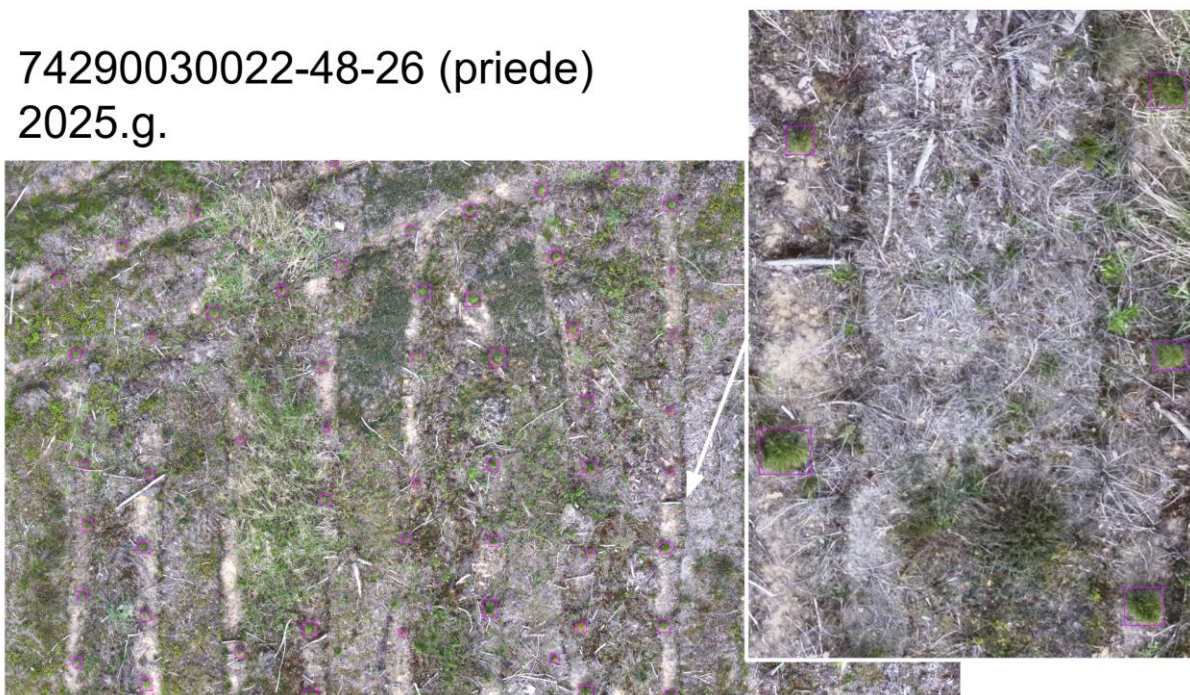
Attēls 7. BGK uzņemtais attēls egļu jaunaudzei kadastra Nr. 80480140048, kvartāls 235., nogabals Nr. 8

80480140048-238-24 (egle)
2024.g.



Attēls 8. BGK uzņemtais attēls egļu jaunaudzei kadastra Nr. 80480140048, kvartāls 238., nogabals Nr. 24

74290030022-48-26 (priede)
2025.g.



Attēls 9. BGK uzņemtais attēls priežu jaunaudzei kadastra Nr. 74290030022, kvartāls 48., nogabals Nr. 26

78520060102-2-13 (bērzs)
2023.g.
Bērzs - tālāk netika izmantots projektā



Attēls 10. BGK uzņemtais attēls bērzu jaunaudzei kadastra Nr. 78520060102, kvartāls 2., nogabals Nr. 13

Projekta īstenošanas laikā, aplūkojot bērzu un paņļu koku jaunaudzes, tika secināts, ka BGK attēlos šie koki vizuāli nav saskatāmi, jo to stumbri un lapotne saplūst ar jaunaudzes aizzēlumu vai jaunaudzes fonu. Līdz ar to bērzu un paņļu jaunaudzes turpmāk netika izmantotas.

80480140049-141-20 (priede)
2023.g.



Attēls 11. BGK uzņemtais attēls priežu jaunaudzei kadastra Nr. 80480140049, kvartāls 141., nogabals Nr. 20

Nogabalu izvēle to turpmākai kartēšanai ar BGK tika ņemts vērā ne tikai jaunaudzes vecums un koku suga, bet meža jaunaudzes augšnes tips, kas lielā mērā ietekmē koku augšanas apstākļus, to morfoloģiju uz fizioloģiju. Jaunaudžu izvēle balstījās uz informāciju, ka jaunaudzei nesen tika veikta agrotehniskā kopšana, kas, savukārt, ļāva saskatīt kokus un atdalīt tos no aizzēluma BGK attēlos un tālāk tos apstrādāt.

4.2. Bezpilota gaisa kuģi

Projekta tehnoloģijas izstrādē tika izmantoti tikai DJI uzņēmuma BGK modeļi tādi kā: *Mavic 2*, *Mavic 3 ComboPro*, T30 un *Matrice 300 RTK* (sk. att. 12.). Tāds lēmums balstījās uz faktu, ka Latvijā lielākie meža apsaimniekošanas uzņēmumi līdz šim ilgstoši izmanto DJI BGK produktus un visdrīzāk turpinās to darīt arī nākotnē. Kaut arī visi iepriekš minētie BGK piedāvā augstas izšķirtspējas digitālas kameras, tomēr, to kameru attēlu sensoru un optikas parametri ir atšķirīgi. Papildus tam, ne visi BGK modeļi nodrošina BGK autopilotēšanas iespēju. Piemēram, šāda iespēja ir pieejama *Mavic 2*, T30 un *Matrice 300 RTK* BGK, bet *Mavic 3 ComboPro* šādu iespēju nepiedāvā. Vienlaicīgi *Mavic 3 ComboPro* modelim ir augstas izšķirtspējas kamera - 48 mega pikseļi un kameras optika nodrošina visdetalizētākos attēlus salīdzinājumā ar citiem BGK modeļiem.



Attēls 12. Projekta ietvaros izmantotie BGK modeļi

BGK vizuālo datu apstrādei tikai izmantoti ar *DJI Mavic 3 ComboPro* modeli uzņemtie attēli, kaut arī atsevišķos gadījumos tika izmantoti *DJI Mavic 2* un T30 BGK, lai veiktu jaunaudžu kartēšanu autopilotēšanas režīmā.

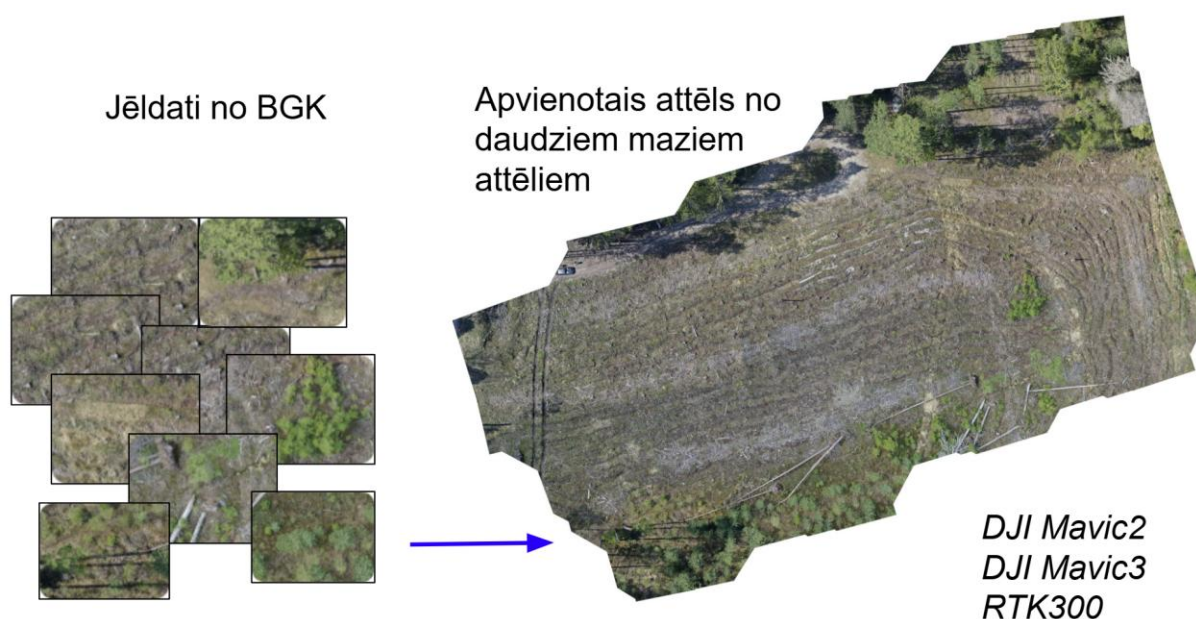
4.3. Integrācija ar LVM GEO lietojumu

Projekta pieteikumā tika paredzēts integrēt jauno tehnoloģiju ar Latvijas Valsts Meža dienesta (VMD) informācijas sistēmu, tomēr, lai samazinātu projekta īstenošanas riskus, šādas integrācijas vietā tika īstenota integrācija ar LVM GEO lietojumu, izmantojot tīmekļa interfeisus datu pieprasīšanai no LVM GEO. Šāda pieeja ļāva paātrināt jaunās tehnoloģijas izstrādes gaitu. LVM GEO risinājums ir populāra programmatūra ar tīmekļa interfeisiem, kuru izmanto lielākie meža apsaimniekošanas uzņēmumi savu saimniecisko procesu pārvaldībai. LVM GEO par pamatu izmanto VMD IS atklāti publicētus datus, pievienojot tiem savus datu slāņus, un nodrošinot papildiespējas. Piemēram, navigācija meža ceļos, navigācija mežā nogabalos, citu Latvijas institūciju atvērto ģeotelpisko datu vizualizāciju.

Jaunā tehnoloģija izmanto LVM GEO datu apmaiņas tīmekļa interfeisus, lai saņemtu pamatinformāciju par konkrētu nogabalu (pēc kadastra, kvartāla un nogabala identifikatoriem), t. sk. nogabala robežu GPS koordinātas. Pēc nepieciešamās informācijas saņemšanas tiek ģenerēta KML datne, kuru var izmantot BGK pilotēšanai automātiskajā režīmā, vai arī vizualizēt nogabala robežas jaunās tehnoloģijas programmatūras prototipa ietvaros.

4.4. Jaunaudžu kartēšana

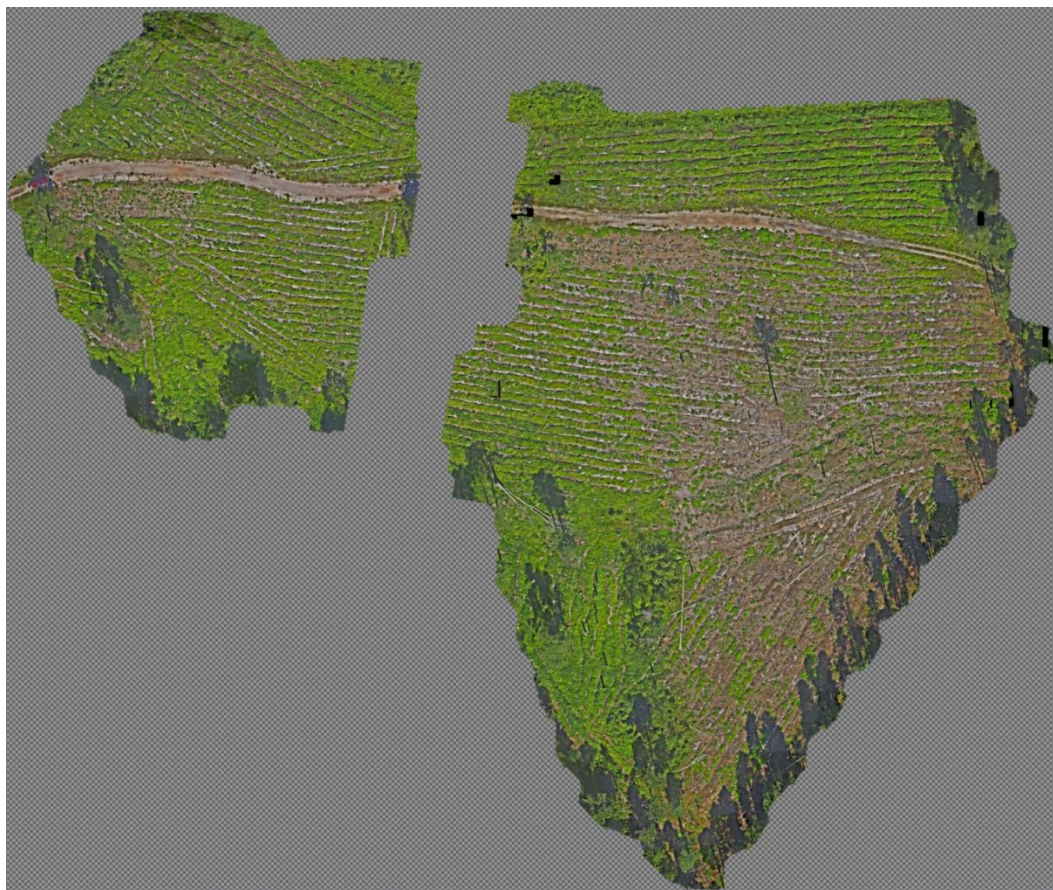
BGK kartēšanas uzdevums sevī ietver gan BGK pilotēšanu autonomajā režīmā ar mērķi iegūt jaunaudzes platības attēlus, kuri savā starpā pārklājas vismaz 60% procentu līmenī. Pēc kartēšanas tika pielietoti fotogrammetrijas algoritmi, kuri no visu uzņemto attēlu kopas (jēldati) par jaunaudzi veido gala jaunaudzes attēlu (sk. att. 13).



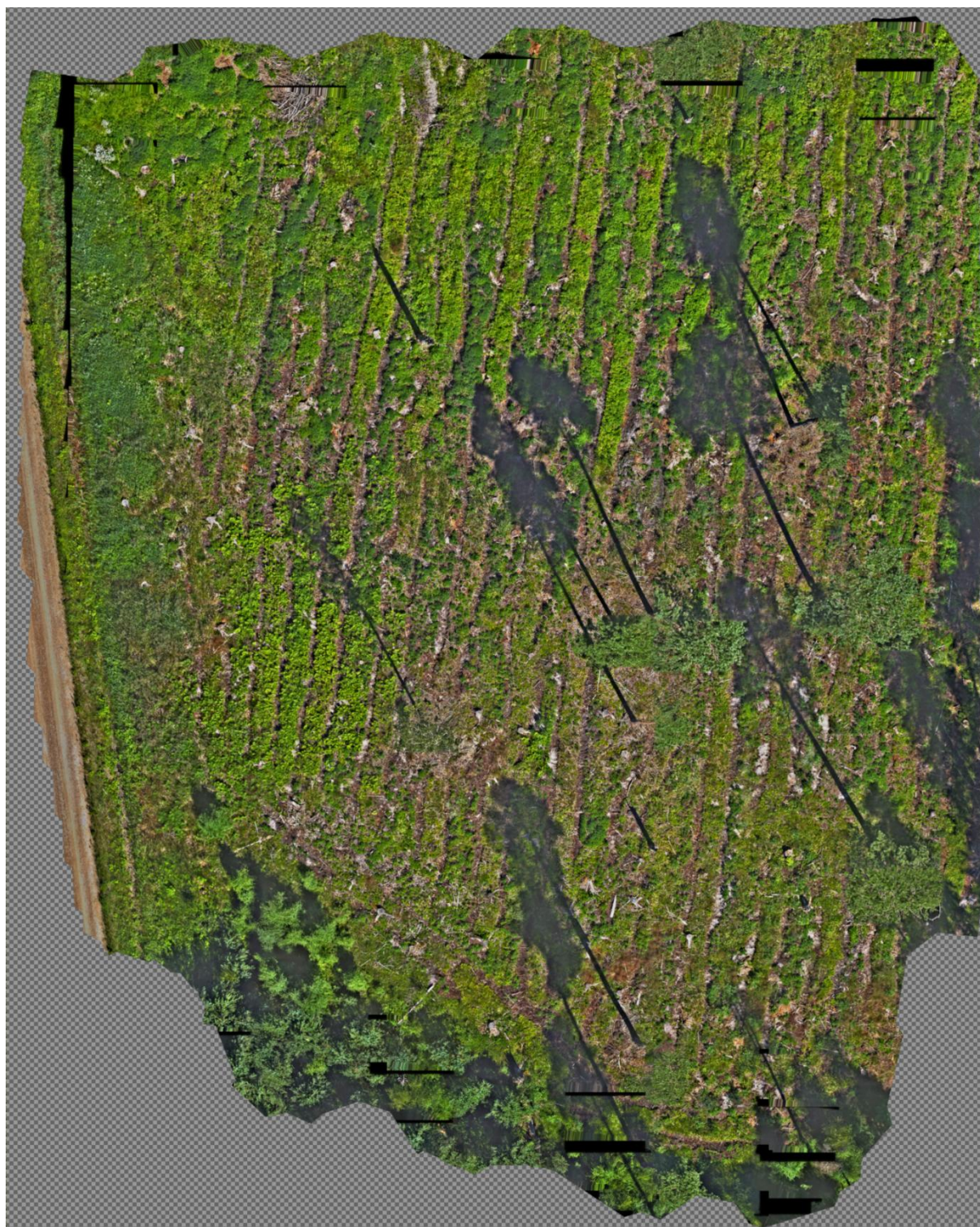
Attēls 13. BGK jēldati, izmantojot fotogrammetrijas metodes, tiek apvienoti gala attēlā

DJI *Mavic 3 ComboPro* BGK modelim viens uzņemtais attēls ir aptuveni 50 MB liels. Atkarībā no jaunaudzes platības jēldatu attēlu skaits var būt mērāms simtos. Fotogrammetrijas metodes apvieno jēldatu attēlus gala attēlā, kura izmērs svārstās no 800 MB līdz pat 5vGB. Šādu lielizmēra attēlus iespējams aplūkot ar specializēto attēlu korekcijas programmatūru, vai, izmantojot ĢIS.

Projektā tika izmēģinātas divas programmatūras fotogrammetrijas uzdevuma risināšanai: *OpenStreetMaps* and *DJI Terra Agriculture*. Diemžēl, *OpenStreetMaps* atklāta koda programmatūra nebija spējīga ievēidot kvalitatīvus gala attēlus un daudzos gadījumos, izsmēlot visus pieejamus skaitļošanas resursus, beidza darbu ar kļūdu. *OpenStreetMaps* programmatūras darbināšanai tika izmantoti RTU HPC skaitļošanas centra jaudas. Pretēji tam *DJI Terra Agriculture* programmatūra daudzos gadījumos spēja iegūt gala attēlu, kuru fotogrammetrijas rezultāts lielā mērā bija atkarīgs BGK attēlu kvalitātes un *Terra* programmatūras iestatījumiem. Piemēram, spilgtuma normalizācijas rezultātā apvienotais attēls zaudēja oriģinālā attēla krāsu gammu un spilgtumu. Zemāk ir doti piemēri no *Terra* programmatūras, kur gala (apvienotais) attēls satur vizuālus kropļojumus un tukšumus (sk. att. 14., 15., 16. un 17.).



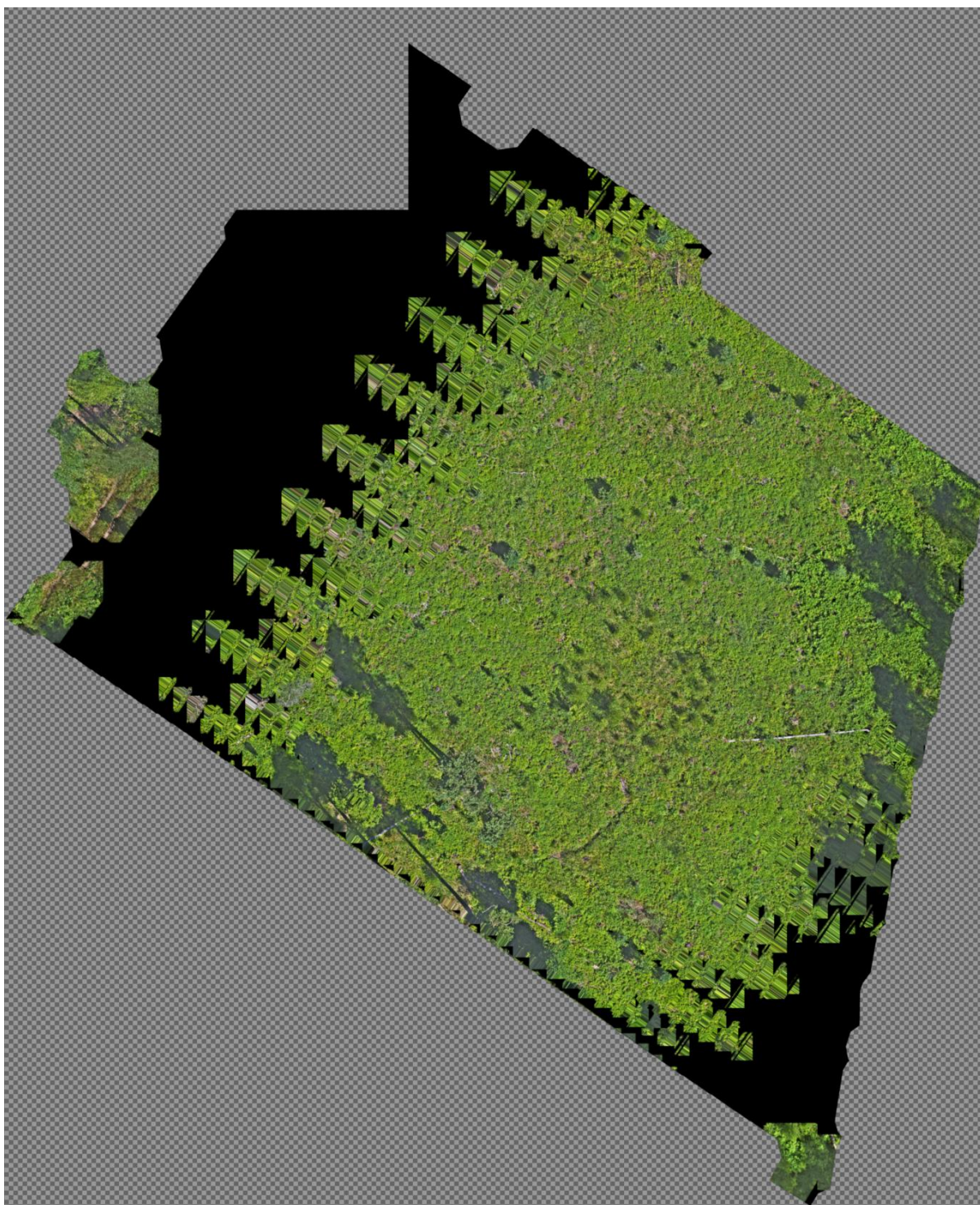
Attēls 14. Neveiksmīgs fotogrammetrijas rezultāts ar DJI *Terra Agriculture* programmatūru



Attēls 15. Neveiksmīgs fotogrammetrijas rezultāts ar DJI *Terra Agriculture* programmatūru



Attēls 16. Neveiksmīgs fotogrammetrijas rezultāts ar DJI *Terra Agriculture* programmatūru



Attēls 17. Neveiksmīgs fotogrammetrijas rezultāts ar *DJI Terra Agriculture* programmatūru

Jaunaudžu fotogrammetrijas rezultāts ir atkarīgs no BGK kameras izvēlētiem parametriem, laikapstākļiem (BGK pilotēšanas laikā), BGK lidojuma augstuma, un fotogrammetrijas programmatūras parametriem. Darbojoties ar *DJI Terra Agriculture* programmatūru, relatīvi labus rezultātus izdevies iegūt jēldatu attēliem, kuri ir mazliet tumšāki nekā BGK kamera

izvēlas automātiski (ISO vērtība), un kuri ir uzņemti ar BGK dienas gaišajā laikā, kad saule ir zenītā, BGK tika pilotēts 50 m attālumā no zemes virsmas, uzņemot attēlus ar pārklāšanas laukumu vismaz 60%.

Turpmāk projektā fotogrammetrija netika izmantota, pieņemot šādus apsvērumus:

- a) fotogrammetrija ir skaitļošanas ietilpīgs process, kas prasa relatīvi daudz laika;
- b) fotogrammetrijas gala attēlam ir relatīvi liels izmērs (no 800 MB līdz 5 GB atkarībā no jaunaudzes nogabala platības), kuru apstrāde prasa papildu programmatūru, skaitļošanas un datu glabāšanas resursus;
- c) fotogrammetrijas rezultāts ir atkarīgs no daudziem ārējiem faktoriem;
- d) fotogrammetrijas gala attēlam krāsu grama var būtiski atšķirties no BGK jēldatu krāsu gammas;
- e) fotogrammetrijas rezultāts ievērojami atkarīgs no BGK jēldatu attēlu laukuma pārklāšanas sliekšņa (kas parasti ir vismaz 60% secīgi uzņemtajiem attēliem), savukārt, tas būtiski palielina jaunaudzes kartēšanas laiku un BGK akumulatoru izlādi.

Projektā jaunaudžu kartēšana notika tā, lai ar BGK secīgi uzņemtie attēli nepārklātos vai pārklātos minimāli, jo tas: a) ekonomē pilotēšanas laiku; b) samazina jēldatu apjomus; c) neietekmē jaunaudzes koku skaitīšanu attēlos un koku vidējos blīvuma aprēķinus.

Jaunaudžu kartēšanas rezultāti ir šādi:

2023.g.:

- BGK dati ~ 40 nogabali (egle, priede, papele, bērzs);
- datu apjoms ~ 868 GB.

2024.g.:

- BGK dati ~ 50 nogabali (egle, priede, papele);
- datu apjoms ~ 1,1 TB.

2025.g.:

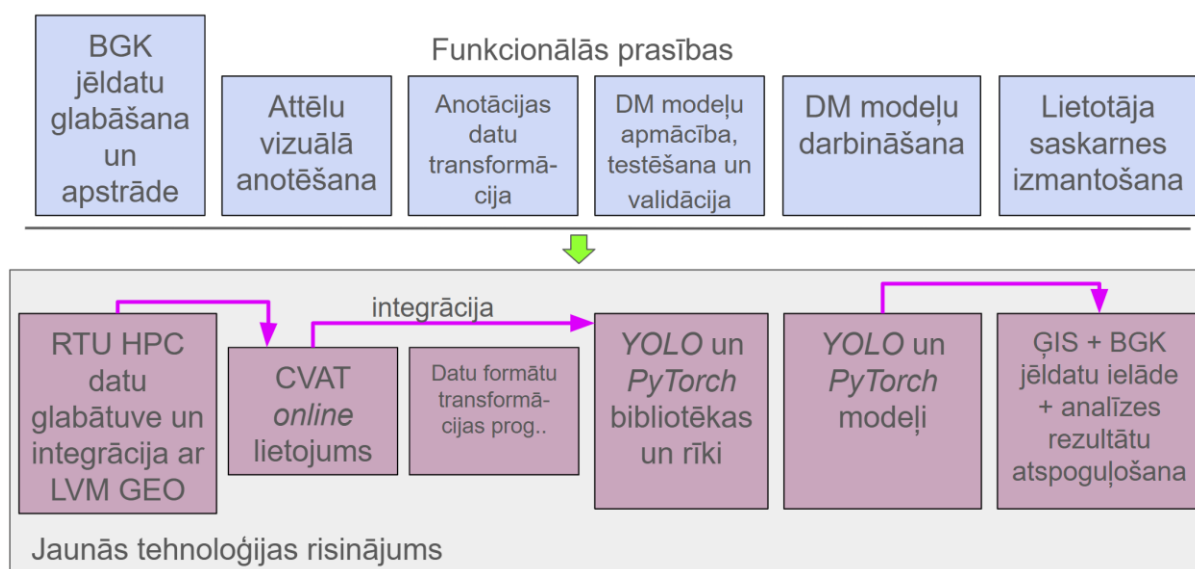
- BGK dati ~ 7 nogabali (egle un priede);
- datu apjoms ~ 120 GB.

4.5. Risinājuma programmatūras arhitektūra

Programmatūras arhitektūras izveidi galvenokārt noteica šādas funkcionālo prasību grupas (sk. att.18.):

- 1) **BGK jēldatu glabāšana un apstrāde** – BGK jēldatu kopēšana no atmiņas kartes uz RTU HPC datu glabātuvi, automātiski grupējot BGK attēlus atbilstoši jaunaudzes nogabala koordinātām un tā pamatinformācijai (kadastrs, kvartāls un nogabals). Visi attēli, kas tika sagrupēti pa nogabaliem, tiek importēti vizuālo datu CVAT anotēšanas rīkā automātiski;
- 2) **attēlu vizuālā anotēšana** – jaunaudžu attēlu anotēšana notiek, izmantojot tiešsaistes rīku, lai ļautu anotēt jēldatus, validēt anotācijas rezultātus vienlaicīgi vairākiem cilvēkiem, kā arī testēt DM modeļus uzreiz pēc to apmācības;
- 3) **anotācijas datu transformācija** – ne visi vizuālu datu anotēšanas rīki ļauj eksportēt anotācijas rezultātus datu formātā, kas uzreiz ir lietojams DM modeļu apmācībai. Piemēram, dažādām *YOLO* neironu tīklu arhitektūru versijām apmācības datu kopas formāts atšķiras, līdzīgi ir ar *PyTorch* bibliotēku, kurai ir savs apmācības datu kopas datu formāts. Šī prasību grupa sevī iekļauj arī datu kopu sagatavošanu no iepriekš anotētiem datiem ar iespēju izvēlēties nogabalu, koku anotācijas klasi(-es) (kokus sugas un to morfoloģijas paveidus). Datu kopu izveide sevī ietver validācijas un testēšanas datu kopas izveidi, kur validācijas datu kopa ļauj sekot DM modeļa apmācības progresam. Savukārt, testēšanas datu kopa ietver tādus attēlus ar koku anotācijām, kuras DM modeļa apmācības laikā netika izmantoti un modelis iepriekš tos “nav redzējis”/izmantojis. Testēšanas datu kopa ļauj pārliecināties, cik modelis ir precīzs un universāls (spēj atpazīt kokus dažādām jaunaudzēm vecumā no viena līdz trīs gadiem);
- 4) **DM modeļu apmācība, testēšana un validācija** – tā kā DM modeļu apmācība ir skaitļošanas ietilpīgs uzdevums, tad to ir efektīvi risināt, izmantojot jaudīgus skaitļošanas resursus. RTU HPC skaitļošanas centrs nodrošina šādus resursus, kur DM modeļi tiek apmācīti rindas kārtībā, kad skaitļošanas resursi atbrīvojas no citiem skaitļošanas uzdevumiem. Šī prasību grupa sevī iekļauj *YOLO* vai *PyTorch* bibliotēkas modeļu apmācībai, kā arī automātisku datu kopu izvēli. DM modeļu apmācības procesam jābūt atsekojamam, izmantojot tiešsaistes lietotāja saskarni, kur var aplūkot tīkla apmācības progresu, dažādu apmācības, validācijas un testēšanas metriku vērtību laika rindas. DM modeļa apmācības rezultāts – ir DM modelis, kuru hiperparametri tiek glabāti atsevišķā datnē (failā).

- 5) **DM modeļu darbināšana** – apmācītie modeļi tiek ielādēti un turēti serveru operatīvajā atmiņā, lai pēc pieprasījuma apstrādātu BGK jēldatus (attēlus), kur rezultātā tiek detektēti vizuālie objekti – koki jaunaudzēs, tālāk šī informācija nonāk rezultātu atspoguļošanai sistēmas lietotāja saskarnē.
- 6) **lietotāja saskarne** – tiešsaistē ļauj ielādēt BGK attēlus, automātiski katram BGK attēlam nosaka to piederību jaunaudzes nogabalam, tad tā vizualizē nogabalus un vietas, kur atsevišķais attēls ir uzņemts, padod BGK jēldatus DM modeļu darbināšanai un atspoguļo koku detektēšanas rezultātus vizuāli un skaitliski, aprēķinot koku blīvumu jaunaudzē (vidēji/ha), katrā attēlā (vidēji/ha), un pēc lietotāja izvēles virtuālajā parauglaukumā (vidēji/ha).



Attēls 18. Funkcionālo prasību grupas un to realizācija tehnoloģijas programmatūras arhitektūras līmenī (arhitektūras blokshēma)

Galvenās nefunkcionālās prasības:

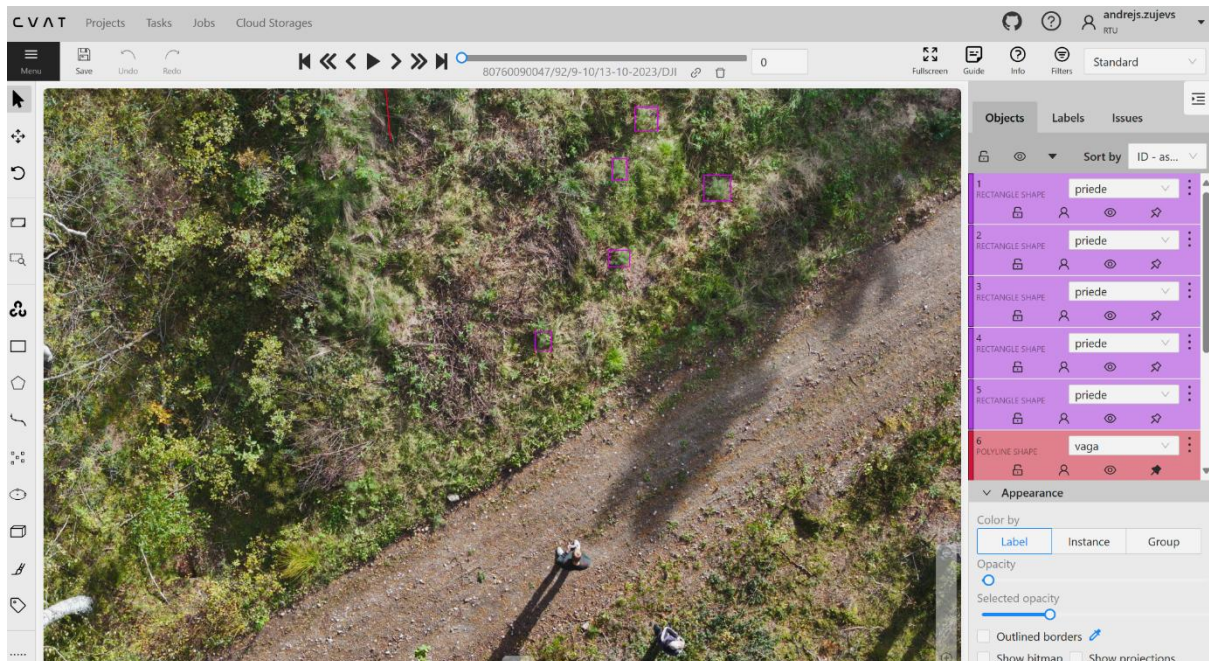
- 1) lietotāja saskarnei jādarbojas tiešsaistes režīmā;
- 2) anotēšanas rīkam jādarbojas tiešsaistes režīmā;
- 3) DM modeļu apmācības progresa atspoguļošanai jānotiek tiešsaistes režīmā;
- 4) BGK datiem jāglabājas RTU HPC infrastruktūras ietvaros;
- 5) visas programmatūras darbināšanai jānotiek, izmantojot konteinerizācijas tehnoloģijas tādas kā *Docker* vai *Kubernetes*;
- 6) BGK jēldatu attēlu analīzes rezultātu atspoguļošanai jānotiek, izmantojot ĢIS sistēmas slāņus tiešsaistes režīmā.

Atbilstoši funkcionālo prasību grupām un minētajām nefunkcionālajām prasībām tika izstrādāta programmatūras arhitektūra (tās koncepcija) jaunā risinājuma programmatūras izstrādei. Arhitektūras koncepcija sevī iekļauj šādus funkcionālos blokus (sk. att.18.):

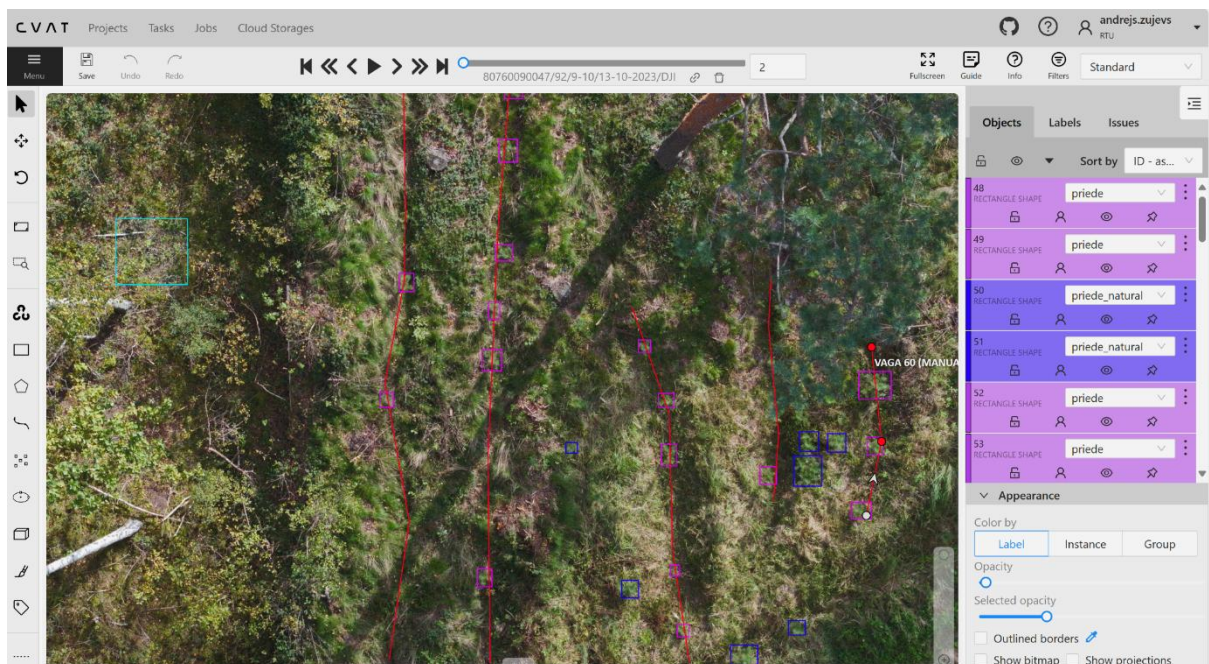
- 1) **RTU HPC datu glabātuve un integrācija ar LVM GEO** – BGK jēldatu apstrādes funkcionalitāte, kas nodrošina BGK attēlu GPS koordināšu salīdzināšanu un attēlu grupēšanu pa jaunaudžu nogabaliem. Izmantojot LVM GEO lietojuma tīmekļa interfeisus, jaunaudzes GPS robežu koordinātas tiek iegūtas un tālāk salīdzinātas ar attēlu GPS koordinātām. BGK apstrādātie attēli tālāk tiek automātiski importēti CVAT rīkā vizuālo datu anotēšanai;
- 2) **CVAT *online* lietojums** – nodrošina BGK importēto attēlu vizualizāciju un anotēšanu, anotēšanas rezultātu validāciju, DM modeļu testēšanu, kā arī automātisko attēlu anotēšanu;
- 3) **datu formātu transformācijas programmatūra** – programmatūra ļauj konvertēt CVAT rīka anotācijas rezultātus datu formātā, kas atbilst *YOLO* v.5. un *PyTorch* bibliotēkas datu formāta prasībām. Modulis nodrošina funkcionalitāti, lai veidotu plašas datu kopas, izmantojot anotācijas rezultātus par izvēlētiem jaunaudžu nogabaliem un koku klasēm;
- 4) ***YOLO* un *PyTorch* bibliotēkas un rīki** – tiek sagatavoti izmantošanai RTU HPC infrastruktūras ietvaros, DM modeļu apmācības laikā tie izmanto GPU skaitļošanas resursus, kā arī tiek nodrošināta iespēja sekot modeļu apmācības progresam ar tiešsaistes interneta mājas lapas palīdzību;
- 5) ***YOLO* un *PyTorch* modeļi** – funkcionalitāte, kas nodrošina iepriekš apmācīto DM modeļu darbināšanu reālajā laikā. Šī funkcionalitāte ir integrēta CVAT rīkā (anotēšanas procesu automatizācijai) un sistēmas lietotāja saskarnē, lai apstrādātu BGK jēldatus;
- 6) **GIS + BGK jēldatu + analīzes rezultātu atspoguļošana** – funkcionalitāte nodrošina tiešsaistes interneta mājas lapas lietotāja saskarni, lai ielādētu BGK jēldatus (attēlus), apstrādātu tos, vizualizētu attēlu jaunaudžu nogabalus uz kartes, kā arī vizualizētu reģionus uz kartes, kas atbilst BGK kameras redzes laukam, attēlotu analīzes rezultātus (detektētus kokus, to vidējo blīvumu attēlā un nogabalā kopumā).

4.6. Vizuālo datu anotēšana

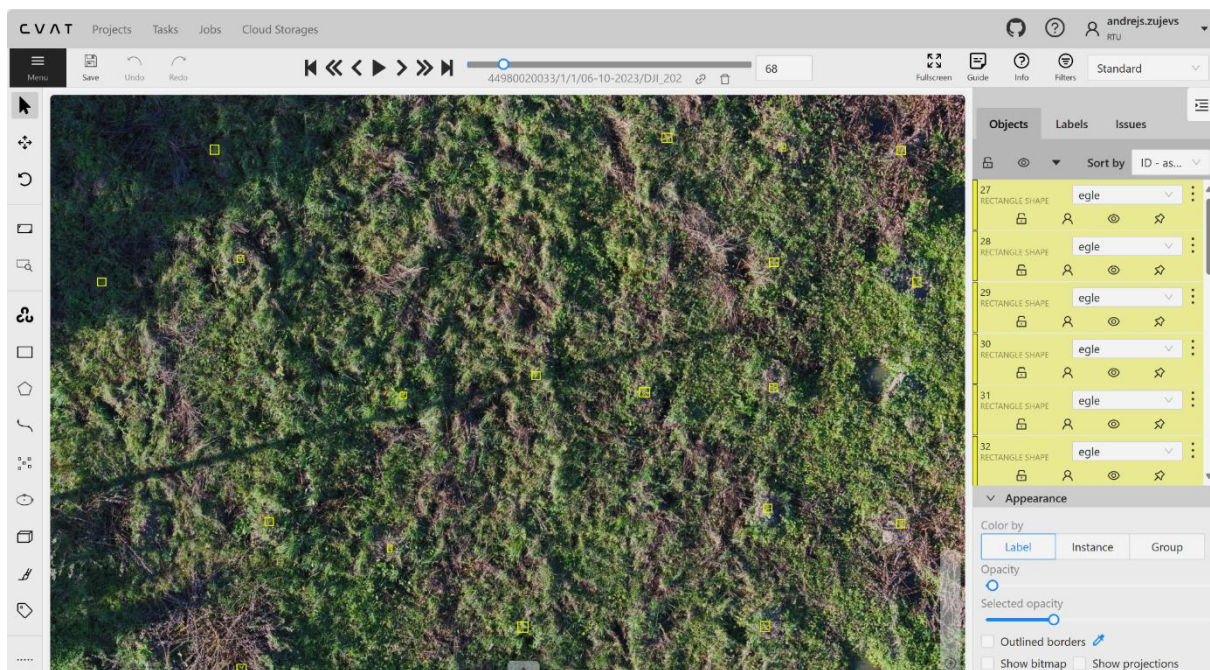
BGK jēldati (attēli) vispirms tiek anotēti manuāli, kur lietotājs attēlā atrod koku, apvelk to ar robežstūrīti un piešķir tam klasi. Piemēram, “priede”, “egle”, u.c. (sk. att. 19., 20., 21., 22., 23. un 24.).



Attēls 19. Egļu anotēšanas piemērs, izmantojot CVAT rīku tiešsaistē



Attēls 20. Priežu anotēšanas piemērs, izmantojot CVAT rīku tiešsaistē



Attēls 21. Egļu anotēšanas piemērs, izmantojot CVAT rīku tiešsaistē



Attēls 22. Egļu automatizētās anotēšanas piemērs, izmantojot CVAT rīku tiešsaistē



Attēls 23. Priežu automatizētās anotēšanas piemērs, izmantojot CVAT rīku tiešsaistē

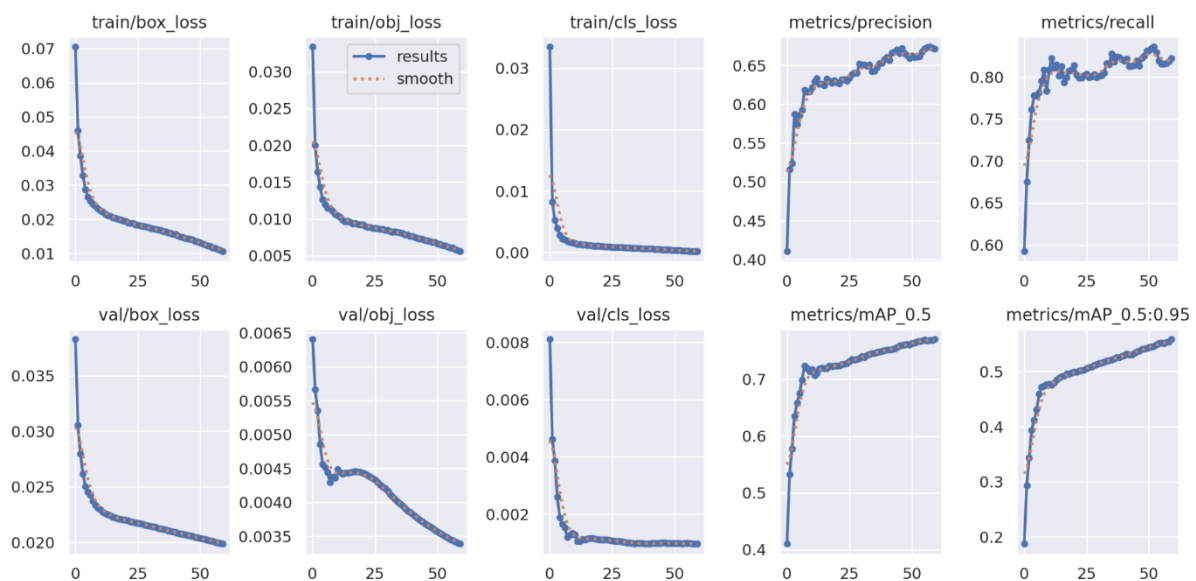


Attēls 24. Egļu automatizētās anotēšanas piemērs, izmantojot CVAT rīku tiešsaistē

4.7. Datu kopu izveide un modeļu apmācība

YOLO v.5.0 tīkla (*small*) apmācībai tika izmantoti anotāciju dati par priedēm un eglēm no dažādām jaunaudzēm un vecumam no pirmā līdz trešajam gadam. Ieejas datu izmērs YOLO v.5.0 tīklam bija 1024x1024 pikseļi. Kopumā apmācībā tika izmantots šāds skaits ar attēliem: 56627- apmācībai, 3585 - testēšanai un 9886 – validācijai.

YOLO v 5.0 tīkla apmācības progress ir parādīts attēlā zemāk.



Attēls 25. YOLO v.5.0 tīkla apmācības progressa metriku grafiki eglu un priežu detektēšanai attēlos

Pēc DM modeļa apmācības tas tika testēts, izmantojot testa datu kopas attēlus, lai noteiktu kuri tieši pikseļi tiek aktivizēti, kad modelis atpazīst (detektē) eglī vai priedi attēlā. Zemāk attēlos (sk. att. 26. un 27.) ir doti piemēri, kur attēls pa kreisi ir ieejas attēls un attēls pa labi aktivizēto pikseļu attēls.

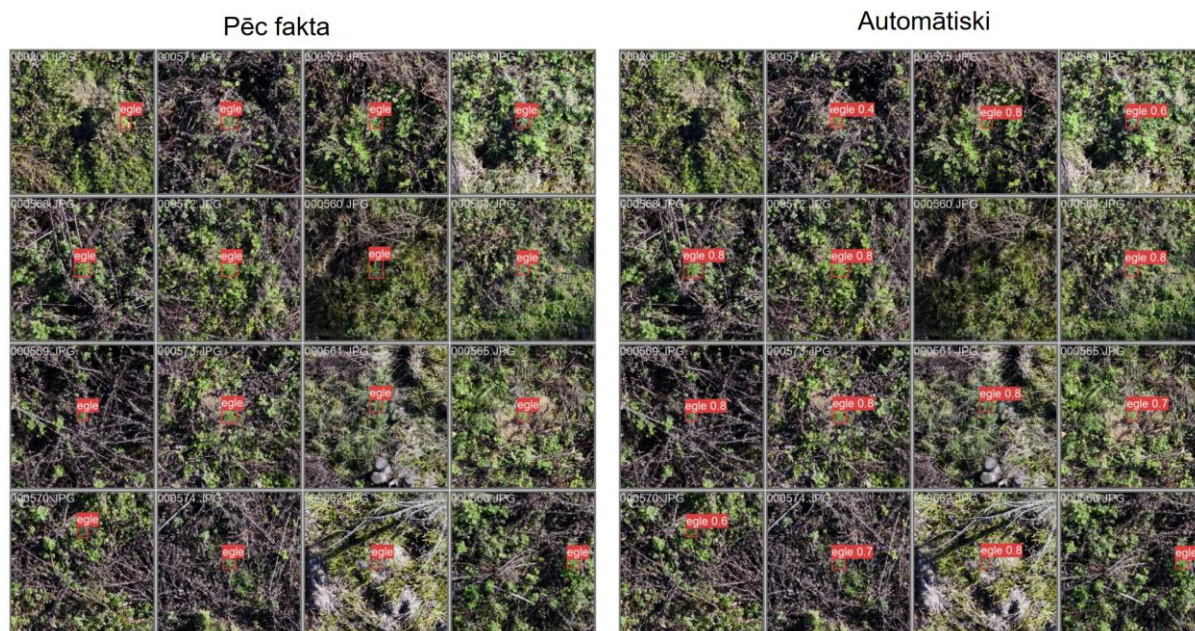


Attēls 26. Pikseļu klusuma karte, *YOLO* modelim detektējot priedi attēlā



Attēls 27. Pikseļu klusuma karte, *YOLO* modelim detektējot priedi attēlā

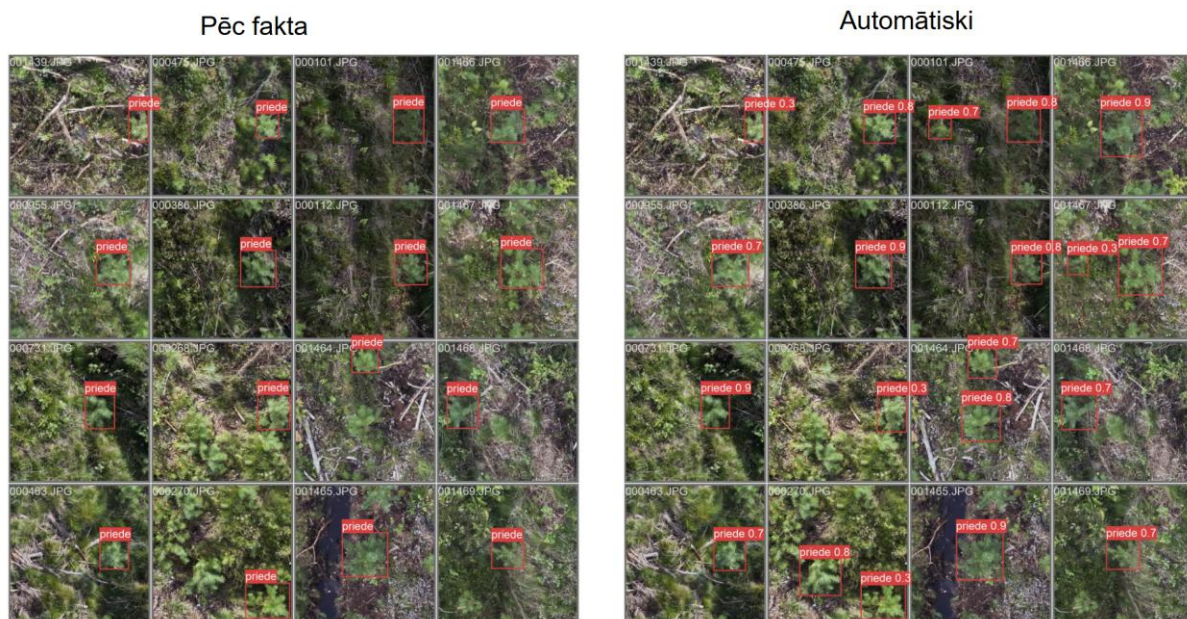
Zemāk ir doti apmācītā DM modeļa testēšanas rezultāti, izmantojot datu kopas testa attēlus.



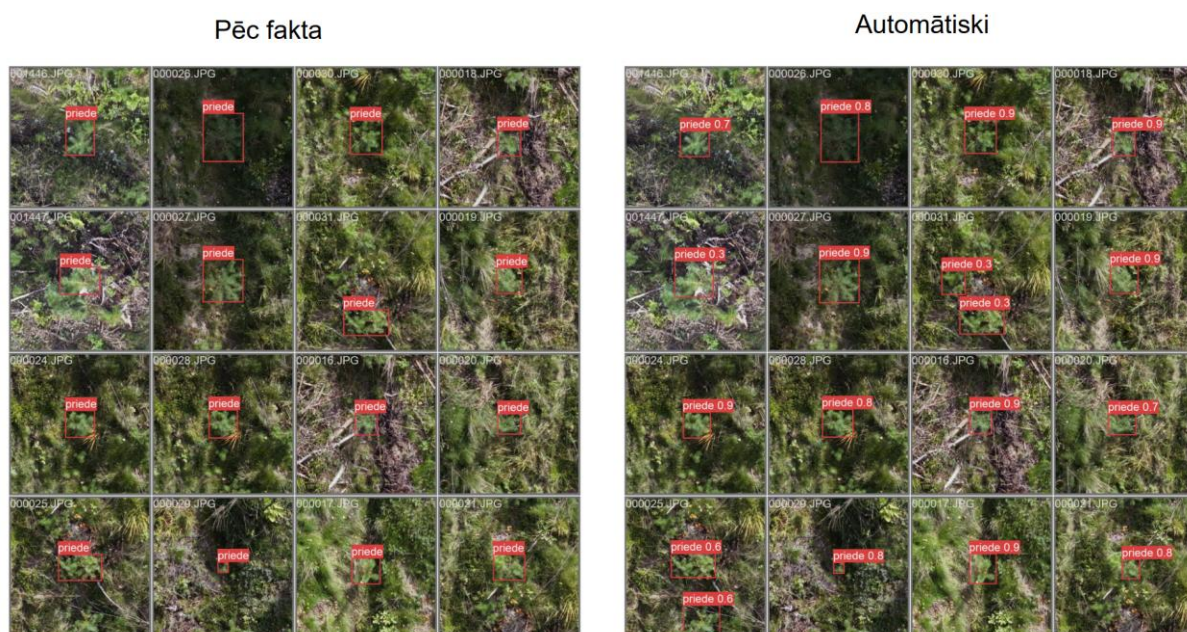
Attēls 28. Apmācītā *YOLO* tīkla testēšanas rezultāti par egļu atpazīšanu attēlos



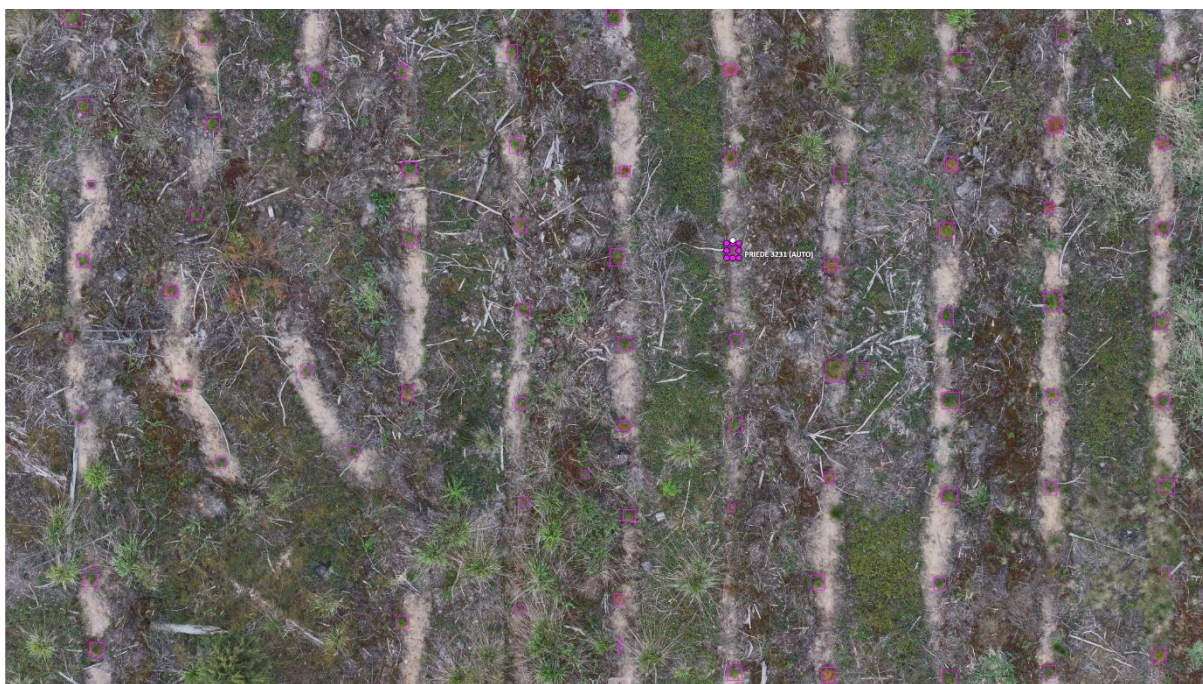
Attēls 29. Apmācītā *YOLO* tīkla testēšanas rezultāti par egļu atpazīšanu attēlos



Attēls 30. Apmācītā *YOLO* tīkla testēšanas rezultāti par priežu atpazīšanu attēlos



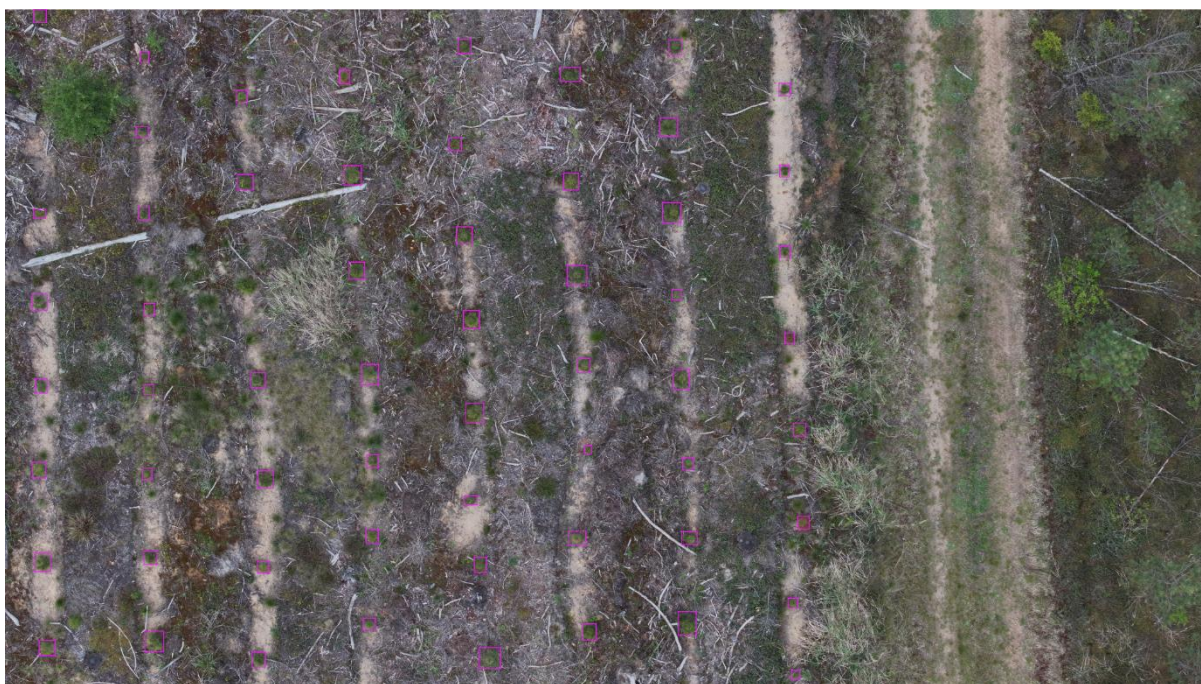
Attēls 31. Apmācītā *YOLO* tīkla testēšanas rezultāti par priežu atpazīšanu attēlos



Attēls 32. Apmācītā *YOLO* tīkla testēšanas rezultāti par priežu atpazīšanu attēlos



Attēls 33. Apmācītā *YOLO* tīkla testēšanas rezultāti par priežu atpazīšanu attēlos



Attēls 34. Apmācītā *YOLO* tīkla testēšanas rezultāti par priežu atpazīšanu attēlos

4.8. Jaunās tehnoloģijas validācijas rezultāti

Tehnoloģijas validācija ļauj noteikt gan stiprās, gan vājās tās puses. Projekta ietvaros validācija notika dažāda vecuma priežu un egļu jaunaudzēs. Zemāk ir doti attēlu piemēri ar koku atpazīšanas rezultātiem jaunaudzēm, kurām iepriekšējā dienā parauglaukumu veidā tika veikta agrotehniskā kopšana (sk. att. 35., 36., 37., 38., 39. un 40.).



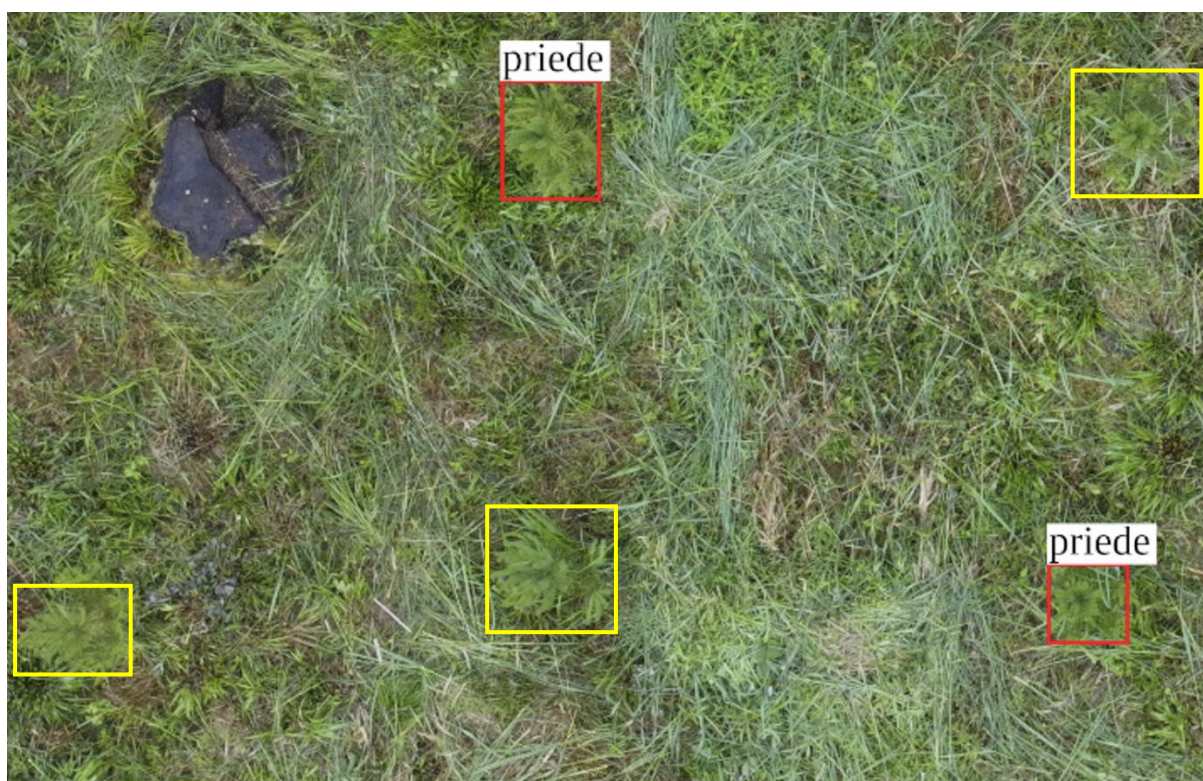
Attēls 35. Priežu jaunaudze ar augstu aizzēlumu. Kreisajā pusē ir veikta agrotehniskā kopšana, bet labajā tā nav veikta. Ar dzelteno rāmīti iekrāsotas priedes, kuras netika detektētas

Aplūkojot pietuvinājumā 35. attēlu, var secināt, ka priežu galotnes saplūst ar aizzēlumu un tīkls tās ignorē.



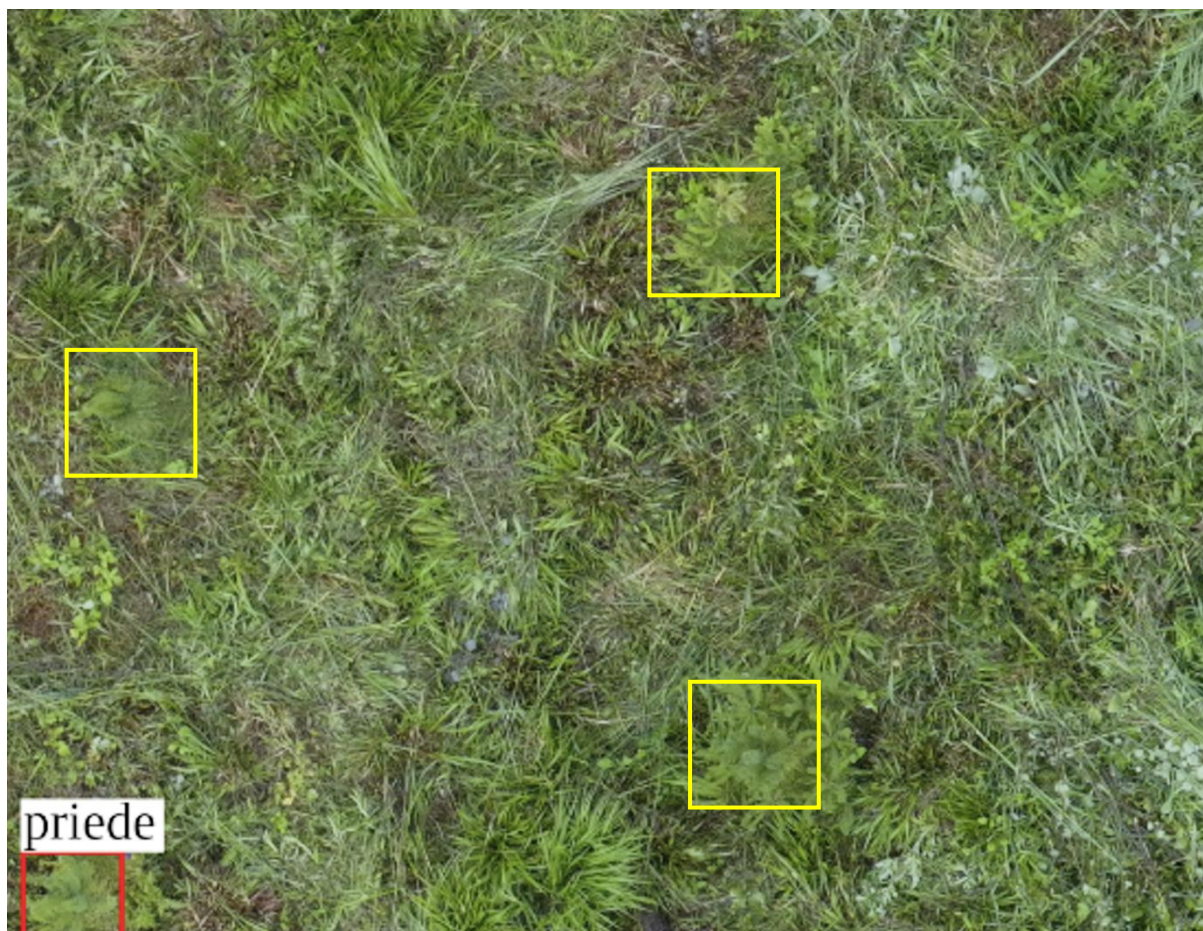
Attēls 36. Priežu jaunaudze pēc agrotehniskās kopšanas. Ar dzelteni rāmīti iekrāsotas priedes, kuras netika detektētas

Attēlā 36. netika detektēta viena priede un vienlaicīgi tika aplami detektēta priede, kas ir meža nezāle.

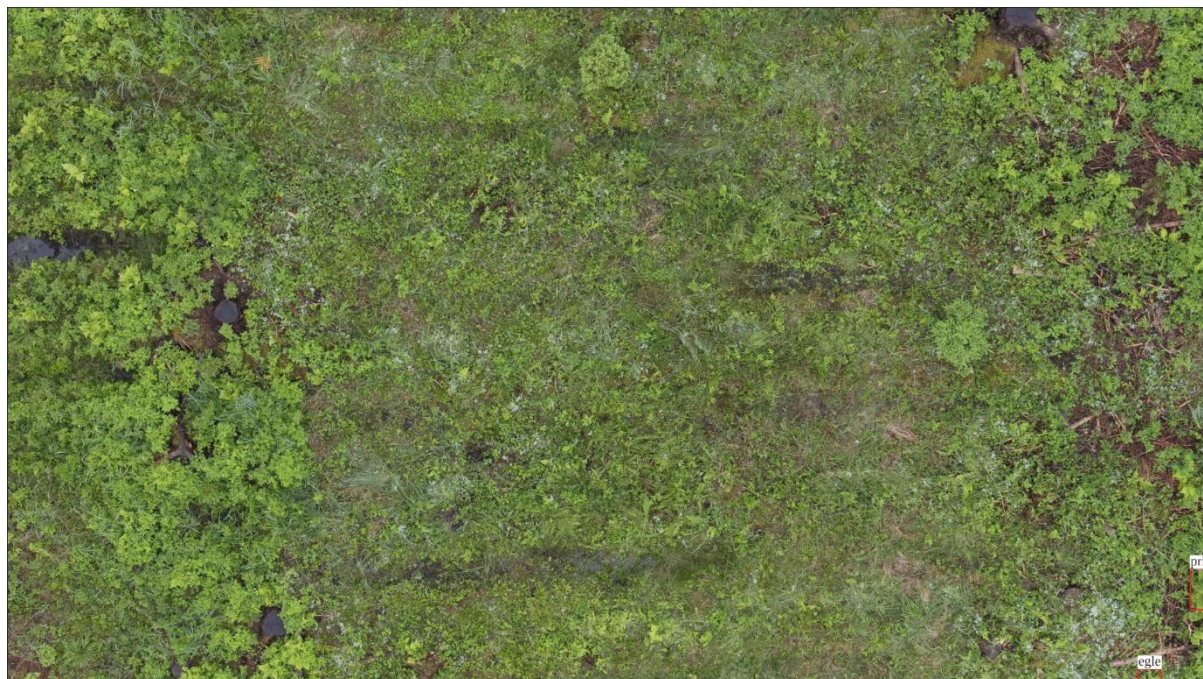


Attēls 37. Priežu jaunaudze pēc agrotehniskās kopšanas. Ar dzelteni rāmīti iekrāsotas priedes, kuras netika detektētas

Attēlā 37. netika detektētas trīs priedes, bet citas divas tika detektētas korekti.



Attēls 38. Priežu jaunaudze pēc agrotehniskās kopšanas. Ar dzelteno rāmīti iekrāsotas priedes, kuras netika detektētas



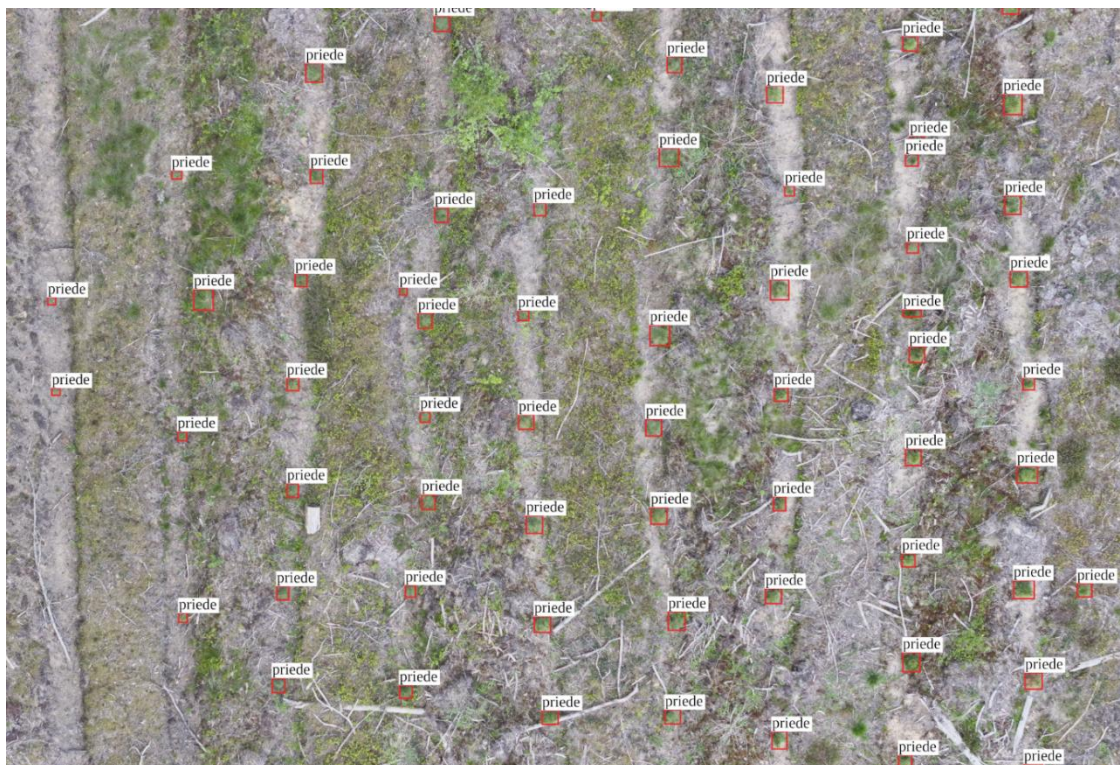
Attēls 39. Egļu jaunaudze pēc agrotehniskās kopšanas. Egļu koki pamatā netika detektēti

Kā redzams 39. un 40. attēlā egļu jaunaudzē koki netika detektēti ar apmācīto DM modeli, jo koku izmērs jaunaudzē būtiski variē, egles ir grūti pamanāmas uz aizzēluma fona. Modelis egles uztver par meža nezālēm (sk. att. 40. maksimālajā palielinājumā) un tās netiek detektētas.



Attēls 40. Egļu jaunaudzē pēc agrotehniskās kopšanas. Egļu koki pamatā netika detektēti (39.att. palielinājums)

Validācijas rezultāti priedēm ir doti attēlos zemāk (sk. att. 41., 42., 43. un 44.). Tie parāda apmācītā modeļa augstu precizitāti.



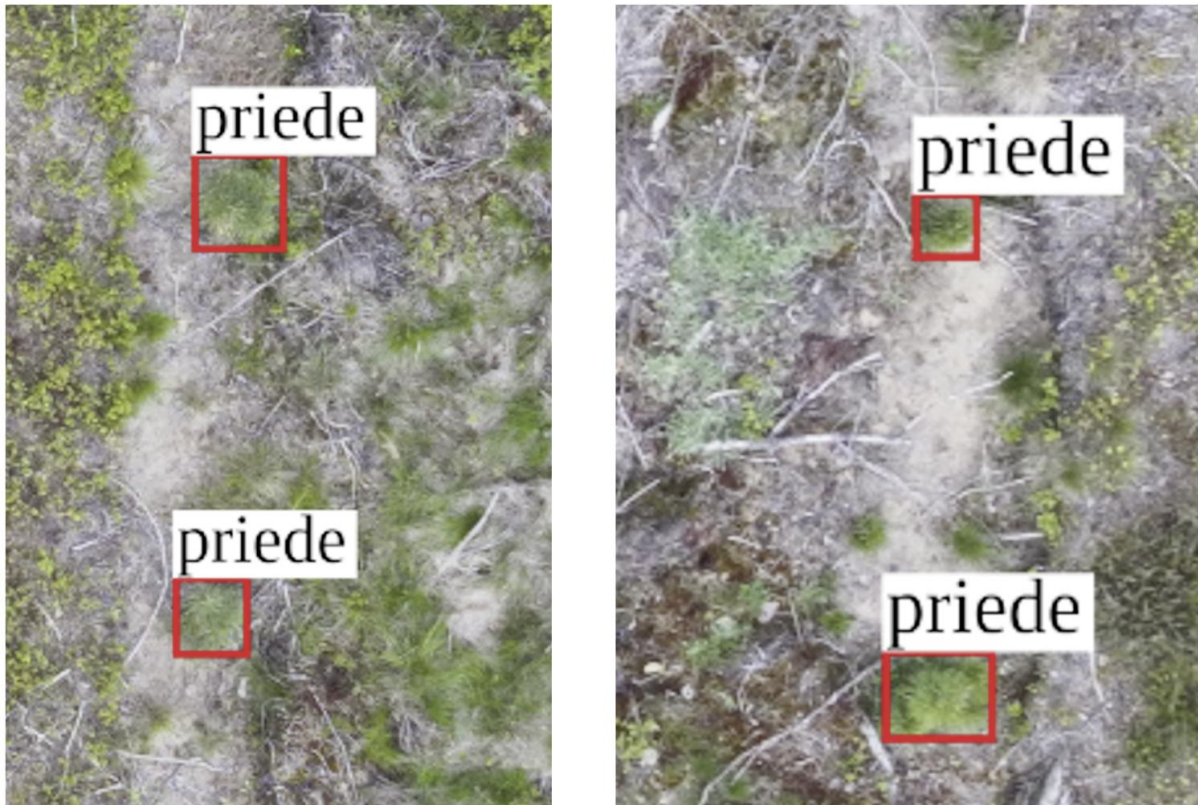
Attēls 41. Priežu jaunaudze. Koku detektēšanas rezultāti



Attēls 42. Priežu jaunaudze. Koku detektēšanas rezultāti



Attēls 43. Priežu jaunaudze. Koku detektēšanas rezultāti



Attēls 44. Priežu jaunaudzē. Koku detektēšanas rezultāti

Analizējot apmācīto modeļu efektivitāti atpazīt egles un priedes jaunaudzēs, tika secināts, ka modeļa apmācības precizitāte lielā mērā atkarīga no apmācībā izmantotiem egļu un priežu attēlu paveidiem, kur koku morfoloģija variē dažāda vecuma un augšanas apstākļu dēļ (sk. att. 45. un 46.).



Attēls 45. Egļu morfoloģijas variācijas apmācības datu kopā



Attēls 46. Priežu morfoloģijas variācijas apmācības datu kopā

Nepieciešams atzīmēt, ka jaunaudzū augsnes tips (kam parasti ir savs specifiskais aizzēlums) ietekmē apmācāmo modeļu precizitātei (sk. att. **Attēls 47.**).



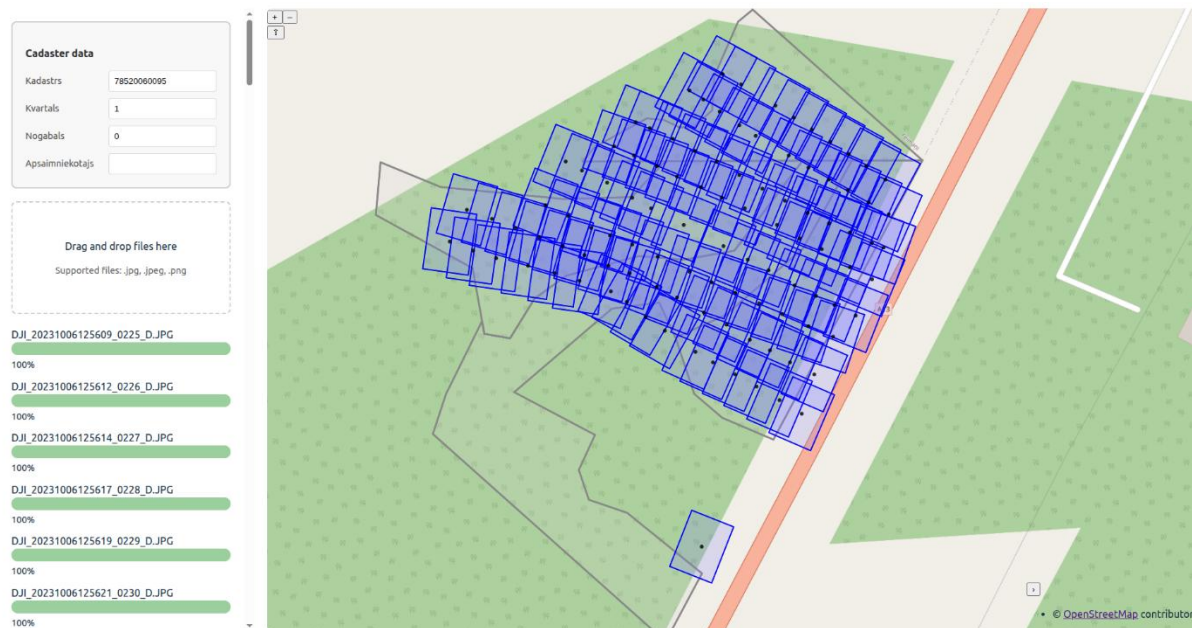
Attēls 47. Jaunaudzū aizzēluma variācijas apmācības datu kopā

Jaunās tehnoloģijas validācijas rezultāti parādīja, ka apmācīto modeļu precizitāte tiek ietekmēta vienlaicīgi ar vairākiem faktoriem:

- 1) jaunaudzes meža augsnes tips (t. sk. aizzēlums);
- 2) attēlu kvalitāte (ārējais apgaismojums, BGK lidojuma ātrums, kameras izšķirtspēja un optika, un kameras iestatījumi);
- 3) koku morfoloģijas un fizioloģijas variācijas, kā arī koku perspektīva attēlā;
- 4) koku lielums (kronis).

4.9. Risinājuma lietotāja saskarne

Projekta ietvaros tika izstrādāta jaunā risinājuma (tehnoloģijas) lietotāja saskarne, kas ļauj ielādēt BGK jēldatus (attēlus), kas uzņemti vienā vai vairākās jaunaudzēs. Izmantojot attēlu GPS koordinātas, risinājums uz kartes vizualizē nogabalus, kur attēli tika uzņemti ar BGK, kā arī vizualizē nogabala daļas, kuras atbilst katra attēla BGK kameras redzes laukam (sk. att.



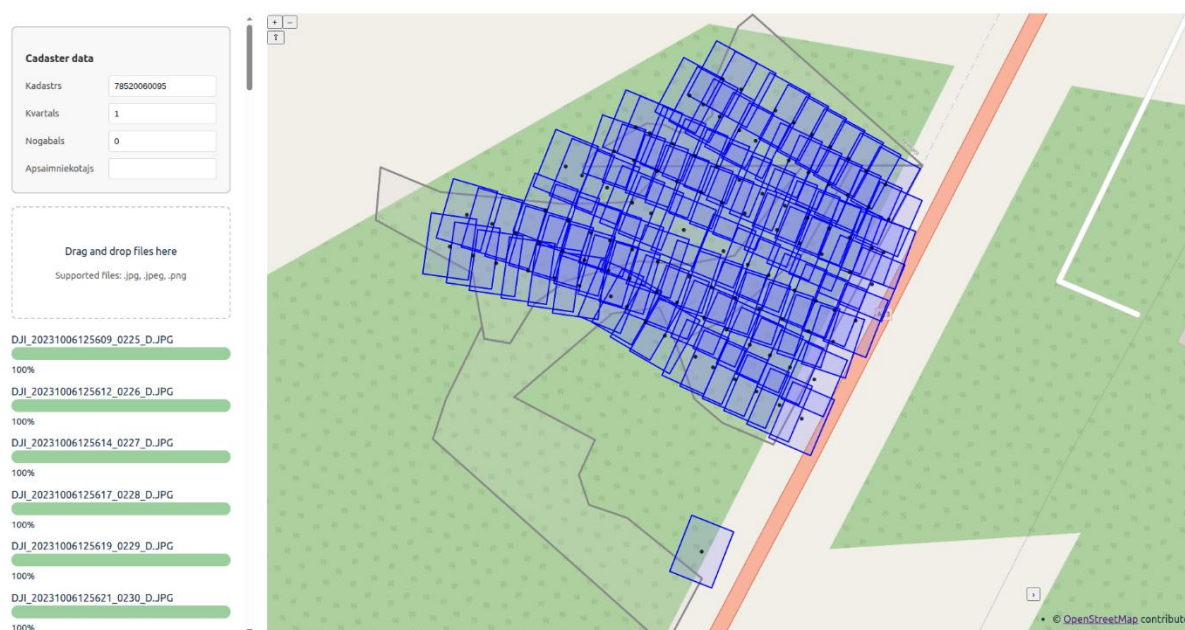
Attēls 48.). Visi ielādētie attēli tiek izmantoti DM modeļu darbināšanai, lai tajos detektētu jaunaudzes kokus (egles un priedes), kur arī tiek aprēķināts koku vidējais blīvums uz hektāru

(sk.

att.



Attēls 49). Lietotājam iespējams izvēlēties nogabala daļu (BGK attēlu) un risinājums atspoguļo šīs daļas attēlu ar DM modeļu darbināšanas rezultātiem – detektētiem kokiem (sk. att. 50.). Ja lietotājs ar peles palīdzību nospiežot uz kādas attēla daļas, tiek izveidots virtuālais parauglaukums (zilā riņķa līnija), kuram tiek aprēķināts koku vidējais blīvums uz hektāru (sk. att. 50.).



Attēls 48. BGK jēldati (attēli) tiek ielādēti risinājumā, izmantojot lietotāju saskarni



Attēls 49. BGK attēlu apstrāde un vizualizācija jaunaudzes nogabala ietvaros



Attēls 50. BGK attēla apstrādes rezultāts un aprēķinātais vidējais koku blīvums virtuālajā parauglaukumā

5. Kopsavilkums

Esošais risinājums balstās uz YOLO v.5.0 DM mākslīgo neironu tīklu arhitektūru, kas nodrošina ātru attēlu apstrādi, un kur tīkla precizitāte nav galvenais kritērijs.

Projektā:

- 1) tika apkopoti dati par vairāk nekā 700 jaunaudzju nogabaliem;
- 2) ar BGK tika kartēti 57 nogabali par priedēm, eglēm, bērzu un papelēm;
- 3) eksperimentos BGK DJI *Mavic 3 ComboPro* kamera bija vislabākā nekā citu BGK kameras (DJI *Mavic 2*, RTK 300 *Matrice* un DJI 30T). Diemžēl, DJI *Mavic 3 ComboPro* BGK modelis nenodrošina autopilotēšanas iespējas;
- 4) izstrādāta programmatūra integrācijai ar LVM GEO risinājumu jaunaudzju metadatu iegūšanai automatizētā veidā. Programmatūra ļauj ģenerēt KML failus, lai tos izmantotu BGK autopilotēšanai, kā arī nogabalu robežu attēlošanai risinājuma lietotāja saskarnes līmenī;
- 5) sagatavota programmatūra DM rīku izmantošanai un integrācijai ar attēlu anotēšanas programmatūru (CVAT *online*);
- 6) aprobēta programmatūra BGK attēlu apstrādei - fotogrammetrijai - DJI *Terra Agriculture* un *OpenStreetMaps*;
- 7) izstrādāta programmatūras arhitektūra: BGK jēldatu glabāšanai, anotēšanai, datu kopu izveidei, modeļu apmācībai un apmācības progresa monitoringam, modeļu apmācības rezultātu uzlabošanai un attēlu analīzes rezultātu atspoguļošanai;
- 8) izstrādāta programmatūra apmācības datu kopu izveidei, izmantojot CVAT rīka anotētos datus;
- 9) izstrādāta programmatūra CVAT datu formāta transformācijas programmatūra;
- 10) izveidota datu kopa par egļu un priežu koku jaunaudzēm (no 20 nogabaliem);
- 11) apmācīti DM modeļi, izmantojot YOLO v.5.0 un *FasterCNN* (PyTorch ietvaros) neironu tīklu arhitektūras;
- 12) notika DM modeļu aprobācija un testēšana;
- 13) izstrādāta DM modeļu apmācības procesa monitoringa programmatūra;
- 14) izstrādāta programmatūra ar lietotāja saskarni agrotehniskās kopšanas darbu novērtēšanai jaunaudzēs, izmantojot ar BGK uzņemtos attēlus;
- 15) izstrādāta programmatūra attēlu analīzes rezultātu atspoguļošana (GIS);

- 16) notika jaunās tehnoloģijas efektivitātes un precizitātes novērtēšana egļu un priežu jaunaudzēs (1.-3.gads);
- 17) jaunās tehnoloģijas validācijas rezultāti parādīja, ka apmācīto modeļu precizitāte tiek ietekmēta vienlaicīgi ar vairākiem faktoriem: a) jaunaudzes meža augsnes tips; b) BGK uzņemto attēlu kvalitāte; c) koku morfoloģijas un fizioloģijas variācijas; d) koku perspektīva attēlos; e) koku vecums un lielums (pēc pieauguma).

6. Pieeja programmatūrai, datu kopām un DM modeļiem

Interesentiem viena mēneša laikā tiks sagatavota pieeja projekta ietvaros radītai programmatūrai, 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.