

# PĀRSKATS

## PAR PĒTĪJUMA REZULTĀTIEM

Pētījuma nosaukums Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

Līguma Nr. 5\_5.9.1\_0081\_101\_21\_87

Pētījuma zinātniskais vadītājs Dr. silv. Andis Lazdiņš, LVMI Silava vadošais pētnieks

Pētījums īstenots akciju sabiedrības "Latvijas valsts meži" un Latvijas Valsts mežzinātnes institūta "Silava" 2021. gada 13. septembra sadarbības līguma ietvaros

## KOPSAVILKUMS

Pētījumu programmas aktualitāti nosaka nepieciešamība izmantot mūsdienīgus plānošanas instrumentus un saudzīgas mežizstrādes tehnoloģijas, lai nodrošinātu koksnes resursu pieejamību, vienlaicīgi mazinot mežizstrādes negatīvo ietekmi uz vidi. Pētījumu programmas mērķis ir palielināt meža apsaimniekošanas procesu efektivitāti, aprobējot līdz šim neizmantotas, taču tirgū pieejamas vai no jauna izstrādājamas tehnoloģijas.

Pētījumu programma, atbilstoši AS “Latvijas valsts meži” zinātniskās izpētes pasūtījumam, strukturēta 3 pētnieciskajos uzdevumos.

1. Meža biokurināmā ražošanas un piegāžu tehnoloģiju pilnveidošana un aprobācija;
2. Meža tehnikas monitoringa sistēmu un datu automatizētās apstrādes instrumentu pilnveidošana un ieviešana ražošanā;
3. Automatizētas sistēmas izveide meža taksācijas rādītāju noteikšanai un kopšanas ciršu kvalitātes novērtēšanai.

Pētījumā “Enerģētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs”, atbilstoši plānotajam, izstrādāta pētījuma metodika, kā arī uzsākta 2022. gada plānoto uzdevumi izpilde, uzsākot enerģētiskās koksnes krautuvju izmēru un šķeldu kvalitātes monitoringu.

Pētījumā “Forvardera greifera svāri meža biomasas apjoma noteikšanai” pilnveidota pētījuma metodika, kā arī veikti izmēģinājumi ar 2 svaru komplektiem. Tehnikas ražotāja integrētā svēršanas sistēma nodrošina plašāku informāciju ne vien par uzskaitīto masu, bet arī par citiem rādītājiem, kas būtiski mežizstrādes monitoringam un operatīvai plānošanai. Turpmākajos pētījuma etapos lietderīgi kā arī izvērtēt citu ražotāju risinājumus biomasas svēršanai pievešanā un izstrādāt nosacījumus sistēmas ieviešanai ražošanā.

Pētījumā “Šķeldu kravu piepildījuma izmaiņu monitorings un vienādojumu izstrādāšana kravu piepildījuma samazināšanās prognozēšanai” izstrādātie tilpumbūvuma izmaiņu aprēķinu koeficienti neparāda izteiktu sakarību ar nobraukto attālumu, kā arī nav konstatēta autotransporta veida ietekme uz tilpumbūvuma izmaiņām šķeldu pārvadājumos. Ražošanas apstākļos lietderīgi izmantot vidējo tilpumbūvuma izmaiņu rādītāju, taču jāturpina pārvietošanas attāluma ietekmes novērtēšana, lai noteiktu robežvērtību, kad sablīvēšanās ātrums samazinās.

Pētījumā “Forvardera atstāto risu mērīšanas iekārtas izstrāde” veikti izmēģinājumi ar 2021. gadā izstrādāto LiDAR + GNSS L1 + L2 RTK *single receiver* (RM1) un 2022. gadā izstrādāto GNSS L1 + L2 RTK *single receiver* (RM2) iekārtu. Precīzu globālās pozicionēšanas datu izmantošana risina zaru seguma radušās tehnoloģiskās brauktuves deformēšanās problēmas risinājumu un samazina iekārtas bojājumu risku, tāpēc šis risinājums rekomendējams ieviešanai ražošanā, 2023. gadā veicot plašākus izmēģinājumus dažādos cirsu veidos, tajā skaitā novērtējot attāluma no LatPos stacijām ietekmi uz mērījumu precizitāti.

Pētījumā “Algoritmu pilnveidošana kopšanas ciršu attālinātai kontrolei” konstatēta būtiski uzlabota datu sakritība ar kontrolmērījumiem, izmantojot *hprGallring* programmas 4.0.0. versiju, kas norāda uz būtisku progresu, izmantojot programmas testēšanā Latvijā iegūtos datus. Etapa noslēguma stadijā bija pieejams programmas 4.1.5. versijas atjauninājums, kas nodrošināja būtiski labāku šķērslaukuma prognozi, lai arī neuzlaboja koku augstuma prognozi. Saglabājoties esošajam programmas pilnveidošanas progresam un nodrošinot papildus datus lapu koku audžu raksturošanai, pieaug varbūtība, ka programmu varēs izmantot taksācijas rādītāju aktualizēšanai kopšanas cirtēs atbilstoši Latvijas normatīvu prasībām.

Pētījumu īstenots, pamatojoties uz Latvijas Valsts mežzinātnes institūta “Silava” un akciju sabiedrības “Latvijas valsts meži” sadarbības līgumu, kas noslēgts 2021. gada 13. septembrī.

## SUMMARY

The importance of the research program is determined by the need to use modern planning tools and low impact logging solutions to ensure the availability of wood resources, while at the same time reducing the negative impact of logging on the environment. The aim of the research program is to increase the efficiency of forest management processes by approving technologies that have not been used so far but are available on the market or can be newly developed.

The research program, according to the scientific research order of Joint stock company "Latvia's state forests" (LVM), is structured in 3 research tasks.

1. Development and improvement of forest biofuel production and supply technologies;
2. Improvement and implementation of forest equipment monitoring systems and automated data processing tools in production;
3. Creation of an automated system for the forest mensuration and assessing the quality of thinnings.

In the study "Storage of energy wood at roadside" the methodology was updated, as well as the implementation of the tasks planned for 2022 was started by the monitoring of the size of energy wood stacks at roadside and the quality of woodchips.

In the study "Forwarder grapple scales for determining the amount of forest biofuel" the methodology was improved, and the tests were conducted with 2 sets of scales. The integrated weighing system supplied by the machine manufacturer provides more information about the loaded biomass and other indicators important for monitoring and operational planning. In the following stages of the research, it is recommended to evaluate the solutions of other forwarder manufacturers for weighing of biomass and to develop recommendations for the implementation of the system.

The factors for calculation of bulk density developed in the study "Monitoring load size of wood chips and development of equations for predicting of subsiding of the load size" do not show a strong relationship with the distance, nor the effect of the type of transport on the changes of the bulk density of wood chips during transportation. In production conditions it is recommended to use the average rate of changes of the bulk density, but further evaluation of the effect of transportation distance is needed to determine the threshold value when the rate of the subsiding decreases.

In the study "Development of the equipment for measuring the "forwarding ruts" tests were carried out with the LiDAR RTK developed in 2021 and the GNSS RTK unit developed in 2022. The use of precise GPS data solves the problem of deformation of the strip-road surface caused by the branch cover and reduces the risk of damage to the equipment during operations, therefore this solution is recommended for implementation in production. In 2023 trials in different types of cuttings are planned, including evaluation of the effect of the distance from LatPos base stations on the accuracy of measurements.

In the study "Improving algorithms for remote mensuration of the inventory data" a significantly improved conformity with control measurements was found using the *hprGallring* program 4.0.0. version, which indicates significant progress, using the data obtained during program tests in Latvia. At the end of 2022 an update to the version 4.0.0 of was available providing a significantly better prediction of a basal area, although it did not improve the tree height prediction. Continuing improvement of the program and application of additional data on the deciduous tree stands, the program will be able to be used to update the inventory indicators in thinning in accordance with Latvian regulatory requirements.

The research was conducted within the framework of the cooperation agreement between LVMI Silava and JSC "Latvia's state forests" on September 13, 2021.

## Saturs

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Kopsavilkums</b> .....   | <b>1</b>  |
| <b>Summary</b> .....  | <b>2</b>  |
| <b>Saīsinājumi</b> .....  | <b>6</b>  |
| <b>Ievads</b> .....   | <b>7</b>  |
| <b>1. Meža biokurināmā ražošanas un piegāžu tehnoloģiju pilnveidošana un aprobācija</b> .....                                       | <b>12</b> |
| 1.1. Enerģētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs.....  | 12        |
| 1.1.1. 2022. gada izpētes rezultāti .....   | 12        |
| 1.1.2. Sākotnējie secinājumi un rekomendācijas .....  | 21        |
| 1.1.3. Priekšlikumi pētījuma īstenošanai 2023. gadā.....  | 21        |
| 1.2. Forvardera greifera svāri meža biomasas apjoma noteikšanai .....   | 22        |
| 1.2.1. 2022. gada izpētes rezultāti .....   | 22        |
| 1.2.2. Sākotnējie secinājumi un rekomendācijas .....  | 28        |
| 1.2.3. Priekšlikumi pētījuma īstenošanai 2023. gadā.....  | 29        |
| 1.3. Šķeldu kravu piepildījuma izmaiņu monitorings un vienādojumu izstrādāšana kravu piepildījuma samazināšanās prognozēšanai ..... | 29        |
| 1.3.1. 2022. gada izpētes rezultāti .....   | 30        |
| 1.3.2. Sākotnējie secinājumi un rekomendācijas .....  | 39        |
| 1.3.3. Priekšlikumi pētījuma īstenošanai 2023. gadā.....  | 39        |
| <b>2. Meža tehnikas monitoringa sistēmu un datu automatizētās apstrādes instrumentu pilnveidošana un ieviešana ražošanā</b> .....   | <b>40</b> |
| 2.1. Forvardera atstāto risu mērīšanas iekārtas izstrāde .....  | 40        |
| 2.1.1. 2022. gada izpētes rezultāti .....   | 40        |
| 2.1.2. Sākotnējie secinājumi un rekomendācijas .....  | 48        |
| 2.1.3. Priekšlikumi pētījuma īstenošanai 2023. gadā.....  | 48        |
| 2.2. Forvarderu datorprogrammu pielietojuma izpēte .....  | 48        |
| 2.2.1. Tehniskās dokumentācijas apskats.....  | 49        |
| 2.2.2. Forvardera IT sistēmu gatavības novērtēšanas metodika .....  | 55        |
| 2.2.3. Sākotnējie secinājumi un rekomendācijas .....  | 61        |
| 2.2.4. Priekšlikumi pētījuma īstenošanai 2023. gadā.....  | 61        |
| <b>3. Automatizētas sistēmas izveide meža taksācijas rādītāju noteikšanai un kopšanas ciršu kvalitātes novērtēšanai</b> .....       | <b>62</b> |
| 3.1.1. 2022. gada izpētes rezultāti .....   | 62        |
| 3.1.2. Sākotnējie secinājumi un rekomendācijas .....  | 67        |
| 3.1.3. Priekšlikumi pētījuma īstenošanai 2023. gadā.....  | 68        |
| <b>Literatūra</b> .....   | <b>69</b> |

## Attēli

|  |    |
|--|----|
| Attēls 1.1. Vidējās krautuves augstuma izmaiņas. ....                                      | 14 |
| Attēls 1.2. Pirmās grupas krautuves pie cirsmas 509-292-24. ....                           | 14 |
| Attēls 1.3. Vidējās tilpuma izmaiņas atkarībā no mērījuma veikšanas veida. ....            | 16 |
| Attēls 1.4. Vidējās relatīvā mitruma satura izmaiņas. ....                                 | 17 |
| Attēls 1.5. Relatīvā mitruma satura izmaiņas 1. grupas krautuvēs. ....                     | 18 |
| Attēls 1.6. Relatīvā mitruma izmaiņas 2. grupas krautuvēs. ....                            | 19 |
| Attēls 1.7. Svēršanas vietu izvietojums nogabalā 412-218-9. ....                           | 26 |
| Attēls 1.8. Svēršanas sistēmas dati pievešanas procesā veikto darbību atspoguļošanai. .... | 27 |
| Attēls 1.9. Relatīvā mitruma saturs šķeldās AGK un LGK. ....                               | 30 |
| Attēls 1.10. Pelnu saturs sausnā AGK un LGK. ....  | 31 |
| Attēls 1.11. Šķeldas sablīvēšanās pārvadājumos ar puspiekabi. ....                         | 35 |
| Attēls 1.12. Šķeldas sablīvēšanās pārvadājumos ar konteinervedēju. ....                    | 36 |
| Attēls 2.1. RM1 sistēmas darbības shēma.....   | 40 |
| Attēls 2.2. RM1 sensoru novietojums uz forvardera. ....                                    | 41 |
| Attēls 2.3. Risu telpiskais izvietojums saskaņā ar RM1 sistēmā iegūto informāciju.....     | 42 |
| Attēls 2.4. Pētījumā izmantoto parauglaukumu telpiskais izvietojums. ....                  | 43 |

|   |    |
|---|----|
| Attēls 2.5. Ceļā izklāti zari (a) un ceļa augsne atklāta (b).   | 44 |
| Attēls 2.6. RM1 un RM2 mērījumu salīdzinājums.  | 45 |
| Attēls 2.7. Risu telpiskā novietojuma aprēķins un telpiskais atspoguļojums, izmantojot RM2 sensora sniegto informāciju. | 46 |
| Attēls 2.8. Datu apmaiņa John Deere sistēmā.  | 52 |
| Attēls 2.9. Izklājlapas paraugs.  | 53 |
| Attēls 2.10. TimberMatic Maps tehnoloģiskās brauktuves ar sagatavoto sortimentu apjomu.                                 | 54 |
| Attēls 2.11. Uzkrātā apjoma atspoguļošana.  | 54 |
| Attēls 2.12. Forvardera uzskaites datu analīzes shēma.  | 58 |
| Attēls 2.13. Forvardera datu plūsmas shēma.   | 58 |
| Attēls 3.1. Meža platības salīdzinājums.  | 63 |
| Attēls 3.2. Augstuma atšķirības piemērs objektā (102-259-17).   | 64 |
| Attēls 3.3. Datu slāņa pievienošana <i>hprGallring</i> programmai (105-89-8,9).   | 66 |
| Attēls 3.5. Koku caurmēra nobīdes.  | 67 |

## Tabulas

|   |    |
|---|----|
| Tabula 1.1. Krautuvju pamatinformācija  | 13 |
| Tabula 1.2. Krautuves sākotnējā vidējā augstuma un rukuma attiecība                   | 14 |
| Tabula 1.3. Krautuvju rukuma ietekmējošo faktoru izkliedes rādītāji                   | 15 |
| Tabula 1.4. Modelētie krautuvju rukuma faktori un vērtības                            | 15 |
| Tabula 1.5. Tilpīguma koeficienti   | 17 |
| Tabula 1.6. Biokurināmā raksturojošie rādītāji atkarībā no uzglabāšanas ilguma        | 20 |
| Tabula 1.7. Pētījumā izmantoto svaru sistēmu tehnikā specifikācija                    | 23 |
| Tabula 1.8. Svēršanas sistēma Intermercato XP 50 PS iegūto datu kopsavilkums          | 23 |
| Tabula 1.9. Svēršanas sistēmas John Deere iegūto datu kopsavilkums                    | 28 |
| Tabula 1.10. Relatīvais mitruma saturs šķeldās  | 31 |
| Tabula 1.11. Vidējais pelnu saturs šķeldās LGK  | 32 |
| Tabula 1.12. Kravu skaita sadalījums atkarībā no autotransporta aprīkojuma un sezonas | 32 |
| Tabula 1.13. Tilpumbūvuma izmaiņas atkarībā no autotransporta aprīkojuma un sezonas   | 33 |
| Tabula 1.14. Vidējie šķeldu sablīvēšanās rādītāji dažādās sezonās                     | 33 |
| Tabula 1.15. Modelētie sablīvēšanās vērtības šķeldu pārvadājumos ar puspiekabi        | 36 |
| Tabula 1.16. Modelētie sablīvēšanās vērtības šķeldu pārvadājumos ar konteineravedēju  | 37 |
| Tabula 1.17. Vienādojuma izmantošanai nepieciešamo izejas datu apkopojuma piemērs     | 37 |
| Tabula 1.18. Kravu tilpuma aprēķina piemērs   | 38 |
| Tabula 1.19. Pārvadāšanas attāluma un novērojumu skaita kopsavilkums                  | 38 |
| Tabula 2.1. RM1 sistēmas datu struktūras paraugs                                      | 41 |
| Tabula 2.2. Pētījumā iekļauto cirsmu risu mērījuma un nobraukuma datu kopsavilkums    | 43 |
| Tabula 2.3. Tehniskā specifikācija RM1 sistēmai                                       | 46 |
| Tabula 2.4. Tehniskā specifikācija RM2 sistēmai                                       | 47 |
| Tabula 2.5. Kopīgās iezīmes tehniskajām sistēmām                                      | 51 |
| Tabula 2.6. Apaļo kokmateriālu pievešanas darba laika sadalījums darba elementos      | 57 |
| Tabula 3.1. Iegūto audzes taksācijas rādītāju salīdzinājums                           | 62 |
| Tabula 3.2. Izmēģinājuma objektos iegūto datu kopsavilkums                            | 65 |

## Pielikumi

1. Pielikums. Forvardera datu analīzes programmas kods.
2. Pielikums. Forvardera atstāto risu mērīšanas iekārtas vadības sistēmas kods.
3. Pielikums. Risu analīzes programmas kods, izmantojot LiDAR sensoru un GPS lokācijas

## **Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai**

informāciju (RM1).

4. Pielikums. Risu analīzes programmas kods, izmantojot GNSS (AMSL) lokācijas informāciju (RM2).

## SAĪSINĀJUMI

AGK - augšgala krautuve

ber. m<sup>3</sup> - berkubikmetrs

CO<sub>2</sub> - oglekļa dioksīds

DSM - digitālais virsmas modelis

DTM - digitālais reljefa modelis

GNSS - Globālās navigācijas satelītu sistēmas

GPS - globālās pozicionēšanas sistēma

IT - informācijas tehnoloģijas

LGK - lejasgala krautuve

LiDAR - Atrāšana un attāluma noteikšana ar gaismu

m<sup>3</sup> - kubikmetrs

MWh - megavatstunda

RTK - reālā laika korekcija

## IEVADS

Eiropas Savienības klimata un enerģētikas politika paredz, ka līdz 2050. gadam jāsasniedz klimata neitralitātes mērķi, un zemes izmantošanas sektoram ir būtiska loma šī mērķa sasniegšanā, gan palielinot CO<sub>2</sub> piesaisti biomasā un citās oglekļa krātuvēs, gan piegādājot izejvielas bioekonomikas sektoram, tajā skaitā palielinot kokmateriālu un biokurināmā piegāžu ilgtspēju un samazinot ražošanas izmaksas meža apsaimniekošanai. Pētījumu programma “Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai” mērķis ir izstrādāt un aprobēt kokmateriālu un meža biomasas ražošanas tehnoloģijas un plānošanas risinājumus, kas ļauj samazināt ražošanas izmaksas un palielināt koksnes izmantošanas efektivitāti, kā arī identificēt izmaiņas, kas nepieciešamas meža apsaimniekošanā, lai nodrošinātu ilgtspējīgu un sociāli akceptējamu izejvielu piegādi bioekonomikas sektoram. Pētījumu programmā vērtējam tehnoloģisko procesu efektivitātes palielināšanas iespējas, aprobējam efektīvākus mežsaimniecības plānošanas risinājumus un izstrādājam mežsaimniecības instrumentus, kas palīdz mazināt meža apsaimniekošanas negatīvo ietekmi uz vidi.

Pētījuma programmas īstenošana noris bez būtiskām novirzēm, uzdevumu izpilde atbilstoši saskaņotajam darba plānam (1. tabula). Darba uzdevumā “Enerģētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs”, programmas ietvaros turpinās datu ievākšana un apstrāde atbilstoši plānotajam. Darba uzdevuma “Forvardera greifera svāri meža biomasas apjoma noteikšanai” izpilde notiek atbilstoši plānotajam, datu apjoms ievākts ar divām svēršanas sistēmām. Ņemot vērā mežizstrādes mašīnu ražotāja izstrādātajās sistēmu priekšrocības, salīdzinot ar neatkarīga piegādātāja svaru sistēmu, turpmākajos pētījumos jākoncentrējas uz tehnikas ražotāju izstrādātajiem risinājumiem, kas nodrošina integrāciju ar tehnikas IT sistēmām. Darba uzdevuma “Šķeldu kravu piepildījuma izmaiņu monitorings un vienādojumu izstrādāšana kravu piepildījuma samazināšanās prognozēšanai” izpilde atbilst koriģētajam plānotajam. Atsevišķas nobīdes saistāmas ar piegāžu procesu un remontdarbiem materiāla nodošanas punktā, tāpēc daļa no apstrādātajiem datiem nav izmantojama rezultātu analīzei. Veicot regulāras apmācības šķeldu kravu piepildījuma video fiksēšanai, ir panākts būtisks uzlabojums datu ieguves kvalitātē. Neskatoties uz to, izstrādātie sablīvēšanās modeļiem neuzrāda augstu ticamību. Papildus nepieciešams identificēt precizitāti ietekmējošos faktorus. Darba uzdevuma “Forvardera atstāto risu mērīšanas iekārtas izstrāde” ietvaros izstrādātais prototips RM1 darbojās ražošanas apstākļos. Darba vides specifikas rezultātā veikti atsevišķi uzlabojumi, kuri nodrošina iekārtas darbības nepārtrauktību un nerada apgrūtinājumu tehnikas pārvadājumos. Papildus izstrādāta uzmērīšanas sistēma (RM2), kur darbības pamatā ir RM1 dati. RM2 sistēmas mērījumu precizitāti neietekmē tehnoloģiskās brauktuves nostiprināšana un tā ir vismaz tikpat precīza kā RM1 sistēma, bet ir nepieciešama datu pēcapstrāde un precizitāti var ietekmēt sākotnējā zemes virsmas modeļa izveide. Ja rises veidojas jau pirmajā braucienā, tad izmantotais reljefa modelis neatbilst reālajai situācijai. Darba uzdevuma “Forvardera datorprogrammu pielietojuma izpēta” ietvaros izstrādāts programmas prototips datu importēšanai, kas nodrošina datu uzkrāšanu un sniedz iespēju modelēt datu apstrādes iespējas. Papildus, apzinātas ražotāja nodrošinātās datu uzkrāšanas iespējas, izmantojot “mākoņpakalpojumus”. Nepieciešams turpināt darbu pie datu uzkrāšanas un apstrādes risinājumu pārbaudes, balstoties uz ražošanas datiem. Darba uzdevuma “Algoritmu pilnveidošana kopšanas ciršu attālinātai kontrolei”, atbilstoši plānotam, pabeigta datu ieguve. Izvērtēts programmas pielietojums, definēti nepieciešami pilnveidojumi programmas pilnveidei, lai uzlabotu modelēto datu kvalitāti.



**Tabula 1. Plānoto uzdevumu sagatavošanas 2022. gada progress**

| Pētījumi, uzdevumi  | Darbības, nodevumi   | Izpildes termiņš | Statuss uz 30.12.2022   |
|---|--|------------------|---|
| <b>1. Meža biokurināmā ražošanas un piegāžu tehnoloģiju pilnveidošana un aprobācija</b> |  |                  |   |
| 1.1. Enerģētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs   | <p><b>Darba nolūks:</b> Enerģētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs.</p> <p><b>Lauka darbi:</b> reizi mēnesī ievākt paraugus no meža biomasas krautuvēm; reizi mēnesī manuāli un ar fotogrammetrijas metodi uzmērīt meža biomasas krautuvēm; koordinēt sagatavotā materiāla šķeldošana reizi 3 mēnešos; ievākt rūpnieciski sagatavoto šķeldu paraugus, veikt šķeldu kravu svēršanu.</p> <p><b>Kamerālie darbi:</b> aprobēt metodiku koksnes mineralizācijas modeļa izstrādei; pārbaudīt datu ieguves kvalitāti un nepieciešamības gadījumā pilnveidot darba metodes vai apmācīt personālu; analizēt biomasas paraugus laboratorijā – mitruma saturs, īpatnējais blīvums, pelnainība un siltumspēja; sagatavot prognožu modeļa prototipu, izmantojot pētījumā iegūto datu kopu; plānot bezpilota lidaparātu maršrutus, saskaņot tos ar Civilās aviācijas aģentūru; analizēt un aprakstīs pētījuma 2022. gada rezultātus etapa pārskatā.</p> <p><b>Nodevums:</b> Enerģētiskās koksnes krautuvju tilpuma, mitruma un siltumspējas izmaiņu raksturojums pārskata periodā (2022. gadā). Biomasu raksturojošo rādītāju (mitruma saturs, īpatnējais blīvums, pelnainība un siltumspēja) izmaiņu raksturojums monitoringa periodā. Pētījuma 2022. gada rezultātu apraksts etapa pārskatā.</p> | 15.01.2023       | Enerģētiskās koksnes krautuvju tilpuma, mitruma un siltumspējas izmaiņu raksturojums pārskata periodā, izpilde atbilstoši plānotajam uz 30.12.2022 (100%)<br>Biomasu raksturojošo rādītāju izmaiņu raksturojums monitoringa periodā, izpilde atbilstoši plānotajam uz 30.12.2022 (100%) |
| 1.2. Forvardera greifera svāri meža biomasas apjoma noteikšanai                         | <p><b>Darba nolūks:</b> svaru sistēmas uzstādīšana, funkcionalitātes un sistēmas izvērtējums.</p> <p><b>Lauka darbi:</b> LVMI Silava rīcībā esošo svaru uzstādīšana, operatoru apmācība, darba metožu pārbaude praksē; apsekot un atlasīt potenciālos pētījuma objektus; novērtēt datu ievākšanas kvalitāti; ievākt datus pētījuma objektos, izmantojot pusautomātisko svēršanas metodi un konvencionālās metodes.</p> <p><b>Kamerālie darbi:</b> apkopot zinātniskajā literatūrā pieejamos datus par biomasas pievešanas uzskaites metodēm; izstrādāt telpisko datu uzkrāšanas un apstrādes risinājumus; apkopot un analizēt pētījumā iegūto datu kopu un novērtēt sakarības; iegādāties mērījumiem nepieciešamo aprīkojumu (baterijas, smērvielas); izstrādāt tehniskos norādījumus svaru izmantošanai ražošanas apstākļos; saskaņot empīrisko datu</p>  | 15.01.2023       | Biokurināmā svēršanas sistēmas pielietošanas praktisko aspektu analīze izpildīta. Biomasas pievešanas datu analīze un sakarību izvērtējums atbilstoši plānotajam.   |

| Pētījumi, uzdevumi   | Darbības, nodevumi   | Izpildes termiņš  | Statuss uz 30.12.2022  |
|--|--|-------------------|--|
|  | <p>ieguvi ar LVM un nepieciešamības gadījumā koriģēt izpēti platības; aprakstīt pētījuma 2022; gada rezultātus etapa pārskatā.</p> <p><b>Nodevums:</b> Biokurināmā svēršanas sistēmas pielietošanas praktisko aspektu analīze. Biomasas pievešanas datu analīze un sakarību izvērtējums. Pētījuma 2022. gada rezultātu apraksts etapa pārskatā.</p>  |                   |  |
| <p>1.3. Šķeldu kravu piepildījuma izmaiņu monitorings un vienādojumu izstrādāšana kravu piepildījuma samazināšanās prognozēšanai</p> | <p><b>Darba nolūks:</b> šķeldu kravu piepildījuma prognožu algoritmu pilnveidošana</p> <p><b>Lauka darbi:</b> ievākt šķeldu paraugus no 130 kravām; iegūt kontroles datus (attālus) augšgala krautuvē, izmantojot video un fotofiksācijas metodes (vismaz 5% no pētījumam nepieciešamajām kravām); ievākt šķeldu paraugus papildus 44 kravām.</p> <p><b>Kamerālie darbi:</b> modelēto datu pārbaudei vismaz 44 šķeldu paraugos veikt kontrolmērījumus, nosakot šķeldu mitruma saturu, bēruma blīvumu un siltumspēju; pārbaudīt empīrisko datu ieguves kvalitāti un pilnveidot datu ieguves procedūru; analizēt kravu piepildījuma datus; izstrādāt datu matemātiskās analīzes metodes; īstenot sākotnējo kvalitātes kontroli kravu piepildījuma datiem augšgala un lejasgala krautuvē, izmantojot Agisoft programmu; analizēt nobraukumu; sistematizēt mērījumu datus; aprēķināt kravu piepildījuma izmaiņas un raksturot likumsakarības, vērtējot dažādu faktoru individuālo un kumulatīvo ietekmi; aprēķināt šķeldu prognozētās īpašības, ja nebūs pieejami mērījumu dati; salīdzināt ar prognožu vienādojumiem iegūtos un faktiskos šķeldu īpašību rādītājus; izstrādāt un aprobēt metodi nobrauktā attāluma un braukšanas apstākļu (brauktuves veids, ātruma režīms) raksturošanai, tajā skaitā izmantojot akselerometra rādījumus kumulatīvās vibrācijas raksturošanai; aprobēt metodi mežizstrādes atlieku kaudžu rukuma prognozēšanai uzglabāšanai laikā un rukumu ietekmējošo faktoru sakarību analīzei; izstrādāt/pilnveidot sākotnējos vienādojumus šķeldu sablīvēšanās raksturošanai, atkarībā no piegādes attāluma, autovilciena veida un smalcināmā materiāla īpašībām; aprakstīt pētījuma 2022. g. rezultātus etapa pārskatā.</p> <p><b>Nodevums:</b> Sākotnējie vienādojumi šķeldu sablīvēšanās raksturošanai, atkarībā no piegādes attāluma, autovilciena veida un smalcināmā materiāla īpašībām. Pētījuma 2022. gada rezultātu apraksts etapa pārskatā.</p> | <p>15.01.2023</p> | <p>Izstrādāti sākotnējie vienādojumi šķeldu sablīvēšanās raksturošanai, izpilde atbilstoši plānotajam.</p> |

| Pētījumi, uzdevumi  | Darbības, nodevumi   | Izpildes termiņš | Statuss uz 30.12.2022   |
|---|--|------------------|---|
| <b>2. Meža tehnikas monitoringa sistēmu un datu automatizētās apstrādes instrumentu pilnveidošana un ieviešana ražošanā</b> |  |                  |   |
| 2.1. Forvardera atstāto risu mērīšanas iekārtas izstrāde  | <p><b>Darba nolūks:</b> RTK LiDAR sistēmas uzstādīšana un funkcionalitātes pārbaude.</p> <p><b>Lauka darbi:</b> instruēt 2022. gadā pētījumā iesaistītos forvarderu operatorus; 2021. gadā izveidotos prototipus testēt lauka apstākļos; veikt risu dziļuma kontrolmērījumus ar konvencionālām metodēm.</p> <p><b>Kamerālie darbi:</b> izstrādāt pētījuma pašorganizācijas sistēmu (ievācamie dati, to uzglabāšanas, apstrādes un publicēšanas kārtība); izstrādāt LiDAR RTK sistēmu, vadības bloku un atbilstošu IT risinājumu, pārbaudīt to funkcionalitāti; analizēt brauktuvju raksturojošos rādītājus, izstrādāt rekomendācijas sistēmas pilnveidošanai atbilstoši testu rezultātiem; aprakstīt pētījuma 2022. gadus rezultātus etapa pārskatā.</p> <p><b>Nodevums:</b> Tehniskās prasības, izstrādāto iekārtu specifikācijas.<br/>Pētījuma 2022. gada rezultātu apraksts etapa pārskatā.</p> | 15.01.2023       | Tehniskās prasības, izstrādāto iekārtu specifikācijas sagatavotas atbilstoši plānam (100%).   |
| 2.2. Forvarderu datorprogrammu pielietojuma izpēte  | <p><b>Darba nolūks:</b> Pētījuma metodikas izstrādāšana, forvarderu sistēmas gatavības novērtējums.</p> <p><b>Lauka darbi:</b> nav paredzēti.</p> <p><b>Kamerālie darbi:</b> analizēt zinātnisko un tehnisko literatūru; izstrādāt pētījuma metodiku; forvarderu IT sistēmu gatavības novērtējums; datu izmantošanas iespēju analīze; aprakstīt datu ieguves, uzkrāšanas un matemātiskās analīzes procedūru; aprakstīt pētījuma 2022. g. rezultātus etapa pārskatā.</p> <p><b>Nodevums:</b> Forvarderu IT sistēmas iespēju izvērtējums. Priekšlikumu sagatavošana padziļinātai izpētei. Pētījuma 2022. gada rezultātu apraksts etapa pārskatā.</p>   | 15.01.2023       | Forvarderu IT sistēmas iespēju izvērtējums veikts atbilstoši plānam.  |
| <b>3. Automatizētas sistēmas izveide meža taksācijas rādītāju noteikšanai un kopšanas ciršu kvalitātes novērtēšanai</b>     |  |                  |   |
| 3.1. Algoritmu pilnveidošana kopšanas ciršu attālinātai kontrolei   | <p><b>Darba nolūks:</b> Empīriskā materiāla ievākšana ar augstas precizitātes zemes LiDAR <i>hprGallring</i> programmas aprēķinu neprecizitāšu iemeslu skaidrošanai skuju koku audzēs. Sakarību analīze koku caurmēra un skaita atšķirību noteikšanai pēc kopšanas. Rekomendāciju sagatavošana programmas pilnveidošanai taksācijas rādītāju noteikšanas precizitātes palielināšanai.</p> <p><b>Lauka darbi:</b> atlasīt un iezīmēt cirsmas pētījuma vajadzībām; veikt audžu vienlaidus dastošanu,</p>   | 15.01.2023       | Rekomendācijas programmas pilnveidošanai taksācijas rādītāju noteikšanas precizitātes palielināšanai sagatavotas atbilstoši plānotajam. |

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

| Pētījumi, uzdevumi | Darbības, nodevumi   | Izpildes termiņš | Statuss uz 30.12.2022 |
|--------------------|--|------------------|-----------------------|
|                    | <p>nosakot individuālu koku izvietojumu pirms un pēc mežizstrādes; uzmērīt audzes ar lāzerskenēšanas metodi un bezpilota lidaparātu, kā arī ar parauglaukumu metodi lāzerskenēšanas datu kalibrēšanai un sugu sastāva raksturošanai</p> <p><b>Kamerālie darbi:</b> izstrādāt pētījuma pašorganizācijas sistēmu (ievācamie dati, to uzglabāšanas, apstrādes un publicēšanas kārtība); pilnveidot pētījuma metodiku; veikt jaunākās zinātniskās un tehniskās analizēs literatūru; analizēt prognožu datus un vērtēt prognožu kvalitāti; plānot bezpilota lidaparātu maršrutus, saskaņot tos ar Civilās aviācijas aģentūru; analizēt telpiskos datus un salīdzināt tos ar <i>hprGallring</i> prognožu datiem; analizēt koku caurmēra atšķirības, salīdzinot mērījumus un <i>hprGallring</i> prognozi; sagatavot rekomendācijas programmas pilnveidošanai taksācijas rādītāju noteikšanas precizitātes palielināšanai; aprakstīt pētījuma 2022. gada rezultātus etapa pārskatā.</p> <p><b>Nodevums:</b> Pētījuma 2021. gada rezultātu apraksts etapa pārskatā. Rekomendācijas programmas pilnveidošanai taksācijas rādītāju noteikšanas precizitātes palielināšanai.</p> |                  |                       |

# 1. MEŽA BIOKURINĀMĀ RAŽOŠANAS UN PIEGĀŽU TEHNOLOĢIJU PILNVEIDOŠANA UN APROBĀCIJA

## 1.1. Enerģētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs

Pētījuma mērķis ir novērtēt meža biomasas kvalitātes izmaiņas uzglabāšana laikā augšgala krautuvē, tajā skatā novērtēt krautuves izmēru izmaiņas, šķeldu siltumspējas un mitruma satura izmaiņas un tās ietekmējošos faktorus. 2022. gada darba uzdevums ir koksnes biokurināmā kaudžu monitorings un iegūto datu apstrāde. Darbības “Enerģētiskās koksnes uzglabāšanai krautuvēs”. Izmēģinājumu metodika sagatavota un ziņota 2021. gada etapa pārskatā (LVMI Silava, 2021). 2022. gadā turpinās datu ievākšana un apstrāde saskaņā ar iepriekš izstrādāto metodiku.

Pētījuma ietvaros līdz 2022. gadam izstrādāta metodika, kurā ietverta lauku darbu datu ievākšana, pirmapstrāde un meža biomasas apjoma noteikšana, izmantojot mežaudzes taksācijas rādītājus. Lai noteiktu pievestā biokurināmā apjomus un salīdzinātu ar teorētiski aprēķināto, veikta materiāla svēršana, izmantojot forvardera greifera svarus. Pēc biokurināmā nokraušanas veikta regulāra krautuves pārmēršana, izmantojot manuālo un fotogrammetrijas metodi. Biokurināmā raksturošanai ievākti paraugi laboratoriskajiem mērījumiem – koksnes mitrums, pelnu saturs, siltumspēja, tilpumbūvums (šķeldotam materiālam). Uzsākta iegūto datu apstrāde un biokurināmā krautuvju rukumu ietekmējošo faktoru izvērtēšana.

### 1.1.1. 2022. gada izpētes rezultāti

Meža biomasa izmēģinājumiem pievesta no 8 izmēģinājumu objektiem (atjaunošanas cirtes lauksaimniecības zemju apaugumā) un novietots 16 krautuvēs, kurās reizi mēnesī, izmantojot manuālo un fotogrammetrijas metodi, notiek krautuvju augstuma un tilpuma mērījumi (Tabula 1.1. tabula).

Daļai pievestā materiāla (10 krautuves jeb 1. krautuvju grupa) augšgala krautuvju ierīkošanas vieta izmēģinājumu objektu plānošanas procesā izvēlēta īpaši, lai nodrošinātu līdzīgus izmēģinājuma apstākļus (krautuves novietojums attiecībā pret valdošajiem vējiem un iespēja veidot vairākas atsevišķas krautuves, katrā nokraujot ap 60-80 ber. m<sup>3</sup> biomasas). Pārējo augšgala krautuvju (6 krautuves jeb 2. krautuvju grupa) ierīkošana veikta saskaņā ar prasībām, kādas jāievēro ražošanas apstākļos. Tās izmantotas kontroles nolūkos, lai novērtētu biomasas īpašību izmaiņu sakarības ražošanas un eksperimentālos apstākļos.

Cirsmas abās krautuvju grupās:

1. krautuvju grupa, ko veido audzes 509-292-24, 509-296-13, 509-296-14 – objekti, kuros datu ievākšana un šķeldošana notiek atbilstoši izstrādātam grafikam (šķeldošana vienu reizi trīs mēnešos);
2. krautuvju grupa, ko veido audzes 509-325-2, 509-326-13, 603-221-3, 604-363-16, 604-514-1, 611-138-19 – objekti, kuros datu ievākšana notiek atbilstoši izstrādātam grafikam, bet šķeldošanu veic saskaņā ar ražošanas uzstādījumiem.

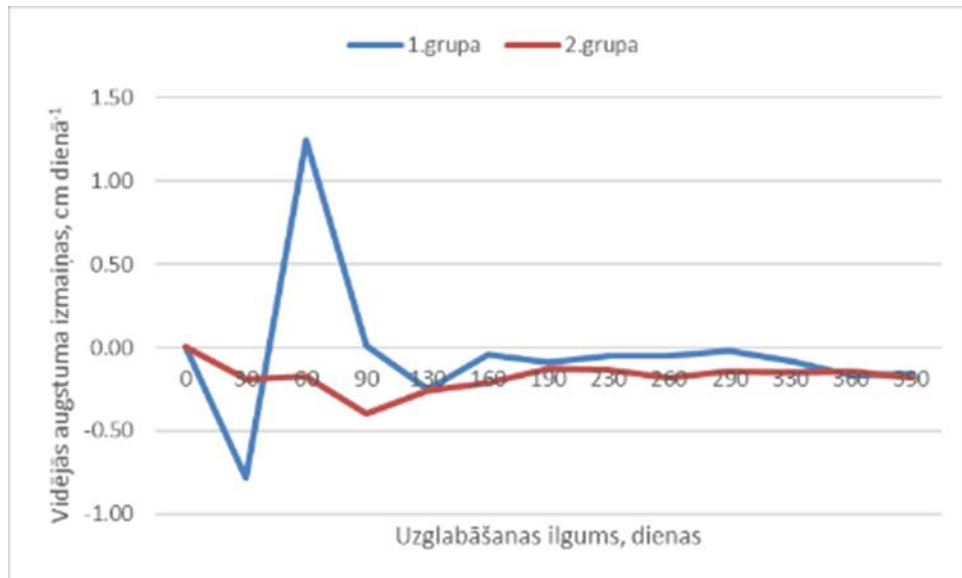
Pamatinformācija par 16 izveidotajām krautuvēm apkopota Tabula 1.1. tabulā.

Tabula 1.1. Krautuvju pamatinformācija

| Krautuvju grupa | Cirsmas identifikācija   | Krautuves kods      | Pirmais krautuves<br>uzmērīšanas datums | Krautuves garums, m | Krautuves platums, m | Biomases uzglabāšanas<br>ilgums, dienas | Krautuves statuss |
|-----------------|--------------------------|---------------------|---|---------------------|----------------------|---|-------------------|
| 1               | 509-292-24               | LVM_509_292_24_10   | 2021-10-01                              | 13                  | 8                    | 396                                     | -                 |
|                 |                          | LVM_509_292_24_6    | 2021-10-01                              | 15                  | 8                    | 92                                      | sašķeldota        |
|                 |                          | LVM_509_292_24_7    | 2021-10-01                              | 14                  | 8                    | 273                                     | sašķeldota        |
|                 |                          | LVM_509_292_24_8    | 2021-10-01                              | 14                  | 8                    | 396                                     | -                 |
|                 |                          | LVM_509_292_24_9    | 2021-10-01                              | 14                  | 8                    | 396                                     | -                 |
|                 | 509-296-13_14            | LVM_509_296_13_14_1 | 2021-11-01                              | 12                  | 8                    | 30                                      | sašķeldota        |
|                 |                          | LVM_509_296_13_14_2 | 2021-09-01                              | 14                  | 8                    | 181                                     | sašķeldota        |
|                 |                          | LVM_509_296_13_14_3 | 2021-09-01                              | 14                  | 8                    | 365                                     | sašķeldota        |
|                 |                          | LVM_509_296_13_14_4 | 2021-09-01                              | 14                  | 8                    | 395                                     | -                 |
|                 |                          | LVM_509_296_13_14_5 | 2021-09-01                              | 14                  | 8                    | 395                                     | -                 |
| 2               | 603-221-3                | LVM_AM_SK00249      | 2021-09-01                              | 11                  | 6.5                  | 334                                     | sašķeldota        |
|                 | 604-363-16;<br>604-514-1 | LVM_AR_SK00207      | 2021-09-01                              | 19                  | 7.5                  | 153                                     | sašķeldota        |
|                 | 611-138-19               | LVM_DD_SK00326      | 2021-10-01                              | 17                  | 7                    | 396                                     | -                 |
|                 | 509-325-2                | LVM_JO_SK00110      | 2021-11-01                              | 24                  | 7                    | 365                                     | -                 |
|                 | 509-326-13               | LVM_JO_SK00111_N    | 2021-11-01                              | 63                  | 7                    | 365                                     | -                 |
|                 |                          | LVM_JO_SK00111_S    | 2021-11-01                              | 32                  | 7                    | 365                                     | -                 |

Visā biomasas uzglabāšanas laikā krautuvju augstums pakāpeniski samazinājās – vidēji par  $0,17 (\pm 0,15)$  cm diennaktī<sup>-1</sup> (1.1. attēls). Izņēmums ir 1. grupas krautuve pie cirsmas 509-292-24 (1.2. attēls), kurā, saskaņā ar iegūtajiem datiem, konstatēta krautuves augstuma palielināšanās. Tas skaidrojams ar krautuves veidošanas procesa ietekmi uz krautuves formas izmaiņām biomasas uzglabāšanas laikā, kad, materiālam žūstot un nobirstot lapām, krautuves aizmugurējā daļa saplok, bet priekšējā daļa noslīd uz aizmuguri un paceļas, radot iespaidu, ka krautuve ir palielinājusies (1.2. attēls). Izslēdzot no aprēķiniem 1. grupas krautuves no cirsmas 509-292-24, kur konstatēts augstuma pieaugums, vidējais krautuvju augstums samazinājums ir  $-0,27 (\pm 0,11)$  cm diennaktī<sup>-1</sup>.

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai



Attēls 1.1. Vidējās krautuves augstuma izmaiņas.



Attēls 1.2. Pirmās grupas krautuves pie cirsma 509-292-24.

Palielinoties krautuves sākotnējam augstumam, tās sarūkšana notiek ātrāk (1.2. tabula).

Tabula 1.2. Krautuves sākotnējā vidējā augstuma un rukuma attiecība

| Vidējais augstums, m | 1. grupas krautuves | 2. grupas krautuves |
|----------------------|---------------------|---------------------|
| 1                    | 0,07                | -0,01               |
| 2                    | 0,12                | -0,08               |
| 3                    | 0,29                | -0,11               |
| 4                    | -0,24               | -0,22               |
| 5                    | -0,2                | -0,29               |
| 6                    | -0,33               | -0,36               |

Izmēģinājuma ietvaros, izmantojot lineāro jaukta efekta regresijas modeli (*Linear mixed-effects regression models*), visām 16 krautuvēm veikta rukumu ietekmējošo faktoru analīze. Lineārais jauktu efektu regresijas modelis ir vienkāršu lineāro modeļu paplašinājums, kas atļauj veikt gan fiksētu, gan nejaušu faktoru analīzi. Izveidotajā modelī ir iekļauti 4 rukumu ietekmējošie faktori (1.3. tabula Tabula 1.3), taču modelis ir veidots tā, lai nepieciešamības gadījumā to varētu papildināt, pievienojot vēl citus faktorus.

Būtiskākie rukumu ietekmējošie faktori ir materiāla uzglabāšanas dienu skaits augšgala krautuvē (AGK) no izmēģinājuma sākuma ( $\alpha < 0,001$ ); vidējais relatīvais (faktiskais) gaisa mitrums, % ( $\alpha < 0,05$ ); nokrišņu daudzuma summa periodā, mm; un perioda garums ( $\alpha < 0,05$ ; 1.3. tabula).

**Tabula 1.3. Krautuvju rukuma ietekmējošo faktoru izkliedes rādītāji**

| Faktori   | Hī-kvadrāts ( $x^2$ ) | Sagaidāmā Hī-kvadrāta ( $x^2$ ) vērtība | Alfa vērtības |
|---|-----------------------|---|---------------|
| Nokrišņu daudzuma summa, mm                     | 4,109                 | 0,042                                   | $p < 0,05$    |
| Relatīvais (faktiskais) gaisa mitrums, %        | 5,597                 | 0,018                                   | $p < 0,05$    |
| Perioda garums, dienas                          | 4,743                 | 0,029                                   | $p < 0,05$    |
| Materiāla uzglabāšanas dienu skaits AGK, dienas | 42,551                | 0,00                                    | $p < 0,001$   |

Rukuma prognozēšanai izstrādāts vienādojums (1. formula), kas ietver visus ietekmējošos faktorus. Vienādojuma koeficienti doti 1.4. tabulā. 2022. gadā veikts atkārtots rukuma prognozes pārrēķins, izmantojot no jauna iegūtos datus. Rezultāts parāda, ka esošais modelis izskaidro 54% no kopējās datu izkliedes. Palielinoties iegūto datu apjomam, pieauga arī datu izkliede, līdz ar ko rukuma prognozēšanas modeļa precizitāte samazinājās. Pētījumā secināts, ka ražošanas apstākļos modelī nepieciešams izmantot vienkārši pieejamus datus, tāpēc turpmākajos izpētes etapos vienkāršosim aprēķinu metodi, samazinot izmantojamo parametru skaitu.

$$R = \int + (b_2 \times k_2) + (b_4 \times k_4) + (b_6 \times k_6) + (b_7 \times k_7)$$

kur:

- $b_2$  – nokrišņu daudzuma summas rādītājs, mm, starp uzmērīšanas reizēm;
  - $b_4$  – relatīvais (faktiskais) gaisa mitruma rādītājs (%) starp uzmērīšanas reizēm;
  - $b_6$  – perioda ilgums, dienas (dienu skaits starp uzmērīšanas reizēm);
  - $b_7$  – kopējais dienu skaits kopš AGK izveidošanas, dienas.
- (1)

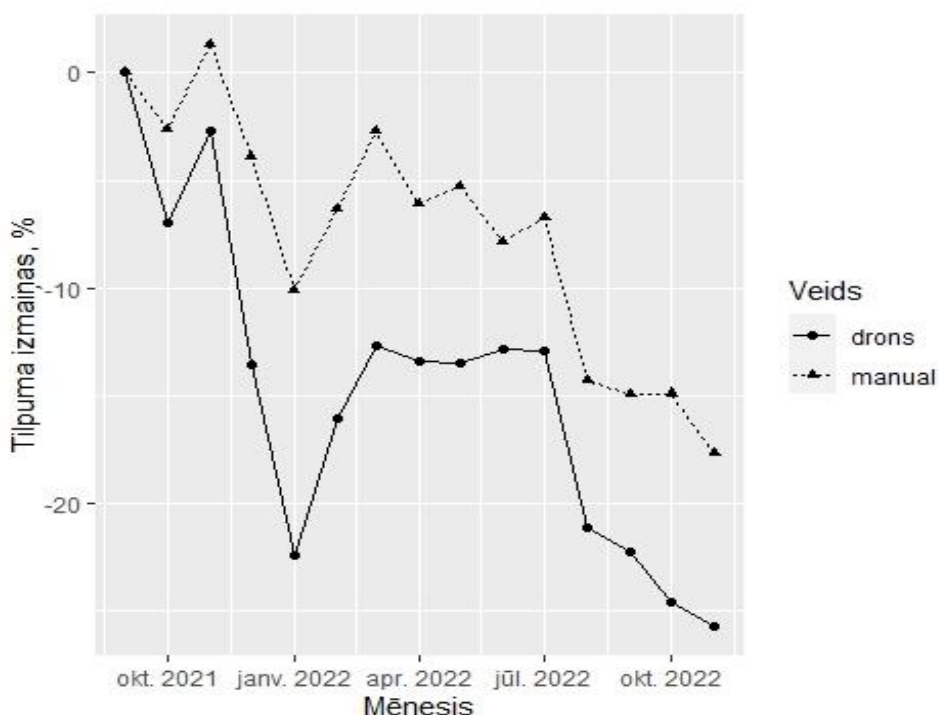
**Tabula 1.4. Modelētie krautuvju rukuma faktori un vērtības**

| Modelī iekļautie faktori    |             |          | Standartklūda | t-vērtība | p-vērtība |
|-----------------------------|-------------|----------|---------------|-----------|-----------|
| Nosaukums                   | koeficients | vērtības |               |           |           |
| Int                         | int         | -18,1471 | 7,0873        | -2,561    | 0,013     |
| Nokrišņu daudzuma summa, mm | $k_2$       | -0,4543  | 0,0224        | -2,027    | 0,046     |



| Modelī iekļautie faktori                            |                |          | Standartklūda | t-vērtība | p-vērtība |
|---|----------------|----------|---------------|-----------|-----------|
| Nosaukums   | koeficients    | vērtības |               |           |           |
| Relatīvais (faktiskais) gaisa mitrums, %            | k <sub>4</sub> | 0,1649   | 0,0697        | 2,366     | 0,021     |
| Perioda garums, dienas                              | k <sub>6</sub> | 0,2470   | 0,1134        | 2,178     | 0,032     |
| Dienas kopš augšgala krautuves izveidošanas, dienas | k <sub>7</sub> | 0,0500   | 0,0077        | 6,523     | 0,000     |

Krautuvju vidējais tilpums turpina samazināties proporcionāli augstuma rukumam (1.3. attēls), norādot uz to, ka krautuvju “nosēšanās” notiek ilgstoši. Grafikā redzams, ka nosēšanās ātrums gada laikā ir tuvs lineāram.



**Attēls 1.3. Vidējās tilpuma izmaiņas atkarībā no mērījuma veikšanas veida.**

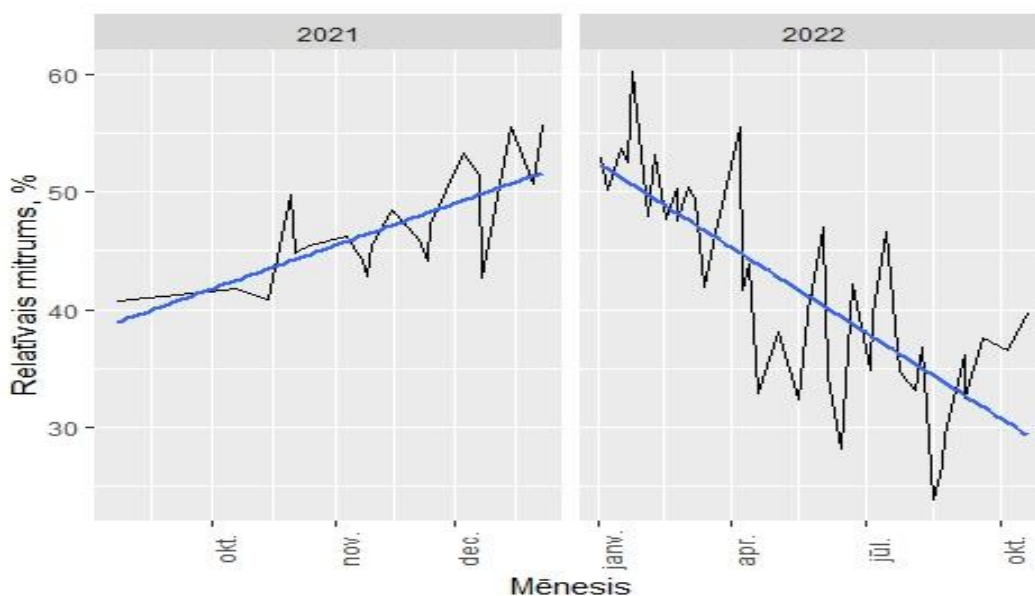
Salīdzinot krautuvju tilpuma atšķirības, izmantojot dažādas uzmērīšanas metodes, ar bezpilota gaisa kuģi veiktie krautuvju mērījumi uzrāda vidēji par 139 m<sup>3</sup> lielāku tilpumu. Šādas atšķirības veidojas, jo, uzmērot krautuvi manuāli, aprēķinos neiekļauj atsevišķas krautuves daļas, kurās meža biomasa nav blīvi nokrauta vai ir novietotas atsevišķas galotnes.

Lai prognozētu krautuvē esošo šķeldu apjomu, nepieciešams izmantot pārrēķina koeficientus. Izmēģinājuma ietvaros iegūtie koeficienti doti 1.5. tabulā. Krautuvju uzmērīšanā izmantojot bezpilota gaisa kuģi, vidējais tilpuma koeficients tikko pievestai biomasai ir 0,30; tomēr, iegūstot lielāku datu apjomu, koeficients var precizēties.

**Tabula 1.5. Tilpīguma koeficienti**

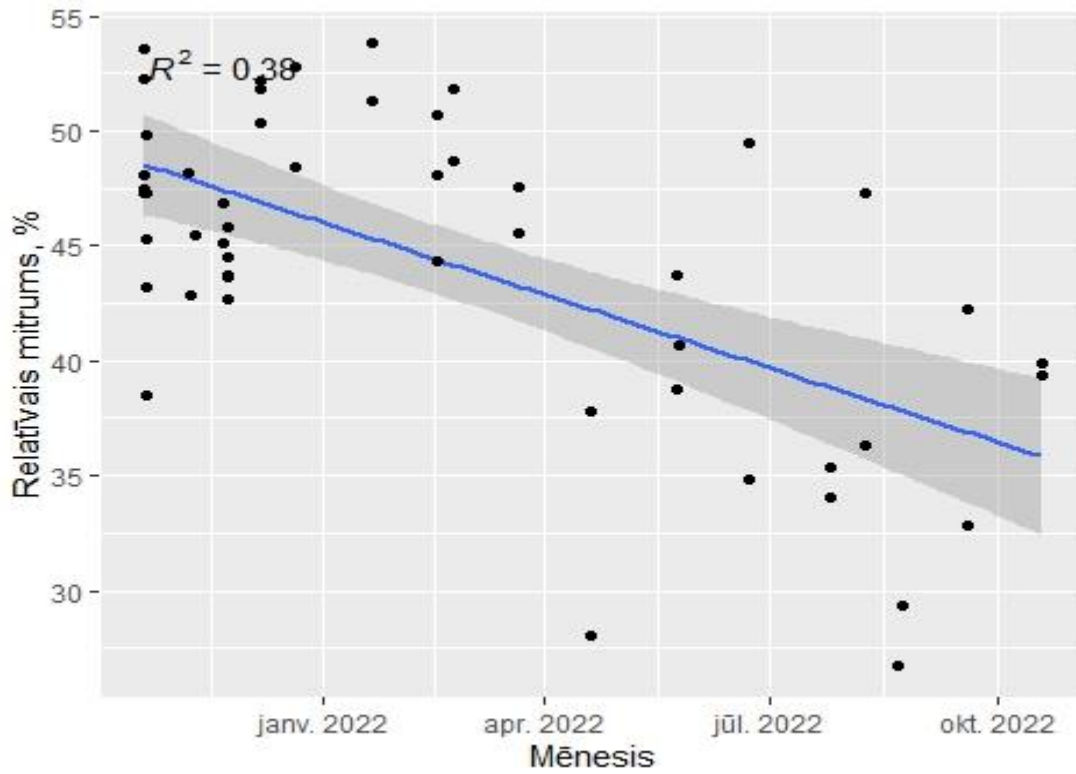
| Gads | Mēnesis    | Izmantojot bezpilota gaisa kuģi | Uzmērot manuāli |
|------|------------|---------------------------------|-----------------|
| 2021 | septembris | 0,24                            | 0,31            |
|      | oktobris   | 0,29                            | 0,35            |
|      | novembris  | 0,28                            | 0,34            |
|      | decembris  | 0,32                            | 0,36            |
|      | janvāris   | 0,36                            | 0,37            |
|      | februāris  | 0,31                            | 0,35            |
|      | marts      | 0,30                            | 0,34            |
|      | aprīlis    | 0,29                            | 0,35            |
|      | maijs      | 0,30                            | 0,36            |
|      | jūnijs     | 0,29                            | 0,36            |
|      | jūlijs     | 0,29                            | 0,36            |
|      | augusts    | 0,32                            | 0,34            |
| 2022 | septembris | 0,36                            | 0,33            |

Izmēģinājuma rezultāti parāda, ka vidējais relatīvais mitruma saturs krautuvēs pievestajā meža biomasā pieaug (virs 45%) no materiāla pievešanas brīža (septembris līdz novembris) un pirmos uzglabāšanas mēnešus, kas sakrīt ar ziemas periodu (1.4. attēls). Iestājoties siltākam laikam (marts – augusts), relatīvā mitruma saturs uzglabājamajā materiālā pakāpeniski samazinās (līdz 29%) meteoroloģisko apstākļu ietekmē, kas atbilst līdzšinējo pētījumu rezultātiem (Gautam et al. 2021; IRENA 2019; Nurmi 1999; Pecenka et al. 2020).

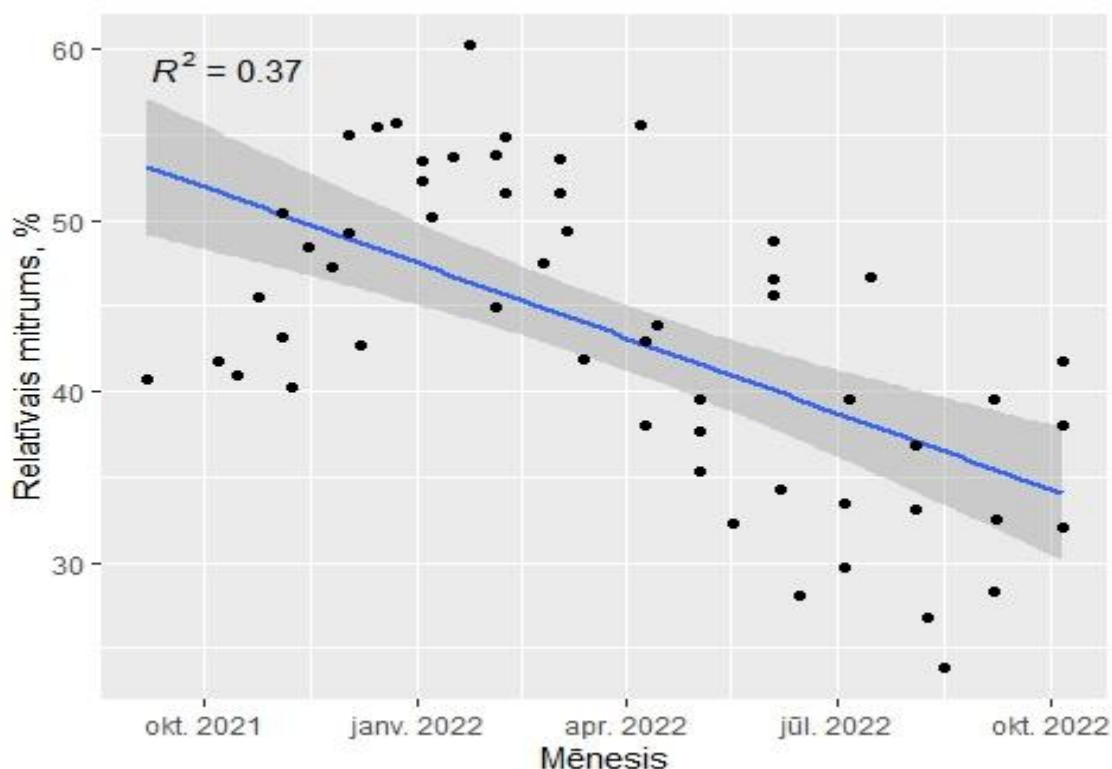


**Attēls 1.4. Vidējās relatīvā mitruma saturs izmaiņas.**

Mitruma izmaiņu sadalījumā pa krautuvju grupām būtiskas atšķirības nav konstatētas (1.5. un 1.6. attēls). Palielinoties biokurināmā uzglabāšanas ilgumam krautuvē, vērojama nepārtraukta relatīvā mitruma satura samazināšanās tendence.



Attēls 1.5. Relatīvā mitruma satura izmaiņas 1. grupas krautuvēs.



Attēls 1.6. Relatīvā mitruma izmaiņas 2. grupas krautuvēs.

Krautuvēs esošā materiāla siltumspēja raksturota ar meža biomasas zemāko siltumspēju ( $\text{MWh t}^{-1}$ ), t.i. siltumspēju ietekmē gan materiāla ķīmiskais sastāvs, blīvums, piemaisījumu daudzums un mitruma saturs.

Saskaņā ar pētījuma rezultātiem, vidējais relatīvā mitruma saturs koksne krautuvēs sākotnēji bija  $46 (\pm 4) \%$ , vidējais pelnu saturs  $1,3 (\pm 0,6) \%$ , zemākā siltumspēja vidēji  $2,48 (\pm 0,25) \text{ MWh t}^{-1}$  (1.6. tabula). Vērtējot mitruma satura izmaiņas, piemērotākais krautuvju šķeldošanas mēnesis ir augusts, kad meža biomasas vidējā zemākā siltumspēja ir vislielākā. Biomasas uzglabāšanas laikā, samazinoties relatīvajam mitruma saturam, vidēji par 31% palielinās zemākās siltumspējas rādītājs, tajā skaitā 1. krautuvju grupas objektiem – par 37%, un 2. krautuvju grupas objektiem – par 25%). Siltumspējas pieaugums notiek, pateicoties koksnes žūšanai.

**Tabula 1.6. Biokurināmā raksturojošie rādītāji atkarībā no uzglabāšanas ilguma**

| Grupas Nr. | Nosaukums               | 2021. gads |          |           |           | 2022. gads |           |       |         |       |        |        |         |            |          |
|------------|-------------------------|------------|----------|-----------|-----------|------------|-----------|-------|---------|-------|--------|--------|---------|------------|----------|
|            |                         | septembris | oktobris | novembris | decembris | janvāris   | februāris | marts | aprīlis | maijs | jūnijs | jūlijs | augusts | septembris | oktobris |
| 1          | Relatīvais mitrums, %   | -          | 47,3     | 44,9      | 50,9      | 52,6       | 49,4      | 46,5  | 32,9    | 41,0  | 42,2   | 34,7   | 32,6    | 37,5       | 39,6     |
|            | Pelnu daudzums, %       | -          | 0,9      | 1,4       | 1,8       | 1,9        | 1,7       | 2,1   | 1,3     | 1,3   | 0,7    | 1,8    | 1,9     | 2,4        | 2,2      |
|            | Zemākā siltumspēja, MWh | -          | 2,4      | 2,6       | 2,2       | 2,2        | 2,4       | 2,4   | 3,2     | 2,7   | 2,7    | 3,1    | 3,3     | 3,0        | 2,9      |
| 2          | Relatīvais mitrums, %   | 40,7       | 42,7     | 45,8      | 52,3      | 53,8       | 49,6      | 48,5  | 44,9    | 37,0  | 36,5   | 38,1   | 30,0    | 35,2       | 36,5     |
|            | Pelnu daudzums, %       | 1,7        | 2,3      | 2,2       | 2,3       | 2,1        | 1,7       | 1,9   | 1,9     | 1,5   | 1,1    | 2,0    | 2,3     | 2,4        | 2,1      |
|            | Zemākā siltumspēja, MWh | 2,8        | 2,6      | 2,5       | 2,1       | 2,1        | 2,3       | 2,5   | 2,6     | 2,9   | 3,0    | 3,0    | 3,5     | 3,1        | 3,0      |

Biomasa prognožu modeļa pilnveide plānota pētījumu programmas 2023. gada etapā, iegūstot empīriskos datus no atlikušajām šķeldu krautnēm un ar iegūtajiem datiem papildinot rukuma prognozēšanas vienādojumu. 2023. gadā turpināsim biomasas uzglabāšanas AGK ietekmes izvērtējuma uz sagatavotā meža biomasas apjomu, siltumspēju un citiem kvalitāti raksturojošiem parametriem.

### 1.1.2. Sākotnējie secinājumi un rekomendācijas

Uzglabāšanas laikā mitruma saturs meža biomasā samazinās un zemākā siltumspēja pieaug proporcionāli mitruma satura izmaiņām, sasniedzot maksimumu vasaras mēnešos un samazinoties ziemas mēnešos. Pēc 14 mēnešus ilgas uzglabāšanas nav konstatēta zemākās siltumspējas samazināšanās, taču būtiska ietekme var būt 2023. gada ziemas un pavasara mēnešiem, kad koksne atkārtoti izmirks.

Pētījumā meža biomasa pievesta tūlīt pēc izstrādes, tāpēc tā neraksturo mežizstrādes atlieku uzglabāšanas cismā ietekmi uz mitruma satura un citu parametru izmaiņām. Šī ietekme var būt nozīmīga, un tā ir jāvērtē, lai iegūtu objektīvus datus par kurināmā īpašību gan meža biomasas krautuvju izmēru izmaiņām.

Krautuves augstums uzglabāšanas laikā sarūk vidēji par 0,27 cm diennaktī. Izmaiņas 14 mēnešu laikā ir prognozējamās un krautuvju rukumu raksturo viegli nosakāmi parametri (uzglabāšanas ilgums, krautnes sākotnējais augstums, nokrišņu daudzums periodā u.c.), tāpēc, iegūstot datus par krautuvju izmēru izmaiņām 36 mēnešu laikā, varēsīm izstrādāt vienādojumu, kas prognozēs krautnes izmēru izmaiņas un ļaus precīzāk raksturot pievestās meža biomasas daudzumu un īpašības šķeldošanas laikā.

Krautuvju augstuma un tilpuma izmaiņas ietekmē dažādi faktori, tāpēc tilpuma izmaiņu prognoze saistīta ar lielu nenoteiktību, kuras mazināšanai var pielietot mašīnmācības metodes un lielu empīrisku datu kopu. Lielas empīrisku datu kopas ieguvei tūlīt pēc pievešanas un pirms šķeldošanas jāizmēra meža biomasas krautuves. Mērīšanas darba apjoma samazināšanai pielietojamas fotogrammetrijas vai lāzerskenēšanas metodes.

### 1.1.3. Priekšlikumi pētījuma īstenošanai 2023. gadā

Lai sasniegtu pētījumā izvirzīto mērķi (novērtēt meža biomasas kvalitātes izmaiņas uzglabāšanas laikā augšgala krautuvē, tajā skaitā novērtēt krautuves izmēru izmaiņas, šķeldu siltumspējas un mitruma satura izmaiņas un tās ietekmējošos faktoros), 2023. gadā jāturpina lauku darbi un kamerālie darbi. 2023. gadā turpināsim koksnes biokurināmā krautuvju izmēru monitoringu, sekosim biomasas kvalitātes izmaiņām un veiksīm krautuvju izmēru analīzi, vērtējot divu gadu laikā iegūtos datus.

Lauku darbi (eksperimentālo datu iegūšanas turpinājums):

- koksnes paraugu ievākšana reizi mēnesī no 1. un 2. grupas krautuvēm siltumspējas un mitruma satura analīzēm;
- 1. un 2. grupas krautuvju uzmērīšana reizi mēnesī, izmantojot manuālo un fotogrammetrijas metodi;
- uzglabātā materiāla šķeldošana reizi trīs mēnešos šķeldu īpašību (siltumspēja, mitruma un pelnu saturs un tilpumblīvums) izmaiņu raksturošanai;
- ražošanas apstākļos 1. grupas krautuvēs sagatavoto šķeldu paraugu ievākšana analīzēm, šķeldu kravu tilpuma mērīšana un svēršana.

Kamerālie darbi:

- ievākto biomasas paraugu (1. krautuvju grupa) analīzes laboratorijā, nosakot mitruma un pelnu saturu un siltumspēju;
- ievākto šķeldas paraugu (1. krautuvju grupa) analīze laboratorijā, nosakot mitruma un pelnu saturu, īpatnējo blīvumu un siltumspēju;
- prognožu modeļa pilnveidošana, izmantojot pētījumā iegūto datu kopu.

Lai pētījuma rezultāti būtu attiecināmi arī uz mežizstrādes atlieku krautuvēm, kurās pievestas mežizstrādes atliekas, kas pirms tam ilgstoši uzglabātas cirsmā, nepieciešams papildināt pētījumu programmu, iekļaujot mežizstrādes atlieku īpašību izmaiņu izvērtēšanu uzglabāšanas laikā arī šādās krautuvēs. Pētījumā jāvērtē krautuvju izmēra, mitruma satura biomasā, siltumspējas un citu meža kurināmo raksturojošo parametru izmaiņas. 2023. gadā jāizstrādā metodika krautuvju sagatavošanai un paraugu ievākšanai, tajā skaitā pirms pievešanas, uzglabāšanas un šķeldošanas laikā, kā arī jāizvēlas izpētes objekti un jāierīko mežizstrādes atlieku krautuves.

## 1.2. Forvardera greifera svāri meža biomasas apjoma noteikšanai

Pētījuma mērķis ir novērtēt forvardera svāru pielietojšanas iespējas biomasas pievešanā, lai uzlabotu pievestā materiāla uzskaites precizitāti un nodrošinātu ātrāku ražošanas datu apriti. 2022. gada darba uzdevums ir svāru sistēmas uzstādīšana, funkcionalitātes un sistēmas izvērtējums. Izmēģinājumu metodika pētījuma īstenošanai iekļauta 2021. gada etapa pārskatā (). 2022. gadā metodikā nav veiktas izmaiņas.

Līdz 2022. gadam izstrādāta datu ievākšanas metodika, kas ietver instrukcijas operatoriem saistībā ar datu uzskaiti meža biomasas svēršanas procesā, un datu apstrādes metodika. Datu ievākšanā izmantota viena svēršanas sistēma. Tāpat pilnveidots operatoru apmācības process un datu apstrāde. Kopējā pievešanas attāluma noteikšanā, izmantojot svēršanas vietas un krautuves koordinātes, iegūtie dati nav pietiekami precīzi, jo, nosakot attālumu starp iekraušanas uz izkraušanas vietām, attālums noteikts kā īsākā distance starp diviem punktiem.

### 1.2.1. 2022. gada izpētes rezultāti

2022. gadā veikta datu ievākšana un apstrāde saskaņā ar iepriekš izstrādāto metodiku. Datu ievākšanā izmantotas divas svēršanas sistēmas (1.7. tabula):

- Intermercato XW 50 PS, kas sākumā uzstādīta uz Ponsse Wisent un vēlāk pārceļta uz Ponsse Buffalo forvarderu;
- John Deere svēršanas sistēma – saskaņā ar ražotāja norādījumiem, tā ir savietojama tikai ar John Deere forvarderiem (izmēģinājumos izmantots John Deere 1110G modelis).

**Tabula 1.7. Pētījumā izmantoto svaru sistēmu tehnikā specifikācija**

| Pozīcija                              | Intermercato XW 50 PS         | John Deere                   |
|---------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Svēršanas sistēmas uzstādīšanas vieta | Manipulators                  | Manipulators                 |
| Savienojums                           | WiFi                          | Bluetooth                    |
| Precizitāte                           | ±4%                           | ±2%                          |
| Darba temperatūra                     | -20 līdz + 30 C <sup>0</sup>  | -30 līdz + 30 C <sup>0</sup> |
| Akumulatora baterija                  | Iekļauta aprīkojumā           | Iekļauta aprīkojumā          |
| Vadības sistēma                       | Iekļauta aprīkojumā (Android) | John Deere                   |
| Saderība ar forvardera datorsistēmu   | -                             | John Deere                   |
| Pārskata formāts                      | XML/PDF                       | XML/PDF                      |

**Intermercato XP 50 PS** svēršanas sistēmu darbojas atsevišķi no forvardera datorsistēmas un tā sastāv no svāriem, datu pārraides sistēmas un datu uzskaites sistēmas. Izmēģinājumi ar Intermercato XP 50 PS svēršanas sistēmu veikti laikā no 16.05.2022. līdz 10.10.2022. Kopumā 31 izmēģinājuma objektā uzskaitītas 724,8 forvardera darba stundas, ievācot datus par 10154 t pievestās koksnes no atjaunošanas cirtes (1.8. tabula). Pievedamā biomasa svērta cirsma un augšgala krautuvē, noteikta arī tehnoloģiskās brauktuves stiprināšanai izmantotā materiāla masa. Šī svēršanas sistēma fiksē satvertā materiāla masu, vietu, kur materiāls satverts un svēršanas laiku.

Automātiskā svēršanas sistēma Intermercato XP 50 PS reģistrē katru darbību, ko veic manipulators, tajā skaitā darbības, kas nav saistītas ar tiešo darbu (degvielas tvertnes, atbalsta ķēžu pārvietošanu u.c.). Lai izmantotu svēršanas uzskaites sistēmas datus, nepieciešama datu pēcapstrāde, kas ietver ar tiešo darbu nesaistītu datu nodalīšu vai arī jāveic manuāla iekrautā materiāla uzskaitē, kas saistīts ar papildus darba laika patēriņu.

**Tabula 1.8. Svēršanas sistēma Intermercato XP 50 PS iegūto datu kopsavilkums**

| Objekta identifikācija | Svēršanas vieta | Svēršanas reižu skaits, gab. | Kopējā uzskaitītā masa, t | Kopējais laiks, h | Pievešanas ražīgums, t h <sup>-1</sup> |
|------------------------|-----------------|------------------------------|---------------------------|-------------------|--|
| 412-188-1              | Cirsmā          | 1510                         | 391,9                     | 40,6              | 9,7                                    |
| 412-218-24             | Cirsmā          | 2517                         | 564,7                     | 39,4              | 14,3                                   |
| 412-218-9              | Cirsmā          | 5245                         | 1424,6                    | 67,6              | 21,1                                   |
| 509-136-5              | Cirsmā          | 168                          | 41,9                      | 1,5               | 28,6                                   |
|                        | Krautuvē        | 196                          | 76,0                      | 2,7               |  |
| 601-443-20             | Cirsmā          | 21                           | 9,3                       | 1,0               | 9,5                                    |
| 603-307-13             | Cirsmā          | 358                          | 85,7                      | 11,5              | 11,4                                   |
|                        | Krautuvē        | 125                          | 65,4                      | 1,8               |  |
| 603-310-27             | Cirsmā          | 328                          | 90,1                      | 5,0               | 25,1                                   |



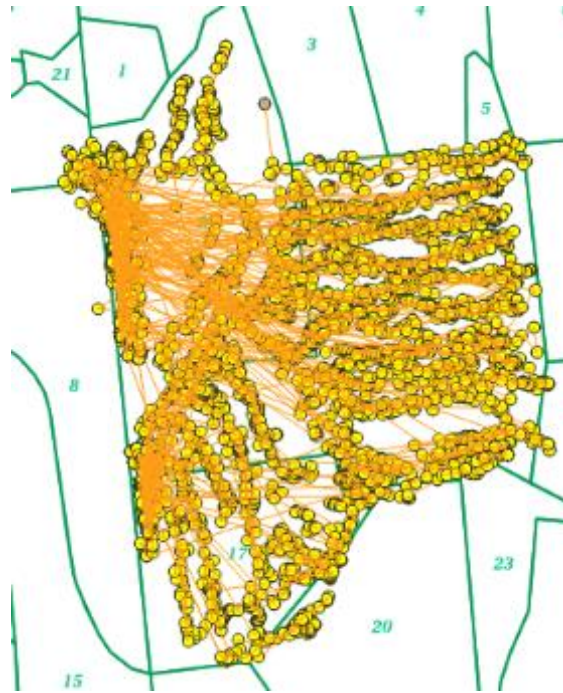
Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

| Objekta identifikācija | Svēršanas vieta | Svēršanas reižu skaits, gab. | Kopējā uzskaitītā masa, t | Kopējais laiks, h | Pievešanas ražīgums, t h <sup>-1</sup> |
|------------------------|-----------------|------------------------------|---------------------------|-------------------|--|
|                        | Krautuve        | 140                          | 70,3                      | 1,4               |  |
| 603-316-6              | Cirsma          | 890                          | 189,9                     | 7,5               | 31,3                                   |
|                        | Krautuve        | 383                          | 158,6                     | 3,6               |  |
| 603-319-13             | Cirsma          | 797                          | 165,4                     | 9,3               | 22,1                                   |
|                        | Krautuve        | 306                          | 118,9                     | 3,6               |  |
| 603-334-4              | Cirsma          | 2306                         | 420,7                     | 38,1              | 10,7                                   |
|                        | Krautuve        | 551                          | 240,6                     | 23,9              |  |
| 603-38-5               | Cirsma          | 1115                         | 236,4                     | 18,4              | 12,7                                   |
|                        | Krautuve        | 14                           | 5,0                       | 0,6               |  |
| 603-38-9               | Cirsma          | 789                          | 160,3                     | 13,2              | 17,8                                   |
|                        | Krautuve        | 577                          | 276,0                     | 11,3              |  |
| 603-409-23             | Cirsma          | 599                          | 116,1                     | 5,5               | 10,1                                   |
|                        | Krautuve        | 227                          | 78,2                      | 13,7              |  |
| 603-62-14,8,6          | Cirsma          | 179                          | 66,3                      | 3,8               | 11,6                                   |
|                        | Krautuve        | 220                          | 103,2                     | 10,8              |  |
| 605-10-22              | Cirsma          | 698                          | 142,5                     | 5,5               | 30,2                                   |
|                        | Krautuve        | 213                          | 79,1                      | 1,8               |  |
| 605-108-13             | Cirsma          | 229                          | 51,8                      | 2,4               | 22,6                                   |
|                        | Krautuve        | 70                           | 30,3                      | 1,2               |  |
| 605-11-25              | Cirsma          | 957                          | 186,6                     | 8,7               | 25,8                                   |
|                        | Krautuve        | 365                          | 138,6                     | 3,9               |  |
| 605-120-2              | Cirsma          | 2165                         | 387,0                     | 39,1              | 13,1                                   |
|                        | Krautuve        | 573                          | 222,6                     | 7,4               |  |
| 605-48-8               | Cirsma          | 1682                         | 357,9                     | 19,4              | 21,4                                   |
|                        | Krautuve        | 489                          | 207,9                     | 7,1               |  |
| 609-195-15             | Cirsma          | 218                          | 47,4                      | 11,7              | 5,3                                    |
|                        | Krautuve        | 111                          | 36,3                      | 4,2               |  |
| 609-195-17             | Cirsma          | 184                          | 42,8                      | 6,1               | 10,2                                   |
|                        | Krautuve        | 136                          | 47,5                      | 2,8               |  |
| 609-198-21             | Cirsma          | 134                          | 29,3                      | 14,7              | 3,0                                    |
|                        | Krautuve        | 66                           | 18,3                      | 1,2               |  |
| 609-206-15             | Cirsma          | 241                          | 53,6                      | 7,7               | 7,6                                    |
|                        | Krautuve        | 167                          | 57,1                      | 6,8               |  |
| 609-209-6              | Cirsma          | 36                           | 6,8                       | 2,6               | 3,9                                    |

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

| Objekta identifikācija | Svēršanas vieta  | Svēršanas reižu skaits, gab. | Kopējā uzskaitītā masa, t | Kopējais laiks, h | Pievešanas ražīgums, t h <sup>-1</sup> |
|------------------------|------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------|--|
|                        | Krautuve         | 16                           | 6,4                       | 0,8               |  |
| 609-209-9              | Cirsmā           | 192                          | 44,0                      | 9,8               | 6,1                                    |
|                        | Krautuve         | 209                          | 65,0                      | 8,1               |  |
| 609-211-1              | Cirsmā           | 48                           | 10,8                      | 2,5               | 6,9                                    |
|                        | Krautuve         | 56                           | 16,7                      | 1,5               |  |
| 609-221-6              | Cirsmā           | 257                          | 62,4                      | 3,0               | 22,5                                   |
|                        | Krautuve         | 125                          | 46,8                      | 1,9               |  |
| Nav identificēts       | Cirsmā           | 2237                         | 541,2                     | 69,6              | 7,9                                    |
|                        | Krautuve         | 956                          | 372,7                     | 46,4              |  |
| 603-334-1,2,3          | Cirsmā           | 2028                         | 372,1                     | 23,3              | 20,6                                   |
|                        | Krautuve         | 705                          | 267,1                     | 7,7               |  |
| 412-229-9              | nav identificēts | 3237                         | 1052,3                    | 53,6              | 19,6                                   |

Izmantojot Intermercato XW 50 PS svēršanas sistēmu, atsevišķos gadījumos nevar identificēt svēršanas vietu (1.7. attēls). Šāda situācija veidojas, ja attālums starp augšgala krautuvi un cirsmu ir mazāks par 10 m. Tāpat, problēmas radīt situācija, kad materiālu krautuvē ved no dažādiem nogabaliem. Lai identificētu pievestā materiāla piederību noteiktam nogabalam, svēršanas sistēmā papildus nepieciešams atzīmēt (izvēloties atbilstošo iestatījumu) materiāla atrašanās vietu (cirsmā, krautuvē vai tehnoloģisko brauktuvju nostiprināšana).



**Attēls 1.7. Svēršanas vietu izvietojums nogabalā 412-218-9<sup>1</sup>.**

Svēršanas sistēmas uzskaites datus var izmantot informācijas par pievešanas procesā veiktajām darbībām iegūšanai, tajā skaitā:

- izvērtēt pievešanas darbu kvalitāti cirsmā – telpiskie dati parāda, vai visa cirsmā ir pievesta (1.8. attēls, zaļie punkti);
- identificēt materiāla ieklāšanas vietas un tehnoloģisko brauktuvju nostiprināšanā izmantotā materiāla daudzumu (1.8. attēls, zilie punkti);
- novērtēt krautuves vietu un pievestā materiāla daudzumu krautuvē (1.8. attēls, violette punkti).

---

<sup>1</sup> Punkti – svēršanas vietas; līnijas – pievešanas virziens.



Attēls 1.8. Svēršanas sistēmas dati pievešanas procesā veikto darbību atspoguļošanai.

Lai noteiktu meža biomasas pievešanas kopējo attālumu, izmantojot svēršanas sistēmas uzskaites datus, nepieciešami papildus dati – ceļu tīkls un tehnoloģiskā karte. Lai izstrādātu attāluma noteikšanas rīku, papildus Intermercato XW 50 PS svēršanas sistēmu piedāvātajām iespējām, jāizstrādā ģeogrāfiskās informācijas rīks svēršanas sistēmas uzkrāto datu analīzei.

Salīdzinot svēruma rezultātus, konstatēta būtiska ( $p=0,00$ ) **atšķirība svērumos cirmā un augšgala krautuvē (AGK)**. Iegūtā atšķirība rezultātos saistīta ar to, ka iekraušanas procesā, vācot iekraušanai paredzēto materiālu, vienu un to pašu saini var uzskaitīt vairākas reizes. Vidējā saiņa masa cirmā bija  $201 \pm 154$  kg, bet AGK  $414 \pm 256$  kg. Izklīdes rādītāji vidējā aritmētiskā izteiksmē abos gadījumos ir lieli, norādot uz to, ka, visticamāk, automātiskajā režīmā svāri fiksē vienu un to pašu saini vairākas reizes (pie pārtveršanas, pārceļšanas un papildināšanas), tāpēc, lai uzlabotu precizitāti, svēršana jāveic manuāli, fiksējot tikai ieceltos vai izceltos saiņus. Nospiežot svaru vadības pedāli, operators aktivizē svēršanas sistēmu, kas reģistrē iegūto mērījumu.

Lai novērtētu uzmērīšanas precizitāti, veikta 10 pievesto kravu kontroļsvēršana, izmantojot stacionāros svarus. Salīdzinot iegūtos rādītājus, Intermercato XW 50 PS svēršanas sistēmai, kas strādā automātiskajā režīmā, konstatēta vidējā mērījuma novirze par 30% ( $\pm 41\%$ ). Izmantojot manuālo svēršanas režīmu divās cirmās, konstatētā vidējā rādītāja novirze ir -5% ( $\pm 6\%$ ). Manuālā svēršanas režīma izmantošana ļauj būtiski uzlabot svēršanas precizitāti, tomēr tā uzliek papildus pienākumus operatoram – katrreiz iecelot mežizstrādes atlieku paku, jānospiež pedālis. Pārējās uzskaites darbības notiek automātiski.

Atsevišķos izmēģinājuma objektos (603-38-9; 603-62-6,8,14; 609-195-17) novērota pretēja situācija – cirmā uzkrautais apjoms ir mazāks par AGK izkrauto (1.8. tabula). Šāda situācija ir skaidrojama ar to, ka svēršanas sistēma, ilgāku laiku ( $<10$  min.) to neizmantojot, pārslēdzas “miega režīmā” vai arī svēršanas sistēmas akumulatora baterija ir izlādējusies un operators to nav ievērojis. Lai novērstu šo problēmu, operatoram pastāvīgi jāseko tam, vai svēršanas sistēmas pārskata logā turpinās svēršanas datu uzskaiti un pēc ilgākiem pārtraukumiem jāaktivizē svēršanas programma.

**John Deere** svēršanas sistēma ir ražotāju izstrādāta un integrēta forvardera datorsistēmā. Izmēģinājumi ar John Deere svēršanas sistēmu veikti laikā no 07.10.2022 līdz 21.11.2022. Kopumā 4 izmēģinājuma objektos ievākti dati par 558,6 tonnu pievešanu (1.9. tabula).

Atšķirībā no Intermercato XP 50 PS svēršanas sistēmas, John Deere greifera svāri nesniedz informāciju par pievestā materiāla izvietojumu cīsmā, līdz ar to nevar novērtēt, vai sagatavotais materiāls ir pievests no visām cīsmas daļām. Uzkrātā apjoma uzskaitē iespējama vai nu cīsmā vai AGK.

Svēršanas sistēmas datu uzskaitē notiek brīdī, kad iekraušanai paredzētais materiālu sains atrodas noteiktā augstumā virs zemes un manipulators ir pagriezts noteiktā stāvoklī attiecībā pret kravas telpu (iekraušanas procesā tas ir pirms kravas tilpnes statņiem, kad materiāls ir pilnībā pacelts, bet izkraušanas brīdī, kad materiāls ir ārpus kravas tilpnes), tādējādi izslēdzot iespēju, ka iekraušanas procesā, lasot iekraušanai paredzēto materiālu, vienu un to pašu saini uzskaitīs vairākas reizes.

Salīdzinot uzkrātā apjoma atšķirības pret izkrauto, vidējā nobīde ir 0% ( $\pm 25\%$ ). Izmantojot ražotāja piedāvāto risinājumu materiāla svēršanā, sistēma nodrošina automātisku darbību, tomēr operatoram ir manuāli jāreģistrē nosvērtais materiāls. Arī šī sistēma sniedz priekšstatu par pievešanas ražīgumu.

**Tabula 1.9. Svēršanas sistēmas John Deere iegūto datu kopsavilkums**

| Objekta identifikācija | Kopējā uzskaitītā masa, t | Kopējā patērētā degviela, L | Kopējā distance, km | Kopējais laiks, h | Pievešanas ražīgums, t h <sup>-1</sup> |
|------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------|--|
| 21JA345                | 26,6                      | 41                          | 30,31               | 3,6               | 7,3                                    |
| 21JH382                | 358,0                     | 1903                        | 1706,3              | 131,5             | 2,7                                    |
| 22BS108                | 153,1                     | 333                         | 244,3               | 89,6              | 1,7                                    |
| 23IM012                | 20,0                      | 41                          | 50,7                | 4,4               | 4,5                                    |

### 1.2.2. Sākotnējie secinājumi un rekomendācijas

Pētījumā probētās svēršanas sistēmas (Intermercato un John Deere) uzrāda līdzīgu precizitāti. Ja Intermercato svāriem izmanto manuālo svēršanas režīmu, vērojama vidējā rādītāja novirze -5% ( $\pm 6\%$ ), bet John Deere svāriem, izmantojot automātisko svēršanas režīmu, vidējā rādītāja novirze ir 0% ( $\pm 25\%$ ). Forvarderā integrētā svēršanas sistēma nodrošina plašāku informāciju ne vien par pievesto materiālu, bet arī par citiem rādītājiem (piem. degvielas patēriņš, darba laika izlietojuma sadalījums, nobrauktā distance, tehnikas izmantošanas koeficients u.c.), tāpēc šai svēršanas sistēmai ražošanas apstākļos ir būtiskas priekšrocības. Vienīgais trūkums ir tas, ka ar šo sistēmu nevar novērtēt pievestā materiāla sākotnējo izvietojumu cīsmā, attiecīgi, novērtēt, vai visa cīsmā ir pievesta.

Ņemot vērā izmēģinājumos iegūtos sekmīgos rezultātus, ieteicams turpināt John Deere svēršanas sistēmu ražošanas apstākļos, kā arī izvērtēt citu ražotāju (Ponsse, Komatsu) integrētos risinājumus biomasas svēršanai pievešanas laikā un vērtēt IT risinājumus svēršanas datu pārsūtīšanai no forvardera un krautuvēs uzkrātā materiāla automatizētai uzskaitēi.

#### Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

Veicot izmēģinājumus ar tehnikas ražotāju svēršanas sistēmām, papildus uzmanība jāpievērš darba laika, nobrauktā attāluma un degvielas patēriņa pieaugumam, veicot biomasas svēršanu un jāizstrādā rekomendācijas svaru pielietošanai un iespējamo papildus izmaksu novērtēšanai.

Lai palielinātu pievestā materiāla aprēķinu precizitāti, jāpilnveido aprēķinu vienādojumi meža biomasas īpašību (mitruma saturs) prognozēšanai, atkarībā no mežizstrādes sezonas un biomasas uzglabāšanas ilguma cīsmā.

### 1.2.3. Priekšlikumi pētījuma īstenošanai 2023. gadā

Lai sasniegtu pētījuma mērķi – uzlabot pievestā materiāla uzskaites precizitāti un nodrošināt ātrāku ražošanas datu apriti – nepieciešams ražošanas apstākļos salīdzināt dažādu ražotāju sistēmu efektivitāti, nosakot svēršanas precizitāti, darbietilpīgumu un papildu iegūstamos datus. Lauku darbi ietver:

- operatoru apmācības;
- darba metožu aprobēšanu praksē, izmantojot citu ražotāju svaru sistēmas;
- datu ievākšanas kvalitātes sākotnējo novērtējumu, salīdzinot ar AGK iegūtiem datiem;
- biokurināmā svēruma datu iegūšanu LGK; .

Kamerālie darbi ietver:

- empīrisku datu ieguves saskaņošanu ar LVM;
- darba uzdevuma un sistēmas sagatavošanas prasību izstrādāšanu pētījumā iesaistītajām tehnikas vienībām;
- pētījumā iegūto datu apkopošanu, analīzi un sakarību novērtēšanu;
- pētījumā "Enerģētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs" izstrādātā modeļa precizitātes izvērtēšanu, izmantojot krautuvju mērījumu datus;
- rekomendāciju sagatavošanas uzsākšanu svaru sistēmu pielietošanai ražošanā.

Paralēli ar izmēģinājumiem ar līdz šim pētījumā neietvertām svaru sistēmām jāturpina datu ieguve ar John Deere greifera svāriem ražošanas apstākļos, pievedot mežizstrādes atliekas, lai iegūtu datu kopu iespējamo problēmu identificēšanai.

### 1.3. Šķeldu kravu piepildījuma izmaiņu monitorings un vienādojumu izstrādāšana kravu piepildījuma samazināšanās prognozēšanai

Darba uzdevuma "Šķeldu kravu piepildījuma izmaiņu monitorings un vienādojumu izstrādāšana kravu piepildījuma samazināšanās prognozēšanai" mērķis ir izstrādāt vienādojumus šķeldu kravu piepildījuma izmaiņu prognozēšanai, atkarībā no šķeldu transportēšanas attāluma un citiem faktoriem. 2022. gada darba uzdevums ir šķeldu kravu piepildījuma prognožu algoritmu pilnveidošana. Pētījuma metodika iekļauta 2021. gada etapa pārskatā () un 2022. gadā nav mainīta. 2022. gadā turpināta arī iepriekšējā gadā uzsāktā datu ievākšana un apstrāde.

Līdz 2022. gadam izstrādāta datu ievākšanas metodika, kas ietver datu ievākšanu no autotransporta, izmantojot fotogrāfiju un video filmēšanas metodi. Izveidota metodika iegūto datu apstrādei, izmantojot fotogrammetrijas metodi. Tāpat, pilnveidotas instrukcijas operatoriem un veikta viņu apmācība, lai nodrošinātu korektu datu iegūvi, novēršot iepriekšējos izpētes etapos konstatētās problēmas. Uzsākot projekta izpildi, salīdzināta iegūto datu precizitāte, izmantojot

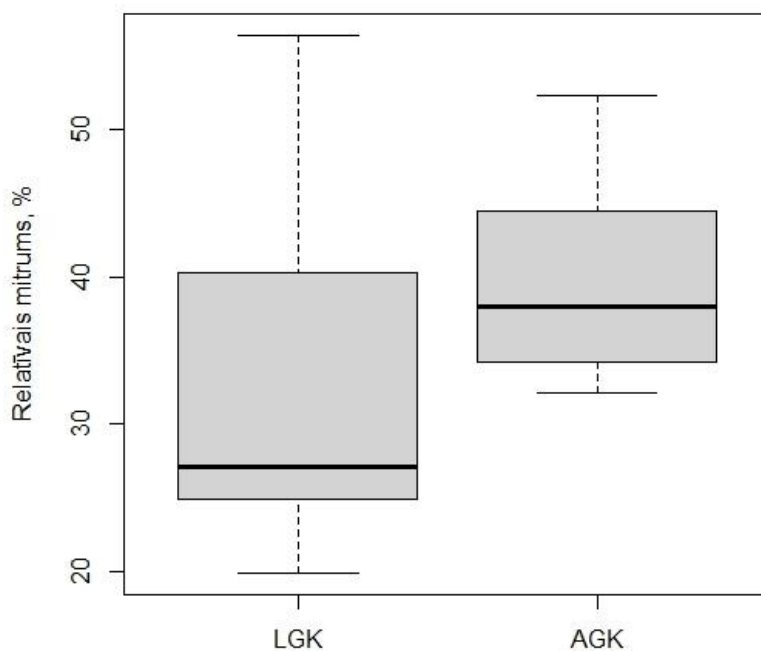
fotogrammetrijas metodi un stacionāru skeneri. Ievākta daļa no pētījumam nepieciešamajiem datiem, kā arī uzsākta kravas sablīvēšanās koeficientu izstrāde smalcinātas koksnes pārvadājumiem ar autotransportu sadalījumā pa sezonām un autotransporta veidiem.

### 1.3.1. 2022. gada izpētes rezultāti

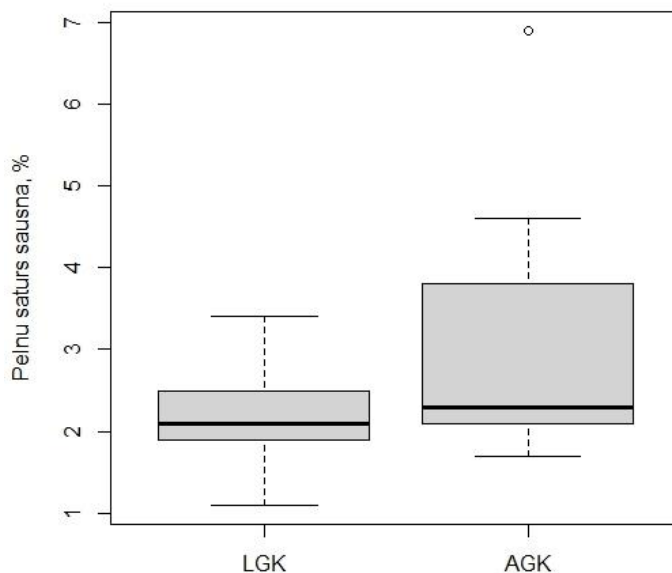
Dati par relatīvo mitruma un pelnu saturu šķeldās iegūti gan LVMI Silava testēšanas laboratorijā (paraugi ievākti AGK), gan pie patērētāja (paraugi ievākti LGK).

AGK ievāktajos paraugos vidējais relatīvais mitruma saturs ir lielāks ( $39,7 \pm 6 \%$ ) nekā LGK ievāktajos šķeldu paraugos (vidējais mitruma saturs  $32,9 \pm 11\%$ ), tomēr atšķirība nav statistiski būtiska (1.9. attēls). Mazāki mitruma satura rādītāji LGK saistīti ar atsevišķu paraugu (mitruma saturs 20%) neraksturīgiem rādītājiem šajā paraugkopā.

Vidējais pelnu saturs AGK ievāktajiem šķeldu paraugiem ir  $2,1 \pm 0,5 \%$ , bet LGK ievāktajiem šķeldu paraugiem  $2,9 \pm 1,4 \%$  (1.10. attēls). Atšķirība nav statistiski būtiska.



Attēls 1.9. Relatīvā mitruma saturs šķeldās AGK un LGK.



**Attēls 1.10. Pelnu saturs sausnā AGK un LGK.**

Salīdzinot relatīvo mitruma saturu šķeldu paraugos (ievākti LGK) laikā no 2020. līdz 2022. gadam, konstatēts, ka mazākais vidējais relatīvais mitruma saturs šķeldās bijis 2020. un 2022. gada vasarā. Salīdzinoši mazi vidējie rādītāji skaidrojami ar to, ka vairākām šķeldu kravām LGK noteiktais relatīvā mitruma saturs atbilst žāvētas koksnes vidējā mitruma saturam (15,2-20,0%, 1.10. tabula). Mazākais pelnu saturs LGK ievāktajos šķeldu paraugos konstatēts 2022. gadā (1.11. tabula). Tas nozīmē, ka pagaidām vēl nav sākusies organiskās vielas mineralizācija uz ko norādītu pelnu satura pieaugums, bet no biomasas izskalojas viegli šķīstošas minerālvielas.

**Tabula 1.10. Relatīvais mitruma saturs šķeldās**

| Gads | Sezona    | Šķeldu vidējais relatīvais mitrums, % | Standartnovirze | Minimālā vērtība, % | Maksimālā vērtība, % |
|------|-----------|---------------------------------------|-----------------|---------------------|----------------------|
| 2020 | vasara    | 28,2                                  | 8,0             | 15,2                | 54,6                 |
|      | rudens    | 30,7                                  | 8,7             | 18,1                | 52,9                 |
| 2021 | ziema     | 35,6                                  | 6,2             | 24,0                | 55,3                 |
|      | pavasaris | 35,8                                  | 9,2             | 22,0                | 54,2                 |
|      | rudens    | 33,2                                  | 7,1             | 19,0                | 52,9                 |
| 2022 | ziema     | 32,8                                  | 7,3             | 21,0                | 51,7                 |



Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

| Gads | Sezona    | Šķeldu vidējais relatīvais mitrums, % | Standartnovirze | Minimālā vērtība, % | Maksimālā vērtība, % |
|------|-----------|---------------------------------------|-----------------|---------------------|----------------------|
|      | pavasaris | 36,9                                  | 8,4             | 19,5                | 68,2                 |
|      | vasara    | 26,5                                  | 7,5             | 15,7                | 44,2                 |
|      | rudens    | 28,4                                  | 6,2             | 18,0                | 51,5                 |

**Tabula 1.11. Vidējais pelnu saturs šķeldās LGK**

| Gads | Sezona    | Vidējais pelnu saturs šķeldās, % | Standartnovirze | Minimālā vērtība, % | Maksimālā vērtība, % |
|------|-----------|----------------------------------|-----------------|---------------------|----------------------|
| 2020 | vasara    | 2,4                              | 1,5             | 0,8                 | 10,2                 |
|      | rudens    | 3,1                              | 1,2             | 1,0                 | 5,6                  |
| 2021 | ziema     | 2,8                              | 2,0             | 0,6                 | 12,1                 |
|      | pavasaris | 3,1                              | 1,9             | 0,4                 | 6,3                  |
|      | rudens    | 2,7                              | 1,3             | 0,7                 | 8,6                  |
| 2022 | ziema     | 1,8                              | 1,0             | 0,5                 | 4,1                  |
|      | pavasaris | 3,2                              | 1,4             | 0,3                 | 7,7                  |
|      | vasara    | 1,7                              | 1,0             | 0,4                 | 7,1                  |
|      | rudens    | 1,7                              | 0,8             | 0,4                 | 6,1                  |

Šķeldu kravu tilpuma izmaiņas sadalījumā pa transporta veidiem un sezonām analizētas 172 kravām (1.12. tabula). Šķeldu kravu tilpumbūvuma aprēķinos izmantotas 150 kravas, kam iegūti dati par kravas masu pieņemšanas punktā. Atbilstoši pieejamai informācijai, autotransporta svēršana atsevišķos mēnešos nav veikta tehnisku iemeslu dēļ.

**Tabula 1.12. Kravu skaita sadalījums atkarībā no autotransporta aprīkojuma un sezonas**

| Sezona    | Autotransporta sadalījums |                 |
|-----------|---------------------------|-----------------|
|           | Puspiekabe                | Konteinervedējs |
| Ziema     | 5                         | 11              |
| Pavasaris | 33                        | 6               |
| Vasara    | 16                        | 6               |
| Rudens    | 84                        | 11              |

Dabiski mitra materiāla vidējais tilpumbūvums autotransportam, kas aprīkots ar puspiekabi, ir 0,27 ( $\pm 0,03$ ) t m<sup>3</sup> un autotransportam, kas aprīkots ar konteineriem – 0,28 ( $\pm 0,02$ ) t m<sup>3</sup>, atšķirība

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

nav statistiski būtiska ( $p=0,81$ ). Mērījumu kopsavilkuma dati sezonu griezumā parādīti 1.13. tabulā. Ziemas sezonā ietverti decembra, janvāra un februāra dati. Pavasara sezonā ietverti marta, aprīļa un maija dati. Vasaras sezonā ietverti jūnija, jūlija un augusta dati. Rudens sezonā ietverti septembra, oktobra un novembra dati.

**Tabula 1.13. Tilpumbļivuma izmaiņas atkarībā no autotransporta aprīkojuma un sezonas**

| Autotransporta aprīkojums | Sezona    | Vidējais tilpumbļivums AGK <sup>2</sup> , t m <sup>3</sup> | Standartnovirze | Vidējais tilpumbļivums LGK, t m <sup>3</sup> | Standartnovirze | Novērojumu skaits, gab. | Tilpumbļivuma atšķirība AGK un LGK, % |
|---------------------------|-----------|--|-----------------|--|-----------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Puspiekabe                | ziema     | 0,29   | 0,02            | 0,28   | 0,02            | 5                       | 3,4                                   |
|                           | pavasaris | 0,30   | 0,04            | 0,28   | 0,04            | 33                      | 5,3                                   |
|                           | vasara    | 0,29   | 0,03            | 0,28   | 0,03            | 9                       | 4,6                                   |
|                           | rudens    | 0,26   | 0,03            | 0,25   | 0,03            | 75                      | 3,5                                   |
| Konteinervedējs           | ziema     | 0,29   | 0,02            | 0,28   | 0,02            | 11                      | 4,3                                   |
|                           | pavasaris | 0,27   | 0,02            | 0,26   | 0,02            | 6                       | 3,7                                   |
|                           | vasara    | 0,32   | 0,01            | 0,30   | 0,02            | 6                       | 4,2                                   |
|                           | rudens    | 0,30   | 0,02            | 0,29   | 0,02            | 11                      | 3,9                                   |

Izmēģinājuma rezultāti pierāda, ka autotransporta aprīkojuma izvēle būtiski neietekmē ( $p=0,83$ ) šķeldu kravu sablīvēšanos (vidējā šķeldu kravu sablīvēšanās izmantojot puspiekabi ir 4,0%, bet konteineravedēju – 4,1%). Salīdzinot sablīvēšanās rādītājus dažādās sezonās (1.14. tabula) šķeldu pārvadājumos, izmantojot puspiekabi, mazāks sablīvējums konstatēts ziemā (3,2%), bet pārvadājumos ar konteineravedēju – pavasarī (3,3%), tomēr atšķirība nav statistiski būtiska.

**Tabula 1.14. Vidējie šķeldu sablīvēšanās rādītāji dažādās sezonās**

| Autotransporta aprīkojums | Sezona    | Vidējais sablīvējums, % | Standartnovirze |
|---------------------------|-----------|-------------------------|-----------------|
| Puspiekabe                | Ziema     | 3,2                     | 0,8             |
|                           | Pavasaris | 5,2                     | 1,1             |
|                           | Vasara    | 4,1                     | 1,4             |
|                           | Rudens    | 3,6                     | 0,7             |
| Konteinervedējs           | Ziema     | 4,5                     | 0,8             |
|                           | Pavasaris | 3,3                     | 0,5             |

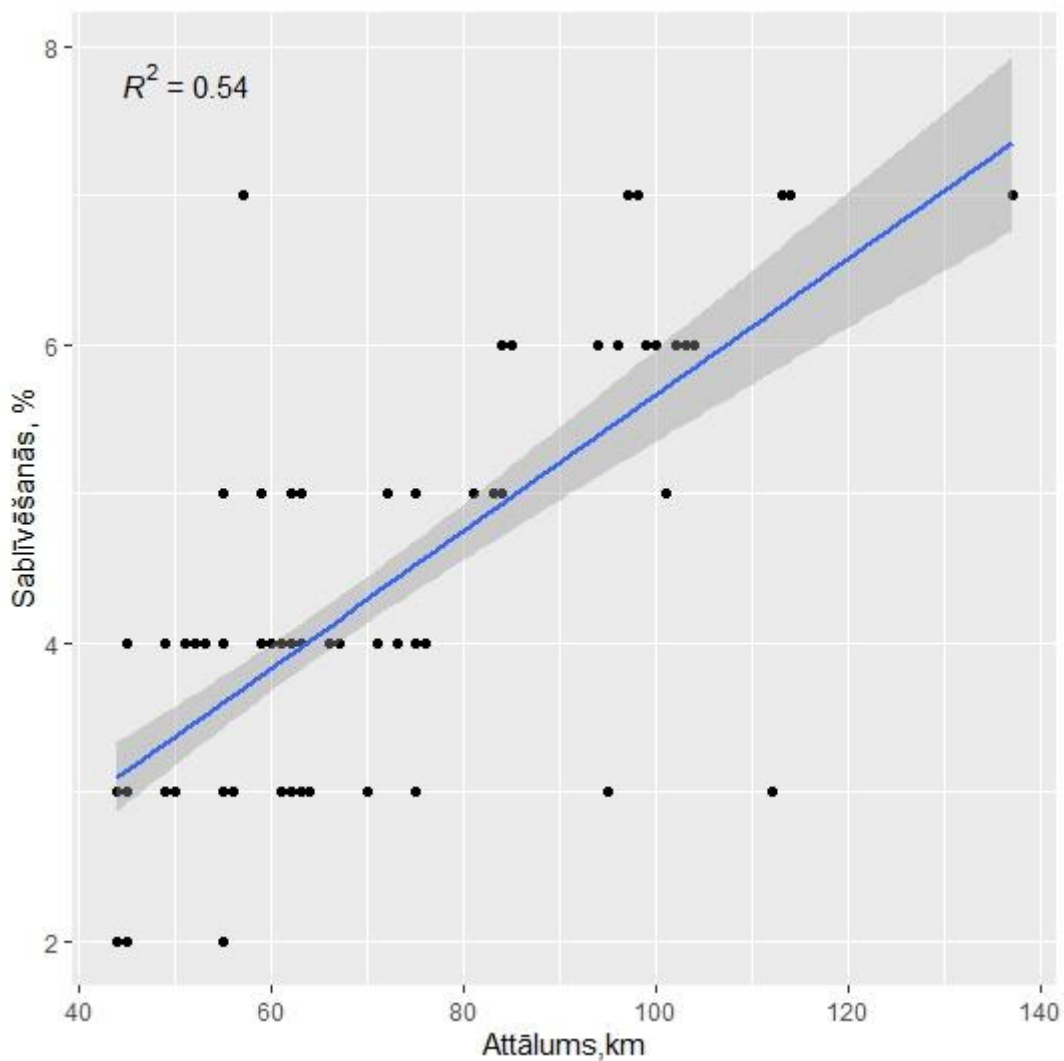
<sup>2</sup> Dabiski mitra materiāla tilpumbļivums.

**Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai**

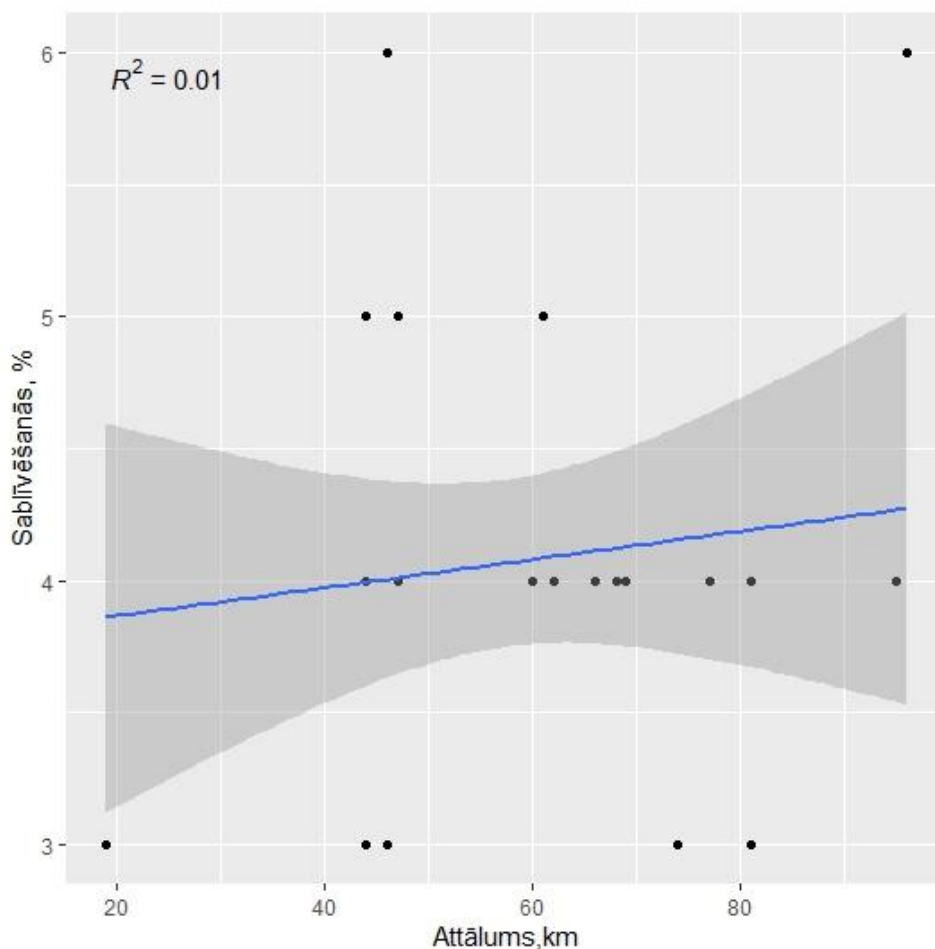
| <b>Autotransporta aprīkojums</b> | <b>Sezona</b> | <b>Vidējais sablīvējums, %</b> | <b>Standartnovirze</b> |
|----------------------------------|---------------|--------------------------------|------------------------|
|                                  | Vasara        | 4,3                            | 0,8                    |
|                                  | Rudens        | 4,0                            | 0,9                    |

Šķeldu pārvadājumos izmantojot puspiekabi, kravas sablīvēšanās pieaug, palielinoties šķeldu piegādes attālumam (1.11. attēls), kas izmēģinājumos bija no 40 līdz 140 km. Šķeldu pārvadājumos izmantojot konteinervedēju, šķeldu pārvadāšanas attālums (izmēģinājumos no 44 līdz 96 km) būtiski neietekmē šķeldu kravas sablīvēšanos (1.12. attēls). Pētījumā nav iegūts skaidrojums šādai atšķirībai starp transporta veidiem, jo vidējie kravu sablīvēšanās rādītāji LGK starp tehnikas veidiem būtiski neatšķiras ( $p > 0,05$ ). Pētījumā izvirzīta vēl pārbaudāma hipotēze, ka krava sablīvējas transportēšanas sākumā, nobraucot mazāk par 40 km.

Lai palielinātu kravu sablīvēšanās prognožu modeļa precizitāti, ir jāizvērtē autotransporta pārvietošanās ātruma un braukšanas režīma ietekmi uz šķeldu kravu sablīvēšanos. Līdz šim izmēģinājumos nav iegūti pietiekami daudz datu par autotransporta pārvietošanās ātrumu dažādās ceļa kategorijās.



Attēls 1.11. Šķeldas sablīvēšanās pārvadājumos ar puspiekabi.



**Attēls 1.12.** Šķeldas sablīvšanās pārvadājumos ar konteinervedēju.

Sablīvšanās prognozēšanai šķeldu transportēšanā izstrādāti divi vienādojumi. Izvešanai izmantojot puspiekabi, sablīvēšanos raksturo 2. formula ( $R^2=0,60$ ), formulas koeficienti doti 1.15. tabulā.

$$S_{puspie.} = -2,04 + b_1 \times 0,24 + b_2 \times 0,73 + b_3 \times 0,04 \quad (2)$$

**Tabula 1.15.** Modelētie sablīvēšanās vērtības šķeldu pārvadājumos ar puspiekabi

| Modelī iekļautie faktori          |             |          | Standartklūda | t-vērtība | p-vērtība |
|-----------------------------------|-------------|----------|---------------|-----------|-----------|
| Nosaukums                         | Koeficients | Vērtības |               |           |           |
| Int                               | Int         | -2,04    | 1,35          | -1,51     | 0,13      |
| Sezonas kods                      | $b_1$       | 0,24     | 0,16          | 1,51      | 0,14      |
| Vidējā sablīvēšanās (Tabula 1.14) | $b_2$       | 0,73     | 0,21          | 3,46      | 0,00      |

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

| Modelī iekļautie faktori |             |          | Standartklūda | t-vērtība | p-vērtība |
|--------------------------|-------------|----------|---------------|-----------|-----------|
| Nosaukums                | Koeficients | Vērtības |               |           |           |
| Attālums no AGK līdz LGK | $b_3$       | 0,04     | 0,00          | 6,89      | 0,00      |

Izvešanai izmantojot konteinervedējus, sablīvēšanos raksturo 3. formula ( $R^2=0,31$ ), koeficienti doti 1.16. tabulā.

$$S_{kont.} = -0,96 + b_2 \times 1,27 + b_3 \times -0,01 \quad (3)$$

**Tabula 1.16. Modelētie sablīvēšanās vērtības šķeldu pārvadājumos ar konteinervedēju**

| Modelī iekļautie faktori   |             |          | Standartklūda | t-vērtība | p-vērtība |
|--|-------------|----------|---------------|-----------|-----------|
| Nosaukums  | koeficients | vērtības |               |           |           |
| Int  | Int         | -0,96    | 1,42          | -0,68     | 0,50      |
| Vidējā sablīvēšanās (Tabula 1.14)                                      | $b_2$       | 1,27     | 0,37          | 3,48      | 0,00      |
| Attālums no enerģētiskās koksnis smalcināšanas vietas līdz patērētājam | $b_3$       | -0,01    | 0,01          | -0,53     | 0,60      |

Balstoties uz izmēģinājumos iegūtiem datiem, tabulā 1.17. dots aprēķinu piemērs atsevišķām kravām. Izejas dati balstīti uz pārvadātāja sniegto informāciju un noteikto šķeldu tilpumu, kas salīdzināts ar mērījumiem pie patērētāja.

**Tabula 1.17. Vienādojuma izmantošanai nepieciešamo izejas datu apkopojuma piemērs**

| Nr.p.k. | Pavadzīmes Nr. | Datums     | Autotransporta aprīkojums | Sezonas kods | Vidējā sablīvēšanās atkarībā no autotransporta veida un | Attālums no enerģētiskās koksnis smalcināšanas vietas līdz | Uzkrātais apjoms ber.m <sup>3</sup> |
|---------|----------------|------------|---------------------------|--------------|---|--|-------------------------------------|
| 1.      | AA21752        | 23.11.2021 | puspiekabe                | 4            | 3,6   | 44   | 99,5                                |
| 2.      | AA76501        | 29.08.2022 | puspiekabe                | 3            | 4,1   | 85   | 88,1                                |
| 3.      | AA21793        | 01.12.2021 | konteinervedējs           | 1            | 4,5   | 68   | 80,3                                |
| 4.      | AA76140        | 23.05.2022 | konteinervedējs           | 2            | 3,3   | 74   | 76,4                                |

Aprēķinātie sablīvēšanās koeficienti pārvadājam kravām doti tabulā 1.18. Šos koeficientus var izmantot enerģētiskās koksnis kravu tilpuma noteikšanai LGK.

Tabula 1.18. Kravu tilpuma aprēķina piemērs

| Piemēra Nr. | Izmantojamā formula atkarībā no transporta veida (2. vai 3.) | Aprēķinātā sablīvēšanās | Uzkrautais apjoms ber. m <sup>3</sup> | Tilpums pie patērētāja, ber. m <sup>3</sup> (D-(D*C)) |
|-------------|--|-------------------------|---------------------------------------|---|
| A           | B  | C                       | D                                     | E   |
| 1.          | 2  | 3,308                   | 99,5                                  | 96,2  |
| 2.          | 2  | 5,073                   | 88,1                                  | 83,6  |
| 3.          | 3  | 4,075                   | 80,3                                  | 77,0  |
| 4.          | 3  | 2,491                   | 76,4                                  | 74,5  |

Šķeldu pārvadājumos, kas iekļauti pētījumā, attālums no biomasas šķeldošanas vietas līdz patērētājam nebija mazāks par 44 km (datu apstrādē iekļautās kravas), tāpēc nepieciešams noskaidrot ne tikai ātruma un braukšanas režīma (pilsēta, ārpus pilsētas, grunts ceļš), bet arī attāluma ietekmi, lai novērtētu sablīvēšanās procesa linearitāti, atkarībā no nobrauktā attāluma. Saskaņā ar izmēģinājumos iekļauto pārvadātāju sniegto informāciju par krāvu pārvadājumu attālumu laikā no 2020. līdz 2022. gadam visbiežāk pārvadājumi veikti, kuros attālums vienā virzienā nepārsniedz 50 līdz 90 km robežas.. Pārvadājumu datu grupēšana atbilstoši piegādes attālumam veikta 1.19. tabulā.

Tabula 1.19. Pārvadāšanas attāluma un novērojumu skaita kopsavilkums

| Procentuālais sadalījums | Novērojumu skaits | Vidējais attālums, km | Maksimālais attālums grupā, km | Minimālais attālums grupā, km | Pārvadājumu grupa (solis 10 km) |
|--------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 0,3                      | 3                 | 10                    | 10                             | 10                            | 10                              |
| 7,1                      | 159               | 17                    | 20                             | 11                            | 20                              |
| 9,5                      | 212               | 25                    | 30                             | 21                            | 30                              |
| 6,8                      | 151               | 35                    | 40                             | 31                            | 40                              |
| 14,1                     | 314               | 46                    | 50                             | 41                            | 50                              |
| 13,7                     | 304               | 54                    | 60                             | 51                            | 60                              |
| 14,5                     | 323               | 64                    | 70                             | 61                            | 70                              |
| 10,4                     | 232               | 76                    | 80                             | 71                            | 80                              |
| 10,1                     | 224               | 85                    | 90                             | 81                            | 90                              |
| 6,4                      | 142               | 95                    | 100                            | 91                            | 100                             |
| 1,9                      | 43                | 104                   | 110                            | 101                           | 110                             |
| 1,0                      | 22                | 113                   | 117                            | 111                           | 120                             |
| 3,3                      | 73                | 127                   | 130                            | 121                           | 130                             |

| Procentuālais sadalījums | Novērojumu skaits | Vidējais attālums, km | Maksimālais attālums grupā, km | Minimālais attālums grupā, km | Pārvadājumu grupa (solis 10 km) |
|--------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 0,9                      | 19                | 143                   | 172                            | 131                           | < 140                           |

### 1.3.2. Sākotnējie secinājumi un rekomendācijas

Izstrādātie tilpumbļīvuma izmaiņu aprēķinu koeficienti neparāda izteiktu sakarību ar nobraukto attālumu, tāpēc ražošanas apstākļos, izņemot īpaši lielus (> 120 km) vai mazus (< 40 km) izvešanas attālumus lietderīgi izmantot vidējo tilpumbļīvuma izmaiņu rādītāju.

Autotransporta veidam nav konstatēta būtiska ietekme uz tilpumbļīvuma izmaiņām šķeldu pārvadājumos.

Aprēķinu vienādojumu precizēšanai ir jānovērtē pārvietošanas attāluma ietekme, piegādājot šķeldas nelielā attālumā, nosakot robežvērtību, kad sablīvēšanās ātrums samazinās.

### 1.3.3. Priekšlikumi pētījuma īstenošanai 2023. gadā

Lai uzlabotu izstrādātā vienādojumu precizitāti, raksturojot pārvietošanās attāluma ietekmi uz šķeldu sablīvēšanos, nepieciešams papildus vērtēt šķeldu sablīvēšanos, veicot pārvadājumus nelielā attālumā (līdz 40 km). 2023. gada darba uzdevums ir precizēt kravu sablīvēšanās algoritmu, izmantojot datus no šādām, nelielā attālumā piegādātām kravām.

Pētījuma īstenošanai nepieciešamas vismaz piecas kontroles kravas (katram aprīkojuma veidam) un šķeldu paraugi no kontroles kravām. Kamerālie darbi ietver kravu piepildījuma datu analīzi un kravu piepildījuma izmaiņu aprēķinu, vērtējot dažādu faktoru individuālo un kumulatīvo ietekmi. Iegūtos rezultātus izmantosim rekomendāciju sagatavošanai.



## 2. MEŽA TEHNIKAS MONITORINGA SISTĒMU UN DATU AUTOMATIZĒTĀS APSTRĀDES INSTRUMENTU PILNVEIDOŠANA UN IEVIEŠANA RAŽOŠANĀ

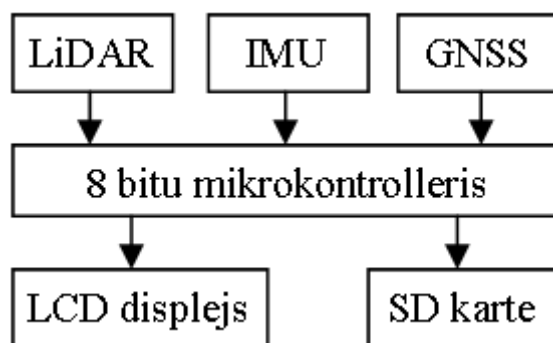
### 2.1. Forvardera atstāto risu mērīšanas iekārtas izstrāde

Pētījuma mērķis ir izstrādāt uz forvardera montējamu iekārtu risu dziļuma mērīšanai, kas var šo informāciju nosūtīt LVM IT sistēmai, lai uzlabotu kopšanas ciršu kvalitātes kontroles procesu un samazinātu izmaksas līdzināmo risu datu ieguvē. 2022. gada darba uzdevums bija ar LiDAR sensoru aprīkotā risu mērītāja (RM1) sistēmas pārbaude ražošanas apstākļos un ievākto datu apstrādes koda izstrāde un pārbaude.

Līdz 2022. gadam izstrādāta pētījuma metodika, kas ietver risu uzmērīšanas sistēmu aprakstus, kā arī mērīšanas sistēmas funkcionalitātes aprakstu. Veicot praktiskos izmēģinājumus, identificētas nepilnības, kas apgrūtina mērījumus ražošanas apstākļos un turpināta iekārtu pilnveidošana. Pirmajām sistēmām, kuru pamatā ir mērījumi, kuri veikti, izmantojot ultraskaņas sensorus (RM0), veikta funkcionalitātes pārbaude, kā arī veikta ultraskaņas un sensoru sistēmas pilnveidošana un vadības bloka modernizācija. Uzmērīšanas sistēmas precizitātes novirze saistīta ar nokrišņu daudzumu, kā arī sniegu vai risēs uzkrāto ūdens daudzumu, kā rezultātā sensora nolasītais mērījums var būt neprecīzs vai kļūdains. Lai uzlabotu iekārtas precizitāti ražošanas apstākļos, vienlaicīgi nodrošinot datu nolasīšanu tiešsaistē, RM0 sistēma pilnveidota, aizstājot ultraskaņas sensorus ar LiDAR (*Light detection and ranging*) + GNSS L1 + L2 RTK *single receiver* (RM1).

#### 2.1.1. 2022. gada izpētes rezultāti

2021. gadā izstrādātā sistēma RM1, veica mērījumus, izmantojot LiDAR tehnoloģiju. RM1 sistēma sastāv no atsevišķām komponentēm, lāzera mērīšanas sensora, aksiometriem un žiroskopiem, mikro kontroliera un LCD displeja (Attēls 2.1). LiDAR sensors veic attāluma mērījumus, IMU sensors nodrošina informāciju par mērījumu iekārtas pozīciju telpā, savukārt GNSS nodrošina platuma, garuma un augstuma koordinātas WGS84 koordinātu sistēmā. Informācija no visiem sensoriem ar 0,3 sekunžu intervālu nonāk mikro kontrolerī, kurš visas datu kopas savieno vienā datu kopā un ģenerē \*.csv failu, kuru saglabā SD kartē. Papildus forvardera operatora kabīnē novietots LCD displejs, kurā atainota informācija par iekārtas statusu. Detalizēts sistēmas vadības kods pieejams 2. pielikumā.



Attēls 2.1. RM1 sistēmas darbības shēma.

### Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

Izstrādātā sistēma novietojama uz forvardera aizsargrāmaja, kurš novietots tehnikas priekšā (Attēls 2.2). RM1 sistēmas mērījumi balstās uz no zemes virsmas vai citiem objektiem atstarotā signāla, nosakot faktisko attālumu līdz mērījuma vietai.



**Attēls 2.2. RM1 sensoru novietojums uz forvardera.**

Iegūstamās datu kopas struktūra redzama 2.1. tabulā Parametru skaidrojums: C – LiDAR mērījums līdz zemes virsmai (cm), Pitch – savērsums uz augšu vai leju, Roll – savērsums uz sāniem, Yaw – Virziena maiņas leņķis, LAT – garuma koordināta (WGS84), LON – platuma koordināta (WGS84), AMSL – absolūtais augstums virs jūras līmeņa (m), Hacc – horizontālā precizitāte, Vacc – vertikālā precizitāte, Seq – laika zīmogs ar precizitāti līdz milisekundi.

**Tabula 2.1. RM1 sistēmas datu struktūras paraugs**

| C   | Pitch | Roll  | Yaw  | LAT      | LON      | AMS<br>L | Hacc  | Vacc  | Seq      |
|-----|-------|-------|------|----------|----------|----------|-------|-------|----------|
| 144 | -2,38 | 26,44 | 8,19 | 57,01446 | 24,87559 | 89,28    | 0,181 | 0,266 | 2,02E+16 |
| 143 | -2,44 | 26,5  | 8,19 | 57,01442 | 24,8758  | 89,28    | 0,18  | 0,264 | 2,02E+16 |
| 143 | -2,5  | 26,44 | 8,19 | 57,01441 | 24,8759  | 89,3     | 0,179 | 0,263 | 2,02E+16 |
| 142 | -2,94 | 26,31 | 8,31 | 57,0144  | 24,87599 | 89,34    | 0,18  | 0,264 | 2,02E+16 |
| 145 | -3,13 | 26,44 | 8,31 | 57,01438 | 24,87609 | 89,34    | 0,18  | 0,264 | 2,02E+16 |
| 144 | -3,25 | 26,69 | 8,38 | 57,01437 | 24,87619 | 89,33    | 0,178 | 0,261 | 2,02E+16 |
| 145 | -3,31 | 26,81 | 8,44 | 57,01435 | 24,87629 | 89,35    | 0,177 | 0,26  | 2,02E+16 |

Ar RM1 sistēmu iegūtie dati izmantoti R programmēšanas valodas (R Core Team 2022) koda izveidei datu analīzei. Izveidotais kods paredzēts automātiskai ievades datu apstrādei, izmantojot x un y koordinātes un LiDAR uzmērīto attālumu līdz zemes virsmai starp forvardera asīm. Šo kodu pēc risu mērīšanas metodes aprobācijas plānots iekļaut kompleksā IT risinājumā forvardera darba

### Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

monitoringam. Aprēķinos izmantoti dati, kas raksturo forvardera kopējo nobraukto attālumu un kopējo par 20 cm dziļāku risu garumu. Programmas kods ar RM1 sistēmu iegūtās informācijas analīzei pievienots 3. pielikumā. Attēlā 2.3. parādīts risu izvietojuma telpiskā atspoguļojuma piemērs, kas iegūts, izmantojot pētījumā izstrādāto kodu.



0 50 100 m

### Apzīmējumi

- Rises ar dziļumu virs 20 cm
- Forvardera pārvietošanās ceļi

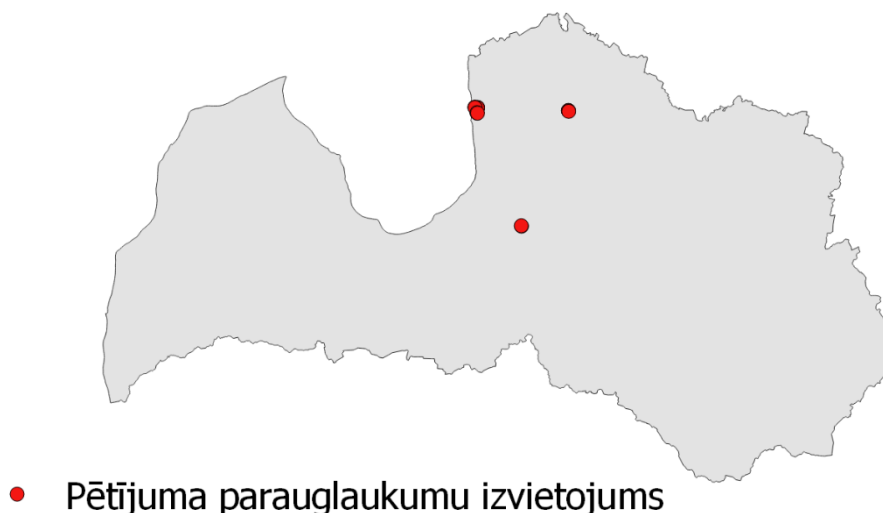
**Attēls 2.3. Risu telpiskais izvietojums saskaņā ar RM1 sistēmā iegūto informāciju<sup>3</sup>.**

Pētījumā izstrādātā sensora RM1 testēšana veikta vairākās cismās, kuru telpiskais izvietojums atainots (Attēls 2.4). Savukārt datu apstrādes rezultātā iegūtais kopējais nobrauktais ceļš un aprēķinātais par 20 cm dziļāku risu kopgarums dots 2.2. tabulā. Nejauši atlasītos tehnoloģiskajos koridoros (10% no kopējā garuma) veikta risu salīdzināšana ar RM1 mērījumiem. Vairumā gadījumu (80% no koridoriem) modelētais risu dziļums bija lielāks nekā, veicot mērījumus manuāli. Tas saistīts

<sup>3</sup> sekcija (a) - nostiprināta tehnoloģiskā brauktuve; sekcija (b) - tehnoloģiskajā brauktuvē nav veikta nostiprināšana.

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

ar zaru seguma pacelšanos tehnoloģiskās brauktuves vidū, radot maldīgu priekšstatu par risu dziļumu.



Attēls 2.4. Pētījumā izmantoto parauglaukumu telpiskais izvietojums.

Tabula 2.2. Pētījumā iekļauto cirsmu risu mērījuma un nobraukuma datu kopsavilkums

| Nogabals   | Kopā nobrauktais attālums, m | Modelētais par 20 cm dziļāku risu garums, m |
|--|------------------------------|---|
| 405-176-3; 405-176-8; 405-176-7                                      | 5043                         | 631   |
| 405-176-3; 405-176-9; 405-176-14; 405-176-18; 405-176-8              | 16368                        | 910   |
| 407-389-9; 407-389-11; 407-389-12; 407-389-32; 407-389-18; 407-390-7 | 7588                         | 842   |
| 405-173-17; 405-173-31; 405-173-33                                   | 5547                         | 334   |
| 405-202-9; 405-202-8; 405-202-15; 405-202-19                         | 4117                         | 1128  |
| 409-308-12; 409-380-8; 409-380-2                                     | 4020                         | 437   |

RM1 sistēmas precizitāte atkarīga no tehnoloģiskās brauktuves kvalitātes (ar vai bez zaru klājuma, Attēls 2.5). Ja mežizstrādes atliekas ir ieklātas ceļos, LiDAR sensors nespēj precīzi uzmērīt attālumu līdz zemes virsmai, bet atstarojas no zariem, kas pievešanas laikā veido pacēlumu koridora centrā. Rezultātā, neprecīzi nosakot zemes virsmu (ceļā ieklātos zarus) kā atskaites punktu, iegūst maldīgu informāciju par risu izvietojumu.



**Attēls 2.5. Ceļā izklāti zari (a) un ceļa augsne atklāta (b).**

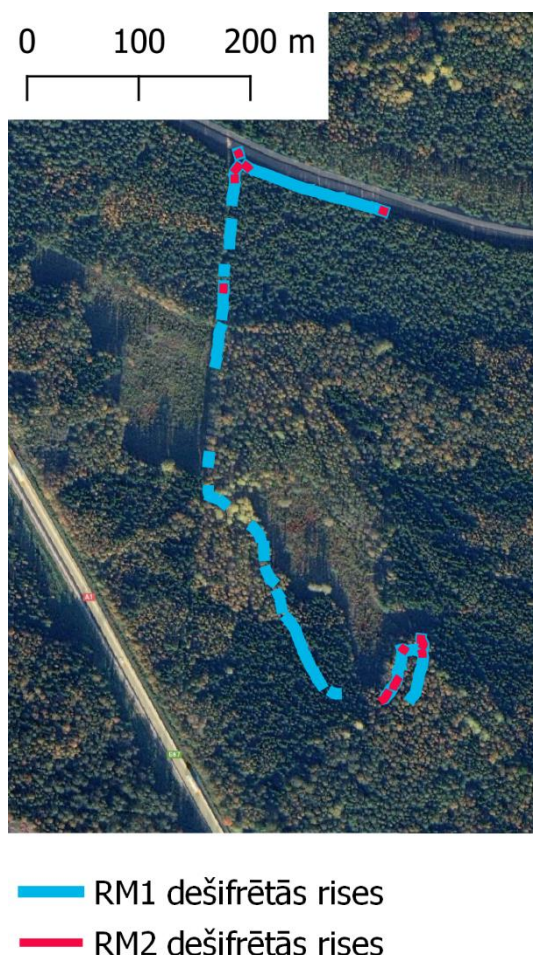
Tā kā RM1 sistēmā izmantotais LiDAR sensors nespēja korekti uzmērīt attālumu līdz zemes virsmai situācijās, kad ceļos ieklāti zari, izveidota GNSS L1 + L2 RTK single receiver (RM2) sistēma, kura risu dziļuma aprēķināšanai izmanto tikai GNSS sensoru datus (x, y un z koordinātas) un veicot datu pēcstrādi, balstoties uz LatPos koordinātu precizēšanu. Datu struktūra ir tāda pati kā RM1 sistēmas dotajiem failiem, noņemot nost informāciju par LiDAR mērījumiem.

2022. gadā izveidotais R kods, kas paredzēts automātiskai darbību datu apstrādei, papildināts, pielāgojot to aprēķinu veikšanai, balstoties tikai uz GNSS nolasītajām x, y un z koordinātām (ar RM2 sistēmu iegūto datu apstrādei). R kods, kas 2022. gada beigās pielāgots ar RM2 sistēmu iegūto datu analīzei, pievienots 4. pielikumā. Tajā iekļautas sekojošas darbības:

- datu ielasīšana un failu apvienošana;
- koordinātu pārprojicēšanu no WGS84 uz LKS92 koordinātu sistēmu;
- digitālā reljefa modeļa izveidošanu, izmantojot GNSS sensora maksimālās lokālās augstumu vērtības;
- stacionāro punktu nofiltrēšana;
- forvardera pārvietošanās virziena un pagriezienu noteikšana;
- punktu grupēšana pārbraucienos, kas robežojas ar apgrīšanās vietām;
- katra tehnoloģiskā koridora pēdējā reģistrētā pārbrauciena punkta reģistrēšana;
- punktu filtrēšana atbilstoši forvarderu atstāto risu dziļumam;
- punktu grupēšana atsevišķu risu identificēšanai un risu garumu noteikšanai;
- ģeotelpiskā datu slāņa (\*.shp) ģenerēšana.

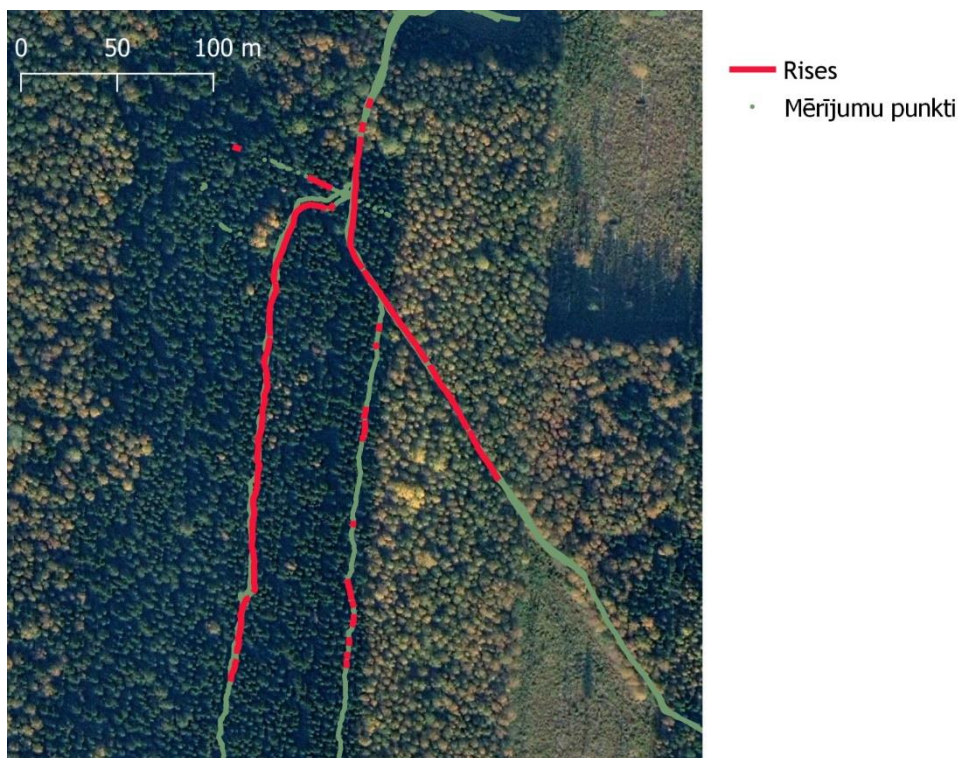
### Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

. Augstas precizitātes GNSS, savienojumā ar RTK, ir izmantojams dziļu risu izvietojuma datu iegūšanā arī vietās, kur mežizstrādes atliekas ieklātas ceļos. Objekta daļā, kur veikta abu sistēmu (RM1 un RM2) pārbaude, izvērtējot risu uzmērīšanas precizitāti gadījumos, kad tehnoloģiskā brauktuve nostiprināta ar zaru klājumu (Attēls 2.6), iegūtie dati parāda, ka pie kopējā brauktuves garuma 5547 m, ar RM1 sistēmu uzskaitītās rīses veido 334 m, bet ar RM2 sistēmu, attiecīgi, 25 m. Salīdzinot abu sistēmu nolasītos datus ar manuāli veiktiem mērījumiem, precīzāki rezultāti iegūti izmantojot RM2 sistēmu. RM1 sistēma uzskaitījusi vairāk rīses tieši uz maģistrālās brauktuves, jo sortimentu pievešanas procesā no atjaunošanas cirtes forvarderam pārvietojoties un veicot brauktuves nostiprināšanu ar zariem, starp rīteņiem izveidojas paaugstinājums, kā rezultātā tas tiek uzskatīts par "0" punktu pēc kura tiek veikts aprēķins. Savukārt RM2 sistēma balstās uz augstuma izmaiņām kur rīses mērījumus neietekmē zaru klājums. Lai pilnībā izvērtētu RM2 sistēmas potenciālu, nepieciešams iegūt lielāku datu kopu. Absolūtā augstuma noteikšanā, izmantojot RM2 sistēmu, precizitāte ir dažu centimetru robežās. Bez RTK savienojuma absolūtā augstuma noteikšana ir mazāk precīza, tomēr relatīvais augstums starp uzmērījumu punktiem ir precīzs dažu centimetru robežās. Tāpat mērījumu nenoteiktību var aprēķināt katrā mērījumu posmā, sagatavojot precīzu informāciju par risu izvietojumu un dziļumu ar kļūdas robežām, attiecīgi, šos datus jau var izmantot gan tehnoloģisko brauktuvju platības, gan risu garuma pārskata sagatavošanai automātiskā režīmā. Lauka mērījumus ar RM2 sistēmu plānots veikt 2023. gadā.



**Attēls 2.6. RM1 un RM2 mērījumu salīdzinājums.**

Risu telpiskā izvietojuma modeļa piemērs, kas izveidots no RM2 nolasītajām x, y un z koordinātām, redzams 2.3. attēls. Šajā piemērā risu, kuru dziļums pārsniedz 20 cm, garums ir 419 m.



**Attēls 2.7. Risu telpiskā novietojuma aprēķins un telpiskais atspoguļojums, izmantojot RM2 sensora sniegto informāciju.**

Tehniskā specifikācija RM1 risu mērīšanas iekārtai dota 2.3. tabulā un tehniskā specifikācija RM2 iekārtai dota

Tabula 2.4. Pašizmaksa, neskaitot izgatavošanu, RM1 iekārtai ir aptuveni 330 EUR un RM2 iekārtai – 260 EUR. Papildus RM1 iekārtai nepieciešams rāmis, pie kura stiprināt sensorus, bet RTK GNSS sensoru var novietot labi pasargātā vietā un tas netraucē operatora darbu. Iekārtu specifikācijas nepieciešamības gadījumā koriģējamas atbilstoši izmantojamiem sensoriem.

Šobrīd gan RM1, gan RM2 sistēmu izmantošanai praksē nepieciešams veikt datu pēcapstrādi. Abām sistēmām veicam GNSS koordinātu koriģēšanu izmantojot LatPos bāzes staciju datus un risinām jautājumu par LatPos bāzes staciju tīkla blīvuma ietekmi uz sasniegtajiem rezultātiem. Strādājam arī pie risinājuma, lai forvardera operators tiešsaistē varētu sekot līdzi mežaudzē atstāto risu veidošanās procesam un tam būtu pieejama informācija par radītajiem augsnes bojājumiem.

**Tabula 2.3. Tehniskā specifikācija RM1 sistēmai**

| Nr. | Nosaukums      | Izmantotā iekārta                      | Prasības   | Skaitis |
|-----|----------------|--|--|---------|
| 1.  | Datu uzkrāšana | ATmega2560 8bit MUX Breakout 8 channel | Darba spriegums 5V<br>Pievadāmais spriegums 7-12V<br>Zibatmiņa 256KB<br>SRAM 8KB<br>EEPROM 4KB | 1       |
| 2.  | GNSS uztvērējs | u-blox ZED-F9P                         | GNSS - GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou<br>RTK > 20 Hz  | 1       |

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

| Nr. | Nosaukums                  | Izmantotā iekārta         | Prasības   | Skaitis |
|-----|----------------------------|---------------------------|--|---------|
|     |                            |                           | Pozīcijas precizitāte (RTK)<br>0,01 m + 1ppm CEP<br>Laika impulss (maināms) 0,25 līdz 10 MHz<br>Darba temperatūra -40 ° C līdz +85 ° C<br>Kvalitātes sertifikāts ISO 16750 |         |
| 3.  | Datu uzkrāšana             | 12C SD card reader/writer | Nepieciešamais spriegums - 3,3 V līdz 12V<br>microSD karšu lasītājs Līdz 32 GB<br>Saderība ATmega2560  | 1       |
| 4.  | Attāluma mērīšanas sensors | TF-Luna LiDAR module      | Darba diapazons 0,2 līdz 8 m<br>Attāluma izšķirtspēja 1 cm<br>Frekvence 1 Hz   | 3       |
| 5.  | Strāvas pārveidotājs       | -                         | Ieeja 7-15V / Izeja 5V and 9V  | 1       |

**Tabula 2.4. Tehniskā specifikācija RM2 sistēmai**

| Nr. | Nosaukums            | Izmantotā iekārta                      | Prasības  | Skaitis |
|-----|----------------------|--|---|---------|
| 1.  | Datu uzkrāšana       | ATmega2560 8bit MUX Breakout 8 channel | Darba spriegums 5V<br>Pievadāmais spriegums 7-12V<br>Zibatmiņa 256KB<br>SRAM 8KB<br>EEPROM 4KB  | 1       |
| 2.  | GNSS uztvērējs       | u-blox ZED-F9P                         | GNSS - GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou<br>RTK > 20 Hz<br>Pozīcijas precizitāte (RTK)<br>0,01 m + 1ppm CEP<br>Laika impulss (maināms) 0,25 līdz 10 MHz<br>Darba temperatūra -40 ° C līdz +85 ° C<br>Kvalitātes sertifikāts ISO 16750 | 1       |
| 3.  | Datu uzkrāšana       | 12C SD card reader/writer              | Nepieciešamais spriegums - 3,3 V līdz 12V<br>microSD karšu lasītājs Līdz 32 GB<br>Saderība ATmega2560   | 1       |
| 4.  | Strāvas pārveidotājs | Input 7-15V / Output 5V and 9V         | Ieeja 7-15V / Izeja 5V and 9V   | 1       |



### 2.1.2. Sākotnējie secinājumi un rekomendācijas

Saskaņā ar sākotnējiem izpētes rezultātiem, lietderīgi turpināt pētījumus ar RM2 sistēmu risu dziļuma un garuma mērīšanai. Risu mērījumu dati pielāgojami arī tehnoloģisko koridoru aizņemtās platības aprēķiniem un izvietojuma telpisko datu slāņa veidošanai kopšanas cirtēs, kā arī augsnes nestspējas datu ievākšanai atjaunošanas cirtēs.

Risu uzmērīšanas sistēmas RM1 precizitāte atkarīga no tā, vai tehnoloģiskajā brauktuvē ir ieklātas mežizstrādes atliekas. Iekārta pielietojama tādās platībās, kur mežizstrādes atliekas nav klātas ceļos.

Risu mērīšanas sistēma RM2 pilot izmēģinājumos 1 cirsma uzrādīja vismaz tikpat lielu precizitāti kā RM1 sistēma optimālos apstākļos, salīdzinot ar manuāliem uzmērījumiem taču sistēma pagaidām pārbaudīta tikai vienā cirsma. Saskaņā ar sākotnējiem datiem šī sistēma piemērojama objektos, kuros veikta tehnoloģiskās brauktuves nostiprināšana un šīs sistēmas precizitāti neietekmē sniega segas esamība un augsnes mitrums.

### 2.1.3. Priekšlikumi pētījuma īstenošanai 2023. gadā

Ņemot vērā iekārtas priekšrocības, to nepieciešams aprobēt ražošanas apstākļos dažādos cirtes veidos. 2023. gadā jāveic RM2 sistēmas pielietošanas monitorings ražošanas apstākļos, novērojot sistēmas veiktspēju dažādos apstākļos un reģionos. Paralēli veicami mērījumi kopšanas un atjaunošanas cirtēs, lai iegūtu priekšstatu par šīs sistēmas pielietošanas iespējām dažādiem mērķiem.

Lai sasniegtu pētījuma mērķi, 2023. gadā nepieciešams pārbaudīt RM2 sistēmu ražošanas apstākļos un, balstoties uz izstrādāto "R" kodu, izveidot programmu risu uzskaitē. Turpinot izmēģinājumus, 2024. gadā nepieciešams pilnveidot RM2 sistēmu, sniedzot iespēju forvardera operatoram tiešsaistē sekot līdzi risu veidošanās procesam, tādējādi minimizējot forvardera pārvietošanās laikā radītos augsnes bojājumus.

2023. gada uzdevums ir RM2 sistēmas uzstādīšana, funkcionalitātes pārbaude un monitoringa sistēmas izveide. Veicamie lauku darbi ietver:

- pētījumā iesaistīto forvarderu operatoru apmācības;
- divu RM2 prototipu sistēmu uzstādīšana kopšanas un atjaunošanas cirtēs strādājošiem forvarderiem;
- RM2 prototipu testēšana ražošanas apstākļos;
- risu dziļuma kontrolmērījumu veikšana, izmantojot tradicionālo metodi (kontrolmērījumi jāveic ne mazāk kā 10 ha kopšanas un atjaunošanas cirtēs).

Kamerālie darbi ietver:

- vienas papildus RM2 prototipa sistēmas izstrādāšanu;
- brauktuvi raksturojošo rādītāju analizēšanu; programmas prototipa izveidi automātiskai datu analizēšanai (balstoties uz izstrādāto "R" kodu).

## 2.2. Forvarderu datorprogrammu pielietojuma izpēte

Pētījuma uzdevums ir sagatavot priekšlikumus forvardera datorprogrammu izmantošanai pievešanas darbu plānošanā, izpildē, pievestās produkcijas uzskaitē un nosūtīšanā darbu pasūtītājam. 2022. gada darba uzdevums ir uzsākt pētījuma metodikas izstrādāšanu un forvarderu sistēmas

gatavības novērtēšanu. Pētījumā, balstoties uz literatūras datiem un praktiskiem piemēriem, gatavojam priekšlikumus forvardera IT sistēmu izmantošanai pievešanas darbu plānošanā, tajā skaitā darba uzdevuma izveidošanai, izmantojot harvesteru IT sistēmu pārskatus ar veikto darbību un harvesteru telemetrisko datu telpisko piesaisti; pievešanas darbu izpildes monitoringā un operatora atbalsta risinājumu pielietošanā; pievestās produkcijas uzskaitē un kvalitātes kontrolē; pārskatu sagatavošanā un datu nosūtīšanā darbu pasūtītājam; meža atjaunošanai un citām mežsaimnieciskām darbībām būtisku parametru (grunts nestspēja, cirmsas pielūžņojums, mikroreljefs u.c.) ieguvē, izmantojot forvardera IT sistēmas, telemetriju datus un vides sensoru mērījumus.

### 2.2.1. Tehniskās dokumentācijas apskats

Mašinizētai mežsaimniecisko darbu izpildei aizvien aktuālāks kļūst jautājums par automātisku datu ievākšanu un to tālāko apstrādi. Līdz šim lielākā uzmanība pievērsta harvesteru uzskaites sistēmu dati, bet pētījumu par forvarderu uzskaites sistēmu datiem un to izmantošanu ir maz (Manner, Berg, and Ersson 2019). Tas var būt skaidrojams ar būtiski mazāku forvardera automātiski uzkrājamo datu apjomu, salīdzinājumā ar harvesteru. Līdzšinējie pētījumi parāda, ka joprojām forvarderu ražīguma un pievestā materiāla uzskaitē galvenokārt izmanto manuālas metodes (Bjorheden 2011; Cadei et al. 2020; Holzfeind, Stampfer, and Holzleitner 2018). Lai uzskaites procesu un datu apstrādi padarītu efektīvāku, nepieciešams izveidot sistēmu datu uzkrāšanai un apstrādei. Šādu iespēju nodrošina StanForD2010 standarta izmantošana datu ievākšanā un uzkrāšanā (Arlinger et al. 2012).

StanForD pielietošana meža mašīnās uzsākās ap 1990. gadu. Sākumā standarts paredzēja galvenokārt kontroles rādītāju uzskaitē, vēlāk arī saražotās produkcijas uzskaitē. Būtiskas izmaiņas standartā vērojamas, sākot ar 2010. gadu, kad, pieaugot mežizstrādes tehnikas iespējām un datu izmantošanas prasībām, standartu pilnveidoja. Pilnveides process nodrošināja uzkrāto datu izmantošanas iespējas, neatkarīgi no tehnikas izlaiduma gada vai programmas versijas. Galvenās atšķirības starp veco un jauno standartu atbilstoši Arlinger et al. (2012) un ir:

- mainīts datu formāts (no ASCII uz XML);
- ietverta plašāka informācija par saražoto produkciju (sortimentu veids, tā atrašanās vieta u.c. parametri);
- ietverta iespēja grupēt sortimentus pēc to telpiskā izvietojuma;
- ietverta iespēja uzkrāt pievestā apjoma svērumu datus.

Zviedrijā mežizstrādes datu plūsmas kontrolei un uzraudzībai izmanto "PapiNet" standartu, kurš ietver datu plūsmas uzraudzību visā kokmateriālu piegādes ķēdē. Mežizstrādes mašīnām atbalstīts StanForD2010 standarts (harvesteram - \*.hpr un \*.hqc, forvarderam - \*.prl formātā) un lai šos datus iekļautu "papiNet" sistēmā, ir izstrādāts datu apmaiņas apraksts (PapiNet 2022).

Pastāv vairākas alternatīvas sistēmas, ar kuru palīdzību var optimizēt mežizstrādes darbus. Katram no lielākajiem tehnikas ražotājiem ir izstrādāta sava sistēma, piemēram, Komatsu – MaxiFleet, John Deere – TimberMatic. Minētajām sistēmām ir atšķirīgas iespējas, ko sistemātiski pilnveido, bet šīs sistēmas nav savietojama, tajā skaitā darbību datu apmaiņas līmenī. Galvenās kopīgās iezīmes visām izmantotajām sistēmām (2.5. tabula):

- saražotās produkcijas apjoma uzskaitē sadalījumā pa piegādātājiem un/vai sortimentiem,
- sagatavotā sortimenta atrašanās vietas atspoguļošana,
- degvielas patēriņa uzskaitē,

**Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai**

- tehnikas efektivitātes rādītāju uzskaitē,
- vidējo rādītāju salīdzināšana starp dažādām mašīnām (pieejams atsevišķiem ražotājiem),
- tehnikas atrašanās vietas atspoguļošana.

Tabula 2.5. Kopīgās iezīmes tehniskajām sistēmām

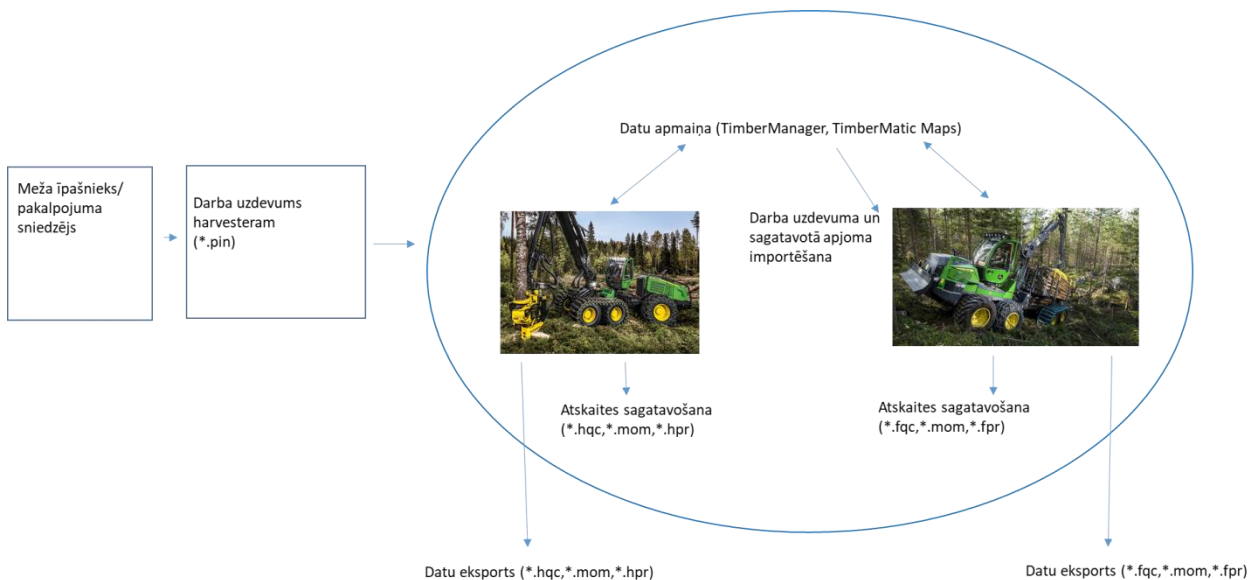
| Programmas nosaukums | Datu sinhronizācija | Harvestera saražotais apjoms mežizstrādes procesā (G15, m3h-1, stumbri, L m-3 utt.) | Forvardera saražotais apjoms mežizstrādes procesā | Sortimentu reģistrēšanas iespējas       |                                     |   | Rekomendējamie forvardera datorsistēma            | Karšu sistēma |
|----------------------|---------------------|---|---|---|-------------------------------------|---|---|---------------|
|                      |                     |   |   | pēc tehnoloģiskās brauktuves pievešanas | pēc sortimentu atlasēs datorsistēmā | pievešanas procesā, reģistrējot greifera apjomu |   |               |
| TimberManager        | X                   | X   | -   | -                                       | -                                   | -   | Nav specifiskas prasības forvarderam <sup>4</sup> | -             |
| TimberMatic Maps     | X                   | -   | X   | X                                       | X                                   | X   | HPS15   | X             |
| MaxiVision           | X                   | -   | X   | -                                       | -                                   | -   | Nav specifiskas prasības forvarderam <sup>5</sup> | X             |
| MaxiFleet            | X                   | -   | X   | X                                       | X                                   | X   | Nav specifiskas prasības forvarderam <sup>6</sup> | X             |

<sup>4</sup> Prasības jaunākajai programmas versijai – operētājsistēma – Windows 7 vai jaunāka, procesors – Intel Core i5 vai jaunāks, RAM – vismaz 4 GB, vieta uz diska – vismaz 500 GB, videokarte –atsevišķa videokarte ar vismaz 1 GB VRAM, ekrāna izšķirtspēja – 1920 x 1080 vai lielāka, interneta pieslēgums.

<sup>5</sup> Prasības jaunākajai programmas versijai – operētājsistēma – Windows 7 vai jaunāka, procesors – Intel Core i5 vai jaunāks, RAM – vismaz 4 GB, vieta uz diska – vismaz 500 GB, videokarte –atsevišķa videokarte ar vismaz 1 GB VRAM, ekrāna izšķirtspēja – 1920 x 1080 vai lielāka, interneta pieslēgums.

<sup>6</sup> Prasības jaunākajai programmas versijai – operētājsistēma – Windows 10 vai jaunāka, procesors – Intel Core i5 vai jaunāks, RAM – vismaz 8 GB, vieta uz diska – vismaz 128 GB, videokarte – Nvidia GeForce GTX 1050 vai ekvivalenta, ekrāna izšķirtspēja – 1920 x 1080 vai lielāka, interneta pieslēgums.

Jonh Deere piedāvātais risinājums datu apmaiņai izmanto “mākoņpakalpojumu”, kas galvenokārt tiek īstenots starp divām sistēmā - TimberManager un TimberMatic Maps (2.4. attēls).



Attēls 2.8. Datu apmaiņa John Deere sistēmā<sup>7</sup>.

**TimberManager** tiešsaistes režīmā sniedz datus galvenokārt par sagatavoto apjomu un apaļo kokmateriālu izvietojumu sadalījumā pa sortimentu veidiem. TimberManager var sagatavot pārskatus par galvenajiem tehnikas rādītājiem, kas saistīti ar mašīnu darbību un veikspēju. Atskaitē iekļaujamā informācija (2.5. attēls):

1. darbības stundas;
2. sagatavotais kopējais apjoms;
3. vidējā nozāģētā stumbra parametri;
4. nozāģēto stumbru skaits;
5. ražīgums ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ ; stumbri  $\text{h}^{-1}$ );
6. vidējais degvielas patēriņš ( $\text{L h}^{-1}$ ;  $\text{L m}^3$ );
7. kopējais degvielas patēriņš (tikai forvarderam);
8. dzinēja tukšgaitas laiks ([www.deere.lv](http://www.deere.lv)).

<sup>7</sup> Avots – <https://signin.johndeere.com/>



Attēls 2.9. Izklājlapas paraugs<sup>8</sup>.

**TimberMatic Maps** darbojas tiešsaistes režīmā, nodrošinot datu apmaiņu ar TimberManager. Tas nepieciešams, lai forvardera operatoram būtu pieejama aktuālā informācija par:

- harvestera sagatavoto apjomu;
- sagatavotā materiāla ģeogrāfisko novietojumu;
- dabas vērtību ģeogrāfisko novietojumu (ja tas tiek atspoguļots).

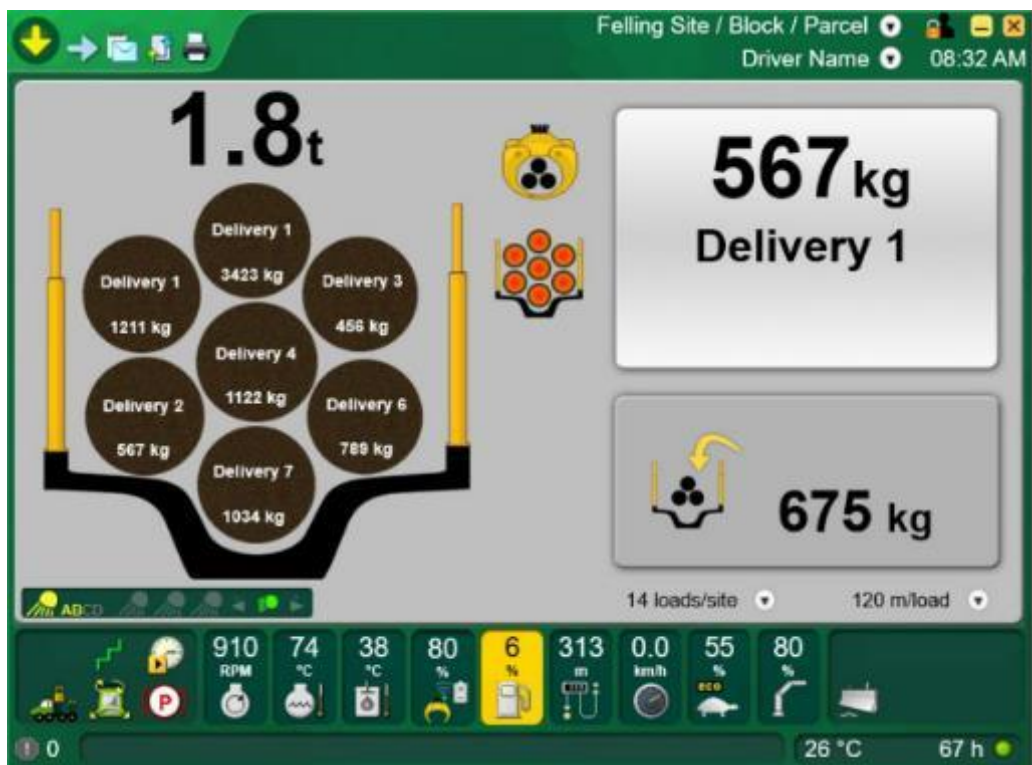
Pievestos apaļos kokmateriālus forvarders var reģistrēt trīs atšķirīgos veidos:

1. pēc tehnoloģiskās brauktuves pievešanas, iezīmējot TimberMatic Maps pievesto brauktuvi, sistēma automātiski apaļos kokmateriālus ieskaita forvardera sistēmā;
2. atlasot TimberMatic Maps nepieciešamo sortimentu veidu (2.6. attēls), forvardera sistēma atspoguļo to novietojums un uzrāda harvestera sagatavoto apjomu. Pēc izvēlēta sortimenta pievešanas, forvardera sistēma automātiski reģistrē pievesto apjomu;
3. pievešanas procesā, reģistrējot iekrautā sortimenta veidu manuāli, var identificēt pievestā materiāla sadalījumu pa kravām (2.7. attēls), šo funkciju iespējams apvienot ar svēršanu.

<sup>8</sup> Avots – www.deere.lv.



Attēls 2.10. TimberMatic Maps tehnoloģiskās brauktuves ar sagatavoto sortimentu apjomu<sup>9</sup>.



Attēls 2.11. Uzkrātā apjoma atspoguļošana<sup>10</sup>.

Lai forvarders varētu izmantot mākoņpakalpojumu, nepieciešams nodrošināt interneta pieslēgumu un datoru – HPS15 (XL4) vai ekvivalentu.

Datu apmaiņā starp harvesteru un forvarderu Komatsu meža mašīnās arī izmanto mākoņpakalpojumus<sup>11</sup>. Komatsu izmantotā datorprogramma “MaxiVision” satur galvenokārt

<sup>9</sup> Avots – [www.deere.com](http://www.deere.com).

<sup>10</sup> Avots – [www.deere.lv](http://www.deere.lv).

<sup>11</sup> Avots – [www.komatsuforest.com](http://www.komatsuforest.com)

kartogrāfisko materiālu, kurš pieejams operatoriem darba procesā. Mākoņpakalpojumā balstīta ģeogrāfiskās informācijas sistēma ar karšu slāņiem sniedz iespējas izmantot:

- fona kartes – satelītkarte, ortofoto un hibrīdkarte;
  - mitruma karšu atbalstu, objekta piekļuves kartes;
  - klienta karšu importu.
- “MaxiFleet” ražotāja izstrādāta atbalsta sistēma, kura nodrošina piekļuvi:
- **darba zonas pārvaldība** – darba uzdevumu sagatavošana meža mašīnām, pamatinformācijas pieeja operatoriem pirms darbu uzsākšanas. Piekļuves nodrošinājums tiešsaistes datiem uz dažādām ierīcēm. Iespējams identificēt operatorus, produktus, darba apgabalu kartes un citu ar ĢIS saistītu informāciju;
  - **tehnikas parka informācija** – apkopojums pa īpašniekam piederošām Komatsu tehnikas vienībām. Iespējams redzēt tehnikas noslodzi, izmantošanu, darbības statusu un atrašanās vietu. Iespējams analizēt degvielas patēriņu, veidot dažādus pārskatus;
  - **piekļuve mežizstrādes tehnikai** – attālināties pieslēgšanās iespējas, lai iegūtu papildus informāciju par akumulatora stāvokli, komforta līmeni kabīnē vai ieslēgtu autonomo salona apsildi, kā arī apmācības procesa nodrošināšanai. Papildu paredzēt iespēja veikt dažādus sistēmas parametru izmaiņas (mehāniķiem);
  - **datu apmaiņa starp sistēmām** – datu apmaiņa starp “MaxiFleet” un “MaxiVision”. Harvesters veic plānošanu un cirsmas izstrādi, veic dažādas piezīmes par apgrūtinājumiem, forvardera operatoram ir tiešsaistes piekļuve šiem datiem. Forvardera operators var veikt dažādas atzīmes par pievestajām darba zonām un citu informāciju;
  - **informācija par objektu** – dažādu ĢIS kartogrāfiskā materiāla saņemšana, sagatavotā materiāla vizuāla atspoguļošana. Šāda operatīvā informācija samazina nepieciešamo laiku sortimentu pievešanas plānošanai, tādējādi uzlabojot ražīgumu<sup>12</sup>.

### 2.2.2. Forvardera IT sistēmu gatavības novērtēšanas metodika

Pētījuma ietvaros turpināts IT sistēmu novērtēšanas darbs, apzinot forvardera produkcijas failā iegūstamo informāciju, tās precizitāti un tālākās analīzes iespējas. Metodika sastāv no četrām daļām:

1. IT sistēmas gatavības novērtējums;
2. pētījuma objektu atlases kritēriji (cirmām un tehnikas vienībām);
3. forvardera sistēmas uzskaites precizitātes novērtējums;
4. datu analīze, izmantojot programmēšanas vidi “R”.

#### IT sistēmas gatavības novērtējumam:

1. Tehniskās dokumentācijas apskats, sistēmu iespēju analīze;
2. Tehnikas izplatītāju aptauja, saistībā ar sistēmu praktiskajām iespējām;

<sup>12</sup> Avots – [www.komatsuforest.com](http://www.komatsuforest.com).



Aptauja ietver tehnikas izplatītāju intervijas par tehniskajām iespējām un neieciešamajām darbībām sistēmu ieviešanai Latvijā. Diskusiju sākumā plānots padziļināti iepazīties ar forvarderu IT sistēmu iespējām, balstoties uz tehnikās dokumentācijas apskatu. Apskatāmie jautājumi:

- forvarderu pamataprīkojums un papildus aprīkojums (saistībā ar IT);
  - mākoņpakalpojumu serviss, piekļuves iespējas un datu eksports;
  - mākoņpakalpojumu savstarpējā savienojamība starp dažādiem tehnikas ražotājiem;
  - forvarderu programmnodrošinājums, tā attīstība un iespējas.
3. Forvarderu produkcijas failu analīze (dažādas markas un modeļi), izmantojot ražošanas datus. Iegūto datu salīdzināšana atbilstoši StanForD2010 standartam; iegūstamas informācijas apskats; trūkumu identificēšana atbilstoši atspoguļojamai informācijai. Gadījumos, ja no kādas mežizstrādes tehnikas vienības produkcijas faili nav pieejami, aprakstītas teorētiskās iespējas failu izveidei ar rekomendācijām failu uzkrāšanai.

#### **Pētījuma objektu atlases kritēriji:**

1. sakaru kvalitāte – objektu atlase, kur pieejams stabils interneta nodrošinājums (4G);
2. cirtes veids – atjaunošanas cirte (mazināti riski par datu apmaiņu/saņemšanu tai skaitā GNSS);
3. viena ražotāja tehnikas komplekts, kurš atbalsta ražotāja izstrādāto tiešsaistes dokumentu apriti:
  - a) Cirsmas sagatavošana, darba uzdevuma izveidošana harvesteram atbilstoši pasūtītāja norādījumiem (ražošanas apstākļi), iekļaujot informāciju:
    - i. par objektu un meža īpašnieku:
      - Organizācija – pakalpojuma pasūtītājs;
      - Reģions – cirsmas atrašanās reģions;
      - Cirsmas kods – “GEO ID”;
      - Cirsmas identifikācija – cirsmas ID Nr.
    - ii. par pakalpojuma sniedzēju:
      - Uzņēmuma nosaukums – pakalpojuma sniedzējs;
      - Kontaktinformācija – kontaktpersona, e-pasts utt.;
      - Mašīnas numurs – valsts numurzīme;
      - Forvardera identifikācija – unikālais ID kods;
      - Līguma numurs – sadarbības līguma Nr.;
      - Operatori – operatora ID kods.
  - b) Harvestera sagatavotā materiāla produkcijas fails (\*.hpr);
  - c) Darba uzdevuma, datu uzskaitē forvarderam atbilstoši ražotāja izstrādātajām rekomendācijām (manuāli pieejami tehnikas ražotājiem un izplatītājiem, apmācības jāiesaista tehnikas pārstāvju instruktori). Ņemot vērā, ka datu uzskaitē izmantojot,

forvardera sistēmas Latvijā nav izplatīta, forvarderu informācijas tehnoloģiju novērtēšanā, kā arī sistēmas regulēšanā, jāiesaista tehnikas pārstāvju instruktori;

- d) Datu saglabāšana (\*.prl un \*.mom) atbilstoši StanForD2010 datu struktūrai un ražotāju izstrādātajām rekomendācijām.

**Forvardera sistēmas uzskaites precizitātes novērtējumu** veic, par pamatu ņemot pievešanas procesā automātiski sagatavotos sistēmas failus. Vienlaicīgi veicot lauku darbus, iegūst datus, ko izmanto forvardera sagatavoto failu precizitātes novērtējumam ražošanas apstākļos.

Forvarderam jābūt aprīkotam ar greifera satvērēju, kurš paredzēts apaļo kokmateriālu iekraušanai un izkraušanai. Apaļo kokmateriālu pievešanā līdz augšgala krautuvei, veicot darba laika uzskaiti, nepieciešams izdalīt 11 darba elementus (2.6. tabula).

**Tabula 2.6. Apaļo kokmateriālu pievešanas darba laika sadalījums darba elementos**

| Nr. | Darba laika elements | Paskaidrojums  |
|-----|----------------------|--|
| 1.  | Pārvietošanās        | Pārvietošanās pa cirsma kravas veidošanas procesā.                                     |
| 2.  | Manipulators         | Darbs apaļo kokmateriālu iekraušanas procesā, kustinot manipulatoru.                   |
| 3.  | Satveršana           | Apaļo kokmateriālu vai tā daļas satveršana uz zemes līdz brīdim, kad uzsāk iekraušanu. |
| 4.  | Iekraušana           | Apaļo kokmateriālu pārvietošana uz kravas tilpni.                                      |
| 5.  | Izkraušana           | Apaļo kokmateriālu izkraušana AGK.   |
| 6.  | Kārtošana            | Apaļo kokmateriālu kārtošana kravas tilpnē.  |
| 7.  | Citas operācijas     | Citas ar darbu saistītas operācijas.   |
| 8.  | Pārējās darbības     | Citas ar darbu nesaistītas darbības.   |
| 9.  | Iebraukšana          | Iebraukšana cirsma, uzsākot darbu vai pēc izkraušanās AGK.                             |
| 10. | Izbraukšana          | Izbraukšana no cirsmas ar kravu vai bez tās.   |
| 11. | GPS                  | Apaļo kokmateriālu ģeogrāfisko koordinātu atzīmēšana                                   |

Par darba cikla noslēgumu uzskata apaļo kokmateriālu iekraušanu kravas tilpnē, savukārt par vienu kravas ciklu uzskata forvardera plānoto maršrutu, kurš sākas un beidzas AGK.

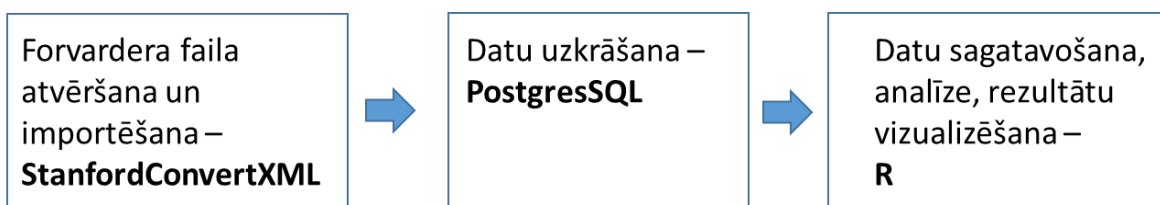
Ievāktās datu kopas kvalitātes izvērtēšanai nepieciešami dati par 5-10 cirsma (pievedamais kokmateriālu apjoms no cirsmas >100 m<sup>3</sup>).

### **Datu analīze, izmantojot programmēšanas vidi “R”.**

Ņemot vērā tehnikas ražotāja piedāvāto risinājumu ierobežotās iespējas detalizētai datu atspoguļošanai, kā arī dažādu ražotāju risinājumu nesavietojamību, praktiskiem datu analīzes testiem pētījuma ietvaros izstrādāta universāla datu analīzes sistēma. Šāda sistēma ir vieglāk integrējama arī uzņēmuma IT sistēmās un pielāgojama dažādu tehnikas ražotāju produkcijas failiem. Izmantojot atvērtā programmēšanas vidē “R” izpildāmas kodu rindas, no produkcijas faila var iegūt informāciju par forvardera ražīgumu, degvielas patēriņu, nobraukto attālumu un kravu skaitu. Iegūstamo informāciju var papildus analizēt dienas, mēneša vai gada griezumā, atkarībā no cirsmas, operatora vai maiņu grafika.

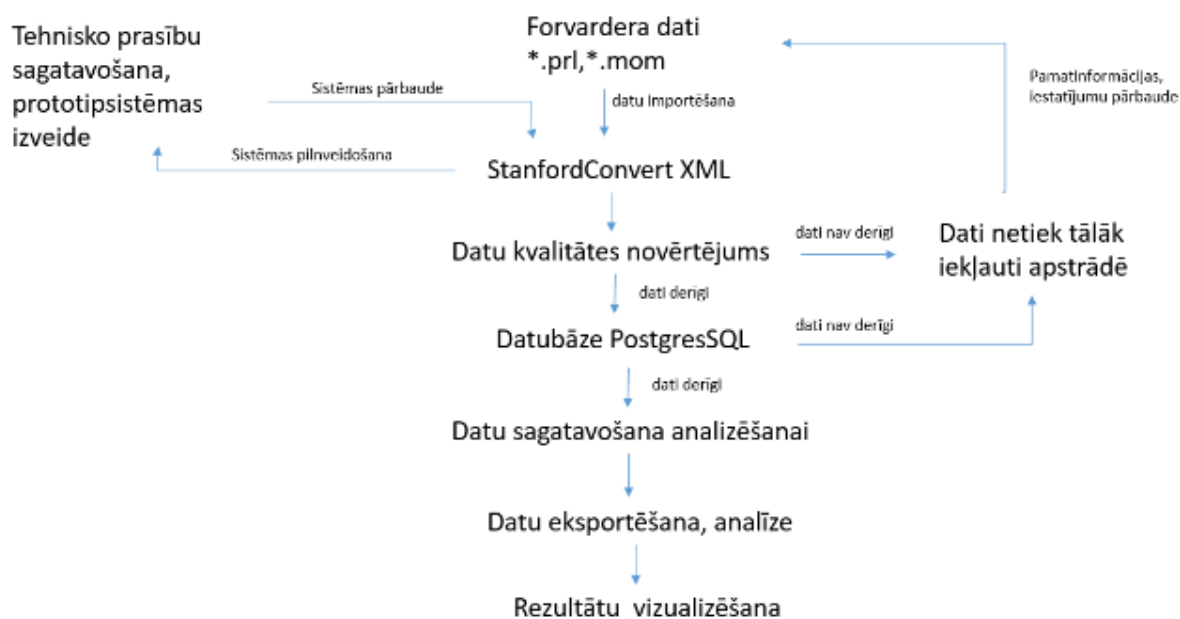
Forvardera failu datu analīzes sistēmu veido (2.8. attēls):

1. pētījuma ietvaros LVMI SILAVA izveidota programma “**StanfordConvertXML**”, kas paredzēta forvardera failu atvēršana un importēšanai;
2. atvērta pirmkoda vidē “**PostgresSQL**” izveidota datubāze, kas paredzēta forvardera failos esošās informācijas uzglabāšanai;
3. Datu analīzei izmantota programmēšanas vide “**R**” (R Core Team 2022).



Attēls 2.12. Forvardera uzskaites datu analīzes shēma.

Forvardera sistēmas sagatavotus failus (\*.prl un \*.mom) analizē atbilstoši datu plūsmas shēmai (2.9. attēls), importējot “PostgresSQL” datubāzē, izmantojot LVMI SILAVA izveidoto programmu “StanfordConvertXML”.



Attēls 2.13. Forvardera datu plūsmas shēma.

Datu eksportēšanai “StanfordConvertXML” “db.conf” (failu atver ar teksta redaktoru) failā nepieciešams norādīt šādu informāciju:

- Servera IP adresi;
- Piekļuves portu;
- Lietotājvārdu;
- Paroli;

- Datubāzi;
- Programmas nosaukumu (pēc noklusējuma – StanfordConvertXML);
- Kodēšanas sistēmu (pēc noklusējuma – UTF8).

Pēc izmaiņu veikšanas “db.conf” datu failā, atver “StanfordConvertXML” programmas failu “StanfordConvertXML.exe”, lai, izmantojot izvēlni “OpenXML”, veiktu datu importēšanu. Forvardera failu atvēršana un importēšanai programma “StanfordConvertXML” paredz automātisku failu apvienošanu pie nosacījuma, ka failu shēmas versijas ir vienādas. Eksportējot informāciju “PostgreSQL” datubāzē, programma izveido trīs datubāzes shēmas.

**Pirmā shēma** paredz saglabāt importētā faila pamatdatus, veidojot četras kolonnas:

1. ID – identifikācijas numurs (sasaiste ar citām shēmām);
2. Schemaname – papildshēmas nosaukums;
3. Filename – forvardera faila nosaukums;
4. Added – pievienošanas datums.

**Otrā shēma (\*.prl)** paredz atsevišķi izveidot datubāzi, kurā apvienoti faili ar vienādu StanFroD2010 shēmas versijas numuru. Importējot datus datubāzē, visa apkopotā informācija grupējas 33 informatīvās tabulās.

**Trešā shēma (\*.mom)** paredz izveidot datubāzi, kurā apvienoti faili ar vienādu StanFroD2010 shēmas versijas numuru. Importējot informāciju datubāzē, visi apkopotie dati grupējas 21 informatīvā tabulā.

Datu analīzei izmantojot “R” videi izstrādāto programmu, no pieejamo bibliotēku klāsta jāatlasa atkārtojamības nodrošināšanai nepieciešamās bibliotēkas (1. pielikums, programmas kods – 1). Šāda atlase nodrošina “R” darbību un datu analīzes iespējas. Pētījuma ietvaros izstrādātais kods nodrošina datu apvienošanu cirsma griezumā sadalījumā pa kravām vai meža mašīnu operatoriem. Mainoties izvirzītajam mērķim, saistībā ar iegūstamās informācijas novērtēšanu no forvarderu failiem, tālākā aprakstā atspoguļoti rādītāji, kurus iespējams aprēķināt atbilstoši izstrādātiem kodiem. Lai ar “R” pieslēgtos PostgreSQL datubāzei, nepieciešams izveidot savienojumu (1. pielikums, kods – 2). Pēc veiksmīgas pieslēgšanās var uzsākt datu atlasī un aprēķinus.

**PRL fails.** Lai analizētu ražošanas datus, kuri iegūti no forvardera, nepieciešams veikt to atlasī un filtrēšanu (1. pielikums, kods – 3). Datu apstrādes procesam izveidotas trīs apkopjošās tabulas:

1. “cirsma\_apr” – apkopota informācija cirsma līmenī;
2. “kravas\_kopa” – aprēķināti vidējie rādītāji cirsma;
3. “kravas\_apr” – apkopoti raksturojošie rādītāji, sadalījumā pa kravām.

Pievešanas procesā ievākti dati var veikt datu analīzi, vadoties no uzstādījumiem:

- uzņēmuma līmenī;
- reģiona līmenī;
- cirsma līmenī;
- operatoru līmenī.

Apstrādājot datu kopu **uzņēmuma līmenī**, var izstrādāt prognozēšanas modeļus pievešanas darbu veikšanai, kas sniedz atbalstu plānošanas procesā.

Apstrādājot datu kopu **reģiona līmenī**, var efektīvāk plānot pievešanas un izvešanas procesu. Regulāra datu iegūšana nodrošinātu izvešanas plānošanas efektivitāti.

Apstrādājot datu kopu **cirsma līmenī**, var gūt informāciju par pievesto apjomu, kopējo nobraukto attālumu, patērēto laiku un ražīguma rādītājiem. Ar pētījumā iegūtiem datiem, analizējot forvardera produkcijas failu, var noteikt vidējos rādītājus cirmā.

Forvardera vidējo nobraukto attālumu var aprēķināt ar 1. pielikumā iekļauto programmas kodu – 4. Pievešanas efektivitātes novērtēšanai datu kopu var sadalīt pa kravām (1. pielikums, kods – 5).

Pievešanas procesā katru kravu uzskaita atsevišķi, kas cirsmas robežās ļauj identificēt kopējo kravu skaitu (1. pielikums, kods – 6). Lai veiktu cirsmas robežās pievesto kravu analīzi, nepieciešami GNSS dati no uzkrašanās vietas, bet izpētes brīdī šāda informācija nebija pieejama.

Cirmā var noteikt gan kopējo pievesto apjomu (1. pielikums, kods – 7), gan aprēķināt vidējo kravu (1. pielikums, kods – 8). Rādītājs, kas raksturo vidējo pievesto kravu, ļauj salīdzināt dažādus pakalpojumu sniedzējus.

Izstrādātā datu analīzes aprobācijai iegūtā datu kopa (\*.prl fails) ir nepietiekoša pievestā apjoma detalizētākai analīzei sadalījumā pa apaļo kokmateriālu veidiem vai piegādātājiem. Turpmākos pētījumos nepieciešams iegūt lielāku datu kopu, kā arī veikt operatoru instruktāžu, lai mazinātu neuzmanības kļūdu varbūtību. Iegūtā datu kopa izmantojama operatora darba laika un sistēmas uzskaites precizitātes novērtēšanai sadalījumā pa apaļo kokmateriālu veidiem, cirmām un citos griezumos. Darbietilpības noteikšanai, kā arī uzskaites sistēmas precizitātes novērtējumam nepieciešams paralēli veikt lauku darbu hronometrāžu. Šāda datu ievākšanas metode dos iespēju novērtēt forvardera darba uzskaites sistēmas precizitāti un apzināt iegūstamo datu struktūru un detalizācijas iespējas.

Ražīguma aprēķināšana cirsmas vai objekta robežās balstās uz kopējo patērēto darba laiku un pievesto apjomu (1. pielikums, kods – 9). Šobrīd aprēķiniem izmanto forvardera produkcijas failu (\*.prl), bet, lai aprēķinu rezultāts būtu precīzāks, papildus nepieciešams izmantot forvardera monitoringa failu (\*.mom), kurā iekļauta informācija par nostrādātajām motorstundām.

Apkopotos datus par forvardera operatoru darbu (ražīgums, vidējā nobrauktā distance, vidējā krava) var atspoguļot arī infografikās, sniedzot iespēju meža mašīnu operatoriem viegli uztveramā veidā izvērtēt savu darba efektivitāti.

**\*.mom fails.** Pētījuma ietvaros izstrādātā programma paredz nepieciešamo datu apvienošanu sadalījumā pa kravām, meža mašīnu operatoriem un citām nozīmīgām pozīcijām. Lai apzinātu pakalpojuma sniedzēja tehnikas vecumu (1. pielikums, kods – 10), izveidota apkopojošā tabula “forv\_vecums”. Darba laika analīzei operatoru un maiņas ilguma griezumā (1. pielikums, kods – 11) izveidota tabula “forv\_mainas”. Savukārt, ražību raksturojošo parametru atspoguļošanai (1. pielikums, kods – 12), piemēram, veiktajai distancei, patērētam degvielas daudzumam un citiem rādītājiem, izveidota apkopojošā tabula “forv\_mom\_kopa”.

Katrs ražotājs nosaka forvarderam plānotās apkopes. Mašīnu tehnisko gatavību un stāvokli vērtē atbilstoši nostrādāto motorstundu skaitam. Kopējais tehnikas resurss atkarīgs gan no ekspluatācijas apstākļiem, gan meža mašīnu operatora, gan attieksmes pret tehniku, gan apkopju un remontu regularitātes. Ražošanas izmaksas aprēķinos atmaksāšanās tiek minēta līdz 20000 motorstundām (Ackerman et al. 2014; Kalēja, Spalva, and Stola 2018; Spinelli et al. 2011, 2019). Zinot kopējo plānoto motorstundu skaitu, var prognozēt tehnikas noslodzi (1. pielikums, kods – 12).

Analizējot \*.mom failu, var precīzāk novērtēt ražīgumu, nobraukto distanci un patērēto degvielu. Šo rādītājus uzkrāšana un analīze dod iespēju optimizēt pievešanas procesu, tādējādi samazinot pievešanas darbu izmaksas un patērētās degvielas daudzumu, kā arī samazināt CO<sub>2</sub>

emisijas mežizstrādē. Ražīguma un vidējā pievešanas attāluma aprēķināšanai nepieciešami dati no \*.prl faila, aprēķiniem izmantojams 1. pielikuma kods – 13.

Tehnikas noslodzi diennakts griezumā aprēķina ar 1. pielikuma kodu – 14.

Pēc izstrādātās programmatūras (R vidē izpildāmais kods) aprobācija ražošanas apstākļos, nepieciešamības gadījumā veiksīm tās pilnveidošanu.

### **2.2.3. Sākotnējie secinājumi un rekomendācijas**

Datu ievākšanai pievešanas procesā lietderīgi izmantot tehnikas ražotāju piedāvātos risinājumus. Tas dod iespēju iegūtu augstas detalizācijas pakāpes datu failus, kas raksturo pievešanas procesu (ražīgumu, pievesto apjomu, kopējo nobraukumu, degvielas patēriņu u.c. parametrus). Neskatoties uz datu aprites harmonizācijas procesu, piemēram, ieviešot StanForD2010 standartu, dažādu tehnikas ražotāju produkcijas datnes nav pilnībā savietojamas.

Ir jāveic praktiski izmēģinājumi lauka apstākļos ar dažādu ražotāju tehniku un IT sistēmām, lai raksturotu papildus darba apjomu, uzskaites precizitāti, ražotājiem specifiskas problēmas vai priekšrocības, kā arī datu savietojamību un iespēju ģenerēt pārskatus dažādos (telpiskā un statistiskā, cirsma, nogabala, koridora, maiņas) griezumos.

### **2.2.4. Priekšlikumi pētījuma īstenošanai 2023. gadā**

Turpmākajos pētījuma etapos jāizvērtē dažādu tehnikas ražotāju forvardera produkcijas failos atspoguļoto informāciju, dažādu sistēmu integrācijas un harmonizācijas iespējas, nosakot iegūtās informācijas tālākās analīzes un praktiskas pielietojšanas iespējas, tajā skaitā vērtējot dažādu pievesto kokmateriālu uzskaites metožu ietekmi uz ražīgumu un uzskaites precizitāti.

Lai sasniegtu pētījuma mērķi, neieciešams veikt tehnikas izplatītāju un / vai ražotāju aptauju par sistēmas sniegtajām iespējām un to izmantošanu ražošanā, iegūstot aktualizētu informāciju par forvarderu IT sistēmām un to attīstības plāniem. Tāpat nepieciešams iegūt forvardera produkcijas failus, lai veiktu forvardera IT sistēmas novērtējumu. 2023. gada darba uzdevums ir forvarderu sistēmas gatavības novērtējums, balstoties uz produkcijas failiem un produkcijas failu precizitātes un darbietilpības novērtējumu. Lauku darbi ietver:

- darba laika uzskaiti lauku apstākļos;
- operatoru instruktāžu un darba metožu aprobēšanu;
- AGK pievestā apjoma uzmērīšanu.

Kamerālie darbi ietver:

- tehnikās literatūras analīzi;
- pētījuma metodikas papildināšanu;
- forvarderu IT sistēmu gatavības novērtēšanu;
- datu izmantošanas iespēju analīzi;
- datu ieguves, uzkrāšanas un matemātiskās analīzes procedūru aprakstīšanu;

### 3. AUTOMATIZĒTAS SISTĒMAS IZVEIDE MEŽA TAKSĀCIJAS RĀDĪTĀJU NOTEIKŠANAI UN KOPŠANAS CIRŠU KVALITĀTES NOVĒRTĒŠANAI

Šī pētījuma ietvaros risināts viens uzdevums “Algoritmu pilnveidošana kopšanas ciršu attālinātai kontrolei”. Pētījuma mērķis ir novērtēt automatizētas meža taksācijas risinājumu izmantošanas iespējas Meža valsts reģistra aktualizēšanai, kā arī mežizstrādes mašīnu operatoru atbalstam, nosakot atstājamo koku šķērslaukuma atbilstību darba uzdevumā noteiktajām robežvērtībām. 2022. gada darbu uzdevums ir veikt sakarību analīzi koku caurmēra un skaita atšķirību noteikšanai pēc kopšanas, kā arī sagatavot priekšlikumus programmas pilnveidošanai taksācijas rādītāju noteikšanas precizitātes palielināšanai. Metodika darba uzdevuma īstenošanai sagatavota 2021. gadā un iekļauta pētījuma 1. etapa pārskatā. 2022. gada starpziņojumā iekļautā metodika papildināta, lai uzlabotu ar zemes lāzerskenera datu apstrādes iespējas un raksturotu aužu viendabīgumu.

#### 3.1.1. 2022. gada izpētes rezultāti

##### Ar *hprGallring* un alternatīvām metodēm iegūtu meža taksācijas datu salīdzinājums

Pētījumā izmantoti harvesteru sistēmas uzskaites dati no 632 audzēm. Dati no 3% audžu atzīti par neizmantojamiem, jo šajās platībās periodiski vai pastāvīgi nedarbojās GNSS uztvērējs un nozāģētie koki koncentrējušies vienā vai vairākos punktos. Audžu taksācijas rādītāji (D, H, G) analizēti, izmantojot programmu *hprGallring*, un iegūtie rezultāti salīdzināti ar Meža valsts reģistra datiem, kas pēc kopšanas cirtes iegūti manuāli. 537 audzēs kopšanas cirte veikta ar Komatsu harvesteru (aprīkots ar pagrieziena leņķa sensoru), 55 audzes izstrādātas ar John Deere harvesteru (bez pagrieziena leņķa sensora) un 40 audzēs kopšanas cirte veikta ar Valmet harvesteru (aprīkots ar pagrieziena leņķa sensoru).

Kopumā 15% no vērtējumā ietvertajām audzēm vērojama *hprGallring* prognozēto datu atbilstība ar Meža valsts reģistra datiem galvenajiem taksācijas rādītājiem (D, H, G) visos parametros (3.1. tabula). Precīzākie rezultāti iegūti audzēs, kur izstrāde veikta ar Valmet (23% jeb 9 audzes no 40) un Komatsu (16% jeb 84 audzes no 537) harvesteriem, bet mazāku precizitāti uzrāda ar John Deere izstrādātajās audzēs (4% jeb 2 audzes no 55). Būtiska atšķirība var būt saistīta ar to, ka šis harvesteris nebija aprīkots ar pagrieziena leņķa sensoru, attiecīgi, programma izmantoja Zviedrijas apstākļos izstrādāto algoritmu uz tehnoloģiskā koridora nozāģēto koku nodalīšanai.

Lielāka precizitāte novērota, salīdzinot datus par mežaudzes vidējo augstumu un šķērslaukumu; savukārt, caurmēra noteikšanas precizitāte ir salīdzinoši maza, taču šī parametra noteikšana vairs nav tik būtiska, jo saskaņā ar 09.08.2022 MK noteikumu Nr. 384. “Meža inventarizācijas un Meža valsts reģistra informācijas aprites noteikumi” grozījumiem, audzes vidējā caurmēra noteikšanas precizitāte vairs nav noteikta.

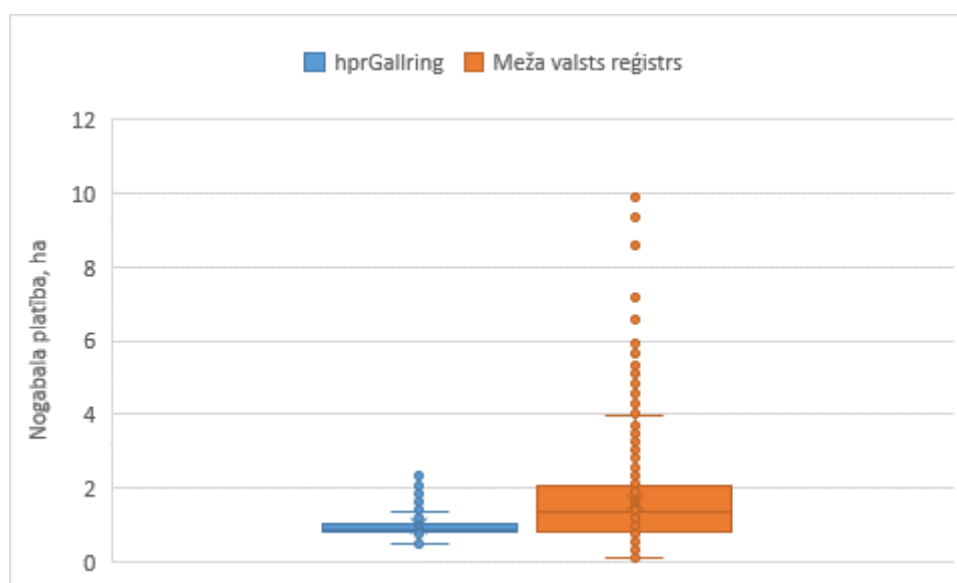
Tabula 3.1. Iegūto audzes taksācijas rādītāju salīdzinājums

| Taksācijas rādītājs | Harvestera marka | Atbilstība inventarizācijas datiem |
|---------------------|------------------|------------------------------------|
| Augstums            | John Deere       | 54%                                |
|                     | Komatsu          | 61%                                |
|                     | Valmet           | 75%                                |

| Taksācijas rādītājs | Harvestera marka | Atbilstība inventarizācijas datiem |
|---------------------|------------------|------------------------------------|
| Šķerslaukums        | John Deere       | 58%                                |
|                     | Komatsu          | 50%                                |
|                     | Valmet           | 70%                                |
| Caurmērs            | John Deere       | 12%                                |
|                     | Komatsu          | 29%                                |
|                     | Valmet           | 35%                                |

Taksācijas rādītāju aktualizēšanā pēc kopšanas ciršu veikšanas, par pamatu ņemot harvesteru datus, lielāka sakritība vērojama Ia un I bonitātes skuju koku audzēs mētrājs (52%, n=31), lāns (42%, n=90), damaksnis (33%, n=165), vēris (39%, n=112), slapjais mētrājs (42%, n=12), slapjais damaksnis (34%, n=29) un mētru ārenis (50%, n=16). Vidējais audžu vecums 47 gadi.

Nogabalu platību salīdzinājumā, izmantojot Meža valsts reģistra datus un *hprGallring* aprēķinus, vērojamas būtiskas atšķirības ( $p=0,00$ ; 3.1. attēls). Saskaņā ar Meža valsts reģistra datiem vidējā platība ir  $1,57 \pm 1,23$  ha, bet, *hprGallring* aprēķinātā vidējā nogabala platība ir  $0,99 \pm 0,28$  ha. Atšķirības var būt skaidrojamas ar platības noteikšanas metodi, proti, izmantojot *hprGallring*, platība aprēķināta, vadoties no informācijas, kas iegūta, harvesteram pārvietojoties, un var neietvert nogabalu stūrus, nelielas lauces un neizkoptas platības, kur harvesteri nevarēja iebraukt, neradot būtiskus augsnes bojājumus.



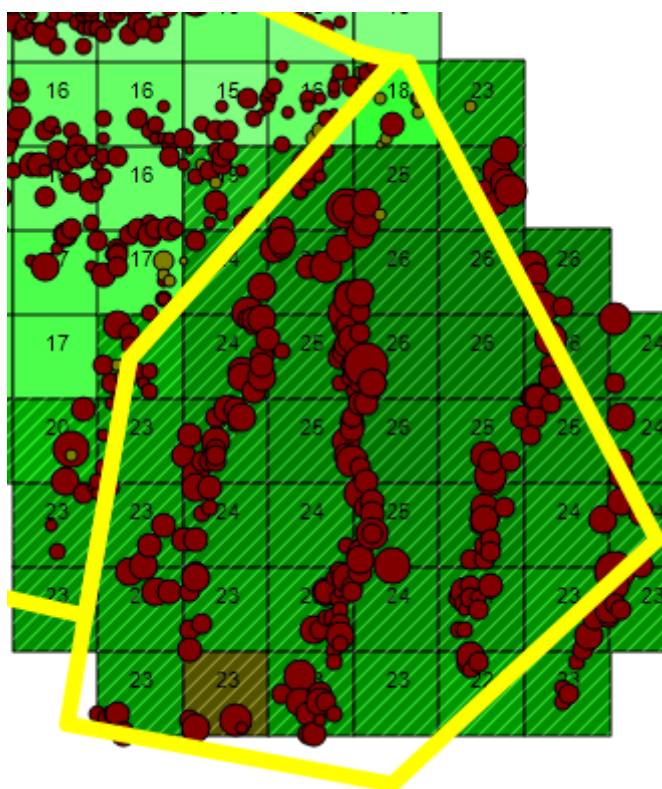
Attēls 3.1. Meža platības salīdzinājums.

### Manuālo mērījumu salīdzinājums ar *hprGallring* prognozi

Lai precizētu faktiskos taksācijas rādītājus (D, G, H) pirms un pēc kopšanas cirtes, 13 izmēģinājuma objektos veikti kontrolmērījumi. Taksācijas rādītāji vispirms aprēķināti, izmantojot *hprGallring* versiju 4.0.0, bet 2023. gada sākumā iznākot programmas versijai 4.1.5, datu pārrēķins veikts audzēm, kurās pirms tam konstatētas būtiskas caurmēra un šķerslaukuma atšķirības.



Divos izmēģinājumu objektos (102-259-17 un 102-271-4), salīdzinot *hprGallring 4.0.0* programmas aprēķinātos rādītājus un kontrolmērījumus, kas veikti ar parauglaukumu metodi, novērotas būtiskas nesakritības (novirze > 10%) koku augstuma datos. Arī veicot aprēķinu ar *hprGallring 4.1.5.*, šajos objektos augstuma precizitātes prognoze neuzlabojas. Nolūkā iegūt precīzāku informāciju un novērst iespējamo parauglaukumu izvietojuma ietekmi uz vidējā koku augstuma aprēķinu rezultātiem, izmēģinājuma objektos izmantota fotogrammetrijas metode koku augstuma noteikšanai. Rezultāti, kas iegūti, izmantojot fotogrammetrijas metodi, un veicot kontrolmērījumus, parāda augstuma atšķirības, kas ir pieļaujamā robežā  $\pm 10\%$  (3.2. tabula). Izņēmums ir viens objekts (102-259-17), kur novirze starp abiem mērījumiem ir standartklūdas robežās, bet salīdzinot ar *hprGallring*, vērojama būtiska atšķirība, ko var skaidrot ar nozāģēto un paliekošo koku augstuma atšķirībā. Saskaņā ar programmas *hprGallring* aprēķiniem, augstums ir robežā no 20 līdz 26 m (Attēls 3.2).



Attēls 3.2. Augstuma atšķirības piemērs objektā (102-259-17).

Četros izmēģinājuma objektos (102-259-17, 120-273-20, 109-212-11, 411-329-1), salīdzinot *hprGallring 4.0.0* programmas aprēķinātos rādītājus un kontrolmērījumus, kas iegūti ar parauglaukumu metodi, novērotas būtiskas nesakritības (novirze pārsniedz  $2 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ) šķērslaukuma mērījumos, kas par 1 vienību pārsniedz MK noteikumos Nr. 384. “Meža inventarizācijas un Meža valsts reģistra informācijas aprites noteikumi” maksimāli pieļaujamo novirzi. Veicot aprēķinus ar *hprGallring 4.1.5.* versiju, šķērslaukuma atšķirības audzēs, kurās iepriekš novērotas būtiska nesakritība, vairs nav novērotas, attiecīgi, programmā ir veikti uzlabojumi, kas būtiski uzlabo šķērslaukuma prognozi.

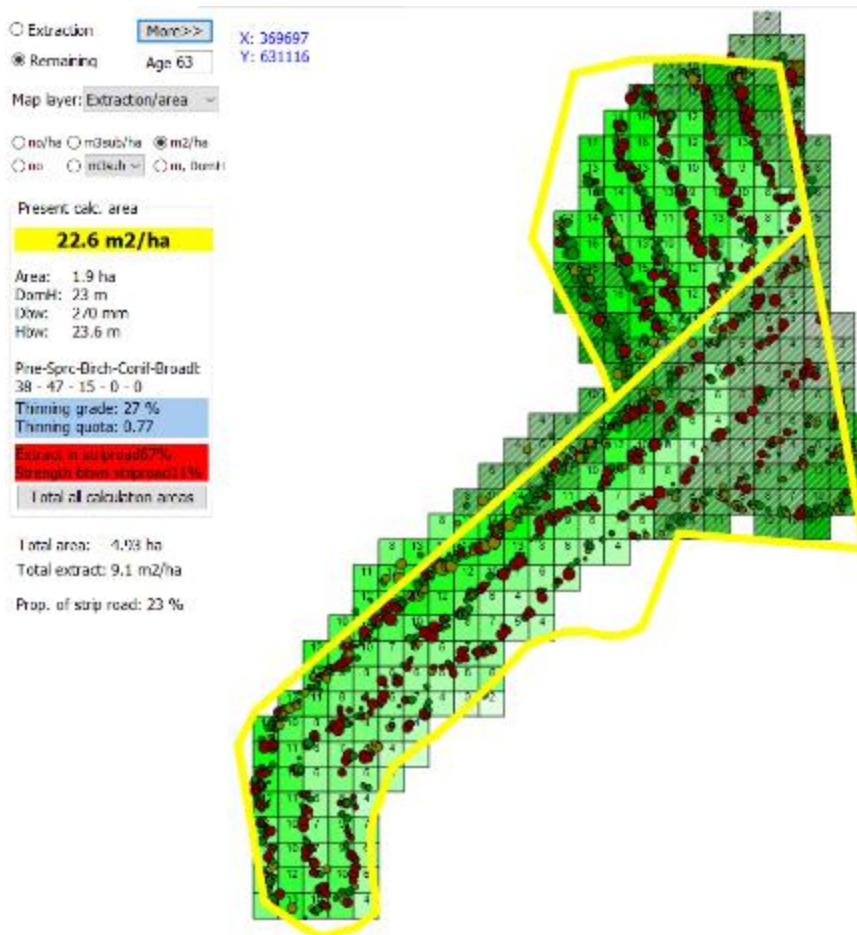
Tabula 3.2. Izmēģinājuma objektos iegūto datu kopsavilkums

| Nogabala<br>atslēga | Platība,<br>ha | Kontrolmērījumi |      |                                       | <i>hprGallring</i> modelētie taksācijas<br>rādītāji (versija 4.0.0) |      |                                       |                | Koku augst-<br>ums fotog-<br>rammetriski,<br>m |
|---------------------|----------------|-----------------|------|---------------------------------------|---|------|---------------------------------------|----------------|--|
|                     |                | D, cm           | H, m | G, m <sup>2</sup><br>ha <sup>-1</sup> | D, cm   | H, m | G, m <sup>2</sup><br>ha <sup>-1</sup> | platība,<br>ha |  |
| 102-259-17          | 0,79           | 18              | 16   | 19                                    | 21  | 19   | 24                                    | 1,06           | 18   |
| 102-259-18          | 1,18           | 15              | 16   | 16                                    | 18  | 16   | 18                                    | 0,83           | 15   |
| 102-259-21          | 0,6            | 22              | 23   | 22                                    | 23  | 24   | 23                                    | 0,83           | 23   |
| 102-271-4           | 0,97           | 20              | 19   | 20                                    | 21  | 21   | 21                                    | 0,83           | 20   |
| 102-297-10          | 2,69           | 14              | 16   | 18                                    | -   | -    | -                                     | -              | 15   |
| 102-297-11          | 1,53           | 14              | 15   | 16                                    | -   | -    | -                                     | -              | 15   |
| 102-297-12          | 1,54           | 14              | 16   | 18                                    | -   | -    | -                                     | -              | 16   |
| 102-305-<br>11,17   | 2,07           | 17              | 18   | 19                                    | 20  | 18   | 19                                    | 1,31           | 17   |
| 102-273-20          |                | 16              | 14   | 18                                    | 16  | 15   | 21                                    | 1,33           | 15   |
| 109-212-11          | 1,47           | 22              | 20   | 24                                    | 23  | 21   | 21                                    | 0,82           | 19   |
| 109-342-8           | 4,63           | 20              | 15   | 16                                    | 17  | 14   | 17                                    |                | 19   |
| 411-329-1           | 2,52           | 17              | 15   | 16                                    | 17  | 15   | 19                                    | 2,25           | 16   |
| 411-360-1           | 1,74           | 17              | 14   | 16                                    | 21  | 15   | 18                                    | 1,03           | 14   |
| 411-360-2           | 0,96           | 20              | 16   | 19                                    | 21  | 16   | 19                                    | 1,03           | 16   |
| 601-360-13          | 0,97           | 28              | 23   | 26                                    | -   | -    | -                                     | 0,63           | 24   |
| 601-450-12          | 1,21           | 17              | 15   | 18                                    | 17  | 16   | 17                                    | 1,15           | 16   |
| 706-18-13           | 0,74           | 16              | 15   | 18                                    | 17  | 16   | 18                                    | 0,56           | 16   |

### Telpiskā novietojuma izvērtējums

Lai labāk izprastu sakarības starp prognozētajiem un faktiskajiem taksācijas rādītājiem (D, H, G), pētījumā analizēts koku izvietojums pirms un pēc kopšanas circes. Atrastās sakarības korelācijas koeficients norāda uz nebūtisku sakarību. Iespējams, ka tas skaidrojams ar analizējamo datu slāņu (DSM un DTM) nepietiekošu izšķirtspēju. Koku izvietojums un taksācijas rādītāju sakarību vērtēšanas darbu turpināsim 2023. gadā pētījumā iekļautajās cirmās, lai identificētu iespējamās problemātiskās teritorijas, kur un kāpēc *hprGallring* prognozētie un mērītie vai aprēķinātie taksācijas rādītāji būtiski atšķiras.

Veicot taksācijas rādītāju aprēķināšanu ar *hprGallring* nogabala līmenī, lietderīgi pilnveidot *hprGallring* programmu, lai, ievadot papildus nogabala datu slāni (\*.shp), taksācijas rādītājus varētu nolasīt no programmas. Šobrīd šo rādītāju atlase un datu apstrāde veicama ĢIS programmā, izmantojot datu slāni (\*.shp), kas eksportēts no *hprGallring* (Attēls 3.3).



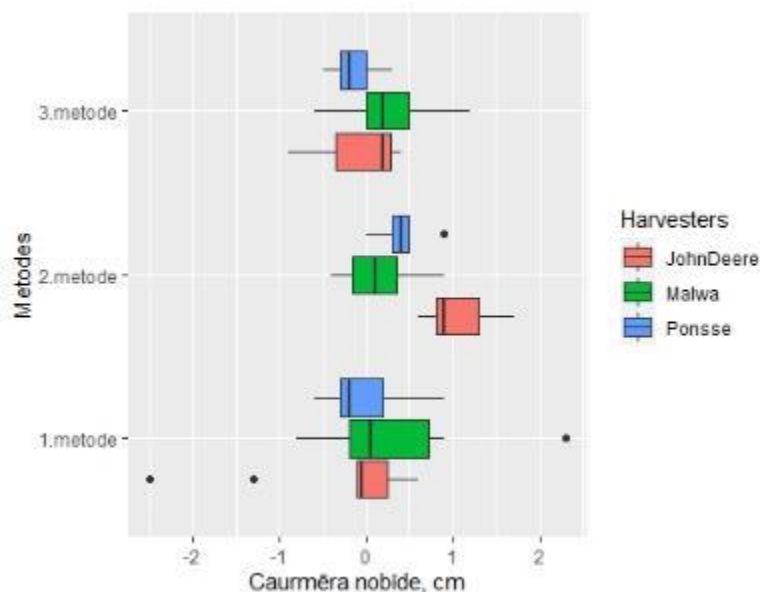
Attēls 3.3. Datu slāņa pievienošana *hprGallring* programmai (105-89-8,9).

### Caurmēra prognozes precizitātes novērtējums

Taksācijas rādītāju aprēķināšana, par pamatu ņemot harvesteru sistēmas uzskaites datus, iespējama pie nosacījuma, ja stumbra caurmēra mērījumi ir precīzi. Tas nozīmē, ka tālākai datu apstrādei izmantojami tikai tie dati, kas satur informāciju par visām stumbra daļām. Šobrīd harvesteru operatoram ir iespēja pirmo nozāģēto nelikvīdu neregistrēt sistēmā, tādējādi uzskaites sistēma nespēj precīzi noteikt stumbra caurmēru 1,2 m augstumā no pirmās zāģējuma vietas un stumbra tilpuma. Pētījumā nav paredzēts apskatīt tilpuma izmaiņu novērtējumu, bet gan caurmēra novērtējumu. Caurmēra precizitātes novērtējums balstīts uz manuālajiem mērījumiem, salīdzinot tos ar iegūtiem datiem no harvesteru sistēmā reģistrētā.

Izmantojot no John Deere un Ponsse harvesteriem iegūtos datus, konstatēts, ka pirmajā metodē, kas paredz stumbra sagarumošanu automātiskā režīmā, prognozētā un ar parauglaukumu metodi noteiktā vidējā koka caurmēra atšķirības saistāmas ar nelikvīda zāģēšanu, tādējādi ietekmējot caurmēra precizitāti (3.3. attēls). Otrajā metodē, kas paredz nozāģēt nelikvīdu (>50 cm), neatzīmējot to sistēmā, caurmēra atšķirība ir vidēji 0,7 cm. Izmantojot trešo metodi, kas paredz sagatavot nelikvīdu, kas nav īsāks par 50 cm, un fiksēt to harvesteru sistēmā, veidojas nebūtiska atšķirība (-0,08 cm). Salīdzinot ar John Deere un Ponsse harvesteriem iegūtos datus, abām mašīnām konstatēta statistiski būtiska ( $p < 0,05$ ) atšķirība starp otro un trešo metodi.

Strādājot ar Malwa harvesteru ar otro un trešo metodi, atšķirības caurmēra nobīdē 1,3 m augstumā, salīdzinot ar parauglaukumu metodi iegūtos datus un *hprGallring* prognozi, atšķirības nav būtiskas. To var skaidrot ar mazākiem rukuma rādītājiem, zāģējot tievākus kokus.



Attēls 3.4. Koku caurmēra nobīdes.

### 3.1.2. Sākotnējie secinājumi un rekomendācijas

Taksācijas rādītāju aprēķināšanā, izmantojot harvestera produkcijas failos uzkrātos datus par nozāģēto koku izvietojumu un *hprGallring* programmu, labākus rezultātus var iegūt vidēja vecuma skuju koku audzēs.

Lai uzlabotu caurmēra noteikšanu harvestera sagatavotajos failos, kokmateriālu sagatavošanas procesā nepieciešams uzskaitīt visus sagatavotos stumbra nogriežņus.

Izmantojot 2021. un 2022. gadā īstenoto pieeju, vērtējot mērījumu precizitāti priedes tīraudzēs, aprēķinu nenoteiktības mazināšanai un *hprGallring* algoritmu uzlabošanai datu kopā jāiekļauj lapu koku tīraudzes un mistraudzes, ierīkojot tajās parauglaukumus pēc kopšanas cirtes izpildes, paralēli iegūstot harvestera uzskaites datus un veicot fotogrammetrisku cirsma uzmērīšanu pirms un pēc kopšanas cirtes. Tāpat jāturpina programmā *hprGallring* izmantojamo pārrēķinu koeficientu (uz un ārpus tehnoloģisko koridoru nozāģēto koku pārrēķiniem uz cirsmas taksācijas rādītājiem) pilnveidošanas darbs uzlabojot taksācijas rādītāju aprēķinus.

Gadījumos, kad kopšanas cirte ir veikta vairākos nogabalos, bet taksācijas rādītāju nepieciešams identificēt nogabala robežās, nepieciešams pilnveidot *hprGallring*, pievienojot iespēju importēt nogabala robežu telpiskos datus un atbilstoši tiem agregējot *hprGallring* automātiski izdalītās mikroaudzes.

Ņemot vērā programmas *hprGallring* aprēķinātos rādītājus, nepieciešams izvērtēt, vai nebūtu lietderīgi precizēt nogabalu un apakšnogabalu robežas atbilstoši vidējā koku augstumam un valdošajai sugai.

Papildus risks, izmantojot *hprGallring* mežaudžu taksācijas rādītāju modelēšanai, ir pastāvīgi vai periodiski GNSS uztvērēja darbības traucējumi. Atbilstoši pētījumā par nederīgiem atzītu datu kopu īpatsvaram, šādu cirsma varētu būt līdz 3%. No šīs problēmas var daļēji izvairīties, pirms darba uzsākšanas pārlicinoties, ka harvestera sistēmā funkcionē GNSS uztvērējs.

### 3.1.3. Priekšlikumi pētījuma īstenošanai 2023. gadā

Lai sasniegtu pētījuma mērķi, jāturpina harvestera datu ievākšanu lapu koku un mistrotās audzēs, kur veikta kopšana cirte, kā arī jāvērtē prognozēto koku skaita atšķirību iemesli pirms un pēc kopšanas cirtes. 2023. gada darba uzdevums ir salīdzināt ar *hprGallring* ģenerētos un ar manuāliem mērījumiem iegūtos datus no lapu koku audzēm. Tāpat nepieciešams salīdzināt *hprGallring* ģenerētos un Meža valsts reģistrā pieejamos datus. Uzdevuma izpildei paredzētie lauku darbi ietver:

- lapu koku audžu vienlaidus dastošanu pēc kopšanas cirtes (vismaz 10 ha platībā);
- audžu uzmērīšanu, izmantojot bezpilota lidaparātu.

Kamerālie darbi ietver:

- koku caurmēra atšķirību analīzi, salīdzinot mērījumu datus un *hprGallring* prognozi;
- rekomendāciju sagatavošanu *hprGallring* programmas un taksācijas rādītāju noteikšanas precizitātes palielināšanai;
- *hprGallring* programmas precizitātes novērtēšanu un priekšlikumu izstrādāšanu programmas ieviešanai ražošanā.

## LITERATŪRA

- Ackerman, Pierre, Helmer Belbo, Lars Eliasson, Anjo de Jong, Andis Lazdins, and John Lyons. 2014. "The COST Model for Calculation of Forest Operations Costs." *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/14942119.2014.903711* 25(1):75–81. doi: 10.1080/14942119.2014.903711.
- Arlinger, J., J. Möller, J. A. Sorsa, and T. Räsänen. 2012. *Introduction to StanForD2010. Structural Descriptions and Implementation Recommendations.*
- Arlinger, J., J. Möller, J. A. Sorsa, and Räsänen T. 2019. *Introduction to StanForD 2010.*
- Bjorheden, Rolf. 2011. *Swedish R&D Programme Efficient Forest Fuel Supply Systems - Stepping up the Pace!* Helsinki University.
- Cadei, Alberto, Omar Mologni, Dominik Röser, Raffaele Cavalli, and Stefano Grigolato. 2020. "Forwarder Productivity in Salvage Logging Operations in Difficult Terrain." *Forests* 2020, Vol. 11, Page 341 11(3):341. doi: 10.3390/F11030341.
- Gautam, S., R. Ulkki, C. Shahi, and M. Leitch. 2021. "Fuel Quality Changes in Full Tree Logging Residue during Storage in Roadside Slash Piles in Northwestern Ontario." *Biomass and Bioenergy* 42(0):43–50. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.03.015>.
- Holzfeind, Thomas, Karl Stampfer, and Franz Holzleitner. 2018. "Productivity, Setup Time and Costs of a Winch-Assisted Forwarder." *Journal of Forest Research* 23(4):196–203. doi: 10.1080/13416979.2018.1483131.
- IRENA. 2019. *Bioenergy from Boreal Forests: Swedish Approach to Sustainable Wood Use.*
- Kalēja, S., G. Spalva, and J. Stola. 2018. "Productivity and Cost of Logbear F4000 Forwarder in Thinning Depending on Driving Conditions." *Engineering for Rural Development* 1458–63. doi: <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N275>.
- Lazdiņš, A. 2021. *Tehnoloģijas Meža Apsaimniekošanas Procesu Efektivitātes Paaugstināšanai.* Salaspils.
- Manner, Jussi, Simon Berg, and Back Tomas Ersson. 2019. "Forwarding during Final Felling: Work Element-Specific Distributions of Driving Distances at the Stand Level." *Https://Doi.Org/10.1080/14942119.2019.1657058* 31(1):51–69. doi: 10.1080/14942119.2019.1657058.
- Nurmi, J. 1999. "The Storage of Logging Residue for Fuel." *Biomass and Bioenergy* 17(1):41–47. doi: [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(99\)00023-9](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(99)00023-9).
- PapiNet. 2022. *Forest Wood Supply and Bioproducts Use Case 05 Harvesting and Forwarding of Logs in the Forest.*
- Pecenka, R., H. Lenz, S. O. Jekayinfa, and T. Hoffmann. 2020. "Influence of Tree Species, Harvesting Method and Storage on Energy Demand and Wood Chip Quality When Chipping Poplar, Willow and Black Locust." *Agriculture* 10(4):116. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture10040116>.
- R Core Team. 2022. "R: A Language and Environment for Statistical Computing."
- Spinelli, R., N. Magagnotti, G. Sperandio, P. Cielo, S. Verani, and R. Zanuttini. 2011. "Cost and Productivity of Harvesting High-Value Hybrid Poplar Plantations in Italy." *Forest Products Journal* 61(1):64–70. doi: <https://doi.org/10.13073/0015-7473-61.1.64>.
- Spinelli, R., R. Visser, R. Björheden, and D. Röser. 2019. "Recovering Energy Biomass in Conventional Forest Operations: A Review of Integrated Harvesting Systems." *Current Forestry Reports* 5(2):90–100. doi: <https://doi.org/10/gf36mp>.

# **1. Pielikums Forvardera datu analīzes programmas kods**

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

| Atsauce tekstā | kods  |
|----------------|---|
| kods - 1       | <pre>library(DBI) library(getPass) library(odbc) library(tidyr) library(stringr) library(dplyr) library(ggplot2) library(ggblanket) library(units)</pre>  |
| kods - 2       | <pre>con &lt;- DBI::dbConnect(odbc::odbc(), Driver = "PostgreSQL Unicode", Database = "LVM_for", UserName = "postgres", Password = getPass("Enter Password:"), Servername = "localhost", Port = 5432)</pre>   |
| kods - 3       | <pre>kravas &lt;- dbSendQuery(con, "SELECT object_user_id, object_name, contract_number, machine_owner_id, machine_base_model, distance_from_last_unloading, unloading_time, forward_start_date, forward_end_date, load_number, load_volume_text FROM fpr_v31.object_definition INNER JOIN fpr_v31.machine ON fpr_v31.object_definition.files_id = fpr_v31.machine.files_id INNER JOIN fpr_v31.load ON fpr_v31.object_definition.files_id = fpr_v31.load.files_id INNER JOIN fpr_v31.forwarding_status ON fpr_v31.object_definition.files_id = fpr_v31.forwarding_status.files_id INNER JOIN fpr_v31.load_volume ON fpr_v31.object_definition.files_id = fpr_v31.load_volume.files_id AND fpr_v31.load.load_number = fpr_v31.load_volume.partial_load_id WHERE fpr_v31.load_volume.load_volume_category = 'Volume, m3sob'") kravas_apr &lt;- dbFetch(kravas) cirsma &lt;- dbSendQuery(con, "SELECT object_user_id, object_name, contract_number, forward_start_date, forward_end_date FROM fpr_v31.object_definition INNER JOIN fpr_v31.forwarding_status ON fpr_v31.object_definition.files_id = fpr_v31.forwarding_status.files_id") cirsma_apr &lt;- dbFetch(cirsma) apkopo_kravas &lt;- kravas_apr %&gt;% group_by(object_name) %&gt;% summarise(nobraukums=sum(distance_from_last_unloading),kravas=max(load_number), sum_kravas=sum(load_volume_text))  cirsma_apr["laiks"] &lt;- round(as.numeric(cirsma_apr\$forward_end_date - cirsma_apr\$forward_start_date), digits = 1) cirsma_apr &lt;- left_join(cirsma_apr, apkopo_kravas, by = c('object_name' = 'object_name'))  kravas_kopa &lt;- kravas_apr %&gt;% group_by(object_name) %&gt;% summarise(nobraukums = mean(distance_from_last_unloading),nobraukums_sum = sum(distance_from_last_unloading),nobraukums_sd = sd(distance_from_last_unloading),kravas = max(load_number), apjoms_sum = sum(load_volume_text), apjoms_vid = mean(load_volume_text), apjoms_sd = sd(load_volume_text)) cirsma_apr &lt;- cirsma_apr %&gt;% full_join(kods, by = c('object_name' = 'object_name')) kravas_kopa &lt;- kravas_kopa %&gt;% full_join(kods, by = c('object_name' = 'object_name')) kravas_apr &lt;- kravas_apr %&gt;% full_join(kods, by = c('object_name' = 'object_name'))</pre> |
| kods - 4       | <pre>a &lt;- ggplot(data = kravas_kopa, aes(x=object_name, y=nobraukums)) + geom_bar(stat = "identity", color = "black", position = position_dodge()) + geom_errorbar(aes(ymin= nobraukums-nobraukums_sd, ymax=nobraukums+nobraukums_sd), width = .2, position = position_dodge(.9)) + xlab("Objekta ID") + ylab("Nobraukums, km") print(a)</pre>   |
| kods - 5       | <pre>kravas_apr %&gt;% filter(object_name == "22HR018") %&gt;% ggplot(aes(load_number, distance_from_last_unloading)) + geom_bar(stat="identity", width=.5, fill="tomato3", color = "black") + geom_line(aes(load_number, sort(distance_from_last_unloading, decreasing = TRUE))) + scale_x_continuous(breaks = seq(1, 12, 1), limits=c(0, 13)) + labs(x= "ravas numurs", y = "Nobraukums, km")</pre>   |
| kods - 6       | <pre>cirsma_apr %&gt;% group_by(object_name) %&gt;% summarise(kravas = max(kravas)) %&gt;% ggplot() + geom_col(aes(x= kravas, y = object_name)) + ylab("Objekta ID") + xlab("Kravu skaits")</pre>   |



Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

| Atsauce tekstā | kods   |
|----------------|--|
| kods - 7       | ggplot(kravas_kopa,aes(x=object_name,y=apjoms_sum)) + geom_bar(stat="identity",color = "black",width=.5) + xlab("Objekta ID") + ylab(expression(paste("Pievestais apjoms, m" <sup>^</sup> "3")))   |
| kods - 8       | ggplot(kravas_kopa, aes(x=object_name, y=apjoms_vid)) + geom_bar(stat = "identity", color = "black", position = position_dodge()) + geom_errorbar(aes(ymin= apjoms_vid-apjoms_sd, ymax=apjoms_vid+apjoms_sd), width = .2, position = position_dodge(.9)) + xlab("Objekta ID") + ylab(expression(paste("Videja krava, m" <sup>^</sup> "3")))  |
| kods - 9       | cirsma_apr %>% group_by(object_name) %>% summarise(razigums = mean(sum_kravas/laiks)) %>% ggplot() + geom_col(aes(x= razigums, y = object_name)) + ylab ("Objekta ID") + xlab(expression(paste("Aprekinatais razigums, m" <sup>^</sup> "3" * "h" <sup>^</sup> "-1")))  |
| kods - 10      | forv_vecums <- dbSendQuery(con,"SELECT mom_v31.object_definition.files_id, mom_v31.object_definition.object_name, mom_v31.machine.machine_owner_id, mom_v31.machine.machine_engine_time, mom_v31.machine.machine_driven_distance, mom_v31.machine.machine_base_model FROM mom_v31.object_definition JOIN mom_v31.machine ON mom_v31.object_definition.files_id = mom_v31.machine.files_id")<br>forv_vecums <- dbFetch(forv_vecums)   |
| kods - 11      | forv_mainas <- dbSendQuery(con,"SELECT mom_v31.object_definition.files_id, mom_v31.object_definition.object_name, mom_v31.operator_work_time.operator_key, mom_v31.operator_work_time.shif_key, mom_v31.operator_work_time.monitoring_time_length, mom_v31.operator_work_time.operator_work_time_category, mom_v31.operator_shift_definition.shift_category, mom_v31.operator_shift_definition.shift_start_time, mom_v31.operator_shift_definition.shift_end_time, mom_v31.operator_definition.operator_definition_id, mom_v31.contact_information.business_id FROM mom_v31.object_definition JOIN mom_v31.operator_work_time ON mom_v31.object_definition.files_id = mom_v31.operator_work_time.files_id JOIN mom_v31.operator_shift_definition ON mom_v31.operator_work_time.files_id = mom_v31.operator_shift_definition.files_id AND mom_v31.operator_work_time.shif_key = mom_v31.operator_shift_definition.shif_key JOIN mom_v31.operator_definition on mom_v31.operator_shift_definition.files_id = mom_v31.operator_definition.files_id AND mom_v31.operator_shift_definition.operator_key = mom_v31.operator_definition.operator_key JOIN mom_v31.contact_information ON mom_v31.operator_definition.files_id = mom_v31.contact_information.files_id AND mom_v31.operator_definition.operator_definition_id = mom_v31.contact_information.operator_definition_id")<br>forv_mainas <- dbFetch(forv_mainas) |
| kods - 12      | forv_vecums\$G <- as.numeric(forv_vecums\$machine_engine_time / 60)<br>forv_vecums\$L <- as.numeric(forv_vecums\$machine_driven_distance / 1000)   |
| kods - 13      | forv_mom_kopa_1 <- forv_mom_kopa %>% group_by(object_name) %>% summarise(laiks = sum(monitoring_time_length/60/60), mot_t = sum(engine_time /60/60), L_km = sum(driven_distance/1000), L_1 = sum(fuel_consumption))<br>forv_mom_kopa_1 <- forv_mom_kopa_1 %>% full_join(apkopo_kravas, by = c("object_name" = "object_name"))<br>forv_mom_kopa_1\$R <- as.numeric(round(forv_mom_kopa_1\$sum_kravas / forv_mom_kopa_1\$mot_t, digits = 1))<br>forv_mom_kopa_1\$D_vid <- as.numeric(round(forv_mom_kopa_1\$L_1 / forv_mom_kopa_1\$mot_t, digits = 1))<br>forv_mom_kopa_1\$L_vid <- as.numeric(round(forv_mom_kopa_1\$L_km / forv_mom_kopa_1\$kravas, digits = 1))   |
| kods - 14      | forv_mainas_1 <- forv_mainas %>% group_by(object_name,operator_key , shift_category) %>% summarise(T_sec = sum(monitoring_time_length), T_h = sum(round(monitoring_time_length)/60/60, digits = 1))  |

**2. Pielikums Forvardera atstāto risu  
mērīšanas iekārtas darbības  
kods**

```
#include <Wire.h>
#include <TFLI2C.h> // TFLuna-I2C Library v.0.1.1
#include <SparkFun_I2C_Mux_Arduino_Library.h> //Click here to get the library:
http://librarymanager/All#SparkFun_I2C_Mux
#include <SparkFun_u-blox_GNSS_Arduino_Library.h> //http://librarymanager/All#SparkFun_u-blox_GNSS
QWIICMUX myMux;
TFLI2C tflI2C;
int16_t tfDist;
int16_t tfAddr = TFL_DEF_ADR;
#define NUMBER_OF_SENSORS 3
SFE_UBLOX_GNSS myGNSS;
long lastTime = 0; //Simple local timer. Limits amount if I2C traffic to u-blox module.
#include "SparkFun_Qwiic_OpenLog_Arduino_Library.h"
OpenLog myLog; //Create instance
float L ;
float C ;
float R ;
float tilt;
//float pan;
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BNO055.h>
#include <utility/imumaths.h>
Adafruit_BNO055 bno = Adafruit_BNO055(-1, 0x28);
void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Wire.setClock(400000);
  Wire.begin();
  //myGNSS.setI2COutput(COM_TYPE_UBX); //Set the I2C port to output UBX only (turn off NMEA noise)
  //myGNSS.setNavigationFrequency(20); //Set output to 20 times a second
  myLog.begin();
  myGNSS.begin(Wire) == false;
  for (int x = 0; x < NUMBER_OF_SENSORS; x++)
  if (myMux.begin() == false)
  {
    //Serial.println("Mux not detected. Freezing...");
    while (1);
  }
}
```

```
myMux.setPort(5);
if(!bno.begin())
{
  /* There was a problem detecting the BNO055 ... check your connections */
  //Serial.print("BN");
  while(1);
}
bno.setExtCrystalUse(true);
//Serial.println();
//Serial.println("L,C,R,Roll,Pitch,LAT,LON,AMSL,Hacc,Vacc,Date,Time");

/* int32_t latitude = myGNSS.getHighResLatitude();
int8_t latitudeHp = myGNSS.getHighResLatitudeHp();
int32_t longitude = myGNSS.getHighResLongitude();
int8_t longitudeHp = myGNSS.getHighResLongitudeHp();
int32_t msl = myGNSS.getMeanSeaLevel();
uint32_t Haccuracy = myGNSS.getHorizontalAccuracy();
uint32_t Vaccuracy = myGNSS.getVerticalAccuracy();
int32_t day = myGNSS.getDay();
int32_t month = myGNSS.getMonth();
int32_t year = myGNSS.getYear();
int32_t hour = myGNSS.getHour();
int32_t minute = myGNSS.getMinute();
int32_t second = myGNSS.getSecond();
*/
}
void loop()
{
  if (millis() - lastTime > 100)
  {
    lastTime = millis(); //Update the timer
    for (byte x = 0; x < NUMBER_OF_SENSORS; x++)
    {
myMux.setPort(x);
      if( tfI2C.getData( tfDist, tfAddr)) // If read okay...
      {
//Serial.print(tfDist);//debug
//Serial.print(",");//debug
```

```
    if(x == 0){
        L = tfDist;
    }
    if(x == 1){
        C = tfDist;
    }
    if(x == 2){
        R = tfDist;
    }
}
else tflI2C.printStatus();    // else, print error.
}
myMux.setPort(3);
//LAT
//Serial.print(myGNSS.getHighResLatitude() / 10000000.0, 9);
int32_t latitude = myGNSS.getHighResLatitude();
// Serial.print(",");
//LAT HP
//Serial.print(myGNSS.getHighResLatitudeHp() / 10000000.0, 9);
int32_t latitudeHp = myGNSS.getHighResLatitudeHp();
// Serial.print(",");
//LON
// Serial.print(myGNSS.getHighResLongitude() / 10000000.0, 9);
int32_t longitude = myGNSS.getHighResLongitude() ;
//Serial.print(",");
//LON HP
// Serial.print(myGNSS.getHighResLongitudeHp() / 10000000.0, 9);
int32_t longitudeHp = myGNSS.getHighResLongitudeHp() ;
//Serial.print(",");
int32_t lat_int; // Integer part of the latitude in degrees
int32_t lat_frac; // Fractional part of the latitude
int32_t lon_int; // Integer part of the longitude in degrees
int32_t lon_frac; // Fractional part of the longitude
lat_int = latitude / 10000000; // Convert latitude from degrees * 10^-7 to Degrees
lat_frac = latitude - (lat_int * 10000000); // Calculate the fractional part of the latitude
lat_frac = (lat_frac * 100) + latitudeHp; // Now add the high resolution component
if (lat_frac < 0) // If the fractional part is negative, remove the minus sign
{
```

```
lat_frac = 0 - lat_frac;
}
lon_int = longitude / 10000000; // Convert latitude from degrees * 10^-7 to Degrees
lon_frac = longitude - (lon_int * 10000000); // Calculate the fractional part of the longitude
lon_frac = (lon_frac * 100) + longitudeHp; // Now add the high resolution component
if (lon_frac < 0) // If the fractional part is negative, remove the minus sign
{
lon_frac = 0 - lon_frac;
}

//AMSL
//Serial.print(myGNSS.getMeanSeaLevel()/ 1000.0);
int32_t msl = myGNSS.getMeanSeaLevel();
//Serial.print(",");
//Hacc
//Serial.print(myGNSS.getHorizontalAccuracy() / 10000.0, 3);
uint32_t Haccuracy = myGNSS.getHorizontalAccuracy();
//Serial.print(",");
//Vacc
//Serial.print(myGNSS.getVerticalAccuracy()/ 10000.0, 3);
uint32_t Vaccuracy = myGNSS.getVerticalAccuracy();
//Serial.print(",");
//Date
//Serial.print(myGNSS.getDay());
int32_t day = myGNSS.getDay();
//Serial.print("-");
//Serial.print(myGNSS.getMonth());
int32_t month = myGNSS.getMonth();
//Serial.print("-");
//Serial.print(myGNSS.getYear());
//int32_t year = myGNSS.getYear();
//Serial.print(",");
//Time
//Serial.print(myGNSS.getHour());
int32_t hour = myGNSS.getHour();
//Serial.print(":");
//Serial.print(myGNSS.getMinute());
int32_t minute = myGNSS.getMinute();
```

```
//Serial.print(".");
//Serial.print(myGNSS.getSecond());
int32_t second = myGNSS.getSecond();
myMux.setPort(5);
imu::Vector<3> euler = bno.getVector(Adafruit_BNO055::VECTOR_EULER);
//Serial.print(" Y: "); //debug
//Serial.print(euler.y()); //debug
//Serial.print(" Z: "); //debug
//Serial.print(euler.z()); //debug
tilt = euler.y();
//pan = euler.z();
myMux.setPort(4);
//Distance
myLog.print(L,0);
myLog.print(",");
myLog.print(C,0);
myLog.print(",");
myLog.print(R,0);
myLog.print(",");
myLog.print(tilt,2);
myLog.print(",");
//myLog.print(pan,2);
//myLog.print(",");
//GNSS
myLog.print(lat_int);
printFractional(lat_frac, 9);
myLog.print(",");
myLog.print(lon_int);
printFractional(lon_frac, 9);
myLog.print(",");
myLog.print(msl / 1000.0);
myLog.print(",");
myLog.print(Haccuracy / 10000.0, 3);
myLog.print(",");
myLog.print(Vaccuracy / 10000.0, 3);
myLog.print(",");
//Date
myLog.print(day);
```

```
myLog.print("/");
myLog.print(month);
//myLog.print("/");
//myLog.print(year);
myLog.print(",");
//Time
myLog.print(hour);
//Serial.print(hour);
myLog.print(":");
//Serial.print(":");
myLog.print(minute);
//Serial.print(minute);
myLog.print(":");
//Serial.print(":");
myLog.println(second);
//Serial.print(second);
myLog.syncFile();
//delay(50);
//Serial.println(second); // debug
//Serial.println("done"); //retour a la ligne
}

//digitalWrite(ledPin, HIGH);
// delay(10); //Wait for next reading
//digitalWrite(ledPin, LOW);
}
void printFractional(int32_t fractional, uint8_t places)
{
  if (places > 1)
  {
    for (uint8_t place = places - 1; place > 0; place--)
    {
      if (fractional < pow(10, place))
      {
        myLog.print("0");
      }
    }
  }
}
```



```
myLog.print(fractional);  
}
```

### **3. Pielikums Risu analīzes programmas kods, izmantojot LiDAR sensoru un GPS lokācijas informāciju (RM1)**

Risu analīzes programmas kods, izmantojot LiDAR sensoru un GPS lokācijas informāciju  
(RM1) Jānis Ivanovs (LVMI Silava)

2023-01-06

Izstrādātais kods paredzēts risu, kuru dziļums pārsniedz 20 cm, automātiskai kartēšanai, kā arī to lokācijas un kopējā garuma noteikšanai. Risu noteikšanai izmantoti LiDAR sensori un GPS lokācijas informācija.

Izmantojamās R bibliotēkas:

```
library(dplyr)
library(tidyverse)
library(rgdal)
library(sf)
library(ggplot2)
library(RColorBrewer)
library(raster)
library(deldir)
library(rgeos)
library(mapttools)
library(sp)
library(leaflet)
library(plyr)
library(data.table)
library(purrr)
library(tidyr)
library(raster)
```

Norāda datu atrašanās direktoriju

```
setwd("H:/2022/Forvardera_rises/20220823/data/23")
getwd()
## [1] "H:/2022/Forvardera_rises/20220823/data/23"
```

Apvieno visus darba direktorijā esošos \*.csv failus

```
dataset <- ldply(list.files(), read.csv, header=TRUE)
```

Datu rindas sakārto pēc laika zīmoga

```
dataset <- dataset[order(dataset$Seq),]
```

Datu rindām piešķir unikālu ID

```
dataset$ID <- seq.int(nrow(dataset))
```

Pārprojicē koordinātu sistēmu no WGS84 uz LKS92

```
dataset <- dataset %>% drop_na(LAT)
data_sf <- st_as_sf(dataset, coords=c("LON", "LAT"), crs = 4326)
new_coords = st_crs(3059)
data_3059 <- st_transform(data_sf, new_coords)
LKS <- data_3059 %>%
  mutate(long = unlist(map(data_3059$geometry,1)),
         lat = unlist(map(data_3059$geometry,2)))
```

Aprēķina distanci starp secīgiem punktiem

```
LKS_df <- LKS %>% st_drop_geometry()
```

## Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

```
tab_2 <- LKS_df %>% dplyr::select(ID, long, lat) %>% mutate(NR = case_when(ID>=0 ~ ID+1))
LKS_apvienots <- full_join(LKS_df, tab_2, by = c("ID" = "NR"))
LKS_apvienots$dist <- sqrt(abs(LKS_apvienots$long.x - LKS_apvienots$long.y)^2+abs(LKS_apvienots$lat.x -
LKS_apvienots$lat.y)^2)
```

## Noņem datu punktus, kuros forvarders stāvējis uz vietas

```
LKS_dist_filter <- filter(LKS_apvienots,dist > 0.05)
```

## Datu rindām piešķir jaunu unikālu ID

```
LKS_dist_filter$ID_2 <- seq.int(nrow(LKS_dist_filter))
```

## Aprēķina azimutu starp secīgiem punktiem

```
LKS_dist_filter$bearing <- (atan(( LKS_dist_filter$long.y - LKS_dist_filter$long.x )/
( LKS_dist_filter$lat.y - LKS_dist_filter$lat.x ))) * 180/3.14159 +
(180*((( LKS_dist_filter$lat.y - LKS_dist_filter$lat.x )<0)+
((( LKS_dist_filter$long.y - LKS_dist_filter$long.x )<0 &
( LKS_dist_filter$lat.y - LKS_dist_filter$lat.x )>0)*2)))
```

## Izskaitļo forvardera virziena maiņas punktus

```
tab_3 <- LKS_dist_filter %>% dplyr::select(ID_2, bearing) %>% mutate(NR = case_when(ID_2>=0 ~ ID_2+1))
LKS_apvienots_2 <- full_join(LKS_dist_filter, tab_3, by = c("ID_2" = "NR"))
LKS_apvienots_2$sturn <- if_else((abs( LKS_apvienots_2$bearing.x - LKS_apvienots_2$bearing.y ))>120
& (abs( LKS_apvienots_2$bearing.x - LKS_apvienots_2$bearing.y ))<240, 1, 0)
```

## Noņem datu punktus ar tukšiem ierakstiem

```
LKS_apvienots_2 <- LKS_apvienots_2[complete.cases(LKS_apvienots_2$sturn),]
```

## Katru forvardera kustības virziena maiņu grupē secīgos pārbraucienos

```
LKS_apvienots_2$group <- cumsum(LKS_apvienots_2$sturn==1)
```

## Aprēķina attālumu starp katru no punktiem un tuvāko augstākas klases (grupas) punktu

```
LKS_apvienots_2$ID <- LKS_apvienots_2$group
LKS_apvienots_2$X <- LKS_apvienots_2$long.x
LKS_apvienots_2$Y <- LKS_apvienots_2$lat.x
LKS_apvienots_2$uid <- LKS_apvienots_2$ID_2.y
setDT(LKS_apvienots_2)
dist <- function(x,y,d) {
  d[, nn_dist:=sqrt((X-x)^2 + (Y-y)^2)][order(nn_dist)][1]}
LKS_apvienots_2[, c("nnX", "nnY", "nn", "nn_dist"):=dist(X,Y, LKS_apvienots_2[ID>.BY$ID,.(X,Y,uid)]),by=.(ID,uid)]
```

## Nofiltrē trokšņa punktus

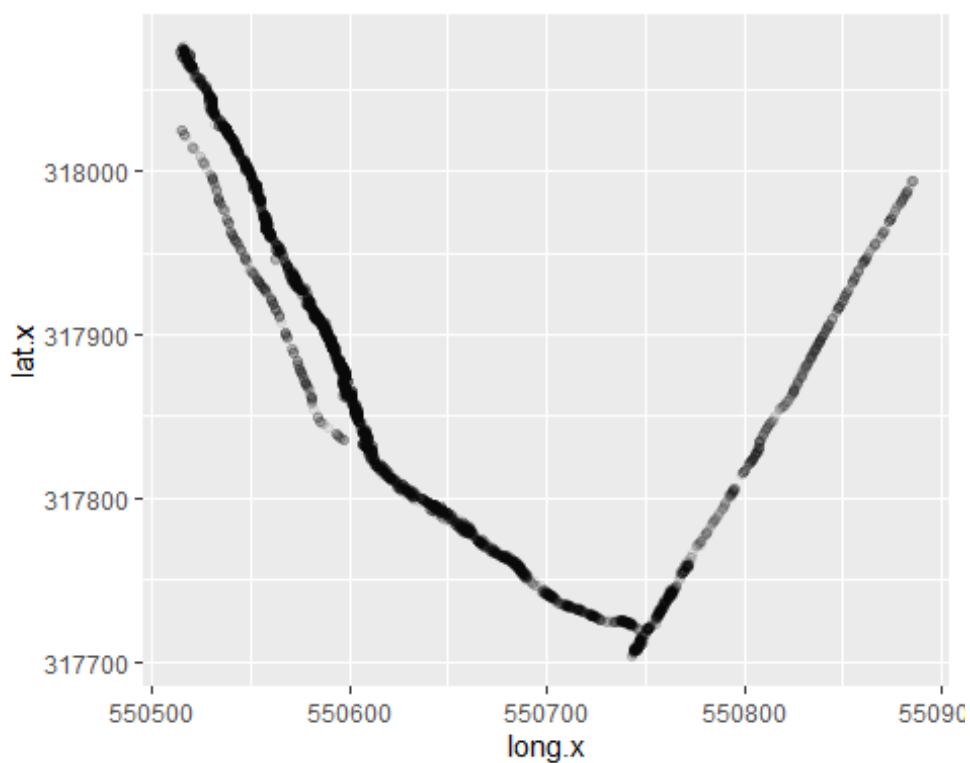
```
LKS_apvienots_2$noise <- abs(LKS_apvienots_2$L-LKS_apvienots_2$R)
LKS_noise_filter <- filter(LKS_apvienots_2, noise < 20)
```

## Filtrē pēc risas dziļuma

```
LKS_noise_filter$rut_depth <- (199.8 - LKS_noise_filter$C)
LKS_rut_depth_filter <- filter(LKS_noise_filter, rut_depth > 20)
ggplot() +
```

## Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

```
geom_point(data = LKS_rut_depth_filter, aes(x = long.x, y = lat.x), alpha = .05)
```

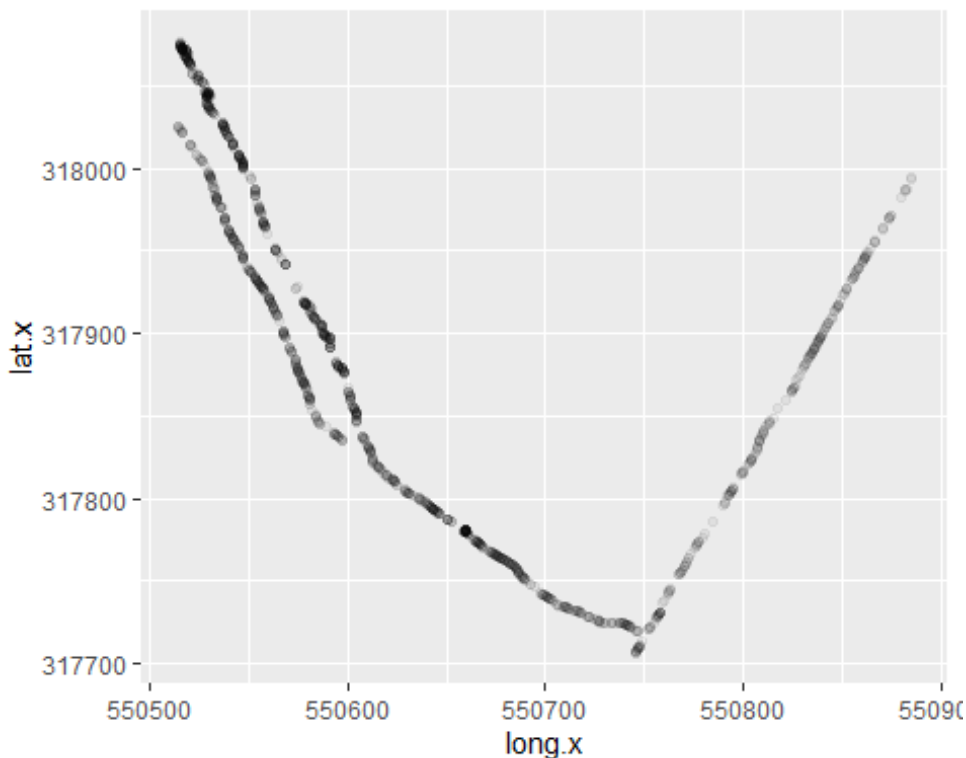


```
dev.off()
```

```
## null device  
##      1
```

Atstāj tikai pēdējā pārbrauciena punktus

```
LKS_group_filter <- filter(LKS_rut_depth_filter, (nn_dist > 5 | is.na(nn_dist)))  
ggplot() +  
  geom_point(data = LKS_group_filter, aes(x = long.x, y = lat.x), alpha = .05)
```



```
dev.off()
```

```
## null device
##      1
```

### Pievieno jaunu ID lauku

```
LKS_group_filter$ID_3 <- seq.int(nrow(LKS_group_filter))
```

### Aprēķina distanci starp risās esošajiem punktiem

```
tab_4 <- LKS_group_filter %>% dplyr::select(ID_3, long.x, lat.x) %>% mutate(NR = case_when(ID_3>=0 ~ ID_3+1))
LKS_apvienots_3 <- full_join(LKS_group_filter, tab_4, by = c("ID_3" = "NR"))
LKS_apvienots_3$dist_ruts <- sqrt(abs(LKS_apvienots_3$long.x.x -
LKS_apvienots_3$long.x.y)^2+abs(LKS_apvienots_3$lat.x.x - LKS_apvienots_3$lat.x.y)^2)
LKS_apvienots_3 <- LKS_apvienots_3[complete.cases(LKS_apvienots_3$lat.x.y),]
```

### Sagrupē risās esošos punktus pa individuālām risēm

```
LKS_apvienots_3$rut_group <- if_else(LKS_apvienots_3$dist_ruts>2,1,0)
LKS_apvienots_3$rut_group_ID <- cumsum(LKS_apvienots_3$rut_group==1)
LKS_apvienots_3 <- LKS_apvienots_3 %>% drop_na(long.x.x)
```

### Ģenerē līnijveida risu objektus

```
points_to_line <- function(data, long, lat, id_field = NULL, sort_field = NULL) {
  coordinates(data) <- c(long, lat)

  if (!is.null(sort_field)) {
    if (!is.null(id_field)) {
      data <- data[order(data[[id_field]], data[[sort_field]]), ]
    } else {
      data <- data[order(data[[sort_field]]), ]
    }
  }
}
```

```

}

if (is.null(id_field)) {

  lines <- SpatialLines(list(Lines(list(Line(data)), "id")))
  return(lines)

} else if (!is.null(id_field)) {
  paths <- sp::split(data, data[[id_field]])
  sp_lines <- SpatialLines(list(Lines(list(Line(paths[[1]])), "line0")))

  for (p in 2:length(paths)) {
    id <- paste0("line", as.character(p))
    l <- SpatialLines(list(Lines(list(Line(paths[[p]])), id))
    sp_lines <- spRbind(sp_lines, l)
  }

  return(sp_lines)
}
}

```

## Atfiltrē individuāli stāvošus punktus

```

tab_5 <- LKS_apvienots_3 %>% dplyr::select(ID_3, rut_group) %>% mutate(NR = case_when(ID_3>=0 ~ ID_3-1))
LKS_apvienots_4 <- full_join(LKS_apvienots_3, tab_5, by = c("ID_3" = "NR"))
LKS_apvienots_4$lone_rut <- if_else(LKS_apvienots_4$rut_group.x+LKS_apvienots_4$rut_group.y==2,1,0)
LKS_apvienots_lone_rut_filter <- filter(LKS_apvienots_4, lone_rut<1)
LKS_apvienots_lone_rut_filter <- LKS_apvienots_lone_rut_filter %>% drop_na(nm_dist)

```

## Ģenerē līnijas

```

v_lines <- points_to_line(data = LKS_apvienots_lone_rut_filter,
  long = "long.x.x",
  lat = "lat.x.x",
  id_field = "rut_group_ID",
  sort_field = "ID_3.y")

```

## Aprēķina un izprintē kopā nobraukto distanci un kopējo risu garumu

```

Travel_distance <- sum(LKS_apvienots_2$dist)
rut_length <- rgeos::gLength(v_lines)

print(paste("Kopējā nobrauktā distance -", round(Travel_distance, digits = 0), "m"))

## [1] " Kopējā nobrauktā distance - 4020 m"

print(paste("Kopējais risu garums -", round(rut_length), "m"))

## [1] " Kopējais risu garums - 437 m"

```

## Sagatavo ģeotelpisku risu slāni (.shp) un .csv failu

```

IDS <- data.frame()
for (i in (1:length(v_lines))) {
  id <- data.frame(v_lines@lines[[i]]@ID)
  IDS <- rbind(IDS, id)
}

```

## Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

```
colnames(IDS)[1] <- "linkid"
ruts_full <- join(IDS, LKS_apvienots_3)

## Joining by:

rut_df <- SpatialLinesDataFrame(v_lines,
                               data.frame(ruts_full, row.names = ruts_full[,1]))

writeOGR(rut_df, dsn="H:/2022/Forvardera_rises", layer="Risas_final", driver="ESRI Shapefile")
write.csv(LKS_apvienots_lone_rut_filter, "H:/2022/Forvardera_rises/Ruts_final.csv", row.names = FALSE)
```



**4. Pielikums Risu analīzes programmas  
kods, izmantojot GNSS  
(AMSL) lokācijas informāciju  
(RM2)**

Risu analīzes programmas kods, izmantojot GNSS (AMSL) lokācijas informāciju (RM2) Jānis Ivanovs (LVMI Silava)

2023-01-03

Izstrādātais kods paredzēts risu, kuru dziļums pārsniedz 20cm dziļumu, automātiskai kartēšanai, kā arī to lokācijas un kopējā garuma noteikšanai. Risu noteikšanai izmantoti augstuma mērījumi no GNSS antenas.

Izmantojamās R bibliotēkas:

```
library(sf)
library(dplyr)
library(purrr)
library(gstat)
library(data.table)
library(ggplot2)
library(tidyr)
library(mapproj)
library(plyr)
library(rgdal)
library(raster)
library(sp)
```

Norāda darba direktoriju un ielasa iepriekš sagatavotus \*.csv failus. Failus iespējams ielasīt pa vienam, vai arī vairākus (visu mapi).

```
### Norāda darba direktoriju
setwd("H:/2022/Forwardera_rises/20220823")

### Ielasa failu
data <- read.csv("20-7-2022_15h6.csv", stringsAsFactors=F, header = TRUE, dec = ".", sep = ",")

### Ielasa vairākus (visus) failus no mapes.
dataset <- ldply(list.files(), read.csv, header=TRUE)

## Warning in read.table(file = file, header = header, sep = sep, quote = quote, :
## line 1 appears to contain embedded nulls

## Warning in read.table(file = file, header = header, sep = sep,
## quote = quote, : incomplete final line found by readTableHeader on
## 'Forwardera_risas_markdown.docx'
```

Sakārto datu rindas pēd laika zīmoga (seq) un datu rindām piešķir unikālu ID numuru

```
dataset <- dataset[order(dataset$Seq),] # Ielasot visu mapi
data <- data[order(data$Seq),] # Ielasot vienu failu
data$ID <- seq.int(nrow(data))
```

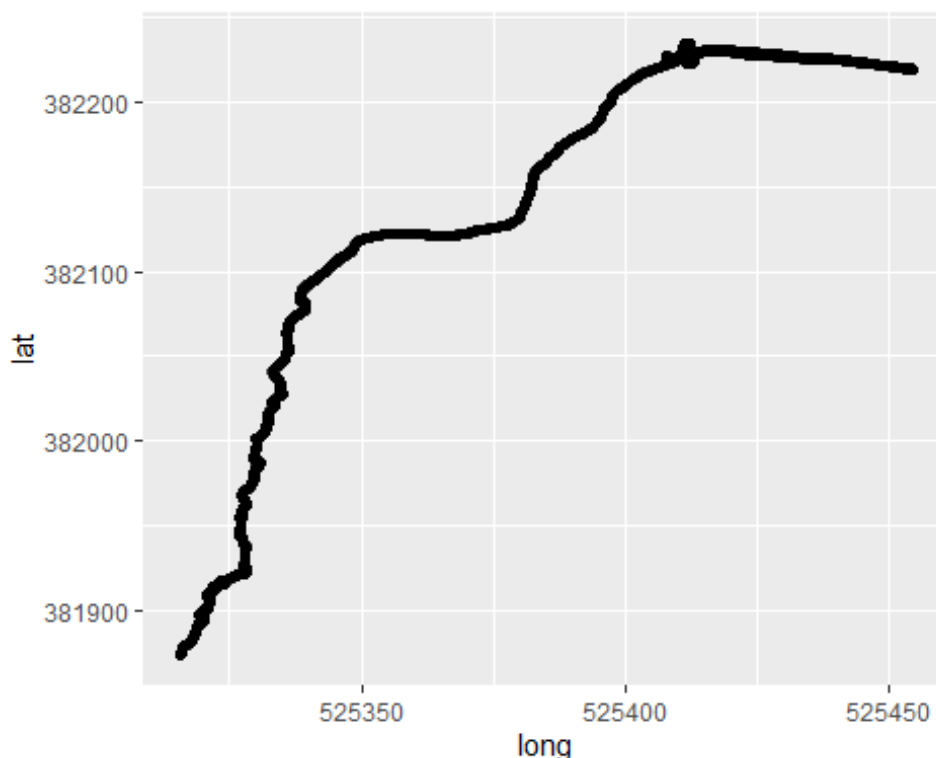
Veic koordinātu sistēmas pāreju no WGS84 uz LKS92 un vizualizē visus uzņēmētos punktus

```
data_sf <- st_as_sf(data, #Maina uz 'dataset', izmantojot vairākus failus
  coords=c("LON", "LAT"),
  crs = 4326)
new_coords = st_crs(3059)
data_3059 <- st_transform(data_sf, new_coords)
LKS <- data_3059 %>%
```

## Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

```
mutate(long = unlist(map(data_3059$geometry,1)),
       lat = unlist(map(data_3059$geometry,2)))

ggplot() +
  geom_point(data = LKS, aes(x = long, y = lat), alpha = .5)
```



```
dev.off()

## null device
##      1
```

Mērījumu veikšanas teritorijai izveido šūnu tīklu ar izšķirtspēju 1m

```
area_fishnet_grid = st_make_grid(LKS, c(1, 1), what = "polygons", square = TRUE)
fishnet_grid_sf = st_sf(area_fishnet_grid) %>%
  mutate(grid_id = 1:length(lengths(area_fishnet_grid)))
```

Katrai no šūnām piešķir augstuma vērtību, kas iegūta no augstākā konkrētajā šūnā iekrītošā mērījumu punkta

```
Test_points_grid_id <- st_join(LKS, left = FALSE, fishnet_grid_sf["grid_id"])
Points_no_geometry <- Test_points_grid_id
st_geometry(Points_no_geometry) <- NULL
Filter_top_points <- Points_no_geometry %>%
  group_by(grid_id) %>%
  slice(which.max(AMSL))
```

No katras šūnas maksimālā augstuma izveido Zemes virsmas augstuma modeli, tādējādi iegūstot oriģinālo forvardera pārvietošanās ceļa augstumu

```
test_temp <- Filter_top_points
test_temp$x <- test_temp$long
test_temp$y <- test_temp$lat
test_temp <- na.omit(test_temp)
```

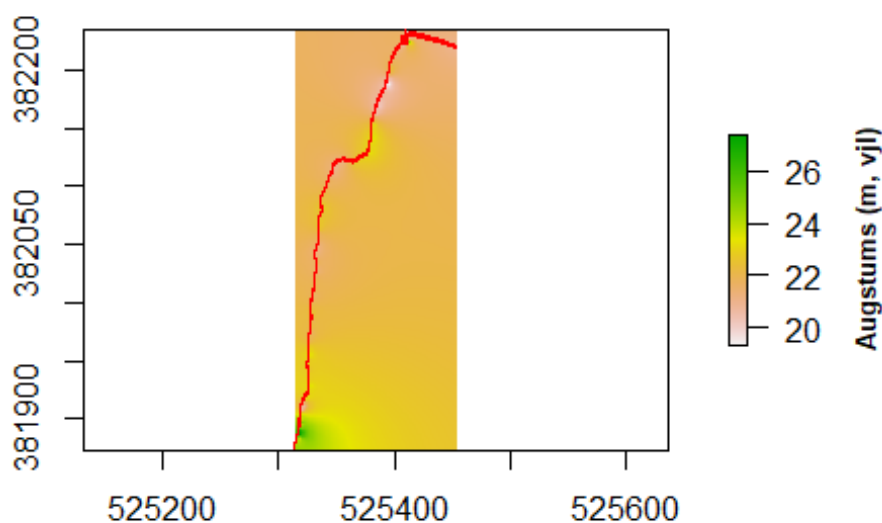
## Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

```
coordinates(test_temp) = ~x + y

x.range <- as.numeric(c(min(test_temp$long), max(test_temp$long)))
y.range <- as.numeric(c(min(test_temp$lat), max(test_temp$lat)))
grd <- expand.grid(x = seq(from = x.range[1], to = x.range[2], by = 1),
                  y = seq(from = y.range[1], to = y.range[2], by = 1))
coordinates(grd) <- ~x + y
gridded(grd) <- TRUE
idw <- idw(formula = AMSL ~ 1, locations = test_temp, newdata = grd) # Pielietots IDW interpolācijas modelis

## [inverse distance weighted interpolation]

idw.output = as.data.frame(idw)
names(idw.output)[1:3] <- c("long", "lat", "var1.pred")
dfr <- rasterFromXYZ(idw.output)
plot(dfr$var1.pred,
     legend.args=list(text='Augstums (m, vjl)', side=4, font=2, line=2.5, cex=0.8))
crs(dfr) <- CRS('+init=EPSG:3059')
points(test_temp, pch = 1, col = "red", cex = 0.1)
```



## Aprēķina attālumu starp sekojošiem punktiem

```
LKS_df <- LKS %>% st_drop_geometry()
tab_2 <- LKS_df %>% dplyr::select(ID, long, lat) %>% mutate(NR = case_when(ID>=0 ~ ID+1))
LKS_apvienots <- full_join(LKS_df, tab_2, by = c("ID" = "NR"))
LKS_apvienots$dist <- sqrt(abs(LKS_apvienots$long.x - LKS_apvienots$long.y)^2 + abs(LKS_apvienots$lat.x -
LKS_apvienots$lat.y)^2)
```

## Noņem punktus, kuri ir tuvu viens pie otra (forvarders nekustas)

```
LKS_dist_filter <- filter(LKS_apvienots, dist > 0.05)
```

## Aprēķina jaunu unikālu ID un aprēķina azimutu starp sekojošiem punktiem

```
LKS_dist_filter$ID_2 <- seq.int(nrow(LKS_dist_filter))
LKS_dist_filter$bearing <- (atan((LKS_dist_filter$long.y - LKS_dist_filter$long.x) /
  (LKS_dist_filter$lat.y - LKS_dist_filter$lat.x))) * 180 / 3.14159 + (180 * (((LKS_dist_filter$lat.y -
LKS_dist_filter$lat.x) < 0) + (((LKS_dist_filter$long.y - LKS_dist_filter$long.x) < 0 & (LKS_dist_filter$lat.y -
LKS_dist_filter$lat.x) > 0) * 2)))
```

## Nosaka forvardera kustības virziena maiņu

```
tab_3 <- LKS_dist_filter %>% dplyr::select(ID_2, bearing) %>% mutate(NR = case_when(ID_2 >= 0 ~ ID_2 + 1))
LKS_apvienots_2 <- full_join(LKS_dist_filter, tab_3, by = c("ID_2" = "NR"))
LKS_apvienots_2$sturn <- if_else((abs(LKS_apvienots_2$bearing.x - LKS_apvienots_2$bearing.y)) > 120
  & (abs(LKS_apvienots_2$bearing.x - LKS_apvienots_2$bearing.y)) < 240, 1, 0)
```

## Katru forvardera kustības virziena maiņu grupē secīgos pārbraucienos

```
LKS_apvienots_2 <- LKS_apvienots_2[complete.cases(LKS_apvienots_2$sturn),]
LKS_apvienots_2$group <- cumsum(LKS_apvienots_2$sturn == 1)
```

## Aprēķina attālumu starp katru no punktiem un tuvāko augstākas klases (grupas) punktu

```
LKS_apvienots_2$ID <- LKS_apvienots_2$group
LKS_apvienots_2$X <- LKS_apvienots_2$long.x
LKS_apvienots_2$Y <- LKS_apvienots_2$lat.x
LKS_apvienots_2$uid <- LKS_apvienots_2$ID_2.y
setDT(LKS_apvienots_2)
dist <- function(x, y, d) {
  d[, nn_dist := sqrt((X-x)^2 + (Y-y)^2)][order(nn_dist)][1]}
LKS_apvienots_2[, c("nnX", "nnY", "nn", "nn_dist") := dist(X, Y, LKS_apvienots_2[ID > .BY$ID, .(X, Y, uid)]), by = .(ID, uid)]
```

## Atfiltrē tālu esošus individuālus punktus (troksni)

```
LKS_apvienots_2$noise <- abs(LKS_apvienots_2$L - LKS_apvienots_2$R)
LKS_noise_filter <- filter(LKS_apvienots_2, noise < 20)
```

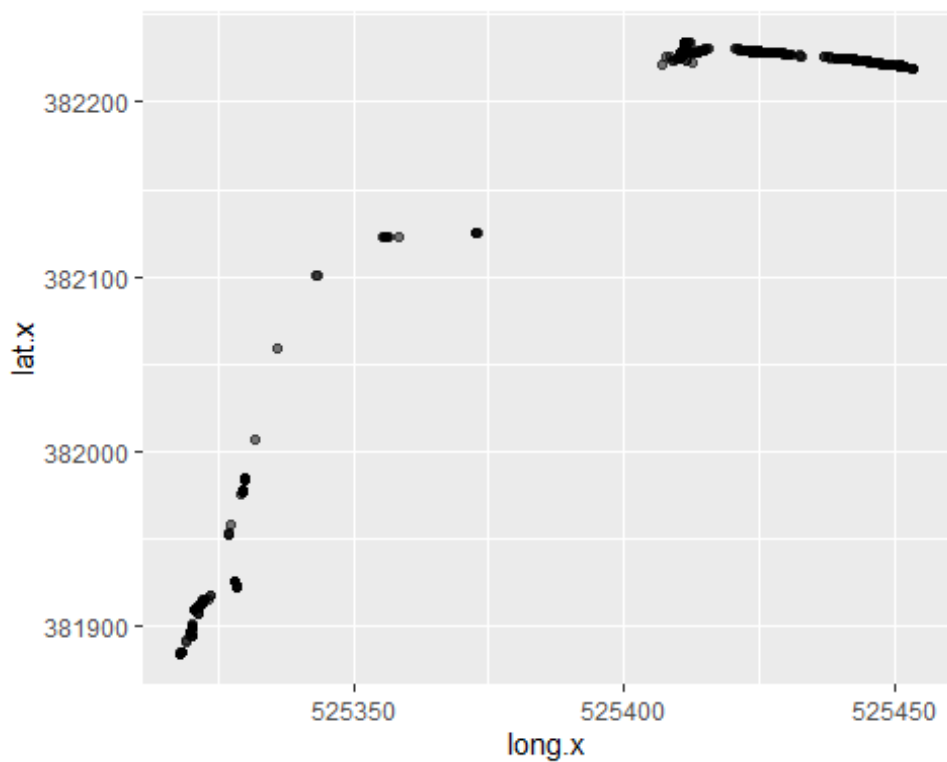
## Mērījumu punktiem pievieno augstumu vērtības no iepriekš izveidotā Zeems virsmas augstuma modeļa

```
New_data <- dplyr::select(LKS_noise_filter, c('ID_2', 'long.x', 'lat.x'))
coords <- cbind(LKS_noise_filter$long.x, LKS_noise_filter$lat.x)
spdf <- SpatialPointsDataFrame(coords, LKS_noise_filter)
values <- raster::extract(dfr$var1.pred, spdf)
spdf$selev <- values
```

## Mērījumu punktus atfiltrē pēc nepieciešanās risas dziļuma vērtības

```
spdf$rut_depth <- (spdf$selev - spdf$AMSL)
DF <- as.data.frame(spdf)
LKS_rut_depth_filter <- filter(DF, rut_depth > 0.2) ### levieta vēlamo risas dziļuma vērtību
ggplot() +
  geom_point(data = LKS_rut_depth_filter, aes(x = long.x, y = lat.x), alpha = .5)
```

## Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai



```
dev.off()
```

```
## null device
```

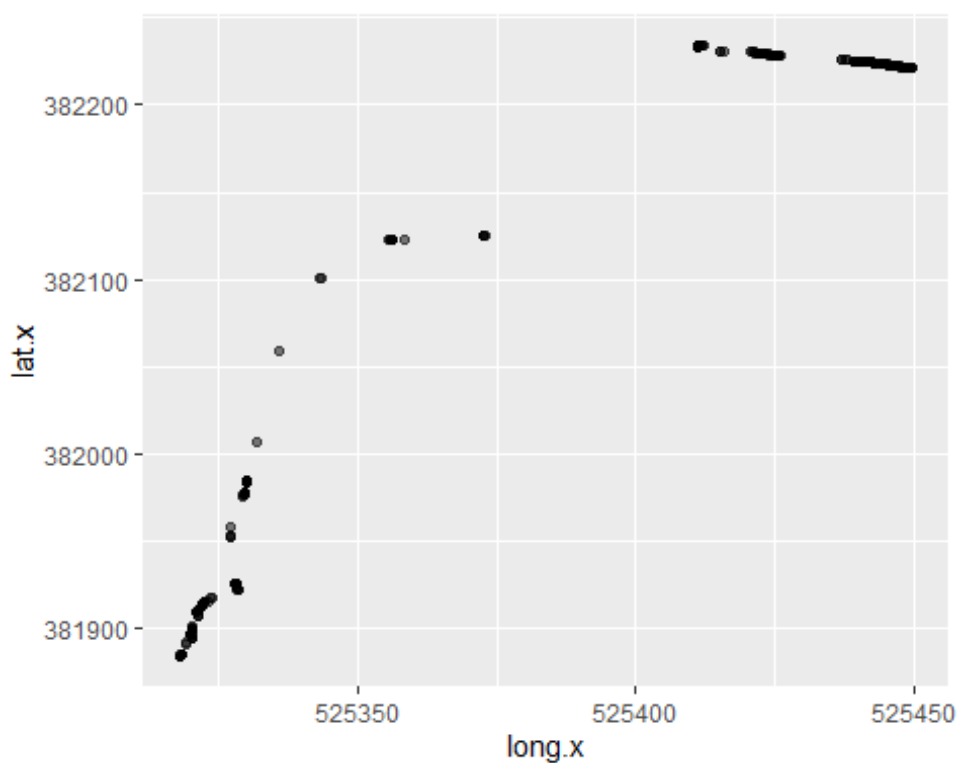
```
##      1
```

## Atlasa austākās grupas punktus (Katra ceļa pēcējais pārbrauciens)

```
LKS_group_filter <- filter(LKS_rut_depth_filter, (nn_dist > 5 | is.na(nn_dist)))
```

```
ggplot() +
```

```
  geom_point(data = LKS_group_filter, aes(x = long.x, y = lat.x), alpha = .5)
```



```
dev.off()
```

```
## null device
##      1
```

## Aprēķina attālumu starp sekojošiem risās esošajiem punktiem

```
LKS_group_filter$ID_3 <- seq.int(nrow(LKS_group_filter))
tab_4 <- LKS_group_filter %>% dplyr::select(ID_3, long.x, lat.x) %>% mutate(NR = case_when(ID_3>=0 ~ ID_3+1))
LKS_apvienots_3 <- full_join(LKS_group_filter, tab_4, by = c("ID_3" = "NR"))
LKS_apvienots_3$dist_ruts <- sqrt(abs(LKS_apvienots_3$long.x.x -
LKS_apvienots_3$long.x.y)^2+abs(LKS_apvienots_3$lat.x.x - LKS_apvienots_3$lat.x.y)^2)
LKS_apvienots_3 <- LKS_apvienots_3[complete.cases(LKS_apvienots_3$lat.x.y),]
```

## Grupē risās esošos punktus pa atsevišķās risām

```
LKS_apvienots_3$rut_group <- if_else(LKS_apvienots_3$dist_ruts>2,1,0)
LKS_apvienots_3$rut_group_ID <- cumsum(LKS_apvienots_3$rut_group==1)
LKS_apvienots_3 <- LKS_apvienots_3 %>% drop_na(long.x.x)
```

## Izveido līnijas, kuras reprezentē risas

```
points_to_line <- function(data, long, lat, id_field = NULL, sort_field = NULL) {
  coordinates(data) <- c(long, lat)
  if (!is.null(sort_field)) {
    if (!is.null(id_field)) {
      data <- data[order(data[[id_field]], data[[sort_field]]), ]
    } else {
      data <- data[order(data[[sort_field]]), ]
    }
  }
  if (is.null(id_field)) {
    lines <- SpatialLines(list(Lines(list(Line(data)), "id")))
    return(lines)
  } else if (!is.null(id_field)) {
    paths <- sp::split(data, data[[id_field]])
    sp_lines <- SpatialLines(list(Lines(list(Line(paths[[1]]), "line0")))
    for (p in 2:length(paths)) {
      id <- paste0("line", as.character(p))
      l <- SpatialLines(list(Lines(list(Line(paths[[p]]), id)))
      sp_lines <- spRbind(sp_lines, l)
    }
    return(sp_lines)
  }
}
```

## Atfiltrē vientuļos punktus

```
tab_5 <- LKS_apvienots_3 %>% dplyr::select(ID_3, rut_group) %>% mutate(NR = case_when(ID_3>=0 ~ ID_3-1))
LKS_apvienots_4 <- full_join(LKS_apvienots_3, tab_5, by = c("ID_3" = "NR"))
LKS_apvienots_4$lone_rut <- if_else(LKS_apvienots_4$rut_group.x+LKS_apvienots_4$rut_group.y==2,1,0)
LKS_apvienots_lone_rut_filter <- filter(LKS_apvienots_4, lone_rut<1)
LKS_apvienots_lone_rut_filter <- LKS_apvienots_lone_rut_filter %>% drop_na(nn_dist)
v_lines <- points_to_line(data = LKS_apvienots_lone_rut_filter,
  long = "long.x.x",
  lat = "lat.x.x",
  id_field = "rut_group_ID",
```

```
sort_field = "ID_3.y")
```

## Aprēķina kopējo forvardera veikto attālumu un kopējo tā atstāro risu garumu

```
Travel_distance <- sum(LKS_apvienots_2$dist)
rut_length <- rgeos::gLength(v_lines)
print(paste("Kopējais veiktais attālums -", round(Travel_distance, digits = 0), "m"))

## [1] "Kopējais veiktais attālums - 524 m"

print(paste("Kopējais risu garums -", round(rut_length, "m"))
## [1] "Kopējais risu garums - 53 m"
```

## Izveido .shp un .csv failus

```
IDS <- data.frame()
for (i in (1:length(v_lines))) {
  id <- data.frame(v_lines@lines[[i]]@ID)
  IDS <- rbind(IDS, id)
}
colnames(IDS)[1] <- "linkid"
ruts_full <- join(IDS, LKS_apvienots_3)

## Joining by:

rut_df <- SpatialLinesDataFrame(v_lines,
  data.frame(ruts_full, row.names = ruts_full[,1]))

writeOGR(rut_df, dsn="H:/2022/Forvardera_rises", layer="Results", driver="ESRI Shapefile")
write.csv(LKS_rut_depth_filter, "H:/2022/Forvardera_rises/Results.csv", row.names = FALSE)
```