

PĀRSKATS

PAR PĒTĪJUMA 2021. GADA REZULTĀTIEM

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

IZPILDĪTĀJS: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”

PASŪTĪTĀJS: AKCIJU SABIEDRĪBA “LATVIJAS valsts meži”

Līguma Nr. 5_5.9.1_0081_101_21_87

PĒTĪJUMA ZINĀTNISKAIS

VADĪTĀJS: Dr. Andis Lazdiņš, LVMI Silava vadošais pētnieks

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 uzņēmumā 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.

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

Pētījuma uzdevumā “Energētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs”, atbilstoši plānotajam, izstrādāta pētījuma metodika, kā arī uzsākta 2022. gada plānoto uzdevumi izpilde, uzsākot enerģētiskās koksnes kaudžu monitoringu.

Pētījuma uzdevumā “Forvardera greifera svāri koksnes biokurināmā apjoma noteikšanai” izstrādāta pētījuma metodika un metodiskie norādījumi biokurināmā svēršanai ražošanas apstākļos, kā arī veikta metodes aprobācija ar vienu svaru komplektu. Darbs veikts, lai pirms iekārtas ekspluatācijas ražošanas apstākļos precizētu iegūstāmo datu kopu, pārbaudītu sistēmas darbību praksē, nepieciešamības gadījumā koriģējot metodiku, kā arī identificētu riskus, kas saistīti ar svaru montāžu vai darbību. Noskaidrots, ka papildus masas uzskaiti būs iespējams analizēt ražīguma rādītājus, kā arī forvardera veikto distanci cīsmā.

Pētījuma uzdevumā “Šķeldu kravu piepildījuma izmaiņu monitorings un vienādojumu izstrādāšana kravu piepildījuma samazināšanās prognozēšanai” pilnveidota datu ievākšanas metodika, aizstājot fotografēšanu ar filmēšanu. Metodikas pilnveidošanas procesā būtiski uzlabojusies datu kvalitāte un samazinājies patērētais laiks datu ievākšanā. Ieviesto izmaiņu rezultātā palielinājies laiks datu apstrādes procesā.

Pētījuma uzdevumā “Forvardera atstāto risu mērīšanas iekārtas izstrāde” izstrādāta un aprobēta pētījuma metodika, kā arī otrās paaudzes sensoru sistēma, kas ļaus precīzāk monitorēt risu veidošanos un izslēgt maldinošos nolasījumus. Veikti pirmie izmēģinājumi un iegūtas nepieciešamās datu kopas matemātiski analīzei un sensoru parametru optimizācijai. Panākta vienošanās ar pakalpojuma sniedzēju par iekārtas uzstādīšanu 2022. gada pirmajā ceturksnī.

Pētījuma uzdevumā “Algoritmu pilnveidošana kopšanas ciršu attālinātai kontrolei” zemes lāzerskenēšanas metode, saskaņojot ar pasūtītāju, daļēji aizstāta ar manuālu koku dastošanu, kā rezultātā vairākkārtīgi pieaudzis darba apjoms, novirzot šim darbam resursus no citu darba uzdevumu izpildes. Šobrīd ierīkotajos izmēģinājuma objektos nepieciešams nodrošināt mežizstrādi, lai turpinātu darbu pie *hprGallring* programmas pilnveides un rekomendāciju izstrādes.

Pētījuma uzdevumā “Masas zuduma, kā arī cietā biokurināmā siltumspējas un mitruma satura izmaiņas atkarībā no uzglabāšanas ilguma un citiem faktoriem” izstrādāti vienādojumi – koksnes blīvuma izmaiņu raksturošanai un koksnes tilpuma pārrēķiniem no m^3 uz $ber.m^3$, kā arī noteikts pārrēķina koeficients. Pētījumā noskaidrotas vidējās tilpuma izmaiņas atkarībā no sezonas.

Pētījumu īsteno Latvijas Valsts mežzinātnes institūts “Silava” sadarbībā ar akciju sabiedrību “Latvijas valsts meži”.

SUMMARY

The focus of the research programme is on the need to use modern planning tools and soft logging technologies to ensure the accessibility of wood resources while reducing the negative environmental impact of logging operations. The research programme aims to increase the efficiency of forest management by adaptation of unused but already existing technologies.

The research programme, according to the scientific research order of JSC “Latvia’s state forests”, is structured in 3 research tasks.

- Development and reinforcement of forest biofuel production and supply technologies;
- Development and deployment of forest management monitoring systems and automated data processing tools;
- Development of an automated system for determining forest inventory indicators and evaluating the quality of thinning.

The study entitled “Storage of energy wood at roadside” is implemented as planned, a study methodology is developed, as well as the tasks proposed for 2022 are partially implementation by harvesting and initiating of monitoring of energy wood piles.

The study's task “Forwarder scales for determining the amount of extracted biomass” is implemented according to the plan, including elaboration of methodology and acquiring of the testing data. It was found that, in addition to the extracted biomass, it will be possible to analyse the productivity indicators as well as the driving distance of the forwarder in the felling area.

The study entitled “Monitoring changes in the load of chips and developing equations to forecast a reduction in cargo fulfilment” refined the methodology for collecting data by replacing photography with filming. The process of improving the methodology has significantly improved the quality of the data and has reduced the time spent in collecting the data. The changes introduced have led to an increased time for the data processing.

The study entitled “Development of a measuring equipment for measurement of forwarding ruts” is implemented according to plan, including developed of new prototype and testing of elaborated methodologies. The first tests have been performed and the required data sets have been obtained for mathematical analysis and optimization of sensor parameters. An agreement has been reached with the service provider on the installation and field tests of the measurement equipment in the first quarter of 2022.

In the study entitled “Development of equations for remote control of commercial thinning” the planning process had been delayed, resulting in the need to replace the ground laser scanning method has been replaced by manual tree measurements, resulting in a significantly increase of the workload. The pilot sites currently measured need to be harvested to continue work on the development of recommendations for implementation of the *HprGallring* programme.

In the study “Mass loss, as well as changes in the calorific value and moisture content of solid biofuels depending on the storage time and other factors” equations are developed – to characterize changes in wood density and recalculate wood volume from m^3 to LV m^3 , as well as to determine the conversion factor. The average changes in volume depending on the season was found.

Research was conducted in Latvian State Forest Research Institute “Silava” (LSFRI Silava) in a collaboration with the Joint Stock Company “Latvia state forests”.

SAĪSINĀJUMI UN SIMBOLI

Ber. m³ - berkubikmetri

DEM - digital elevation model (digitālais reljefa modelis)

DSM - digital surface model (digitālais virsmas modelis)

GNSS - globālās navigācijas satelītu sistēma

GPS - globālās pozicionēšanas sistēma

LVM - AS "Latvijas valsts meži"

LVMI Silava - Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava"

RTK - reālā laika kinemātiska pozicionēšana

SATURS

1. Literatūras apskats un metodika.....	9
1.1. Meža biokurināmā ražošanas un piegāžu tehnoloģiju pilnveidošana un aprobācija.....	9
1.1.1. Enerģētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs	9
1.1.2. Forvardera greifera svāri koksnes biokurināmā apjoma noteikšanai	22
1.1.3. Šķeldu kravu piepildījuma izmaiņu monitorings un vienādojumu izstrādāšana kravu piepildījuma samazināšanās prognozēšanai	24
1.2. Meža tehnikas monitoringa sistēmu un datu automatizācijas apstrādes instrumentu pilnveidošana un ieviešana ražošanā.....	26
1.2.1. Forvardera atstāto risu mērīšanas iekārtas izstrāde	26
1.3. Automatizētas sistēmas izveide meža taksācijas rādītāju noteikšanai un kopšanas ciršu kvalitātes novērtēšanai	31
1.3.1. Algoritmu pilnveidošana kopšanas ciršu attālinātai kontrolei.....	31
1.4. Biokurināmā un apaļo kokmateriālu sagatavošanas metodes kopšanas cirtēs.....	41
1.4.1. Masas zuduma, kā arī cietā biokurināmā siltumspējas un mitruma satura izmaiņas atkarībā no uzglabāšanas ilguma un citiem faktoriem	41
2. Rezultātu apstrāde un analīze.....	44
2.1. Meža biokurināmā ražošanas un piegāžu tehnoloģiju pilnveidošana un aprobācija.....	44
2.1.1. Enerģētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs	44
2.1.2. Forvardera greifera svāri koksnes biokurināmā apjoma noteikšanai	51
2.1.3. Šķeldu kravu piepildījuma izmaiņu monitorings un vienādojumu izstrādāšana kravu piepildījuma samazināšanās prognozēšanai	54
2.2. Meža tehnikas monitoringa sistēmu un datu automatizācijas apstrādes instrumentu pilnveidošana un ieviešana ražošanā.....	55
2.2.1. Forvardera atstāto risu mērīšanas iekārtas izstrāde	55
2.3. Automatizētas sistēmas izveide meža taksācijas rādītāju noteikšanai un kopšanas ciršu kvalitātes novērtēšanai	56
2.3.1. Algoritmu pilnveidošana kopšanas ciršu attālinātai kontrolei.....	56
2.4. Biokurināmā un apaļo kokmateriālu sagatavošanas metodes kopšanas cirtēs.....	62
2.4.1. Masas zuduma, kā arī cietā biokurināmā siltumspējas un mitruma satura izmaiņas atkarībā no uzglabāšanas ilguma un citiem faktoriem	62

Attēli

Attēls 1.1. Izmēģinājuma objektu telpiskais novietojums	10
Attēls 1.2. Izmēģinājuma objektu konfigurācija	11
Attēls 1.3. Parauglaukuma shēma (Latvijas Valsts mežzinātnes institūta "Silava", 2013).....	12
Attēls 1.4. Sekciju izvietojuma shēma	15
Attēls 1.5. Mērījumu veikšanas shēma krautuvē	16
Attēls 1.6. Lidojuma plānojuma shēma	17
Attēls 1.7. Fotogrammetrisks biokurināmā krautuves punktu mākonis (Dense Cloud)	18
Attēls 1.8. Biokurināmā krautuves fotogrammetriskā modeļa piemērs	18
Attēls 1.9. Svēršanas sistēmas iestatījumi.....	23
Attēls 1.10. Svēršanas programmas izveide.....	23
Attēls 1.11. Ekrānšāviņš no svaru sistēmas.....	24
Attēls 1.12. Iekārtas pozīcija.....	25
Attēls 1.13. Šķeldu kravas telpiskais modelis pēc datu apstrādes.....	25
Attēls 1.14. Pirmās un otrās paaudzes GPS sensori	27
Attēls 1.15. Pirmā prototipa mērīšanas princips	28
Attēls 1.16. Otrās paaudzes sensoru sistēmas darbības princips.....	28
Attēls 1.17. Risu mērīšanas sensoru izvietojums 1. un 2. paaudzes iekārtās	30
Attēls 1.18. 1. un 2. sensoru sistēmas datu piemērs	31
Attēls 1.19. Shematisks attēls datu ievākšanai (labajā pusē pārnēsājamais skeneris, kreisajā pusē stacionārais zemes skeneris Bauwens u.c., 2016).....	32

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

Attēls 1.20. Cirsmas skenēšanas shēma (taisnstūri – zemes lāzerskenera atrašanās vieta, aplī – skenēšanas zona, sarkanie aplī – sfēru novietojums, ± 3 mm – uzmērīšanas precizitāte)	36
Attēls 1.21. Tehnoloģiskās brauktuves platuma uzmērīšana.....	41
Attēls 1.22. Paraugu ņemšanas vietas autotransporta puspiekabē	43
Attēls 2.1. Apļveida parauglaukumu izvietojuma shēma.....	45
Attēls 2.2. No audzēm 604-363-16 un 604-514-1 pievestās koksnes krautne	45
Attēls 2.3. No audzes 509-296-13;14 pievestās koksnes krautnes.....	46
Attēls 2.4. No audzes 509-296-13;14 pievestā biokurināmā šķeldošanas (1. krautne).....	49
Attēls 2.5. Šķeldu vedējs ar puspiekabi un nepilnu šķeldu kravu	49
Attēls 2.6. Atlikusī biomasa pēc 1. krautnes šķeldošanas	50
Attēls 2.7. Augšgala krautuvē pievestās koksnes apjoma izmaiņas saskaņā ar manuāliem uzmērījumiem ...	50
Attēls 2.8. Augšgala krautuvē pievestās koksnes apjoma izmaiņas saskaņā ar fotogrammetriskiem uzmērījumiem	51
Attēls 2.9. Forvardera pārvietošanās atbilstoši svēršanas sistēmas fiksētajām koordinātēm (dzeltenā krāsā atzīmēts 29. brauciens).....	54
Attēls 2.10. Sablīvēšanās sasmalcinātas koksnes pārvadājumos ar konteineru tipa autotransportu	55
Attēls 2.11. Sablīvēšanās sasmalcinātas koksnes pārvadājumos ar puspiekabi	55
Attēls 2.12. Datu salīdzināšana, atkarībā no sensora pagrieziena leņķa	56
Attēls 2.13. Šķērslaukuma salīdzinājums <i>hprGallring</i> (kreisajā pusē) un kontrolmērījumos (labajā pusē) ...	59
Attēls 2.14. Caurmēru salīdzinājums priedes audzēs.....	59
Attēls 2.15. Priežu audzes caurmēra nobīdes rādītāji	60
Attēls 2.16. Priežu audzes vidējā koka caurmēra izkliedes rādītāji	60
Attēls 2.17. Koku skaita identificēšana.....	62
Attēls 2.18. Caurmēra sadalījums bērza un egles nogriežņiem.....	63
Attēls 2.19. Tilpuma izmaiņas uzglabāšanas laikā.....	69
Attēls 2.20. Relatīvā mitruma un zemākās siltumspējas izmaiņas enerģētiskajā koksne	72

Tabulas

Tabula 1.1. Plānoto nodevumu sagatavošanas 2021. gadā progress	6
Tabula 1.1. Koku sugai raksturīgi stumbra tilpuma aprēķina koeficienti	13
Tabula 1.2. Koku sugai raksturīgi stumbra tilpuma aprēķinu koeficienti	14
Tabula 1.3. Pielietoto metožu saraksts	19
Tabula 1.4. Pētījumā plānotais apjoms sadalījumā pa sezonām.....	26
Tabula 1.5. Izmēģinājumu objektu sadalījums.....	33
Tabula 1.6. Zemes lāzerskenera iestatījumi	35
Tabula 1.7. Caurmēra sadalījums grupās	39
Tabula 1.8. Materiālu sadalījums pa sezonām	41
Tabula 2.1. Potenciāli iegūstamā biomasas apjoma raksturojums	44
Tabula 2.2. Augšgala krautuvē pievestā biokurināmā apjoms (1. mērījums).....	46
Tabula 2.3. Augšgala krautuvē ievāktā biomasas paraugu parametri (1. mērījums).....	47
Tabula 2.4. Biokurināmā kaudžu smalcināšanas grafiks.....	48
Tabula 2.5. Svēršanas sistēmas uzskaites dati.....	52
Tabula 2.6. Valdošās koku sugas procentuālais sadalījums atbilstoši valdaudzes krājam	57
Tabula 2.7. Koku augstumliknes modelis	57
Tabula 2.8. Taksācijas rādītāji kontroles platībās.....	58
Tabula 2.9. Augstuma salīdzināšana kontroles platībās	61
Tabula 2.10. Harvesteru mērījumu salīdzinājums	61
Tabula 2.11. Apaļo kokmateriālu blīvuma izmaiņu novērtējums.....	63
Tabula 2.12. Apaļo kokmateriālu blīvuma izmaiņu novērtējums atkarībā no koku sugas un materiāla sagatavošanas sezonas.....	67
Tabula 2.13. Vidējās tilpuma izmaiņas atkarībā no materiāla novietojuma	69
Tabula 2.14. Enerģētiskās koksnes raksturojošo rādītāju izmaiņas	70

IEVADS

Pētījumu programma “Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai” aptver dažādas tehnoloģisko pētījumu jomas. Tās mērķis ir izstrādāt un aprobēt kokmateriālu un meža biokurināmā ražošanas tehnoloģijas un plānošanas risinājumus, kas ļautu 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 plānots vērtēt tehnoloģisko procesu efektivitātes palielināšanas iespējas, aprobēt efektīvākus mežsaimniecības plānošanas risinājumus un izstrādāt mežsaimniecības instrumentus, kas palīdzētu mazināt tās ietekmi uz vidi. 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 CO₂ 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.

2021. gada martā uzsākta pētījumu programma īstenošana, pirmajā etapā īstenojot 5. uzdevumus, kas galvenokārt saistīti ar metodikas izstrādāšanu vai tās aprobēšanu:

1. Enerģētiskās koksnes uzglabāšana krātuvēs;
2. Forvardera greifera sviri koksnes biokurināmā apjoma noteikšanai;
3. Šķeldu kravu papildījuma izmaiņu monitorings un vienādojumu izstrādāšana kravu papildījuma samazināšanās prognozēšanai;
4. Forvardera atstāto risu mērīšanas iekārtas izstrāde;
5. Algoritmu pilnveidošana kopšanas ciršu attālinātai kontrolei.

Lielākā daļa no pētījuma programmas pirmajā etapā izvirzītajiem darba uzdevumiem izpildīta atbilstoši plānotajam (tab. 1.1). Darba uzdevumā, kas saistīts ar enerģētiskās koksnes uzglabāšanu krātuvē, programmas 1. etapa ietvaros uzsākta nākošā etapa uzdevumu izpilde, pārnesot 3. darba uzdevuma izpildei neizmantotos resursus. Darba uzdevuma “Šķeldu kravu papildījuma izmaiņu monitorings un vienādojumu izstrādāšana kravu papildījuma samazināšanās prognozēšanai” izpildei slēgta jauna vienošanās ar pakalpojuma sniedzējiem un veikta atkārtota operatoru apmācība. Izmēģinājumu objektu atlase un saskaņošana darba uzdevumā “Algoritmu pilnveidošana kopšanas ciršu attālinātai kontrolei” pabeigta 2021. gada rudenī, kad gaisa temperatūra pazeminājās līdz tādām līmenim, kurā ar zemes lāzerskeneri vairs nevarēja iegūt korektus datus, tāpēc, pēc saskaņošanas ar pasūtītāju, audžu uzmērīšana veikta, ierīkojot vismaz 0,6 ha lielus taisnstūrveida parauglaukumus, kas palielināja darba laika patēriņu šī uzdevuma izpildei aptuveni sešas reizes, pārceļot resursus no citiem darba uzdevumiem. Pieaugot darba apjomam, atsevišķu mežaudžu izstrāde pārceļta uz 2022. gadu. Šobrīd notiek mežizstrāde izmēģinājumu platībās, pēc kuras turpināsies mērījumi, raksturojot taksācijas rādītājus vienlaidus platībās.

Tabula 1.1. Plānoto nodevumu sagatavošanas 2021. gadā progress

Uzdevuma Nr.	Plānotie nodevumi	Izpilde (%)	Piezīmes
1.	Biomassas paraugu ievākšanas metodika.	Izpildīts atbilstoši plānam (ievākto datu apjoms 120% no plānotā)	Uzsākta paraugu ievākšana, faktiskais darba apjoms izrādījās lielāks nekā sākotnēji plānots, tāpēc šajā

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

Uzdevuma Nr.	Plānotie nodevumi	Izpilde (%)	Piezīmes
			darba uzdevumā iesaistīti 3. darba uzdevumā neizmantojie resursi.
	Kravu uzskaites, mērīšanas, datu uzkrāšanas un matemātiskās apstrādes procedūras apraksts.	Izpildīts atbilstoši plānam (ievākto datu apjoms metodes aprobēšanai 120% no plānotā)	Daļa 2022. gadā plānoto mērījumu izpildīta 2021. gadā, tas saistīts ar labvēlīgiem laikapstākļiem un atbilstošu objektu atlasī, izstrādes plānošanu.
	Enerģētiskās koksnes kaudžu tilpuma noteikšanas metodika.	Izpildīts atbilstoši plānam (ievākto datu apjoms 130% no plānotā)	Uzsākta datu ievākšana un monitorings; faktiskais darba apjoms izrādījās lielāks nekā sākotnēji plānots
	Pētījuma 2021. gada rezultātu apraksts etapa pārskatā.	Izpildīts atbilstoši plānam	-
2.	Pētījuma 2021. gada rezultātu apraksts etapa pārskatā.	Izpildīts atbilstoši plānam	Izstrādātā metodika papildus aprobēta koksnes biokurināmā pievešanā.
3.	Procedūra šķeldu paraugu ievākšanai un analīzēm kontrolmērījumiem.	Izpildīts atbilstoši plānam (ievākto datu apjoms 100% no plānotā)	-
	Sākotnējie vienādojumi šķeldu sablīvēšanās raksturošanai, atkarībā no piegādes attāluma, autovilciena veida un smalcināmā materiāla veida.	Daļēji izpildīts (saņemto datu apjoms 60% no plānotā). Atlikušo datu vākšana un apstrāde, saskaņojot ar pasūtītāju, pārcelta uz 2022. gadu. Neizmantojie resursi pārcelti 1. darba uzdevuma papildus darbu izpildei.	Turpinās datu ievākšana, nobīde no iepriekš apstiprinātā grafika saistīta ar pakalpojuma sniedzēja sniegto datu nepietiekošo apjomu un kvalitāti.
	Pētījuma 2021. gada rezultātu apraksts etapa pārskatā.	Izpildīts atbilstoši plānam	Pilnveidota datu ievākšanas metodika, pieņemts lēmums, ka turpmāk operatori biokurināmā kravas filmēs, būtiski samazinot darba

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

Uzdevuma Nr.	Plānotie nodevumi	Izpilde (%)	Piezīmes
			apjomu un kļūdu veidošanās iespējas.
4.	Pētījuma 2021. gada rezultātu apraksts etapa pārskatā.	Izpildīts atbilstoši plānam	Izstrādātais prototips aprobēts lauku darbos. Risu mērītāju plānots uzstādīt 2022. gada sākumā.
5.	Rekomendācijas programmas pilnveidošanai taksācijas rādītāju noteikšanas precizitātes palielināšanai.	Daļēji izpildīts (sakarā ar mežizstrādes pārceļšanu uz 2022. gadu iegūti 80% no plānotajiem datiem). Darba laika patēriņš lauka darbiem bija 6 reizes lielāks par plānoto sakarā ar lauka darbu metodikas izmaiņām.	Plānotie lauku darbi ir pabeigti atbilstoši plānam, šobrīd nepieciešams izstrādāt projektā atlasītās un uzmērītās audzes; sakarā ar audžu atlases nobīdi, faktiskais darba apjoms lauka darbiem vairākas reizes pārsniedza plānoto. Darba izpildes gaitā, pārceļot mērījumu sezonu, koriģēta metodika (lāzerskenēšanas vietā izmantots roku darbs), kā rezultātā pieauga darba laika patēriņš lauka darbiem.
	Pētījuma 2021. gada rezultātu apraksts etapa pārskatā.	Izpildīts	Atskaitē aprakstītas uzmērītās kontroles audzes.

1. LITERATŪRAS APSKATS UN METODIKA

1.1. Meža biokurināmā ražošanas un piegāžu tehnoloģiju pilnveidošana un aprobācija

Meža biokurināmā ražošanas – audžu pieejamības, plānošanas metožu, izstrādes tehnoloģiju, koksnes uzglabāšanas jautājumi – risināšana uzsākta pētījumu programmas "Meža darbu mašinizācija un biokurināmā pētījumu programma" ietvaros 2016.-2020. gados. Pētījumos noskaidrota kravu lieluma ietekme uz darba ražīgumu pievešanā sliktos un ekstremālos apstākļos, izstrādāts pašizmaksas modelis harvesteram ar Bracke C.16 darba galvu pameža izzāģēšanai un citām mežizstrādes operācijām. Aprobēta darba metode biokurināmā sagatavošanai no mežizstrādes atliekām un uzsākts pētījums biokurināmā sablīvēšanās vienādojumu izstrādāšanai smalcinātās koksnes pārvadājumos autotransportā sadalījumā pa sezonām un autotransporta veidiem, kā arī izstrādāta fotogrammetrijas metode šķeldu kravu uzmērīšanai. Šajā pētījumā turpināts kravu papildījuma monitorings, lai iegūtu pētījumam nepieciešamo datu kopu un izstrādātu kravu sablīvēšanās aprēķinu vienādojumus, ietverot tajos arī mežizstrādes atlieku kaudžu ģeogrāfiskās koordinātes, materiāla uzglabāšanas ilgumu, izejvielas un citus faktorus, tajā skaitā šajā pētījumu programmā izstrādājamās prognožu vienādojumus, kas var palīdzēt precizēt kravu sablīvēšanās rādītājus. Nepieciešami arī kontrolmērījumi atsevišķu kravu mitruma satura un citu parametru noteikšanai.

Ražojot enerģētisko koksni, jāļauj koksnei izzūt dabiskos apstākļos, lai palielinātu no tās iegūstamo šķeldu kvalitāti un siltumspēju. Tomēr pārāk ilgs uzglabāšanas laiks šos raksturlielumus var ietekmēt negatīvi, tādēļ ir izstrādāta un aprobēta metodika mežizstrādes atlieku un citu apauguma novākšanā nozāģētās sīkkoksnes žūšanas un atkārtotas samirkšanas likumsakarību izpētei, izmantojot specializētu konteiner-tipa aprīkojumu ilgstošiem mitruma satura izmaiņu novērojumiem. Ir uzsākta empīrisku datu ieguve par skuju koku un bērza malkas nogriežņu masas un siltumspējas izmaiņām uzglabāšanas periodā, secinot, ka koksnes biomasas, kuras sagatavotas no lapu kokiem un pārsegtas ar mitrumu aizturošu papīru, nodrošina labāku žūšanas procesu salīdzinājumā ar neapklātu materiālu. Datu ieguve turpināma, raksturojot faktorus, kas ietekmē koksnes sadalīšanos un žūšanu, un izstrādājot atbilstošus prognožu vienādojumus, kas ņemtu vērā šo faktoru ietekmi un ļautu modelēt biomasas īpašības jebkurā ražošanas procesa etapā.

Pētījumā "Masas zuduma, kā arī cietā biokurināmā siltumspējas un mitruma satura izmaiņas atkarībā no uzglabāšanas ilguma un citiem faktoriem" uzsākta empīrisku datu ievākšana par skuju koku un bērza apaļo kokmateriālu nogriežņu masas un siltumspējas izmaiņām uzglabāšanas periodā, taču nepieciešams iegūt papildu datus par koksnes biokurināmā vērtības izmaiņu dinamiku, atkarībā no uzglabāšanas termiņa, veida un laikapstākļu ietekmes ilgākā laika posmā un spētu noteikt labāko brīdi šķeldošanai.

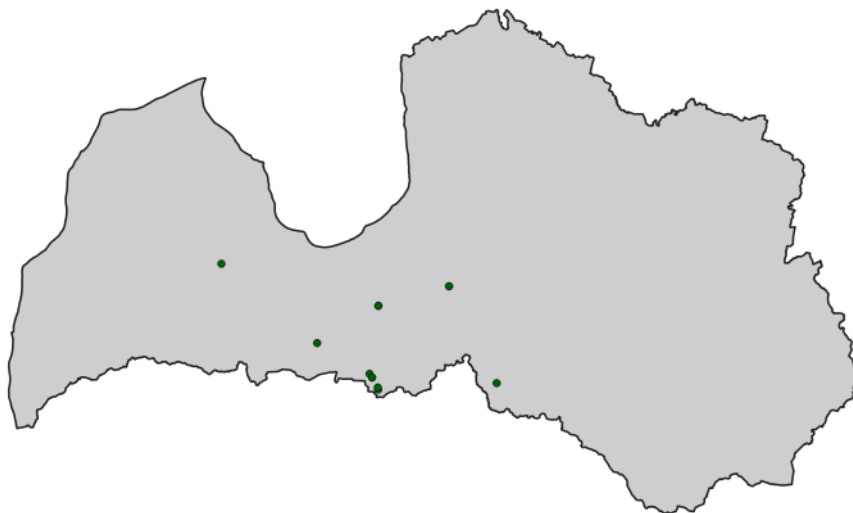
1.1.1. Enerģētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs

Plānotie nodevumi 2021. gadā ir biomasas paraugu ievākšanas metodika, kravu uzskaites, mērīšanas, datu uzkrāšanas un matemātiskās apstrādes procedūras apraksts un enerģētiskās koksnes kaudžu tilpuma noteikšanas metodika.

Pētījuma mērķis ir novērtēt glabāšanas laika un laikapstākļu ietekmi uz krautuvē uzglabātās enerģētiskās koksnes vērtības izmaiņām. Pētījuma ietveros paredzēts izstrādāt prognožu vienādojumus, kas raksturo koku biomasas (lapu koku sīkkoksne, kas iegūta lauksaimniecības zemju un grāvju trašu apauguma novākšanā) uzglabāšanas ilguma augšgala krautuvē ietekmi uz sagatavotā biokurināmā apjomu, siltumspēju un citiem biokurināmā kvalitāti raksturojošiem parametriem.

Pētījuma pirmajā etapā izstrādāta pētījuma metodika, piemeklēti atbilstoši izmēģinājumu objekti un raksturota sagatavotā biomasa.

Pētījuma uzdevuma īstenošanai nepieciešamo empīrisku datu ieguvei AS “Latvijas valsts meži” (LVM) apsaimniekotajās platībās atlasītas 10 cirsmas (att. 1.1 un 1.2), kurās veikta vienlaidu apauguma novākšanas cirte, veicot biokurināmā sagatavošanu. Sešas no izraudzītajām izmēģinājuma platībām atrodas Vidusdaugavas reģiona Bauskas, Ērberģes un Ogres iecirkņos, bet 4 – Zemgales reģiona Misas, Tērvetes un Kandavas iecirkņos. Izmēģinājumu objektu kopējā platība veido 12,6 ha.



Attēls 1.1. Izmēģinājuma objektu telpiskais novietojums

Izmēģināja objekti atlasīti, vadoties no sekojošiem kritērijiem:

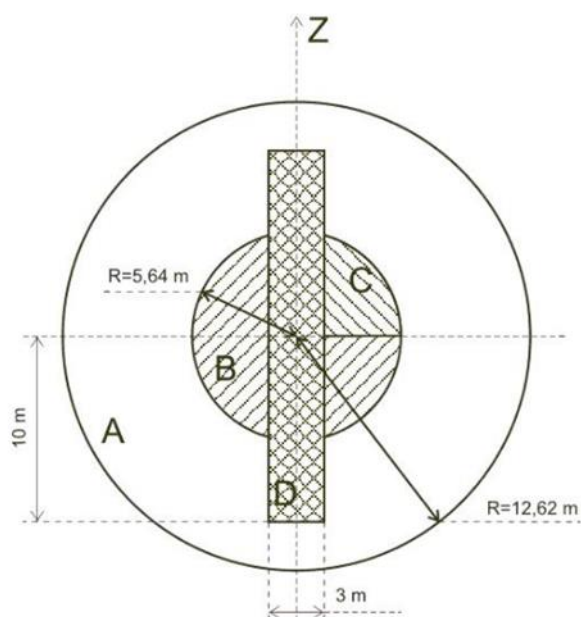
1. prognozējamais biokurināmā iznākums ir vismaz 600 ber. m³;
2. lapu koku audzes (skuju koku piemaisījums nepārsniedz 20%);
3. valdaudzes vidējā koka caurmērs nepārsniedz 12 cm vai arī resnākie koki nozāģēti un pievesti pirms vai pēc sīkkoku biomasas sagatavošanas izmēģinājuma vajadzībām;
4. izmēģinājumiem nepieciešamā biomasu pieejama vienā vai vairākās cirmās ar līdzīgu apauguma raksturojumu un līdzīgiem apstākļiem krautuvēs;
5. augšgala krautuves izmērs ir pietiekoši liels, lai tajā varētu izvietot 8 sīkkoku kaudzes (katrā kaudzē 60-80 ber. m³ šķeldu atbilstošs koksnes daudzums) pētījuma vajadzībām, nodrošinot kaudzēm līdzīgu ekspozīciju attiecībā pret meža sienu, valdošajiem vējiem un reljefu (izmēģinājumos iekļautas 2 cirsmas);
6. augšgala krautuve ir pieejama šķeldotājam un šķeldu vedējam visu gadu (izmēģinājumu gaitu neapgrūtina sezonālie masas ierobežojumi).



Attēls 1.2. Izmēģinājuma objektu konfigurācija

Parauglaukumu ierīkošana

Izmēģinājumiem atlasītajās platības pirms atjaunošanas cirtes, ierīkojot apļveida parauglaukumus (att. 1.3), noteikti taksācijas rādītāji. Apļveida parauglaukums ietver 4 sektorus. Pirmais jeb “A” sektors aptver kopējo parauglaukuma platību (500 m^2 , rādiuss plaknē ir $12,62 \text{ m}$), sektorā uzmēra visus kokus un kritalas (nav iekļautas koku biomasas aprēķinos), kuru caurmērs ir lielāks par $14,0 \text{ cm}$. Otro jeb “B” sektoru veido 100 m^2 liels parauglaukums (rādiuss plaknē ir $5,64 \text{ m}$), kas izvietots apļveida parauglaukuma centrā. Parauglaukumā uzmēra visus kokus un kritalas ar resgaļa caurmēru virs $6,0 \text{ cm}$. Otrā jeb “B” sektora pirmajā ceturtdaļā (izejas pozīcija – ziemeļu virziens) izdala trešo jeb “C” sektoru (25 m^2), kurā uzmēra visus dabiskas izcelsmes kokus un to atvases, kuru krūšaugstuma ($1,3 \text{ m}$ augstumā virs sakņu kakla) caurmērs ir lielāks par $2,0 \text{ cm}$. Pamežu un paaugu uzskaita ceturtajā jeb “D” sektorā, ko veido $3 \times 20 \text{ m}$ liels parauglaukums, kas ierīkots apļveida parauglaukumā un kura vidus asis sakrīt ar apļveida parauglaukuma vidus asīm un parauglaukuma garākā mala vērsta ziemeļu virzienā. Parauglaukumā uzskaita pameža un paaugas kokus, kuru caurmērs ir mazāks par 2 cm .



**Attēls 1.3. Parauglaukuma shēma (Latvijas Valsts mežzinātnes institūta “Silava”, 2013)
Taksācijas rādītāju noteikšana**

Individuālā koka šķērslaukuma noteikšana, izmantojot 1.1 formulu.

$$G_i = \frac{0,785 \times d_i^2}{10000} \quad (1.1)$$

Kur:

G_i – individuālā koka šķērs laukums, $m^2 ha^{-1}$;

d_i^2 – stumbra caurmērs 1,3 m augstumā, cm.

Audzes šķērslaukuma (G) noteikšanai izmantota 1.2 formula.

$$G = \sum G_i \quad (1.2)$$

Audzes vidējā caurmēra aprēķinos (1.3 formula) izmantoti audzes uzmērīšanā iegūtie dati.

$$g_{vid} = \frac{G_i}{N_i} \quad (1.3)$$

Kur:

g_{vid} – audzes vidējais caurmērs, cm;

N_i – audzes koku skaits, gab.

Audzes vidējais kvadrātiskais caurmērs (D_g) aprēķināts, izmantojot 1.4 formulu.

$$D_g = 100 \times \sqrt{\frac{g_{vid}}{0,785}} \quad (1.4)$$

Koka augstumu uzmērīts kā attālumu no sakņu kakla līdz galotnei ar nenoteiktību 0,5 m. Audzes vidējā koka augstums noteikts, vadoties no augstumlīknes, kuras konstruēšanā izmantoti dati, kas iegūti, uzmērot vienu koku katrā caurmēra pakāpē. Gadījumos, kad grūti identificēt vidējo koku konkrētajā caurmēra grupā, uzmērīti 3 koki. Kokaudzes krājas aprēķināšanai izmanto 1.5 formulu (Latvijas Valsts mežzinātnes institūta "Silava", 2013).

$$M = \frac{1}{m} \sum_i v_j \quad (1.5)$$

Kur:

M – audzes krāja, $m^3 ha^{-1}$;

v_j – koka stumbra tilpums, m^3 ;

m – parauglaukuma sektora pārrēķināšanas koeficients.

“A” sektora pārrēķina koeficients ir 0,05, “B” sektora pārrēķina koeficients ir 0,01, bet “C” sektora pārrēķina koeficients ir 0,0025.

Koka stumbra tilpums aprēķināts izmantojot formulu 1.6 un 1.1 tabulā apkopotos koku sugai raksturīgo stumbra tilpuma aprēķina koeficientus.

$$v_j = \psi \times H^\alpha \times d^{\beta \times \lg(H) + \phi} \quad (1.6)$$

Tabula 1.1. Koku sugai raksturīgi stumbra tilpuma aprēķina koeficienti

Koku suga	Ψ	α	β	ϕ
Priede	1,6541*10 ⁻⁴	0,56582	0,25924	1,59689
Egle	2,3106*10 ⁻⁴	0,78193	0,34175	1,18811
Bērzs	0,9090*10 ⁻⁴	0,71677	0,16692	1,75701
Apse	0,5020*10 ⁻⁴	0,92625	0,02221	1,95538
Melnalksnis	0,7950*10 ⁻⁴	0,77095	0,13505	1,80715
Baltalksnis	0,7450*10 ⁻⁴	0,81295	0,06935	1,85346
Ozols	1,3818*10 ⁻⁴	0,56512	0,14732	1,81336
Osis	0,8530*10 ⁻⁴	0,73077	0,06820	1,91124

Teorētiski sagatavojamās biomasas noteikšana, izmantojot taksācijas rādītājus

Zaru un stumbru virszemes biomasas aprēķināšanā izmantots J. Liepiņa (1.7 formula) izstrādātais pakāpēs vienādojuma (Liepiņš u.c., 2017, 2016) un aprēķinos izmantoti 1.2 tabulā apkopotie koku sugai raksturīgie stumbra tilpuma aprēķina koeficienti.

$$B_i = a \times V_i^b \quad (1.7)$$

Kur:

B_i – virszemes biomasas (zari un stubrs), tha^{-1} ;

V_i – koku tilpums, m^3ha^{-1} ;

a, b – koku sugai raksturīgi virszemes biomasas aprēķina koeficienti.

Tabula 1.2. Koku sugai raksturīgi stumbra tilpuma aprēķinu koeficienti

Koku suga	a	b
Priede	0,8836	0,9137
Egle	1,1934	0,8644
Bērzs	0,5630	1,0082
Apse	0,4267	1,0217

Teorētiski sagatavojamās biomasas noteikšana, izmantojot fotogrammetrijas metodi

Teorētiski sagatavojamās biomasas raksturošanai ar fotogrammetrijas metodi izmantota pētījumā “Harvestera produkcijas datu (StanForD2010) izmantošana meža inventarizācijas datu ievākšanai, izmantojot *hprGallring* programmu” izstrādātā metodika, veicot izmēģinājuma platību fotogrammetrisko uzmērīšanu. Fotogrammetriski iegūto koku skaits un augstums salīdzināts ar apļveida parauglaukumos manuāli uzmērītiem kokiem.

Augšgala krautuves vietas priekšizpēte

Izmēģinājumu objektu plānošanas procesā atlasītas platības, kurās var ierīkot augšgala krautuves (nokraušanas laukumus), ar iespēju nokraut vairākas biokurināmā kaudzes (katra kaudze 60-80 ber. m^3 biokurināmā). Nokraušanas laukumu plāno līdz 5 m platu, ar vidējo augstumu 4 m, kas ir saskaņā ar LVM izstrādātajām vadlīnijām (AS "Latvijas valsts meži", 2021). Plānots, ka vienas enerģētiskās koksnes kaudzes garums nepārsniegs 18 m.

Biokurināmā pievešana uz augšgala krautuvi

Sākotnēji izvēlētajos izmēģinājumu objektos veikta mežizstrāde, sagatavojot veselus neatzarotus stumbrus, pēc nepieciešamības paredzot stumbru sagarumošanu vairākos nogriežņos.

Sagatavotos biokurināmā sortimentus pievešanas darbu procesā sver, izmantojot Intermercato greifera svarus XW 50 PS. Ar svariem aprīko forvardera manipulatora sistēmu, ievietojot svarus starp rotatoru un greifera satvērēju. Izmēģinājumos izmantots automātiskais svēršanas režīms, kas paredz, ka svaru sistēma svērumu datus nolasa un saglabā patstāvīgi.

Izmēģinājumu ietvaros svēršanas sistēmai aktivizēts globālās pozicionēšanas signāls, kas tālākā datu apstrādes procesā ļauj precīzi aprēķināt pievestā apjoma izvietojumu.

Izmēģinājuma objektos nokrauto biokurināmā kaudžu uzmērīšanu tilpuma noteikšanai veic, izmantojot vairākas uzmērīšanas metodes:

1. sekciju tipa uzmērīšanu;
2. vidus uzmērīšanu;
3. fotogrammetriju.

Izmantojot sekciju tipa uzmērīšanas metodi, krautuvi sadala sekcijās ik pa 1 m un katrai sekcijai nosaka tās augstumu (att. 1.4).



Attēls 1.4. Sekciju izvietojuma shēma

Krautuves vidējo augstumu aprēķina, izmantojot 1.8 formulu.

$$h_{vid} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 \dots h_n}{n} \quad (1.8)$$

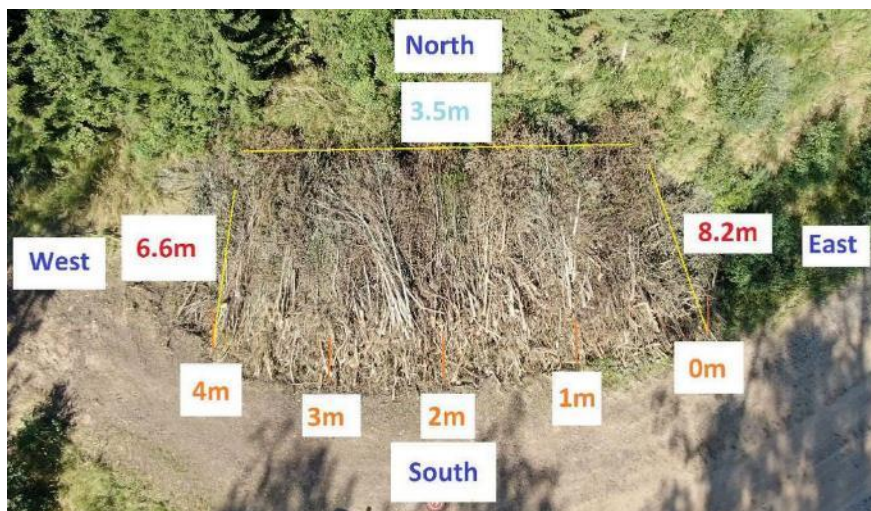
Kur:

h_{vid} – krautuves vidējais augstums, m;

$h_{1,2,3\dots n}$ – krautuves augstuma mērījumi pilno sekciju vidū, m;

n – pilno sekciju skaits, gab.

Vidus uzmērīšanas metode paredz veikt vienu vidēja augstuma mērījumu krautuvē. Krautuves garumu nosaka, veicot mērījumu no kaudzes sākuma (blīvās daļas) līdz kaudzes beigām (blīvās daļas). Krautuves platumu uzmēra no kaudzes sākuma (blīvās daļas) līdz kaudzes beigām (blīvās daļas, att. 1.5).



Attēls 1.5. Mērījumu veikšanas shēma krautuvē

Pievesto biomasas apjomu augšgala krautuvē nosaka uzmērot krautuves ģeometriskos izmērus – augstumu, garumu un platumu (1.9 formula).

$$V = A \times B \times C \times k \quad (1.9)$$

Kur:

V – šķeldu tilpums, ber. m³;

A – krautuves augstums, m;

B – krautuves platums, m;

C – krautuves garums, m;

k – tilpīguma koeficients (atbilstoši krāvuma kvalitātei).

Lai aprēķinātu biomasas **krautuvju tilpumu dinamikā**, kā references dati izmantoti LĢIA lāzerskenēšanas (LiDAR) dati. Izmantojot LiDAR datus, izveidots digitālais reljefa modelis (DEM) ar 0,5 m horizontālo izšķirtspēju. Šāda pieeja DEM iegūšanai izvēlēta tādēļ, ka, izmantojot tikai fotogrammetrijas datus, meža apstākļos nevar iegūt pietiekami daudz zemes atstarojuma punktus.

Krautuvju tilpums aprēķināts, izmantojot fotogrammetriski iegūtu digitālo virsmas modeli (DSM). DSM izveidei nepieciešamie attēli iegūti, izmantojot bezpilota lidaparātu DJI P4 *Multispectral*.

Lai iegūtu vienādas kvalitātes un savstarpēji salīdzināmus rezultātus, aprēķināti vairāki rādītāji, kuri ir atkarīgi no izmantotās kameras parametriem. Izmēģinājumu veikšanai izmantotās kameras izšķirtspēja ir 1600 * 1300 pikseļi (p) un 62,7 grādu skata lauks. Optimālo lidojuma augstumu (h) aprēķina, izmantojot 1.10 formulu:

$$h = \frac{\left(\frac{Pxs \times res}{2}\right)}{\tan\left(\frac{FOV}{2}\right)} \quad (1.10)$$

Kur:

h – lidojuma augstums, m;

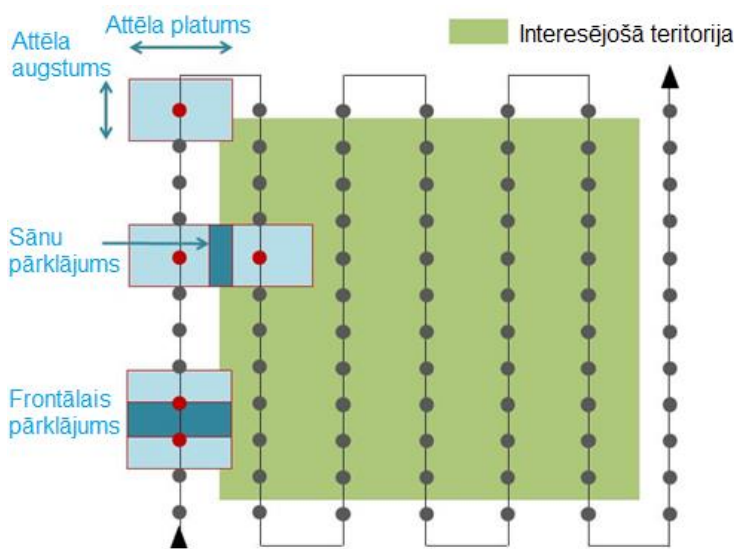
Pxs – izmantotās kameras lielākā vērtība (konkrētā gadījumā 1600), p;

res – plānoto rastra attēlu izšķirtspēja, cm;

FOV – kameras skata lauks.

Plānojot optimālo lidojuma augstumu, jāņem vērā arī dažādu objektu augstums lidojuma teritorijā. Ja aprēķinātais optimālais lidojuma augstums ir tuvs maksimālajam objektu, piemēram, koku augstumam teritorijā, nepieciešams samazināt izšķirtspēju un palielināt lidojuma augstumu.

Būtisks faktors ir attēlu pārklāšanās, kas ļauj labot ar perspektīvu saistītos defektus. Piemēram, *Google Earth* tipa tiešsaistes satelītkartēs nav nekas neparasts redzēt "sagāztas" ēkas. Slīpuma efekts ir redzams visā fotoattēlā, tāpēc attēlu centrs ir vienīgā izmantojamā daļa. Ir nepieciešams fotogrammetriski savienot katra attēla centrālo daļu. Šim nolūkam ir jādefinē pārklāšanās, ko nosaka procentos (att. 1.6). Šajā pētījumā izmantota 90% frontālā un 80% sānu attēlu pārklāšanās.



Attēls 1.6. Lidojuma plānojuma shēma

Lidojuma plānošana veikta UGCS programmā, bet var izmantot arī citas, līdzvērtīgas programmas, kuras ļauj iestatīt iepriekš minētos automātiskas lidojuma vadības parametrus.

Lai fotogrammetrijas programmatūrā uzlabotu datu precizitāti un iegūtu modeļa precīzu telpisku novietojumu, izmantoti arī zemes marķieri, kuru koordinātas iegūtas, izmantojot Trimble augstas precizitātes GNSS uztvērēju.

Iegūto attēlu apstrāde veikta *Agisoft Metashape Pro* programmā, kurā vispirms izveidots punktu mākonis un digitālais virsmas modelis.

Ņemot vērā, ka biokurināmā krautuves veido mežaudzes malā, blakus esošie koki un to zari var veidot dažādus traucējumus fotogrammetriskā punktu mākonī. Šī iemesla dēļ punktu mākonim nepieciešams veikt manuālu kvalitātes kontroli, identificējot un izdzēšot liekos punktus, lai vajadzīgais objekts būtu bez “trokšņa” traucējumiem (att. 1.7).



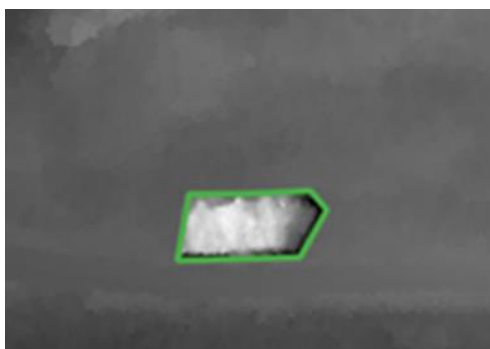
Attēls 1.7. Fotogrammetrisks biokurināmā krautuves punktu mākonis (Dense Cloud)

Izmantojot attīrīto punktu mākonī, izveidots digitālais virsmas modelis (DSM), kura tālākā apstrāde un tilpuma aprēķini veikti QGIS programmā.

Ņemot vērā, ka biokurināmā krautuves veido meža ceļa malā, var veikt DSM kalibrēšanu attiecībā pret references datiem no LiDAR iegūtā DEM. Lielākajā daļā gadījumu kalibrēšana nav nepieciešama, jo DSM piesaiste koordinātām veikta, izmantojot augstas precizitātes ($\pm 1,5$ cm) GNSS uztvērēju.

Krautuves tilpums aprēķināts, izmantojot QGIS rīku *Volume calculation tool*, kurā kā ieejas datus izmanto gan fotogrammetrisko DSM, gan references DEM. Aprēķini veikti balstoties uz tilpuma atšķirībām abos modeļos norādītajā platībā.

Krautuves tilpums aprēķināts, izmantojot QGIS rīku *Volume calculation tool*, kurā kā ieejas datus nepieciešams izmantot gan fotogrammetrisko DSM, gan references DEM. Aprēķini veikti, balstoties uz tilpuma atšķirībām abos modeļos norādītajā platībā (att. 1.8).



Attēls 1.8. Biokurināmā krautuves fotogrammetriskā modeļa piemērs

Paraugu ievākšana

Tūlīt pēc pievešanas, kā arī, apsekojot biokurināmā krautuves un veicot krautuves uzmērījumus, no katras kaudzes ievāc koksnes paraugus laboratoriskajiem mērījumiem. Paraugu ievākšanai izvēlas 6 vietas, no kurām 2 atrodas biokurināmā kaudzes galos, 2 – kaudzes augšā un 2 – kaudzes priekšējā daļā. Koksnes paraugus ievāc tā, lai tie raksturo dažādas koksnes caurmēra grupas. Rūpnieciski sagatavotus šķeldu paraugus ievāc vairākās vietās šķeldu kaudzē.

Biokurināmā paraugu apstrāde laboratorijā

Biokurināmā paraugiem, kas reizi mēnesī ievākti kaudžu monitoringa laikā, laboratoriski nosaka mitruma un pelnu saturu un siltumspēju.

Šķeldu paraugiem, ko ievāc pēc biokurināmā sortimenta šķeldošanas, laboratoriski nosaka koksnes mitrumu, pelnu saturu, siltumspēju un tilpīgumu.

Pētījuma ietvaros paraugu testēšanai laboratorijā pielietotas ISO standartmetodes (tab. 1.3).

Tabula 1.3. Pielietoto metožu saraksts

Nr.p.k.	Parametrs	Mērvienība	Standartmetode	Pielietotā iekārta
1.	Koksnes mitrums	%	LVS EN ISO 18134 - 2:2017	Žāvskapis un analītiskie svāri Sartorius AX224
2.	Pelnu saturs	%	LVS EN ISO 18122:2016	Mufeļkrāsns un analītiskie svāri Sartorius AX224
3.	Siltumspēja	MJ kg ⁻¹	LVS CEN/TS 14918:2005	Kalorimētrs PARR Instrument 6200
4.	Tilpumbūvums	kg m ⁻³	LVS EN ISO 17828:2016	50 L cilindriskas formas tvertne un tehniskie svāri

Koksnes mitruma noteikšanai no biokurināmā kaudzēm iegūtos un laboratorijas apstākļos smalcinātos koksnes paraugus, kā arī rūpnieciski smalcinātos (šķeldotos) koksnes paraugus žāvē atmosfērā 105°C temperatūrā līdz nemainīgai masai, mitruma procentuālo saturu aprēķina atbilstoši paraugu masas zudumiem.

Nemainīga mitruma saglabāšanai paraugus uzglabā ledusskapī hermētiskā iepakojumā; dabiski mitru paraugu masu nosaka pēc iespējas ātrāk parauga ievākšanas, lai maksimāli izslēgtu žūšanas radītu masas zudumu iespējamību.

Ar tehniskajiem svāriem nosaka dabiski mitra parauga masu (m_{mitrs} – bez konteineru un informatīvās lapiņas). Paraugu žāvē 105°C temperatūrā līdz nemainīgai masai, ieteicamais žāvēšanas laiks – līdz 3 dienas atbilstoši parauga lielumam. Absolūti sausu masu (m_{sauss} – bez konteineru un informatīvās lapiņas) nosaka uzreiz pēc paraugu izņemšanas no žāvskapja, lai izslēgtu gaisa mitruma piesaistīšanu. Koksnes parauga relatīvo mitrumu aprēķina, izmantojot 1.11 formulu.

$$W_0 = \frac{m_{mitrs} - m_{sauss}}{m_{mitrs}} \times 100\% \quad (1.11)$$

Kur:

W_0 – koksnes relatīvais mitrums, %

m_{mitrs} – dabiski mitras koksnes masa, g;

m_{sauss} – absolūti sausas koksnes masa, g.

Pelnu satura noteikšanai no biomasas kaudzēm iegūtos un laboratorijas apstākļos smalcinātos koksnes paraugus, kā arī rūpnieciski smalcinātus (šķeldotus) koksnes paraugus pārpelno mufelkrāsnī 550°C temperatūrā, atbilstoši mufelkrāsns ražotāja instrukcijām.

Analīzei izmanto gaissausu samaltu koksnes materiāla paraugu. Analizējamo paraugu (1-5 g) ieber porcelāna tīģelī un nosver uz analītiskajiem svāriem ar precizitāti 0,0001 g. Porcelāna tīģeļus karsē mufelkrāsnī 550°C temperatūrā līdz visas paraugā esošās organiskās vielas ir pārpelnojušās (vidēji 4 h) atbilstoši mufelkrāsns ražotāja instrukcijām un izstrādātajām programmām. Tīģeļus ar pārpelnoto paraugu atdzesē līdz istabas temperatūrai un nosver uz analītiskajiem svāriem ar precizitāti ± 0,0001 g. Pelnu saturu (P, %) analizējamajā paraugā aprēķina, izmantojot 1.12 formulu.

$$P_{\%} = \frac{a \times 100}{b} \times K_m \quad (1.12)$$

Kur:

a – pelnu masa, g;

b – gaissausa parauga iesvars, g;

100 – pārrēķinu koeficients;

K_m – mitruma koeficients.

Lai pārrēķinātu pelnu saturu uz organisko vielu, sastāvā esošo oglekļa saturu (*C_{org.}*, %), izmanto 1.13 formulu.

$$C_{org.,\%} = (100 - P) \times 0,579 \quad (1.13)$$

Kur:

P – pelnu saturs, %;

100 – pārrēķinu koeficients;

0,579 – koeficients pārrēķinam uz organisko vielu sastāvā esošo oglekli.

Koksnes siltumspējas noteikšanā no biomasas kaudzēm iegūtos un laboratorijas apstākļos smalcinātiem koksnes paraugiem, kā arī rūpnieciski smalcinātiem (šķeldotiem) koksnes paraugiem izmanto kalorimetru.

Koksnes biokurināmā bruto siltumspējas noteikšanai paraugus sadedzina augsta spiediena konstanta tilpuma skābekļa bumbas kalorimetrā. Kalorimetra kalibrēšanu veic eksperimentos, sadedzinot sertificēta oksidācijas siltuma benzoscābi, noskaidrojot tā efektīvo siltumietilpību. Skābekļa bumbai sākotnēji pievieno ūdeni, lai pirms sadedzināšanas iegūtu tvaika piesātinājumu, tādējādi sadedzināšanas procesā no paraugā esošā ūdeņraža un mitruma radušos ūdeni ļaujot interpretēt kā šķīdru ūdeni.

Testējamā parauga bruto siltumspēju aprēķina, ņemot vērā kalibrēšanas procesā novērtēto kalorimetra siltumspēju un temperatūras izmaiņu testējamā parauga sadedzināšanas ietekmē, veicot aizdedzināšanas enerģijas, degļa un termālo blakusproduktu (slāpekļskābes un sērskābes) rašanās korekciju.

Metode piemērota paraugiem ar masu no 0,6 līdz 1,2 g un maksimālo atbrīvoto enerģiju 8000 cal. Cietu paraugu testēšana veicama smalka maluma presētā veidā, parauga granulas izveidošanai izmantojot granulu presi. Parauga mitruma saturam nevajadzētu pārsniegt 20%. Precīzu

pieļaujamo mitruma saturu nosaka, veicot testēšanas izmēģinājumus. Pirms testēšanas kalorimetrā cietus paraugus samal līdz smalkam pulverim un saspiež, izmantojot granulu presi.

Lai nodrošinātu iegūto rezultātu ticamību, pirms katras parauga apstrādes jāveic sistēmas kalibrēšanas procedūra. Instruments darbojas optimāli, ja enerģijas daudzums (J), kas nepieciešams, lai izmainītu temperatūras rādījumu par 1 °C, novirze nav lielāka par 14 J no vidējās vērtības. Ja pēc testēšanas konstatē nepilnīgu parauga sadegšanu, iegūtie rezultāti nav izmantojami un testēšana ir jāatkārto. Ja sēra koncentrācija paraugā pārsniedz 0,1%, jāveic sēra korekcijas procedūra atbilstoši ražotāja norādījumiem. Ūdens temperatūrai spainī (*Bucket temperature*) jābūt par 3-5 °C zemākai par instrumenta temperatūru (*Jacket temperature*).

Instruments veic automātisku bruto siltumspējas aprēķināšanu, rezultātu korekcijā piemērojot instrumenta ražotāja norādītos korekcijas koeficientus.

$$H_c = \frac{WT - e1 - e2 - e3}{m} \quad (1.14)$$

Kur:

H_c – bruto siltumspēja, MJkg⁻¹;

T – novērotais temperatūras kāpums;

w – kalorimetra efektīvā siltumietilpība;

e1 – slāpekļskābi veidojošā sadedzināšanas tvertnē ieslēgtā gaisa lāpekļa sadegšanas siltums;

e2 – sēra dioksīda, ūdens un slāpekļa reakcijā veidotās slāpekļskābes radītais siltums;

e3 – degļa radītais siltums;

m – parauga masa, g.

Tilpumbūvuma noteikšanā no biomasas kaudzēm iegūtajiem, rūpnieciski smalcinātajiem (šķeldotajiem) koksnes paraugiem, parauga masu attiecina pret mērīšanas tvertnes tilpumu, ņemot vērā parauga mitrumu.

Parauga tilpuma noteikšanai izmanto pret mitrumu un deformācijām izturīgu cilindriskas formas tvertni ar tilpumu 50±1 L un augstuma – diametra attiecību – 1,25 līdz 1,5. Parauga masu nosaka, izmantojot tehniskos svarus ar mērījumu precizitāti 10 g.

Cilindrisko tvertni pilnībā piepilda ar testējamo paraugu ar pēc iespējas augstu konisku uzbērumu 200 līdz 300 mm virs cilindra tvertnes augšas. Tvertni divas reizes noņem no 150 mm augstuma uz koka plātnes. Plātnei jābūt stabili novietotai horizontāli ciešā kontaktā ar cietu grīdu. Uzpilda tvertni ar paraugu un ar lineālu novāc paraugu, kas atrodas virs cilindra. Nosver tvertni ar paraugu. Tvertnē esošo paraugu apvieno ar mērījumā neizmanto to parauga daļu un procedūru atkārtoto lai iegūtu 2. svēruma atkārtojumu. Nosaka parauga mitrumu atbilstoši standartmetodei LVS EN ISO 18134 - 2:2017.

Šķeldu tilpuma blīvumu aprēķina izmantojot 1.15 formulu.

$$BD_b = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (1.15)$$

Kur:

BD_b – šķeldu parauga blīvums, kgm^{-3} ;
 m_2 – parauga un tvertnes masas summa, kg ;
 m_1 – tvertnes masa, kg ;
 V – tvertnes tilpums, m^3 .

Šķeldu vedēju svēršana izvedamā biokurināmā apjoma noteikšanai

Izmēģinājuma ietvaros veikta rūpnieciski sagatavoto šķeldu apjoma noteikšana, veicot šķeldu vedēja svēršanu. Svēršanā izmantoti CAS ražotāja sviri RW-15P, kuru svaru platformas izvietotas uz izvešanas ceļa, ko izmanto šķeldu vedējs.

1.1.2. Forvardera greifera sviri koksnes biokurināmā apjoma noteikšanai

Pētījuma mērķis ir izstrādāt vienādojumu pievestās koksnes biokurināmā pārrēķiniem uz tilpuma mērvienību.

Pētījuma rezultātā plānots izveidot modeli krautuvē pievestās biomasas konvertēšanai šķeldu tilpuma mērvienībās (ber. m^3). Izstrādājamā metode paredzēta mežizstrādes atlieku, neatzarotas sīkkoksnes un citāda veida meža biokurināmā sagatavošanai paredzētās biomasas uzskaites uzlabošanai. Pētījuma ietvaros turpinās padziļināta izpēte greifera svaru pielietošanas metodes izstrādāšanai, optimizācijai un nenoteiktības raksturošanai. Turpmākajos etapos plānots monitorings ražošanas apstākļos izstrādātās metodes aprobācijai un iespējamo trūkumu novēršanai. Mitruma satura raksturošanai pievedamajā materiālā izmantosim darbībā “Energētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs” izstrādātos vienādojumus mežizstrādes atlieku žūšanas atkarībā no laikapstākļiem raksturošanai.

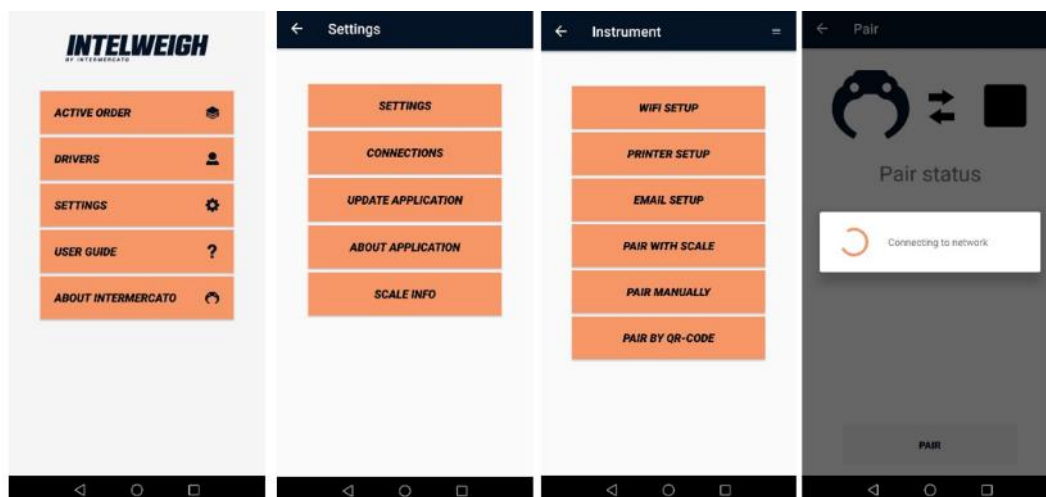
Svēršanas sistēmas uzstādīšana plānota 2021. gada beigās vai 2022. gada sākumā (ne vēlāk kā martā).

Biokurināmā svēršana

Biokurināmā sortimentus pievešanas darbu procesā sver, izmantojot *Intermercato* greifera svarus XW 50 PS ar mērījumu precizitāti $\pm 2\%$. Ar svariem aprīko forvardera manipulatora sistēmu, izvietojot svarus starp rotatoru un greifera satvērēju. Svaru sistēmai plānos uzstādīt pusautomātisko vai automātisko darba režīmu.

Svaru sistēmai, kas sastāv no datu uzkrāšanas ierīces, jābūt pieslēgtai pie patstāvīgas strāvas ar spriegumu ~ 24 V. Pēc sistēmas pieslēgšanas var veikt svaru aktivizēšanu (att. 1.9):

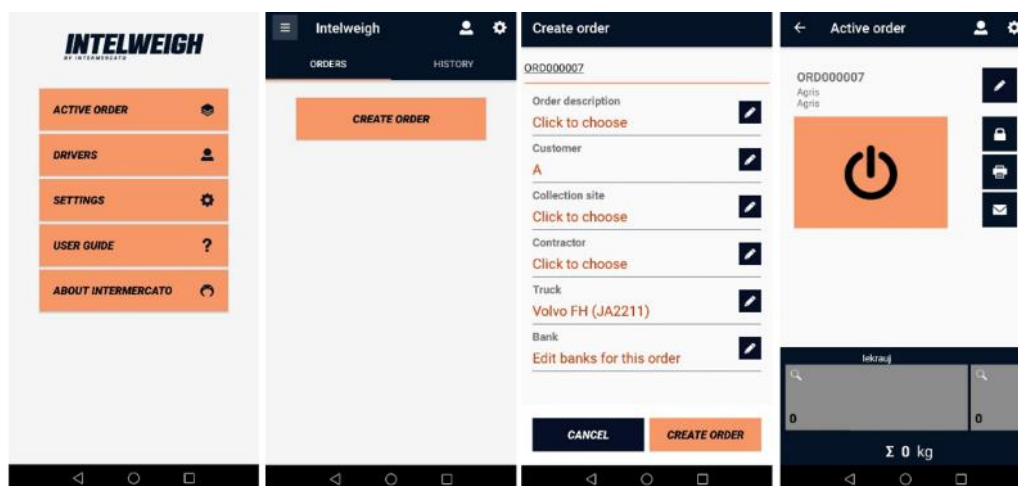
1. aplikāciju “INTELWEIGHT” – “SETINGS”- “CONNECTIONS” – “PARI WITH SCALE” atvēršana;
2. izvēlnes “PAIR” aktivizēšana atvērtās aplikācijas apakšējā malā (sākas laika atskaite);
3. akumulatora baterijas ievietošana/nomainīta svaros, kam seko ID identifikācijas numura parādīšanās zem uzraksta “Pair status”.



Attēls 1.9. Svēršanas sistēmas iestatījumi

Pēc svaru aktivizēšanas, operatoram nepieciešams izveidot svēršanas programmu (att. 1.10):

1. aplikāciju “INTELWEIGHT” – “ACTIVE ORDER” – CREATE ORDER” atvēršana;
2. cirmsmas ID (kvartāla apgabals - kvartāls – nogabals) ievadīšana;
3. “CREAT ORDER” nospiešana pēc programmas sagatavošanas;
4. “Ieslēgšanas /izslēgšanas” pogas nospiešana, lai aktivizētu sagatavoto programmu.



Attēls 1.10. Svēršanas programmas izveide

Pieviedot dažādus koksnes biokurināmā veidus, kā arī atsevišķi izdalot iekraušanu un izkraušanu, uz plaukstdatora displeja ir jāizvēlas atbilstošā materiāla kategorija. Pētījuma vajadzībām svēršanas sistēmai aktivizē globālās pozicionēšanas signālu, lai tālākā datu apstrādes procesā varētu precīzāk aprēķināt pievestā apjoma sadalījumu.

Ražošanas apstākļos meža mašīnu operators datu ievākšanas procesā izmantos automātisko svēršanas funkciju, kas nodrošinās datu nepārtrauktību. Savukārt, lai precīzi varētu novērtēt automātiskās svēršanas precizitāti, atsevišķās cirmās koksnes biokurināmā svēršanu plānots veikt rokas režīmā, kas nozīmē katrs greifera satvertais koksnes apjoms tiek fiksēts atsevišķi.

Iegūtos datus plānots sadalīt pa tehnoloģiskajām brauktuvēm, tādējādi iegūstot informāciju par to, vai biokurināmais ir pievests no visas cirmsmas vai tikai tās daļas, kā arī precīzi aprēķināt tehnoloģisko brauktuvju stiprināšanai patērēto apjomu.

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

Iegūto datu atlasī plānots veikt QGIS programmā, izmantojot analīzes rīkus, punktu sadalīšanu plānots veikt manuāli.

Izmantojot informāciju par pievedamā materiāla atrašanās vietu (att. 1.11), var aprēķināt katra brauciena garumu. Balstoties uz laika zīmogu, var noteikt braucienam un kopējam nobraukumam patērēto laiku.

ID	SessionNr	Totalweigh	RowNumber	Driver	Time	Bank1	Latitude	Longitude	Elevation	Cirsmā	Objekts	TK	
1	2366336	2cirsmā2	639160.0kg	1	Intermercato Driver	10/18/21 12:36:48	450kg	56.36508111999...	24.05861788000...	58.920856780000001	1	2	1
2	2366336	2cirsmā2	639160.0kg	2	Intermercato Driver	10/18/21 12:37:15	590kg	56.36506310000...	24.05859212000...	59.209168480000002	1	2	1
3	2366336	2cirsmā2	639160.0kg	3	Intermercato Driver	10/18/21 12:37:38	400kg	56.36510998000...	24.05855014999...	60.377896360000001	1	2	1
4	2366336	2cirsmā2	639160.0kg	4	Intermercato Driver	10/18/21 12:38:23	520kg	56.36510732000...	24.05855508999...	60.796615230000000	1	2	1
5	2366336	2cirsmā2	639160.0kg	5	Intermercato Driver	10/18/21 12:39:25	270kg	56.36513572999...	24.05846606999...	56.860853859999999	1	2	1
6	2366336	2cirsmā2	639160.0kg	6	Intermercato Driver	10/18/21 12:39:53	440kg	56.36513249000...	24.05853511999...	55.609497560000001	1	2	1
7	2366336	2cirsmā2	639160.0kg	7	Intermercato Driver	10/18/21 12:40:23	620kg	56.36517639000...	24.05847122000...	55.582388350000002	1	2	1
8	2366336	2cirsmā2	639160.0kg	8	Intermercato Driver	10/18/21 12:40:52	540kg	56.36517194000...	24.05851724000...	56.139401810000003	1	2	1
9	2366336	2cirsmā2	639160.0kg	9	Intermercato Driver	10/18/21 12:41:11	500kg	56.36519510000...	24.05854321000...	58.186087520000001	1	2	1
10	2366336	2cirsmā2	639160.0kg	10	Intermercato Driver	10/18/21 12:41:39	290kg	56.36520552000...	24.05861056999...	58.652251100000001	1	2	1

Attēls 1.11. Ekrānšāviņš no svaru sistēmas¹.

$$L = ACOS\left(\sin\left(Lat * \frac{\pi}{180}\right) * \sin\left(Lat * \frac{\pi}{180}\right) + \cos\left(Lat * \frac{\pi}{180}\right) * \cos\left(Lat * \frac{\pi}{180}\right) * \cos\left(Lon * \frac{\pi}{180} - Lon * \frac{\pi}{180}\right)\right) * 637100 \quad (1.16)$$

Kur:

L – nobrauktais garums, *m*;
Lat – ģeogrāfiskais platumš;
Lon – ģeogrāfiskais garums.

Pievestā apjoma precizitātes izvērtēšanai papildus manuāli uzmērītas pievestā biokurināmā kaudzes.

Nepieciešamais LVM atbalsts 2022. gadā – greifera svaru izmēģinājumiem jānodrošina ilgstošu pievesto kravu svēršanas monitoringu ražošanas apstākļos vismaz 2 mašīnām, izmantojot LVMI Silava izstrādāto metodiku un tehnisko risinājumus. LVMI Silava rīcība ir 1 svaru komplekts, bet plānoto otru svaru komplektu nodrošina LVM (SIA INTRAC rīcībā esošais svaru komplekts). Pētījuma rezultātus turpmākajos etapos sasaistīsim ar izmēģinājumiem, kuros vērtēta laikapstākļu un citu faktoru ietekme uz šķeldu siltumspējas un mitruma satura izmaiņām.

1.1.3. Šķeldu kravu piepildījuma izmaiņu monitorings un vienādojumu izstrādāšana kravu piepildījuma samazināšanās prognozēšanai

Pētījuma 2021. gada plānotie nodevumi ir procedūra šķeldu paraugu ievākšanai un analīzēm; sākotnējie vienādojumi šķeldu sablīvēšanās raksturošanai, atkarībā no piegādes attāluma, autovilciena veida un smalcināmā materiāla veida; kā arī pētījuma 2021. gada rezultātu apraksts etapa pārskatā.

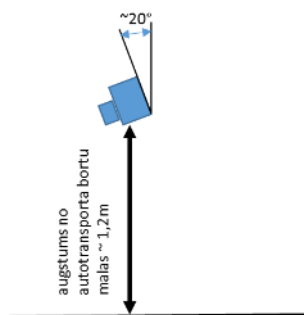
Pētījuma mērķis ir noteikt sablīvēšanās koeficientu smalcinātas koksnes pārvadājumos autotransportam sadalījumā pa sezonām un autotransporta veidiem.

2021. gadā veikta metodikas pilnveidošana šķeldu kravu sablīvēšanās raksturošanai, atkarībā no šķeldojamā materiāla, attāluma un ceļa seguma, kas saistīta ar iegūstamo datu piemērotību tālākai datu apstrādei. Līdzšinējā metode paredzēja kravas fotografēšanu, kas aizņēma līdz 15 min. kravai, un gadījumos, kad fotoattēli nebija pareizi uzņemti (pareizai leņķis) vai nekvalitatīvi (miglaini),

¹ Id – identifikācija, SessionNr – Cirsmas nosaukums, Totalweight – kopējais uzkrātais svars, RowNumber – uzskaites darbības ar greifera satvērēju, Driver – vadītāja identifikācija, Time – laika zīmogs, Bank1 – nosvērtais apjoms, Latitude, Longitude – svēršanas vietas uzņemtās koordinātes, Elevation – aprēķinots netiek izmantots, Cirsmā – cirsmas identifikācija (manuāli), Objekts – svēršanas vietas atšifrējums (cirsmā -1, AGK -2, tehnoloģiskās brauktuves stiprināšana -3), TK –brauciena/kravas numurs.

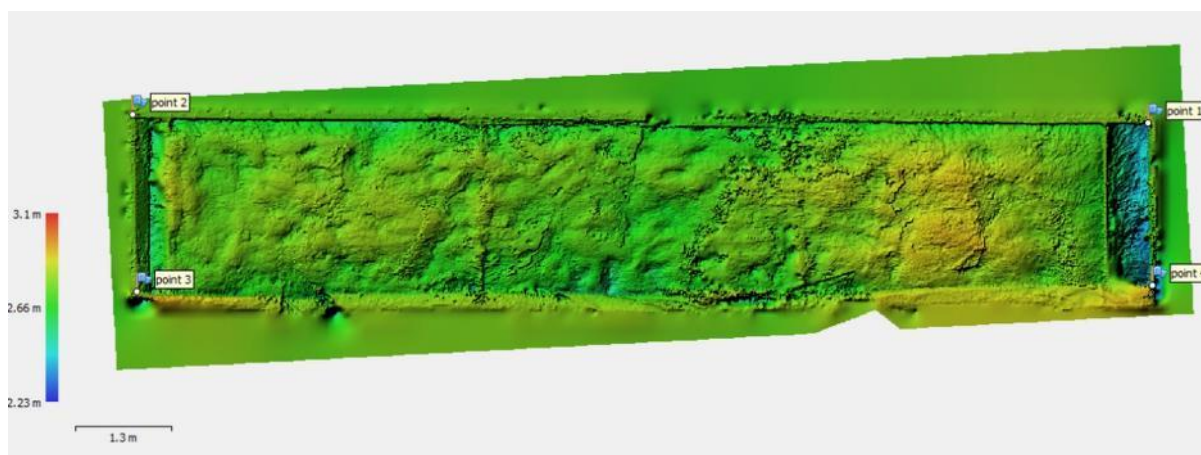
tālāka datu apstrāde nebija iespējama. Šobrīd pilnveidotā lauku darbu metodika paredz sagatavošanās darbus:

1. pēc smalcinātās koksnes piepūšanas autotransporta sastāvā, tas jāpārviesto vismaz 30 m attālumā no darba zonas, lai veiktu tālākās darbības – līdzināšanu, kravas tilpnes malu tīrīšanu, kā arī filmēšanu;
2. pēc materiāla nolīdzināšanas un **kravas tilpnes bortu** (malu) **attīrīšanas** (īpašu uzmanību pievēršot stūriem) var uzsākt filmēšanu;
3. pirms kravas filmēšanas jāfiksē pavadzīme;
4. kravas tilpnes filmēšana uzsākama no tuvākā stūra pārvietojoties gar sānu bortu līdz kravas tilpnes aizmugurei, tad jāpārvietojas gar kravas tilpnes aizmuguri un jāvirzās gar otru malu uz kravas tilpnes sākumu;
5. filmēšanas laikā kamera jātur vienā augstumā un leņķī (att. 1.12), tādējādi nodrošinot pietiekamu attēlu pārsegšanos;



Attēls 1.12. Iekārtas pozīcija

6. filmēšanas laikā svarīgi, lai pēc iespējas vairāk būtu redzamas abas kravas tilpnes malas. Tas nodrošina nepieciešamo attēlu kvalitāti, lai tālākā apstrādes procesā varētu izveidot virsmas kravas tilpnes modeli (att. 1.13), un veikt tālākos aprēķinus.



Attēls 1.13. Šķeldu kravas telpiskais modelis pēc datu apstrādes

Tālākai datu apstrādei informāciju papildina ar sekojošu informāciju:

1. krautuves identifikācija;
2. piegādes vieta;
3. piekaves veids (puspiekabe vai konteinera vedējs);

4. nobrauktais attālums, km;
5. kravas tilpnes tilpums AGK, m³;
6. kravas tilpnes tilpums LGK, m³;
7. kravas tilpnes gabarītmēri (garums, platums un augstums), m;
8. LGK uzmērītais apjoms, ber.m³;
9. tilpuma koeficients, %;
10. patērētāja fiksētā siltumspēja, MWh;
11. patērētāja fiksētā masa, t;
12. šķeldu relatīvais mitrums, %;
13. pelnu saturs, %.

Papildus notiek paraugu ievākšana, lai noteiktu sagatavotā šķeldu siltumspēju, relatīvo mitrumu un pelnu saturu. Pētījumā plānotais iegūstamo datu apjoms apkopots atspoguļots tab. 1.4.

Tabula 1.4. Pētījumā plānotais apjoms sadalījumā pa sezonām

Sezona	Mēneši	Ciršanas atliekas		Infrastrukturā objekti (meliorācijas grāvji)		Kopā
		autotransporta sadalījums				
		puspiekabe	konteineru vedējs	puspiekabe	konteineru vedējs	
Ziema	Decembris, Janvāris, Februāris	18	4	18	4	44
Pavasaris	Marts, Aprīlis, Maijs	18	4	18	4	44
Vasara	Jūnijs, Jūlijs, Augusts	18	4	18	4	44
Rudens	Septembris, Oktobris, Novembris	18	4	18	4	44
Kopā:						176

Vienādojuma izstrāde, lai raksturotu šķeldu sablīvēšanos, to transportējot ar autotransportu, veikta, izmantojot – daudzfaktoru regresijas analīzi, paraugkoku salīdzināšanai izmantots *T-tests*.

1.2. Meža tehnikas monitoringa sistēmu un datu automatizācijas apstrādes instrumentu pilnveidošana un ieviešana ražošanā

1.2.1. Forvardera atstāto risu mērīšanas iekārtas izstrāde

Pētījuma mērķis ir samazināt darba apjomu un mazināt cilvēcisko faktoru ietekmi, monitorējot un novērtējot mežizstrādes darbu kvalitāti, kopšanas un atjaunošanas cirtēs, kā arī automatizētai datu uzkrāšanai par grunts nestspēju un tehnoloģisko brauktuvju un pievešanas ceļu

izvietojumu, izstrādājot universālu (pielietojamu dažādu ražotāju forvarderos) iekārtu un metodi risu dziļuma mērīšanai.

Pētījuma pirmajā etapā izstrādāta RTK LiDAR sistēma un veikta tās funkcionalitātes pārbaude, kā arī veikta ultraskaņas sensoru sistēmas pilnveidošana un vadības bloka modernizācija, veidojot lietotājam draudzīgu saskarsmi un pārskata formu.

Izvērtējot problēmas, kas apgrūtināja pirmās paaudzes prototipa izmantošanu risu mērīšanai un datu pēcapstrādi, jaunajā prototipā izmantots precīzs GNSS uztvērējs. Pirmās (●) paaudzes vienkāršais GPS uztvērējs nodrošināja ± 5 m precizitāti, bet 2. (●) paaudzes duālais GNSS uztvērējs ar RTK funkcionalitāti nodrošina ± 5 cm precizitāti. Mērījumu datu apstrādes algoritms koriģēs aprēķinu atbilstoši koordināšu mērījumu precizitātei – jo mazāka precizitāte, jo lielāks solis būs risu dziļuma noteikšanai. Pētījumā noteiksim arī robežvērtības nekvalitatīvo datu filtrēšanai. Galvenais faktors, kas ietekmē mērījumu precizitāti, ir satelītu skaits un novietojums. Apsnigušā platībā risu mērīšana, visticamāk, nebūs iespējama, jo nevarēs kvalitatīvi noteikt virsmas “0” līmeni, kā arī signāla atstarošanās pret sniega virsmu dod lielāku izkliedi, kas pasliktina datu precizitāti. Tāpat, kā 1. paaudzes GPS sensors, arī 2. paaudzes sensori ir novietoti uz kabīnes jumta (att. 1.14). Uz kabīnes plānots uzstādīt arī sensorus attāluma mērīšanai.



Attēls 1.14. Pirmās un otrās paaudzes GPS sensori

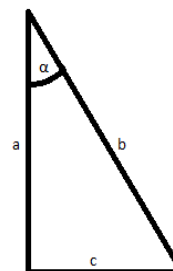
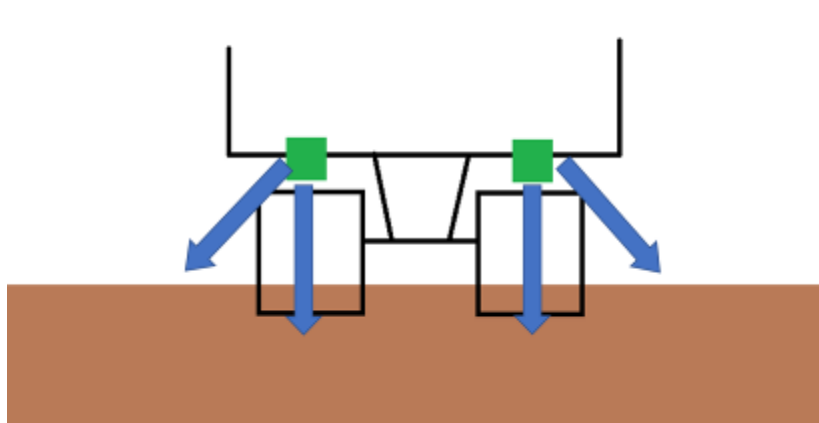
Izmantojot pirmās paaudzes sensorus, risu dziļuma mērījums balstījās uz atstarotā ultraskaņas signāla mērījumiem, nosakot sensoru faktisko atrašanās augstumu pret zemes virsmu (att. 1.15). Pirmās paaudzes sensoru priekšrocības ir:

1. bezvadu savienojums;
2. lēti materiāli;
3. pārbaudīta tehnoloģija (*auto distances sensori*);
4. izturība pret apkārtējās vides ietekmi.

Pirmās paaudzes sensoru trūkumi:

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

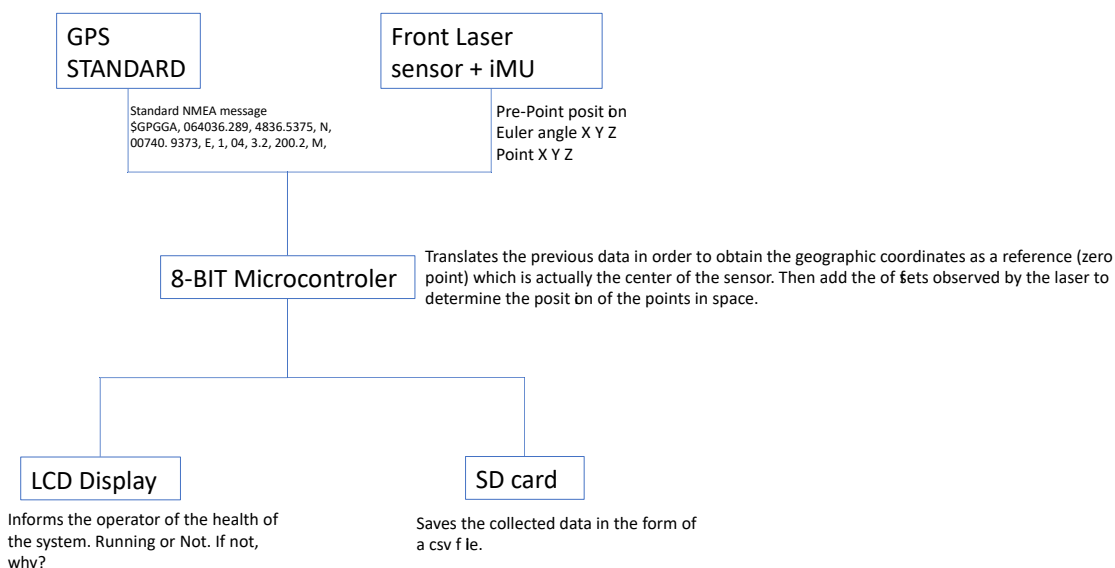
1. mērījumu precizitāti samazina dzinēja troksnis un mašīnas pārvietošanās;
2. baterijas ir regulāri jānomaina;
3. putekļi un netīrumi mazina mērījumu precizitāti;
4. palielinot sensoru stiprināšanas augstumu, būtiski samazinās mērījumu precizitāte;
5. reljefa nevienmērīgums izkļaidē signālu, palielinot rezultātu nenoteiktību.



Risudziļums – $\cos \frac{(\alpha)}{b}$; kur
a – sensora augstums;
b – augstums no zemes;
α – fiksēts leņķis;

Attēls 1.15. Pirmā prototipa mērīšanas princips

Otrās paaudzes sensoru sistēmā ultraskaņas sensori ir aizstāti ar lāzersensorem, kas mēra attālumu, bet GPS uztvērējs aizstāts ar precīzu GNSS uztvērēju ar RTK funkcionalitāti (att. 1.16).



Attēls 1.16. Otrās paaudzes sensoru sistēmas darbības princips

Otrās paaudzes lāzersensoru priekšrocības ir:

1. mērījumu precizitāte un maza staru kūļa izkļaidē;

2. barošana no forvardera elektrosistēmas, kas samazina kļūdu iespēju bateriju defektu gadījumā vai pazeminoties temperatūrai;
3. datu pārraide pa vadiem, samazinot datu zaudēšanas risku.

Otrās paaudzes sensoru trūkumi:

1. jutīgi pret piesārņojumu, jānovieto drošā vietā (iekārtu plānots likt kabīnes augšpusē, attiecīgi, operators varēs novērtēt tās stāvokli arī vizuāli);
2. datu pārraide un barošana no forvardera elektrosistēmas palielina uzstādīšanas un montāžas laiku;
3. jutība pret laika apstākļiem, sensoru precizitāte var būtiski samazināties pazeminātā temperatūrā (atbilstoši ražotāja specifikācijai, pazeminoties temperatūrai zem -5°C iekārta nevar strādāt. Pētījumā noskaidrosim mērījumu kļūdu, strādājot zemā temperatūrā).

Pirmās un otrās paaudzes sensoru sistēmas nav izmantojamas, ja cirsma ir apsnigusi. Joprojām nav pieņemts lēmums par piemērotāko vietu 2 paaudzes sensora novietošanai. Pirmajos izmēģinājumos sensori bija uzstādīti forvardera priekšpusē (att. 1.17). Iegūtie mērījumi neparāda objektīvi faktisko risu dziļumu, kad forvarders ar kravu ir ieģimis un priekšpuse ir pacēlusies uz augšu. Tāpat arī problēmas rada tas, ka operators neredz forvardera priekšpusē novietotos sensorus un tos var viegli sabojāt. Ņemot vērā iepriekšējo pieredzi, sensoru bloku plānots pārvietot uz kabīnes aizmuguri, novietojot to operatoram pārredzamā vietā. Risu dziļuma aprēķināšanas princips saglabāsies tāds pats, kā 1 paaudzes sensoriem – mērot staru kūļa atstarošanās attālumu abpus forvarderam, 0,5-1,0 m attālumā no tehnoloģiskā koridora vai pievešanas ceļa ārējās malas un aprēķinot sensoru atrašanās augstumu attiecībā pret zemi. Šāda pieeja ļauj izmērīt abu risu vidējo dziļumu, kā arī matemātiski aprēķināt katras rises dziļumu, atkarībā no forvardera novietojuma slīpuma. Datu korekcijai būs vienādojums identificēs krasas augstuma izmaiņas brauciena laikā, kā arī starp braucieniem, nodrošinot iespēju “īsas” ieplakas un paugurus izslēgt no aprēķina. Iespējamo kļūdu varēs novērst, izmantojot žiroskopa un otra sensora mērījumus, kas palīdzēs saprast, vai attālums mainījies, ieģimstot forvarderam, vai izmaiņas notikušas, braucot gar kādu šķērslī.

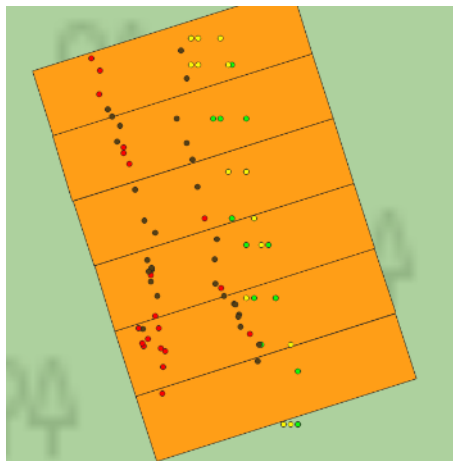


Attēls 1.17. Risu mērīšanas sensoru izvietojums 1. un 2. paaudzes iekārtās

2021. gada otrajā pusē laboratorijas un lauku apstākļos veikta prototipa pārbaude.

Datu apstrāde veikta QGIS, sadalot nogabalu / sleju sektoros ar soli 1 m (soļa garumu var mainīt). Sistēmu būtiskākās atšķirības ir mērījumu skaits un datu kvalitāte. Tas nozīmē, ka pēc veiktiem uzlabojumiem otrās paaudzes iekārtā datus var redzēt tiešsaistes režīmā, nepieciešamības gadījumā tos eksportējot (att. 1.18). Mērījumu skaits atkarīgs no pārvietošanās ātruma (laika vienībā iekārta veic noteiktu mērījumu skaitu, izmēģinājumu laikā vidēji iegūti 2 mērījumi uz 1 m). Mērījumu skaits ir maināms lielums, līdzsvarojot apstrādājamo datu apjomu un precizitāti. Datu apstrādē orientēsimies uz LVM iekšējo noteikumu prasību izpildi risu dziļuma un garuma noteikšanai².

²https://www.lvm.lv/images/lvm/Profesionaliem/Me%C5%BEizstr%C4%81de/Pielikumi/Pievesanas_apstaklu_noteikšanas_vadlinijas_v.03.pdf



Attēls 1.18. 1. un 2. sensoru sistēmas datu piemērs³

1.3. Automatizētas sistēmas izveide meža taksācijas rādītāju noteikšanai un kopšanas ciršu kvalitātes novērtēšanai

1.3.1. Algoritmu pilnveidošana kopšanas ciršu attālinātai kontrolei

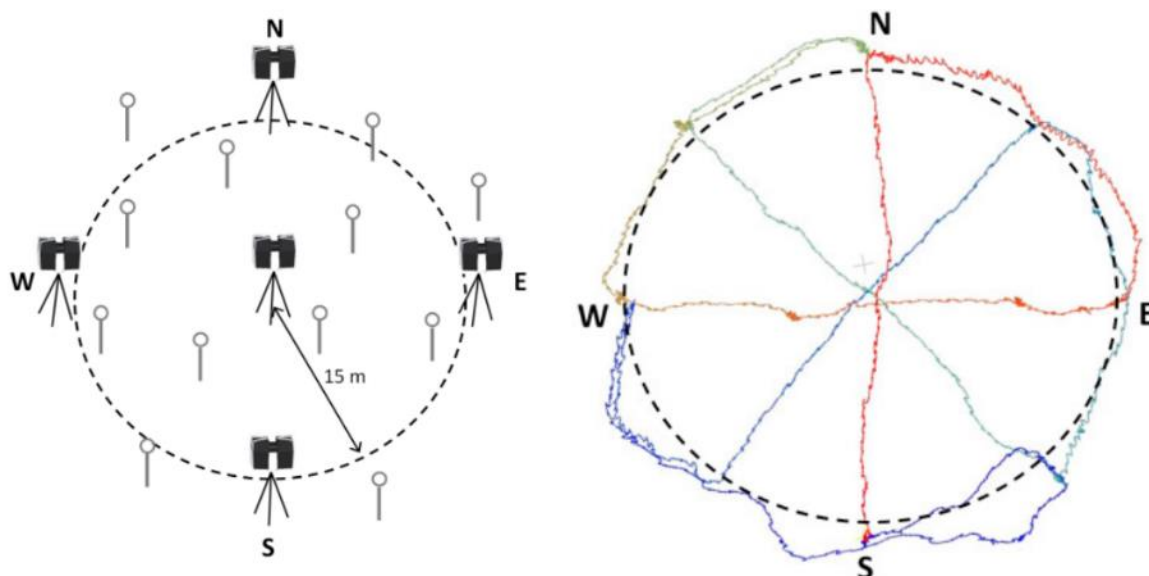
Pētījuma 2021. gada nodevums ir rekomendācijas programmas pilnveidošanai taksācijas rādītāju noteikšanas precizitātes palielināšanai.

Meža inventarizācijas datu aktualizēšanai nozarē meklē arvien jauni risinājumi tai skaitā zemes lāzera skenera izmantošanu, kas ļauj samazināt darbietilpību un paaugstinātu precizitāti. Pētījumos salīdzināti klasiskie uzmērīšanas instrumenti un dažādi skeneri (Bauwens u.c., 2016; Liang u.c., 2016; Maas u.c., 2008). Izmantojot zemes skeneri, var noteikt koka caurmēru un augstumu. 2018. gada pētījumā, kuru īstenoja B. Apostols (Apostol u.c., 2018), salīdzinātas klasiskā metode – dastmērs un augstummērs ar zemes lāzera skeneri. Galvenās atziņas ir saistītas ar uzmērīšanas precizitāti, kas atkarīga no mežaudzes sugu sastāva un biežības. Caurmēra mērījumiem var nodrošināt 2 mm precizitāti. Precizitātes nodrošināšana galvenokārt ir atkarīga no lāzera skenera precizitātes (precizitāti var redzēt ražotāja mājaslapā). Savukārt M. Mokroš (Mokroš u.c., 2021) salīdzina pieejamās jaunākās tehnoloģijas – zemes lāzerskeneri (*Faro Focus s70*), pārnēsājamo skeneri (*GeoSLAM Horizon scanner*), planšeti ar integrētu skeneri (*iPad Pro 2020*) un fotogrammetrijas metodi (*Multi-camera Sony a6300*). Pētījumā galvenās atziņas saistītas ar nepieciešamo mērījumu precizitāti, piemēram, salīdzinot koku caurmēru starp manuālajiem mērījumiem un iekārtu noteiktajiem, augstākā sakritība ($R^2 > 0,90$) ir zemes lāzerskenerim un iPad. Savukārt, ja nepieciešams noteikt koka augstumu, tad piemērotākās iekārtas ir zemes lāzerskeneris un pārnēsājamais skeneris. Ievāktie dati ar pārējām iekārtām ir ar ierobežotu augstumu – apskatītajā pētījumā nedaudz virs 1,3 m. Viena no darbietilpīgākajām darbībām ir tieši datu ievākšana un pirmapstrāde, kas sevī ietver – sagatavošanās darbus, marķieru novietošanu, maršruta plānošanu un pašu skenēšanu. Tālākā datu apstrādē iespējama automatizācija caurmēra noteikšanai. Viens no variantiem ir H. Huang (Huang u.c., 2011) vai C. Cabo (Cabo u.c., 2018) aprakstītā metode. Tiesa gan šajos un līdzīgos pētījumos koka caurmērs aprēķināts 1,3 m no zemes virsmas, kas var radīt sistemātisku kļūdu, īpaši kūdras augsnēs, bet koka augstuma noteikšu tas neietekmē.

Alternatīvs risinājums zemes lāzera skenerim (stacionāram) ir pārvietojams skeneris, tomēr veikto pētījumu nav daudz. S. Bauwens (Bauwens u.c., 2016) savos pētījumos kā vienu no metodes galvenajām priekšrocībām izcēlis salīdzinoši lielāku skenēšanas ātrumu, kas ļauj iegūt lielāku punktu blīvumu un līdz pat 91% pārklājumu, kas ievērojami uzlabo precizitāti un palielina iegūto datu

³ Pirmā sensoru sistēma, sarkanie un melnie punkti, un 2. sensoru sistēma zaļie un dzeltenie punkti. Melnie un dzeltenie norāda uz risēm, kas dziļākas par 7 cm, sarkanie un zaļie – risēs seklākas par 7 cm.

tālākas izmantošanas priekšrocības. Metodes pamatā ir pārnēsājams skeneris (var būt vairāki), ar kuru pārvietojas lokveidā pa cirsmu (att. 1.19). Ja nepieciešams skenēt atsevišķu koka daļu vai daļu no zemes virsmas, var izmantot rokas skeneri (Balenović u.c., 2021).



Attēls 1.19. Shematisks attēls datu ievākšanai (labajā pusē pārnēsājamais skeneris, kreisajā pusē stacionārais zemes skeneris Bauwens u.c., 2016)

Pētījuma īstenošanai taksācijas rādītāju salīdzināšanai izmantoti gan sertificētu taksatoru veikti mērījumi (turpmāk tekstā Meža valsts reģistrs), gan harvesteru dati (turpmāk tekstā – *hprGallring*). Iegūtās datu kopas salīdzinātas ar pētnieku iegūtām datu kopām, datus ievācot lauku darbos un fotogrammetriski. Balstoties uz pētījuma “Harvesteru produkcijas datu (StanforD2010) izmantošana meža inventarizācijas datu ievākšanai, izmantojot *hprGallring* programmu” rezultātiem, labākos rādītājus uzrādīja tieši priežu audzes. Līdz ar to 2021. gadā pētījuma turpinājums balstās tieši uz detalizētāku datu kopas izpēti priežu tīraudzēs ar nebūtisku egles vai citu koku mistrojumu. Kopumā izvērztā mērķu sasniegšanai nepieciešamā datu kopa sadalīta divās daļās, kur katras daļas īstenošanai ir atšķirīga metodika.

Pirmā daļa paredz datu ievākšanu priedes tīraudzēs, kurās mežizstrāde veikta 2021. gadā un taksācijas rādītāji pēc izstrādes aktualizēti ne vēlāk 2021. gada sākumā. Papildu prasības ir saistītas ar mežizstrādes tehniku un datu uzskaiti, harvesteriem jānodrošina atbilstība StanForD2010 prasībām, kā viens no kritērijiem ir mežizstrādes tehnikas iespēja izstrādes laikā fiksēt torņa pagrieziena leņķi. Kopumā no visām 2021. gada pirmajā pusē (līdz aprīlim) izstrādātajām priežu audzēm, pētījumam atlasītas 28 (pieejami Meža valsts reģistra dati, mežizstrādes dati - *.hpr). Atbilstoši aprobētajai metodikai atkārtoti nepieciešams pārmērīt ne mazāk kā 10% no izstrādātajām mežaudzēm. Veicot vienlaidus audzes dastošanu, atkārtoti pārmērītas 5 mežaudzes (“kontrolē pēc izstrādes”). Uzdevuma sasniegšanai datu kopa – mežaudzes, analizētas salīdzinot Meža valsts reģistra datus un *hprGallring* aprēķinātos datus, sniedzot precizitātes izvērtējumu sekojošās pozīcijās:

- vidējā koka augstuma atšķirības (tai skaitā pret tālīzpētes datiem);
- vidējā koka caurmērs, nobīde sadalījumā pa vecumgrupām;
- paliekošās audzes šķērslaukums;
- harvesteru uzmērīšanas precizitātes izvērtējums;
- precizitātes izvērtējums Meža valsts reģistra datiem ar vienlaidus dastošanu.

Analīzei izmantotie dati no programmas *hprGallring*:

- paliekošais audzes šķērslaukums;
- izstrādātais audzes šķērslaukums;
- izzāģētā krāja;
- paliekošā krāja;
- paliekošais vidējā koka caurmērs;
- paliekošais vidējā koka augstums;
- paliekošais koku skaits.

Otrā daļa paredz datu ievākšanu 20 priežu tīraudzēs (tab. 1.5, “Izstrādei paredzētās audzes”), kurām pieejami Meža valsts reģistra aktualizētie dati pirms audzes izstrādes uz 2021. gada janvāri (vai aktuālāki). 10 audzēs nav iepriekš veikta kopšanas cirte, tas nozīmē, ka nav ierīkoti tehnoloģiskie koridori; savukārt, atlikušajās 10 audzēs iepriekšējās kopšanas laikā ierīkoti tehnoloģiskie koridori, kur atstatums starp to centiem ir 20 m. Mežaudzēm nav izteikts reljefs vai sarežģīta cirsma kontūra. Pētījuma mērķu sasniegšanai analizētas atšķirības taksācijas rādītājos – Meža valsts reģistra dati un lauku mērījumu dati (tai skaitā fotogrammetrija):

- harvesteru uzmērīšanas precizitāte – atbilstoši *.ktr failam;
- koka caurmērs virs sakņu kakla – lauku dati, zemes lāzerskenēšanas un stumbra dati (*.stm);
- harvesteru pagrieziena leņķa noteikšana uz tehnoloģiskās brauktuves, kā arī koka izvietojums atbilstoši *hprGallring* aprēķinam, salīdzināts ar zemes lāzerskenera un fotogrammetrijas iegūtiem aprēķiniem;
- taksācijas rādītāju atbilstības izvērtējums pēc kopšanas – Meža valsts reģistrs, laku dati (tai skaitā vienlaidus dastošana) un fotogrammetrija;
- optimālā PL skata modelēšana, lai sasniegtu atbilstību pret individuālo koku dastošanu;
- mērījumu kļūdas nenoteiktība – Meža valsts reģistrs, lauku dati un *hprGallring*.

Mežaudzēs meža īpašnieks ārējo robežu marķēšanu veic atbilstoši nozarē pieņemtajai praksei un izmanto pieņemtos apzīmējumus (AS "Latvijas valsts meži", 2020).

Tabula 1.5. Izmēģinājumu objektu sadalījums

ID	KV. APG.	KV	nogabals	Kontrole pēc izstrādes (pirmā daļa)	Izstrādei paredzētās audzes
105-85-8	105	85	8	x	-
105-85-9	105	85	9	x	-
105-86-6	105	86	6	x	-
109-342-8	109	342	8	x	-
411-360-1	411	360	1	x	-
411-360-2	411	360	2	x	-
411-329-1	411	329	1	-	x

ID	KV. APG.	KV	nogabals	Kontrole pēc izstrādes (pirmā daļa)	Izstrādei paredzētās audzes
411-360-1	411	360	1	-	x
411-360-2	411	360	2	-	x
109-212-11	109	212	11	-	x
109-342-8	109	342	8	-	x
102-310-2	102	310	2	-	x
102-297-10, 11, 12	102	297	10, 11, 12	-	x
102-273-20	102	273	20	-	x
601-450-12	601	450	12	-	x
102-305-11, 17	102	305	11, 17	-	x
102-259-17, 18, 21	102	259	17, 18, 21	-	x
706-18-13	706	18	13	-	x
103-240-6, 7, 8, 9, 10, 13	103	240	6, 7, 8, 9, 10, 13	-	x
102-271-4	102	271	4	-	x
601-360-13	601	360	13	-	x

Meža īpašnieka sniegtie dati paredz galveno taksācijas rādītāju atspoguļošanu visām pētījumā atlasītajām mežaudzēm, kurās ir veikta kopšanas cirte. Mežaudžu raksturošanai pirms kopšanas, aktuālie dati atlasīti atbilstoši kolonnai “*GDB_FROM_DATA*”, atfiltrējot datus, kuri pētījumam nav nepieciešami. Pēc kopšanas aktuālos taksācijas rādītājus atlasa kolonnā “*SURVEYDATE*”, tie nedrīkst būt vecāki par 2020. gada 1. janvāri, bet kontrolmērījumu veikšanai (individuālā koku uzmērīšana), vecāki par 2021. gada 1. janvāri.

Vienlaidus audžu dastošana paredz visu koku individuālu uzmērīšanu. Koku caurmērs uzmērīts 1,3 m augstumā no sakņu kakla, mērījuma vietā ar krāsu uzpūsts punkts. Sakņu kakls – vieta, kur auga sakne pāriet stumbūrā (Broks, 2005). Katram kokam veikti divi, savstarpēji perpendikulāri, mērījumi. Lai noteiktu katras koku sugas vidējo augstumu sadalījumā pa caurmēra pakāpēm, konstruēta augstumlīkne. Līknes konstruēšanai uzmērīts viens vidējais koks noteiktajā caurmēra grupā, ja audzes biežība var ietekmēt koka izvēli, tad caurmēra grupā, kurā var kļūdaini noteikt vidējo koku, kas reprezentē grupu, uzmēra 4 kokus. Koka augstumu uzmēra kā attālumu līdz galotnei ar nenoteiktību 0,5 m. Plānotajās priežu audzēs veicot mērījumus, nepieciešams veikt atzīmi, par sakņu kakla augstumu virs zemes, lai tālākā datu apstrādes procesā varētu identificēt caurmēra nobīdi harvesteru datus. Augstumu nosaka, kā attālumu no zemes virskārtas līdz sakņu kakla sākumam, mērījumu veic ar nenoteiktību 1 cm. Audzes līmenī nosaka kopējo koku skaitu sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.

Parauglaukumu izvietošana izstrādei paredzētās cirsmais plānā, pamatojoties uz kartēm, tas nozīmē, pieņemts, ka tehnoloģisko koridoru izvietojums būs pa garāko cirsmais malu. Vienā cirsma izvietojumā līdz 3 taisnstūrveida parauglaukumus. Parauglaukuma platums 20 m, bet garums vienāds ar cirsmais platumu. Parauglaukumā marķē visus kokus, caurmēru uzmēra 1,3 m no sakņu kala. Lai pēc

izstrādes prognozētu paliekošās audzes taksācijas rādītājus, kā arī varētu salīdzināt ar *hprGallring* aprēķināto. Pēc izstrādes atzīmē nozāģētos kokus, identificējot to atrašanās vietu – atrašanās uz tehnoloģiskā koridora vai audzē.

Zemes lāzerskenēšana paredz vienlaidus mežaudzes skenēšanu 20 priekšu tīraudzēs. Pētījumā lietotā iekārta – *Faro Focus M70* (FARO, 2020). Skenera tehniskie dati un papildu aprīkojums un iestatījumi parādīti tab. 1.6.

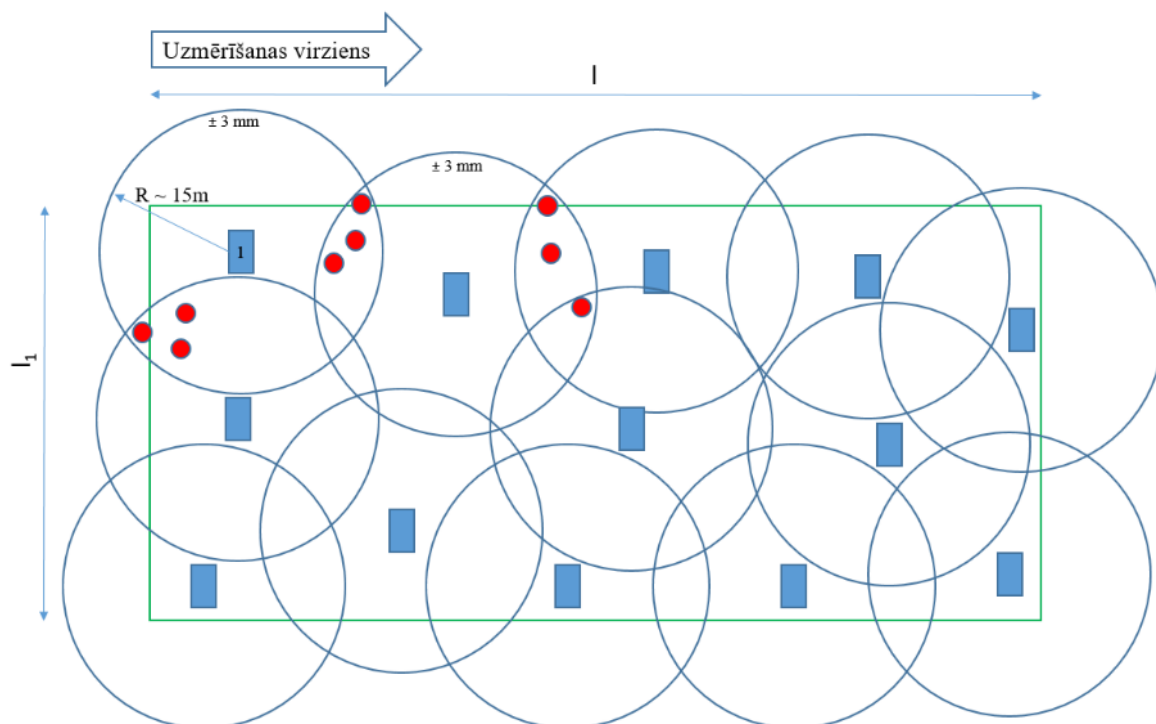
Tabula 1.6. Zemes lāzerskenera iestatījumi

Nr.	Parametrs	Mērvienība
1.	Skenēšanas diapazons	0.6 – 70 m
2.	Izšķirtspēja	43,7 MPts
3.	Kvalitāte	4x
4.	Fotogrāfiju uzņemšanas funkcija	Aktivizēta
5.	Skenēšanas leņķis	360 ⁰
6.	Aktivizēti papildu iestatījumi	Augstummērītājs Kompass Altimetrs GNSS
7.	GNSS atbalsta	GPS un GLONASS
8.	Skenēšanas izmērs	10240 X 4267 Pt
9.	Lāzera klase	1
10.	Viļņa garums	1550 nm
11.	Temperatūra	15 ⁰ – 55 ⁰ C
12.	Sfēras (baltas)	139 mm un 200 mm
13.	Atstarošanas spēja (baltai sfērai)	90%

Pirms darbu veikšanas ar zemes lāzerskeneri jābūt skaidri marķētām ārējās cirsma robežām (AS "Latvijas valsts meži", 2020), kā arī nepieciešams nozāģēt pameža kokus un krūmus, ja tie aizsedz skenējamos kokus. Nepieciešamības gadījumā var marķēt skenera atrašanās vietu, zemē iedzenot koka mietu, kuram ne mazāk kā 1/3 no tā garuma uzpūsta krāsa (vēlams sarkana vai oranža).

Skenera izvietošana un objekta plānošana. Pirms cirsma skenēšanas veic sasaistes punktu izvietošanu. Pirmā skenera stāvvietā jānovieto seši sasaistes punkti – sfēras, no kurām 3 punkti paredzēti, lai savienotu pēdējo staciju ar pirmo staciju (att. 1.20). Punktu izvietošanu veic atbilstoši sfēras diametram, sfēras ar diametru 139 mm novieto no 11 līdz 15 m attālumā (maksimāli pieļaujamais attālums pie izšķirtspējas ¼ - 19 m), bet 200 mm sfēras no 13 līdz 24 m attālumā

(maksimāli pieļaujamais attālums pie izšķirtspējas $\frac{1}{4}$ - 27 m). Savienojuma punkti nepieciešami, lai datu apstrādes procesā varētu savienot skenējumus ar precizitāti ± 3 mm (precizitāte ko nodrošina skenēšana vienā bāzes stacijā FARO, 2020).



Attēls 1.20. Cirsma skenēšanas shēma (taisnstūri – zemes lāzerskenera atrašanās vieta, apli – skenēšanas zona, sarkanie apli – sfēru novietojums, ± 3 mm – uzmērīšanas precizitāte)

Iegūtā punktu mākoņa apstrādei pēc skenēšanas izmanto programmu SCENE 07.6378. Rezultātā iegūst punktu mākonis, kuru eksportē uz *.las formātu.

Iegūtajam punktu mākonim veic tālāko apstrādi FUSION/LDV programmatūrā. Tā kā punktu blīvums visā teritorijā (horizontālajā plaknē) nav vienmērīgs, jāveic papildus filtrācija, norādot vēlamu punktu skaitu uz kvadrātmetru. Rezultātā iegūstams reljefu raksturojošo punktu mākonis ar fiksētu punktu blīvumu uz kvadrātmetru. Jauniegūtais punktu mākonis tālāk izmantojams zemes virsmas modeļa ģenerēšanā.

Lai lāzerskenēšanas datus noteiktu koku caurmēru krūšu augstumā, sākotnējais punktu mākonis normalizējams (lāzerskenēšanas punktiem atņemot Zemes virsmas modeļa augstuma vērtības). Normalizētais punktu mākonis tālāk filtrējams augstuma robežās no 1,25-1,35 m, tādējādi iegūstot punktu mākoņa datus tikai krūšu augstuma zonā, kurā jākoncentrējas koku stumbru punktu informācijai.

No lāzerskenēšanas izgrieztais punktu mākonis tālāk analizējams divās dimensijās. QGIS vidē punkti klāsterojami grupās, kurās tie koncentrējas (koka stumbra apkārtmēru raksturojošie punkti). No grupētajiem punktiem izveidojams poligons, kurš raksturo stumbra šķērslaukumu. Lai noteiktu maksimālo un minimālo stumbra diametru, aprēķināms *Bounding Box*.

Datu ieguve no harvesterā. Produkcijas failā jābūt fiksētām nozāģēto koku koordinātēm (harvesterā atrašanās vieta), kas satur informāciju par harvesterā lokācijas datiem zāģēšanas brīdī, manipulatora pagriezienu leņķim attiecībā pret kustības asi, kā arī, ja iespējams, manipulatora izlīces leņķim. Savukārt, kalibrēšanas failam nepieciešama informācija par tehnikas uzmērīšanas precizitāti, kur projekta pirmās daļas īstenošanai pietiek ar vienu kalibrētu koku dienā (nejaušības principa metode), savukārt otrās daļas realizēšanai nepieciešami 7 kalibrēšanas koki un cirsma (manuālā

principa metode, AS "Latvijas valsts meži", 2019). Pirmā uzdevuma izpildei harvesteru uzmērīšanas precizitāte analizēta, balstoties uz nejaušības principa metodi, kurā sistēma nejauši izvēlas vienu koku, līdz ar to sagatavotais fails atspoguļos mērījuma precizitāti par 7 dienām. Otrā uzdevuma īstenošanai, kur pielietota manuālā principa metode, iegūtie dati būs attiecināmi un izstrādāto cirsma. Atbilstoši šai metodei, nepieciešams pārbaudi veikt 3-4 cirsma raksturīgiem resnās dimensijas kokiem, 1-2 vidējās dimensijas kokiem un 1-2 tievās dimensijas. Harvesteru mērīšanas precizitāte jānodrošina atbilstoši AS "Latvijas valsts meži" prasībām (AS "Latvijas valsts meži", 2019).

Datu ieguve no *hprGallring*. Harvesteram, veicot krājas kopšanas cirti, jā sagatavo StanForD2010 standartam atbilstošs produkcijas fails (*.hpr). Lai iegūtu taksācijas rādītājus, failu apstrādā iepriekš minētā programmā *hprGallring* 4.0.0.5 versijā. Datu apstrādes:

- 1) datu importēšana "open hpr file directly";
- 2) importē nepieciešamo failu ar paplašinājumu *.hpr;
- 3) iegūtos datus eksportē tālāki datu apstrādei sadaļā "Export data", ja nepieciešams:
 - a) analizēt taksācijas un sagatavoto apjomu sadalījumā pa cirsma, pielietojot failu eksportēšanas funkciju "Prognosis data to shape file";
 - b) analizēt koku telpisko novietojumu, pielietojot funkciju "Hpr-file to text file" (papildus atzīmes veic – koku sugai, $D_{1,3}$ m, izstrādes laikam, koordinātēm, pagrieziena leņķim).

Aprēķinot audzes parametrus – augstumu, caurmēru un šķērslaukumu, sākumā datus importē QGIS programmā, kurā pielasa klāt nogabala informāciju no LVM nogabala slāņa par kvartāla apgabalu, kvartālu un nogabalu "Vector general – Join attributes by location". Katram sektoram marķē centru "Vector creation – Centroids" ar pamatinformāciju – augstums, caurmērs un šķērslaukums. Nogabala līmenī veic caurmēra, augstuma un šķērslaukuma aprēķinus "Vector polygon tools – Point statistics for polygons". Tālākā datu apstrādes procesā izveidoto slāni eksportē uz datubāzi un apstrādes procesā klāt pievieno pamatinformāciju no Meža valsts reģistra datiem.

Taksācijas rādītāju aprēķināšana

Viena koka šķērslaukums (G_i):

$$G_i = \frac{3,1416 \times d_i^2}{4 \times 10000} \quad (1.17)$$

Audzes šķērslaukums (G , $m^2 ha^{-1}$):

$$G = \frac{\sum G_i}{P} \quad (1.18)$$

kur:

G_i – koka šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$;
 d_i – caurmērs 1,3 m augstumā, cm;
 P – nogabala platība, ha.

Audzes vidējo caurmēru (g_{vid}) aprēķina, izmantojot dastošanas datus.

$$g_{vid} = \frac{G_i}{N_i} \quad (1.19)$$

kur:

N_i – audzes koku skaits, gab.

Audzes vidējais kvadrātiskais caurmērs (D_g):

$$D_g = 100 \times \sqrt{\frac{g_{vid}}{0,785}} \quad (1.20)$$

Koku augstuma noteikšanai aprēķina augstumlīkni atbilstoši logaritmiskajai funkcijai:

$$h = a + b \times \ln(d) \quad (1.21)$$

kur:

b un c aprēķina atbilstoši katras augstumšķiras augstumlīknei.

Koka tilpumu aprēķina, izmantojot I. Liepas metodi (Liepa, 2018):

$$V = \psi \times H^\alpha \times d^{\beta \times \lg(H) + \varphi} \quad (1.22)$$

Kur:

H – koka augstums, m;

d – koka caurmērs 1,3 m no sakņu kakla, cm;

$\psi, \alpha, \beta, \varphi$ – koeficienti.

Harvestera leņķa noteikšanai nepieciešamie parametri:

- harvestera pārvietošanās virziena noteikšana (*Machine bearing*) – 0°-89° Ziemeļi, 90°-179° Austrumi, 180°-269° Dienvidi, 270°-359.
- torņa pagrieziena leņķis attiecībā pret harvesteru (*Boom angle (felling)*) - 0° - taisni uz priekšu, 90° - koku satveršana labajā pusē, 180° - kokus satveršana labajā pusē (uz aizmuguri), 270° - koku satveršana kreisajā pusē.

Lai modelētu audzi pirms kopšanas, mežizstrādes procesa laikā to raksturo ar nozāģētiem kokiem uz tehnoloģiskās brauktuves. Vidējais brauktuves platums ir 4 m, kas raksturo torņa pagrieziena leņķi robežās no 0°-30° un 360°-330°, savukārt pārējie koki tiek fiksēti kā ārpus tehnoloģiskās brauktuves.

Lai precīzi aprēķinātu un prognozētu audzi pēc kopšanas, to raksturo vidējais svērtais caurmērs, ko aprēķina atbilstoši nozāģēto koku sadalījumam caurmēra pakāpēs (2 cm pakāpe) uz tehnoloģiskās brauktuves un ārpus tās (tab. 1.7).

$$D_{vid.sv.} = \frac{\sum_{i=1}^k d_j \times n_i}{n} \tag{1.23}$$

Kur:

n – izlases vienību skaits, gab.;

d_j – koku caurmērs, mm;

k – klašu vai variantu skaits;

n_i – novērojumu skaits.

Tabula 1.7. Caurmēra sadalījums grupās

Grupas Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Caurmērs, mm	<40	40 - <60	60 - <80	80 - <100	100 - <120	120 - <140	140 - <160	160 - <180	180 - <200	200 - <220	220 - <240	240 - <260	260 - <280	280 - <300	>300

Koku vidējā aritmētiskā augstuma aprēķināšana atbilstoši T. Loreja izstrādātajam vienādojumam (Liepa, 2018).

$$H_L = \frac{\sum_i d_i^2 h_i}{\sum_i d_i^2}, i = 1, 2, \dots, n. \tag{1.24}$$

Platībās, kurās veikti kontrolmērījumi, konstruētas caurmēra un augstuma līknes, lai no tālīzpētes datiem precīzāk raksturotu un salīdzinātu audzes parametrus. Pētījumā plānots pārbaudīt programmā lietotos algoritmus, nepieciešamības gadījumā tos precizējot (Bhuiyan u.c., 2016).

$$D_{gv_{tk}} = D_{gv_{pēc}} * (1 - U_{ms}) + (D_{gv_a} * U_{ms}) \tag{1.25}$$

Kur:

$D_{gv_{tk}}$ – svērtais vidējais diametrs starp tehnoloģiskajām brauktuvēm pirms kopšanas;

$D_{gv_{pēc}}$ – vidējais svērtais diametrs pēc hprGarlling

D_{gv_a} – svērtais vidējais diametrs starp tehnoloģiskajām brauktuvēm

U_{ms} – procentuālā daļa starp TK, kas izteikta kā daļa no kopējās platības pirms kopšanas.

Vidējo bāzes svērto diametru pēc kopšanas aprēķina ar 1.26 formulu.

$$D_{gv_{pēc}} = \frac{D_{gv_{tk}} - D_{gv_a} * U_{ms}}{1 - U_{ms}} \tag{1.26}$$

Sistēmas aprēķinos nav tieši pieejama informācija par mainīgajiem lielumiem. Tā vietā ir jāizmanto netiešie mainīgie, saikne starp mērķa mainīgajiem un netiešajiem mainīgajiem tiek aprēķināta ar sekojošajām formulām.

$$D_{gv_{tk}} = D_{15} * k \quad (1.27)$$

Kur:

D_{15} – vidējais svērtais diametrs kokiem, kas nozāgēti uz TK leņķī $\pm 15^\circ$, mm;

k – korekcijas koeficients [18];

$$D_{gv_a} = D_{50} \quad (1.28)$$

Kur:

D_{50} – vidējais svērtais diametrs kokiem, kas nozāgēti ārpus TK leņķī $\pm 50^\circ$, mm;

$$U_{ms} = \frac{\left(1 - \frac{Gu_{30}}{Gu_{tot}}\right) * Gu_{tot}}{G_{tot}} \quad (1.29)$$

Kur:

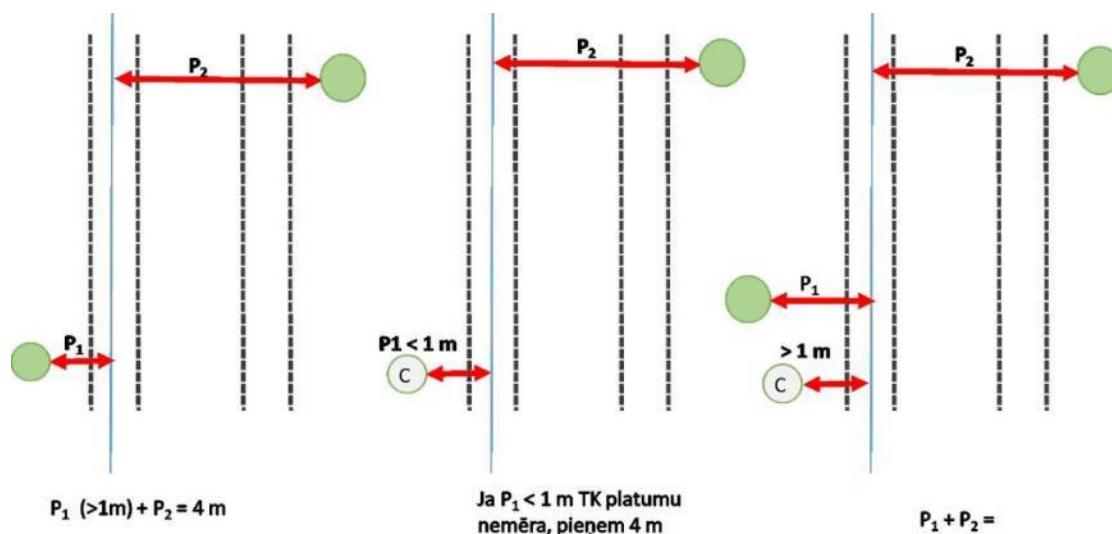
Gu_{30} – nozāgētais koku šķērslaukums uz TK leņķī $\pm 50^\circ$, m^2 ;

Gu_{tot} – kopējais šķērslaukums, m^2 ;

G_{tot} – kopējais šķērslaukums atbilstoši *hprGallring*, m^2 ;

Lai pēc iespējas precīzāk aprēķinātu taksācijas rādītājus, izmantojot programmu *hprGallring*, otrā uzdevuma izpildē nepieciešams ievadīt atbilstošu tehnoloģiskā koridora platumu. Koridora platumu nosaka 10 m garā joslā (AS "Latvijas valsts meži", 2008):

- att. 1.21 pa kreisi, no mežizstrādes mašīnas riteņu nospiedumu vidus izmēra īsāko attālumu līdz tuvākajam valdaudzes kokam, pēc tam izmēra attālumu no tā paša nospieduma vidus līdz tuvākajam kokam otrā malā tehnoloģiskajā brauktuvē, saskaita abus mērījumus, tādējādi iegūstot kopējo platumu;
- att. 1.21 vidū, no mežizstrādes riteņa nospiedumu vidus izmēra īsāko attālumu līdz tuvākajam valdaudzes koka celmam. Ja attālums ir mazāks par 1 m, tehnoloģiskās brauktuves platumu atzīmē kā 4 m;
- att. 1.21 pa labi, no mežizstrādes riteņa nospiedumu vidus izmēra īsāko attālumu līdz tuvākajam valdaudzes koka celmam. Ja attālums ir lielāks par 1 m, no mežizstrādes mašīnas riteņu nospieduma vidus izmēra īsāko attālumu līdz tuvākajam valdaudzes kokam, pēc tam izmēra attālumu no tā paša nospieduma vidus līdz tuvākajam kokam otrā malā, saskaita abus mērījumus, iegūstot kopējo platumu.



Attēls 1.21. Tehnoloģiskās brauktuves platuma uzmērīšana

Vidējo vērtību aprakstīšanai izmanto aprakstošo statistiku – vidējais aritmētiskais, standartnovirze un novērojumu skaits. Secinošai statistikai, lai aprakstītu pētāmo pazīmju vai paraugkopu atšķirības, pielietots Wilkoksna rangu zīmju testu. Korelācijas jeb sakarību noteikšanai pielietots Spīrmena rangu korelācijas tests.

1.4. Biokurināmā un apaļo kokmateriālu sagatavošanas metodes kopšanas cirtēs

1.4.1. Masas zuduma, kā arī cietā biokurināmā siltumspējas un mitruma satura izmaiņas atkarībā no uzglabāšanas ilguma un citiem faktoriem

Pētījuma mērķis ir iegūt empīriskus datus par skuju koku un bērza apaļo kokmateriālu nogriežņu masas un siltumspējas izmaiņām uzglabāšanas periodā. Izmēģinājumi veikti Meža pētīšanas stacijas Ozolnieku poligonā, kur mašinizēti sagatavotiem malkas nogriežņiem (4 x 120 gab.) reizi mēnesī veikts parametru izmaiņu monitorings (skuju koku un bērza apaļo kokmateriālu masa un siltumspēja).

Pētījuma kalendārais grafiks (tab. Tabula 1.8) paredzēja empīrisko datu iegūvi no 2020. gada februāra līdz 2021. gada oktobrim, bet materiāla sagatavošana un piegāde aizkavējās par 5 mēnešiem, kas neļāva iegūt datus plānotajā apjomā.

Tabula 1.8. Materiālu sadalījums pa sezonām

Sagatavoto nogriežņu skaits, gab.	Krautnējumu skaits, gab.	Lauku darbu veikšana (mērījumi + šķeldošana)							
		1.k.	2.k.	3.k.	4.k.	5.k.	6.k.	7.k.	8.k.
240	8	Feb.	Mai.	Jūn.	Sep.	Dec.	Mar.	Jūn.	Okt.
240	8	Jūn.	Sep.	Dec.	Mar.	Jūn.	Okt.		

Mizas nobrāzuma novērtēšana. Žūšanas process lielākoties notiek no sortimenta gala plaknēm, izņemot, ja ražošanas procesā ir netieši veikta mizas atsegšana. Atsegtās mizas apjomu iedala četrās mizas nobrāzuma grupās (Līpiņš, 2013), ko ņem vērā veicot tālākus tilpuma izmaiņu aprēķinus.

Apaļo kokmateriālu uzmērīšana. Apaļajiem kokmateriāliem aprēķina tilpumu (formula 1.30) ar un bez mizas, kā arī nosaka koksnes blīvumu. Tilpuma aprēķināšanai pielieto sekcijas tipa uzmērīšanas paņēmieni ar mērīšanas soli 1 m (Līpiņš, 2015; LVS/STK/38 Kokmateriāli, 2020).

$$V_{tr} = \frac{\pi * ((d_t^2 + (d_t + d_r) + d_r^2)) * l}{4 * 3 * 10000} \quad (1.30)$$

Kur:

V_{tr} – tilpums, izteikts ar precizitāti trīs zīmes aiz komata, m^3 ;
 d_t – tievgaļa caurmērs, noteikts atbilstoši 5.2.3.2. un 5.2.4. apakšpunktam, c
 d_r – resgaļa caurmērs, noteikts atbilstoši 5.2.3.2. un 5.2.4. apakšpunktam, c
 l – garums, noteikts atbilstoši 5.1.3. apakšpunktam, m ;
 π – konstante, noapaļota līdz četrām zīmēm aiz komata (3,1416).

Koksnes blīvuma aprēķināšanu veic izmantojot formulu 1.31:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.31)$$

Kur:

ρ – blīvums, koksnei un mizai, $m^3 t^{-1}$;
 V – kokmateriāla tilpums ar mizu, m^3 ;
 m – kokmateriāla masa ar mizu, kg ;

Kokmateriāla masu iegūst izmantojot svēršanas metodi, nosverot katru nogriezni atsevišķi. Lai noteiktu tilpuma un masas izmaiņas, sortimentu uzmēra atkārtoti reizi mēnesī (katra mēneša 15. datumā). Blīvuma izmaiņas aprēķinātas noteiktam laika periodam pēc formulas 1.32:

$$\Delta\rho = \frac{\rho_{sākumā} - \rho_{beigās}}{\rho_{sākumā}} \times 100 \quad (1.32)$$

Kur:

$\Delta\rho$ – blīvuma smazinājums, %;
 $\rho_{sākumā}$ – blīvums sākumā, koksnei ar mizu, $m^3 t^{-1}$;
 $\rho_{beigās}$ – blīvums uz 15. dat., koksnei ar mizu, $m^3 t^{-1}$.

Materiāla šķeldošana. Apaļos kokmateriālus pēc lauku darbu veikšanas šķeldo, izmantojot pārvietojamo šķeldotāju, kur sagatavoto materiālu pūšos autotransporta puspiekabē. Pēc plānotā apjoma sašķeldošanas, veic piekabē esošā šķeldu materiāla uzmērīšanu, izmantojot fotogrammetrijas metodi.

Paraugu ievākšana. Paraugus no autotransporta piekabes ievāc atbilstoši izstrādātajai shēmas (att. 1.22), kur katra parauga masa ir no 500 g līdz 1000 g. Paraugus pēc ievākšanas slēgtos plastmasas maisos nogādā uz LVMI Silava, kur, atbilstoši standartam nosaka mitruma (LVS EN 14774-2), pelnu (LVS EN 14775) saturu, siltumspēju (LVS EN 14918) un tilpumblīvumu (LVS EN 15103).



Attēls 1.22. Paraugu ņemšanas vietas autotransporta puspiekabē

Lai noteiktu smalcinātās koksnes enerģētisko vērtību, sākotnēji nosaka materiāla zemāko siltumspēju (formula 1.33).

$$q_{p,net,m} = q_{p,net,daf} * \left(\frac{100 - A_d}{100}\right) * \left(\frac{100 - M_{ar}}{100}\right) - 0,02443 * M_{ar} \quad (1.33)$$

Kur:

$q_{p,net,m}$ – zemākā siltumspēja pie sākotnējā mitruma satura, $MWh t^{-1}$;

$q_{p,net,daf}$ – bezpelnu sausnas zemākā siltumspēja pie konstanta spiediena, $MJ kg^{-1}$;

A_d – pelnu saturs sausnā, %;

M_{ar} – sākotnējais mitrums, %.

Datu matemātiskā apstrāde. Atbilstību normālajam sadalījumam nosaka, izmantojot *Shapiro-Wilk Normality* testu. Atbilstoši iegūtajam rezultātam, tālākā datu apstrādē izmanto parametriskās vai neparametriskās datu apstrādes metodes.

Lai noteiktu, vai tālākā datu apstrādes posmā paraugkopas (lapu koks ~ skuju koks, paraugu ievākšanas laiks) iespējams apvienot, lietots *Mann-Whitney-Wilcoxon* tests.

2. REZULTĀTU APSTRĀDE UN ANALĪZE

2.1. Meža biokurināmā ražošanas un piegāžu tehnoloģiju pilnveidošana un aprobācija

2.1.1. Enerģētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs

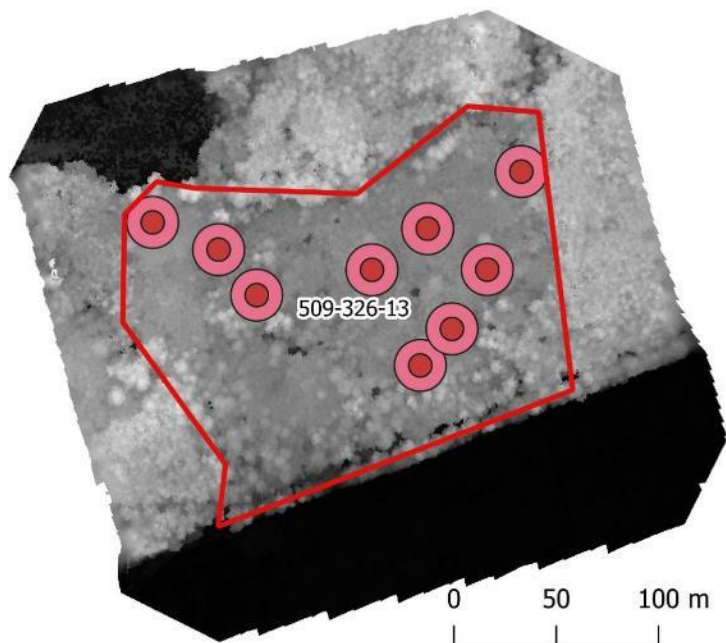
Izmantojot izmēģinājuma platībās iegūtos taksācijas rādītājus, veikts teorētiski iegūstamā koku un krūmu biomasas aprēķins. Tā kā izmēģinājuma darba uzdevumā paredzēts, ka kokus, kuru $D_{1,3} > 12$ cm, neizmanto biokurināmā gatavošanai, kopējā no platības teorētiski iegūstamā koku un krūmu biomasā neiekļauj parauglaukuma "A" sektorā uzmērīto koku biomasu. Iegūtie rezultāti apkopoti tab. 2.1.

Tabula 2.1. Potenciāli iegūstamā biomasas apjoma raksturojums

Nr.p.k	Cirsmas ID	Platība, ha	Teorētiski iegūstamā koku un krūmu biomasas, t ha ⁻¹	Kopā no platības teorētiski iegūstamā koku un krūmu biomasas, t	Kopā no platības teorētiski iegūstamā koku un krūmu biomasas, t (neskaitot koku, kuru $D_{1,3} > 14$ cm biomasu)
1.	501-365-1;51	0,47	59,6	28,0	28,0
2.	509-292-24	3,03	60,6	183,7	24,0
3.	509-296-13;14	2,42	39,9	96,5	27,6
4.	509-325-2	0,76	27,0	20,5	5,5
5.	509-326-13	2,74	93,7	256,6	223,1
6.	511-148-4	1,13	22,6	25,5	24,8
7.	603-221-3	0,36	14,3	5,1	4,9
8.	604-363-16	0,49	52,7	25,8	24,5
9.	604-514-1	0,21	48,9	10,3	10,2
10.	611-138-19	0,98	27,1	26,6	22,5

Saskaņā ar parauglaukumos veiktajiem uzmērījumiem, platībās, kurās paredzēts iegūt biokurināmo, teorētiski pieejamā biomasas ir 679 t jeb 395 t (neskaitot teorētiski pieejamo biomasu no kokiem, kuru $D_{1,3} > 14$ cm).

Izmēģinājuma objektos teorētiski iegūstamās biomasas raksturošanai izveidots DSM modelis, kas atspoguļo koku skaitu un augstumu izmēģinājuma platībās, šobrīd turpinās darbs pie iegūto datu salīdzināšanas, ko lielā mērā ietekmē manuāli un fotogrammetriski uzmērīto koku koordināšu nobīdes, kas saistītas ar parauglaukumu koordināšu noteikšanas precizitāti. Ierīkoto apļveida parauglaukumu izvietojuma shēma uz ar fotogrammetrijas metodi iegūtā slāņa redzama att. 2.1.



Attēls 2.1. Aplveida parauglaukumu izvietojuma shēma

Visos izmēģinājumam atlasītajos izmēģinājuma objektos veikta biokurināmā sagatavošana. Sagatavotā biokurināmā (8 izmēģinājuma objekti) pievešanas darbi veikti laikā no 15.09. līdz 03.11.2021. Divos izmēģinājumu objektos sagatavotā biokurināmā pievešana aizkavējusies sakarā ar nepiemērotiem pievešanas apstākļiem, ko lielā mērā ietekmēja ilglaicīgie lietus periodi.

Pievestā biokurināmā apjoma raksturojums, salīdzinot datus, kas iegūti, izmantojot dažādas biokurināmā uzmērīšanas metodes

Sešos izmēģinājuma objektos, kuros paredzēta biokurināmā krautņu ilglaicīga novērošana, pievestais biokurināmais nokrauts 1-2 kaudzēs (att. 2.2).



Attēls 2.2. No audzēm 604-363-16 un 604-514-1 pievestās koksnes krautne

Divos izmēģinājumu objektos (audzes kods: 509-292-24 un 509-296-13;14) sagatavotais biokurināmais pievešanas darbos svērts, izmantojot Intermercato greifera svarus XW 50 PS.

Kopumā izmēģinājuma ietvaros no audzēm 509-292-24 un 509-296-13;14 pievestas 588 t biomasas. Pievestais biokurināmais nokrauts 10 krautnēs (5 kaudzes katrā izmēģinājuma objektā, att. 2.3).



Attēls 2.3. No audzes 509-296-13;14 pievestās koksnes krautnes

Izmēģinājuma ietvaros pievestā biomasa nokrauta 16 kaudzēs. Biokurināmā krautnēs, tūlīt pēc to pievešanas, uzņēmās manuāli, kā arī, izmantojot fotogrammetrijas metodi. Sākotnējie krautņu uzņēmējumi apkopotā tab. 2.2.

Tabula 2.2. Augšgala krautuvē pievestā biokurināmā apjoms (1. mērījums)

Nr.p.k	Audzis kods	Krautnes kods	Manuālā uzņēmēšana, m ³	Fotogrammetriskā uzņēmēšana, m ³
1.	509-292-24	LVM_509_292_24_10	331	523
2.	509-292-24	LVM_509_292_24_6	399	594
3.	509-292-24	LVM_509_292_24_7	355	457
4.	509-292-24	LVM_509_292_24_8	297	461
5.	509-292-24	LVM_509_292_24_9	401	573
6.	509-296-13;14	LVM_509_296_13_14_1	264	496
7.	509-296-13;14	LVM_509_296_13_14_2	357	617
8.	509-296-13;14	LVM_509_296_13_14_3	345	540
9.	509-296-13;14	LVM_509_296_13_14_4	293	566
10.	509-296-13;14	LVM_509_296_13_14_5	306	598
11.	509-325-2	JO_SK00110	294	670

Nr.p.k.	Audzes kods	Krautnes kods	Manuālā uzmērīšana, m ³	Fotogrammetriskā uzmērīšana, m ³
12.	509-326-13	JO_SK00111_N	987	1990
13.	509-326-13	JO_SK00111_S	478	799
14.	603-221-3	AM_SK00249	408	519
15.	604-363-16; 604-514-1	AR_SK00207	338	633
16.	611-138-19	DD_SK00326	360	714

Tāpat, no kaudzēs nokrautā biokurināmā saskaņā ar izstrādāto metodiku reizi mēnesī ievākti biomasas paraugi, kurus apstrādā laboratoriski (tab. 2.3).

Tabula 2.3. Augšgala krautuvē ievāktu biomasas paraugu parametri (1. mērījums)

Nr.p.k.	Audzes kods	Krautnes kods	Relatīvais mitrums, %	Pelnu saturs, %	Gaissausa parauga siltumspēja MJ kg ⁻¹
1.	509-292-24	LVM_509_292_24_10	54	1,0	19
2.	509-292-24	LVM_509_292_24_6	48	1,0	19
3.	509-292-24	LVM_509_292_24_7	47	1,0	19
4.	509-292-24	LVM_509_292_24_8	52	1,0	18
5.	509-292-24	LVM_509_292_24_9	47	1,0	19
6.	509-296-13;14	LVM_509_296_13_14_1	50	1,0	19
7.	509-296-13;14	LVM_509_296_13_14_2	39	1,0	19
8.	509-296-13;14	LVM_509_296_13_14_3	43	1,0	19
9.	509-296-13;14	LVM_509_296_13_14_4	45	1,0	19
10.	509-296-13;14	LVM_509_296_13_14_5	47	1,0	19
11.	509-325-2	JO_SK00110	43	2,0	20

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

Nr.p.k.	Audzes kods	Krautnes kods	Relatīvais mitrums, %	Pelnu saturs, %	Gaissausa parauga siltumspēja MJ kg ⁻¹
12.	509-326-13	JO_SK00111_N	45	2,0	19
13.	509-326-13	JO_SK00111_S	50	1,0	19
14.	603-221-3	AM_SK00249	33	2,5	20
15.	604-363-16; 604-514-1	AR_SK00207	47	2,4	19
16.	611-138-19	DD_SK00326	41	1,7	19

Saskaņā ar darba uzdevumu biomasai, kas pievests no audzēm 509-292-24 un 509-296-13;14, reizi 3 mēnešos paredzēts veikt 1 kaudzes šķeldošanu. Plānotais krautņu šķeldošanas grafiks redzams tab. 2.4.

Tabula 2.4. Biokurināmā kaudžu smalcināšanas grafiks

Nr.p.k.	Audzes kods	Krautnes Nr.	Plānotā kaudzes šķeldošana
1.	509-296-13; 14	1. krautne	Novembris, 2021
2.	509-296-13; 14	2. krautne	Maijs, 2022
3.	509-296-13; 14	3. krautne	Novembris, 2022
4.	509-296-13; 14	4. krautne	Maijs, 2023
5.	509-296-13; 14	5. krautne	Novembris, 2023
6.	509-292-24	6. krautne	Februāris, 2022
7.	509-292-24	7. krautne	Augusts, 2022
8.	509-292-24	8. krautne	Februāris, 2023
9.	509-292-24	9. krautne	Augusts, 2023
10.	509-292-24	10. krautne	Novembris, 2023

Pirmās biokurināmā krautne (pievesta no audzes 509-296-13; 14) šķeldošana veikta 07.12.2021. No 1. biokurināmā krautnes iegūtas 40,7 t šķeldu (Att. 2.4 un 2.5). Pēc šķeldošanas biokurināmā krautnes vietā savākti vēl 210 kg atlikušās biomasas, ko veidoja zari un lapas (att. 2.6).



Attēls 2.4. No audzes 509-296-13;14 pievestā biokurināmā šķeldošanas (1. krautne)



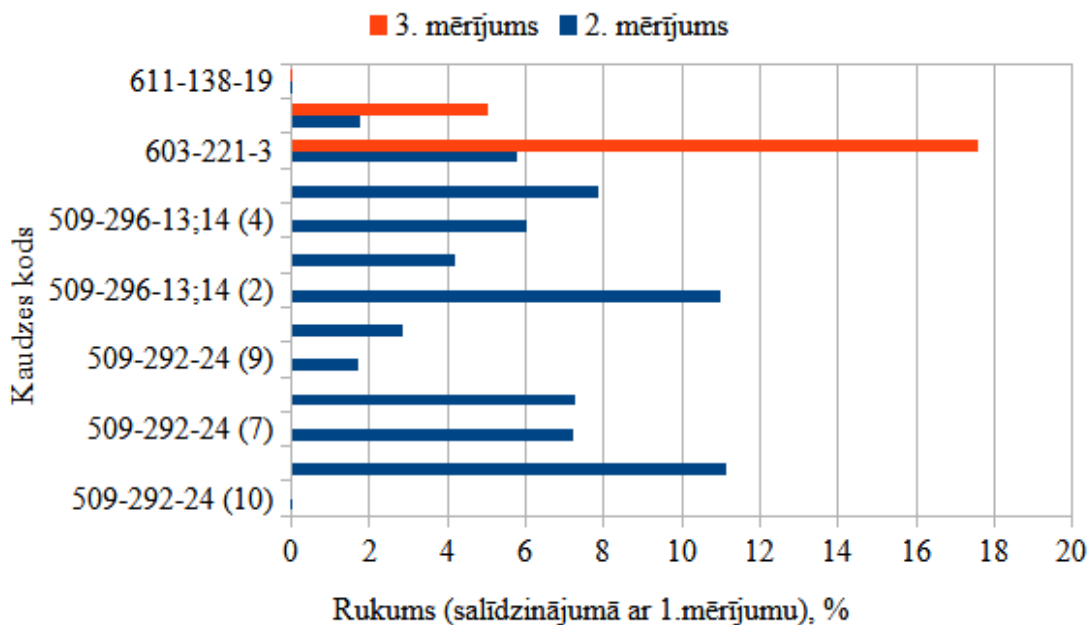
Attēls 2.5. Šķeldu vedējs ar puspiekabi un nepilnu šķeldu kravu



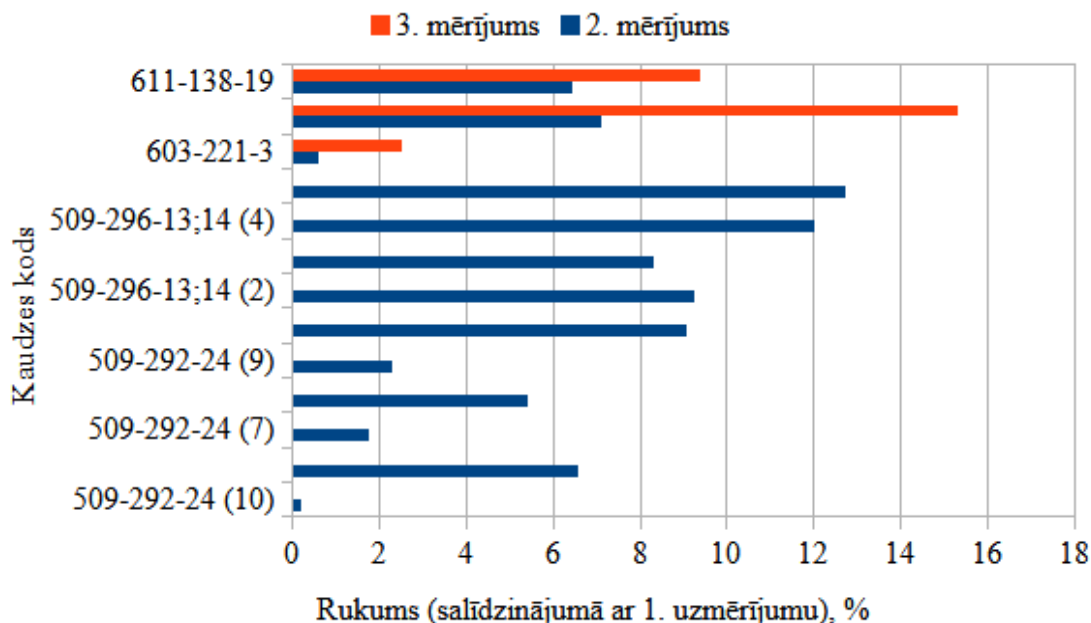
Attēls 2.6. Atlikusī biomasa pēc 1. krautnes šķelšanas

Enerģētiskās koksnes krautuvju tilpuma izmaiņu raksturojums

Pirmie pievestā biokurināmā krautuvju mērījumi veikti tūlīt pēc biokurināmā krautuvju pievešanas. Mērījumus paredzēts atkārtot reizi mēnesī. Uz 2021. gada decembri, izmantojot manuālo uzmērīšanu un fotogrammetrijas metodi, 3. mērījums veikts tikai dažām no biomasas kaudzēm (Att. 2.7 un 2.8). Visās biomasas krautnēs, salīdzinājumā ar mērījumu rezultātiem, kas iegūti krautuvēs uzmērot pirmo reiz, vērojams kaudžu rukums.



Attēls 2.7. Augšgala krautuvē pievestās koksnes apjoma izmaiņas saskaņā ar manuāliem uzmērījumiem



Attēls 2.8. Augšgala krautuvē pievestās koksnes apjoma izmaiņas saskaņā ar fotogrammetriskiem uzmērījumiem

Šobrīd notiek pievesto biokurināmā krautuvju monitorings, reizi mēnesī veicot krautuvju uzmērījumus un ievācot biokurināmā paraugus laboratoriskajiem mērījumiem. Tāpat turpinās iegūto datu apstrāde un biokurināmā krautuvju rukumu ietekmējošo faktoru izvērtējums. Rezultātus plānots atspoguļot pētījuma programmas 2. etapa pārskatā.

Turpinās fotogrammetrijas metodes izmantošanas pilnveidošanas darbs. Iegūtos rezultātus plānots atspoguļot pētījuma programmas 2. etapa pārskatā.

2.1.2. Forvardera greifera sviri koksnes biokurināmā apjoma noteikšanai

Pētījumā, svēršanas sistēma uzstādīta uz forvardera izpildot darba uzdevuma sadaļu “Enerģētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs”. Šajā uzdevumā bija nepieciešams nosvērt kopējo pievesto koksnes biokurināmo, tas deva papildus iespēju pārbaudīt sistēmas funkcionalitāti, kā arī aprobēt izstrādāto metodiku.

Izmantojot iegūtos datus (tab. 2.5), var novērtēt kopējo kravu skaitu, kas, vadoties no svēršanas sistēmas datiem, ir 32, bet atbilstoši operatoru uzskaitē – 47 (forvardera uzskaites fails). Atšķirība skaidrojama ar to, ka svēršanas sistēma netika pietiekoši pieskatīta, kas izpaužas 25. un 32. braucienā, kur operators pieļāva telefona pārslēgšanos “miega režīmā”, kā rezultātā 15 kravām nav uzmērīta koksnes biokurināmā izkraušana. Lai turpmāk izvairītos no šādas neuzmanības, nepieciešams nomainīt datu uzkrāšanas ierīci, kurai ir iespēja atslēgt ekrāna saudzēšanu jeb “miega režīmu”. Cirsma līmenī, salīdzinot kopējo koksnes apjomu – iekraušanai un izkraušanai, redzama atšķirība – 132403 kg jeb 15 kravas (vidējā pievestā krava 8117 ± 1616 kg).

Tabula 2.5. Svēršanas sistēmas uzskaites dati

Kravas Nr.	Iekrautais daudzums, kg	Izkrautais daudzums, kg	Attālums, m	Forvardera uzskaitītais attālums, m	Kravai patērētais laiks, min
1	7310	5900	1944	2676	75
2	7880	4980	1160	3032	72
3	6510	5430	1902	3248	40
4	9280	8240	1884	2781	48
5	7940	6450	1858	2707	40
6	7330	6770	1768	2820	44
7	7280	6500	1701	2392	43
8	8300	9640	1623	2511	47
9	7710	6390	1689	2472	43
10	7370	7920	1899	2618	51
11	6850	6990	1874	2721	45
12	6930	5640	1835	2643	36
13	5980	5860	1772	2616	37
14	7270	7290	1799	2581	36
15	9300	6000	1735	2480	33
16	4870	6200	1641	2516	33
17	8360	7650	1827	2672	40
18	8040	9280	1889	2656	39
19	11480	7530	1877	2577	39
20	6890	8670	1756	2531	47
21	8557	7618	1750	3158	45
22	7110	6640	1819	2762	38
23	10690	8810	1775	2639	40

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

Kravas Nr.	Iekrautais daudzums, kg	Izkrautais daudzums, kg	Attālums, m	Forvardera uzskaitītais attālums, m	Kravai patērētais laiks, min
24	9390	9880	1927	2603	46
25	60204	8550	1362	2580	410
26	7180	8490	1715	2489	42
27	9990	10340	1700	2419	46
28	7130	9460	1583	2350	37
29	11320	12630	1895	2619	54
30	11400	9210	1748	2485	49
31	7860	7650	1503	2997	37
32	67300	0	1284	2631	419
Kopā:	371011	238608	55494	84982	3516

Saskaņā ar pētījumā iegūtiem datiem, analizējot pārvietošanās attālumu, salīdzinot aprēķināto un forvardera uzskaitīto, redzamas būtiskas atšķirības. Tās saistītas ar svēršanas ierīces specifiku, proti, svars un koordinātes tiek fiksētas pie iekraušanas un izkraušanas, kas nedod iespēju precīzāk identificēt forvardera pārvietošanos (att. 2.9). Attālums noteikts kā īsākā distance starp diviem punktiem.



Attēls 2.9. Forvardera pārvietošanās atbilstoši svēršanas sistēmas fiksētajām koordinātēm (dzeltenā krāsā atzīmēts 29. brauciens)

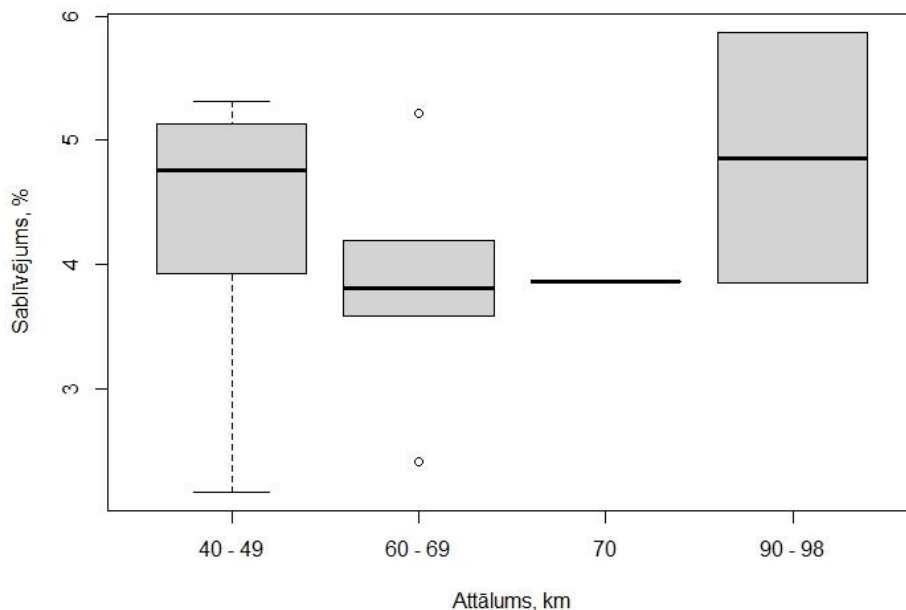
Patērētais laiks sadalījumā pa kravām atspoguļots tab. 2.5. Salīdzinot to ar operatoru uzrādīto laiku, vērojama nesaiste, kas skaidrojama ar to, ka datos ir veikta atlase. Tas nozīmē, ka nav iekļauta krautuves sagatavošana, svēršanas sistēmas pārbaude pie ieslēgta dzinēja un citas ar darbu saistītas darbība, kā rezultātā ir 10 h atšķirība.

2.1.3. Šķeldu kravu piepildījuma izmaiņu monitorings un vienādojumu izstrādāšana kravu piepildījuma samazināšanās prognozēšanai

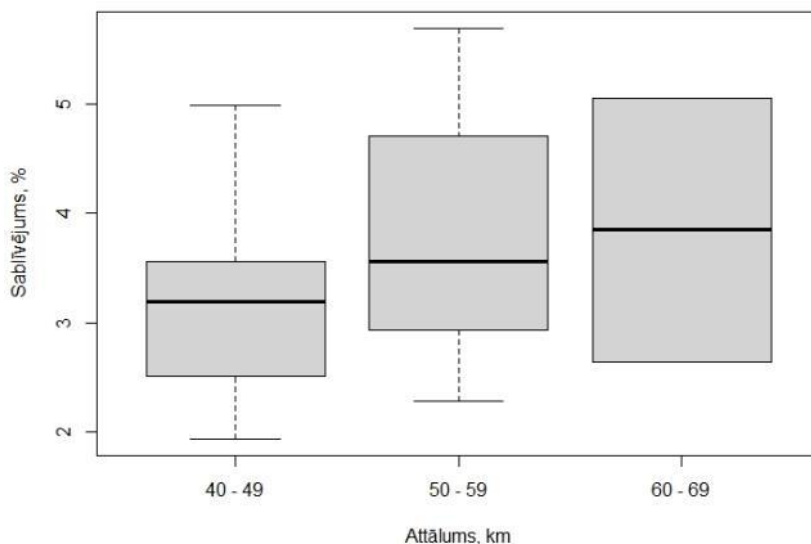
Nepieciešamās paraugkopas ievākšana pētījuma īstenošanas procesā aizkavējās, līdz ar to ir identificēti riski, kuriem iestājoties, sagaidāmais rezultāts var mainīties:

1. nepietiekoša datu ievākšanas kvalitāte;
2. nepietiekošs datu ievākšanas apjoms sadalījumā pa sezonām vai koksnes biokurināmā veidiem;
3. netiek ievākti masas un nobrauktās distances mērījumi.

Pagaidām nevar izstrādāt sablīvēšanas koeficientu smalcinātas koksnes pārvadājumos autotransportam sadalījumā pa sezonām un autotransporta veidiem. Tas saistāms ar nepietiekošu prognozēšanas modelī izmantojamo datu apjomu. Analizējot līdz šim iegūtos datus, ir novērojamas atšķirības, strādājot ar konteineru tipa autotransportu (att. 2.10) un puspiekabēm (att. 2.11).



Attēls 2.10. Sablīvēšanās sasmalcinātas koksnes pārvadājumos ar konteīnera tipa autotransportu



Attēls 2.11. Sablīvēšanās sasmalcinātas koksnes pārvadājumos ar puspiekabi

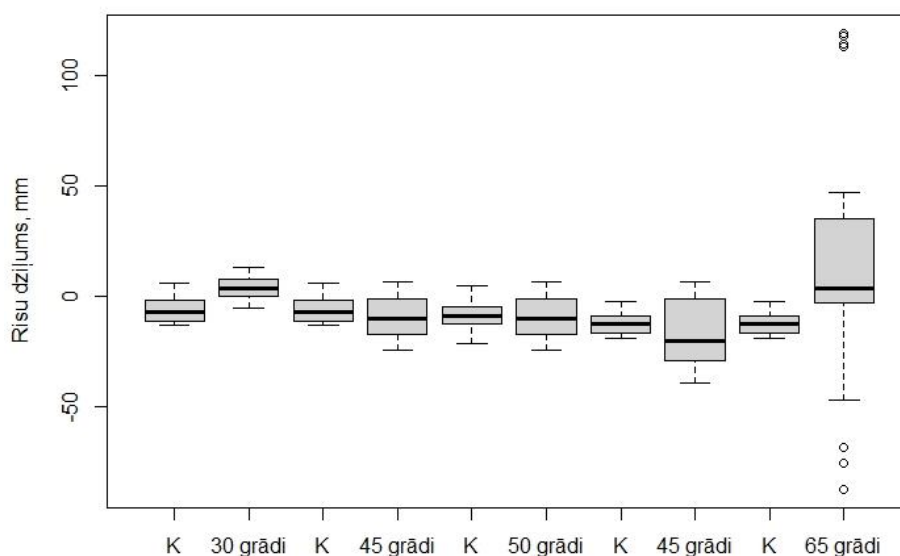
2.2. Meža tehnikas monitoringa sistēmu un datu automatizācijas apstrādes instrumentu pilnveidošana un ieviešana ražošanā

2.2.1. Forvardera atstāto risu mērīšanas iekārtas izstrāde

Pētījumā analizētas datu kopas no pirmās un otrās paaudzes risu uzmērīšanas iekārtas – prototipa. Atbilstoši uzstādītajam uzdevumam, par iekārtas izmantošu ražošanā, panākts, datu nolasīšana tiešsaistes režīmā, kā arī to eksportēšana tālākai apstrādei citās programmās. Otrā prototipa darbības principā ir mērījumi ar lāzersensoriem. Lai noteiktu, vai forvarders iebrauc vai

izbrauc no cirsmas, kravas tilpnē ir trīs sensori, kuri fiksē kravas piepildījumu. Savukārt, risu uzmērīšana notiek pēc tam, kad iestatīts mērījuma leņķis. Ņemot vērā, ka cirsmas savstarpēji atšķiras, tajā skaitā grunts nestspēja, ap risēm veidojoties izspiestas grunts valnis, nepieciešams nodrošināt, lai mērījums notiktu aiz šī vaļņa. Leņķa iestatīšanai nepieciešams nomērīt attālumu no sensora vidus līdz vaļņa ārējai robežai.

Sistēma, tiešsaistes režīmā uzrāda faktisko risu dziļumu, kas forvardera operatoram palīdz objektīvāk novērtēt nepieciešamību pastiprināt tehnoloģisko brauktuvi. Savukārt, pēc mežizstrādes var analizēt risu veidošanās dinamiku cirsmas līmenī, kā arī brauktuves līmenī (pēc papildu datu apstrādes). Ar pētījumā iegūtajiem datiem, salīdzinot risu dziļumu, identificējamās kļūdas, kuras var rasties, iestatot nesamērīgi platu leņķi kad lāzersensora stars atstarojas pret kokiem vai krūmiem, un aprēķinu rezultātā tiek nepareizi noteikts attālums. Šobrīd, balstoties uz iegūtajiem datiem, rekomendējams iestatīt 45° vai 50° leņķi (att. 2.12).



Attēls 2.12. Datu salīdzināšana, atkarībā no sensora pagrieziena leņķa

2.3. Automatizētas sistēmas izveide meža taksācijas rādītāju noteikšanai un kopšanas ciršu kvalitātes novērtēšanai

2.3.1. Algoritmu pilnveidošana kopšanas ciršu attālinātai kontrolei

Pētījuma pirmajā gadā, saskaņā ar darba plānu, analizētas priežu tīraudzes, salīdzinot uzmērīšanas precizitāti atbilstoši Meža valsts reģistra datiem un *hprGallring* aprēķiniem ($n = 47$). Papildus 10% no atlasītajām priežu audzēm veikti kontrolmērījumi – vienlaidus audžu dastošana. Pēc rezultātu iegūšanas nepieciešams salīdzināt Meža valsts reģistra datus un *hprGallring* aprēķinus un izvērtēt to atbilstību normatīvajai bāzei; savukārt, kontroles audzēs nepieciešams salīdzināt Meža valsts reģistra datus pret vienlaidus audžu uzmērīšanā iegūtiem rezultātiem. Lai identificētu mērījumu nobīdes, ierīkoti objekti, kuros plānota mežizstrāde. Mežizstrādes darbi joprojām turpinās pārskata sagatavošanas laikā. Atbilstoši iegūtajiem datiem plānots izvērtēt līdzšinējos algoritmus

Pētījumā vērtēti taksācijas rādītāji – vidējā koka caurmērs un augstums un paliekošais audzes šķērslaukums. Datu analīze balstās uz paraugkopu, kurā iekļauti dati no Meža valsts reģistra un

hprGallring sagatavotās informācijas cirsma līmenī, attālās izpētes datiem un kontroles audzēs veiktās vienlaidus dastošanas.

Lai kontroles audzēs precīzāk aprēķinātu audžu taksācijas rādītājus, sākotnēji noteikta valdošā koku suga. Saskaņā ar veiktajiem aprēķiniem, visās kontroles audzēs valdošā koku suga ir priede (tab. 2.6), tajā skaitā 4 audzēs priedes krāja ir 70% no kopējās krājas, bet vienā audzē – tuvu 70%. Visos gadījumos audzēs ir egles mistrojums.

Tabula 2.6. Valdošās koku sugas procentuālais sadalījums atbilstoši valdaudzes krājai

Cirsma ID	Bērzs	Citas sugas	Egle	Priede
105-85-8	6	-	12	82
105-85-9	6	-	7	87
105-86-6	6	-	14	79
109-342-8	8	1	25	67
411-360-1	-	3	21	76
411-360-2	1	-	26	73

Vienlaidus audžu dastošana, atbilstoši izstrādātajai metodikai, uzmērīti koku augstumu, pēc tam izstrādātas audžu augstumlīknes, aprēķinātie koeficienti apkopoti tabulā (tab. 2.7).

Tabula 2.7. Koku augstumlīknes modelis

Cirsma ID	Audzei			Valdošai koku sugai – priedei		
	A	B	R ²	A	B	R ²
105-85-8	-21,889	14,514	0,89	-8,203	10,814	0,78
105-85-9	-16,7678	12,5362	0,90	-2,938	8,3477	0,81
105-86-6	-14,8911	11,9006	0,90	-0,5581	7,7887	0,88
109-342-2	-4,736	6,748	0,79	-3,4347	5,9812	0,93
411-360-1	-4,1596	6,4531	0,75	0,1080	4,7783	0,89
411-360-2	-5,0346	7,4213	0,77	4,4627	3,9747	0,56

Atbilstoši MK noteikumiem Nr. 384 “Meža inventarizācijas un Meža valsts reģistra informācijas aprites noteikumi” 4. pielikumam, lapu kokiem, kas vecāki par 10 gadiem, un skuju kokiem, kas vecāki par 20 gadiem, pieļaujamā mērījuma kļūda nedrīkst pārsniegt 1 cm; savukārt, koku augstums minētajās audzēs nedrīkst atšķirties vairāk kā 10% robežās, bet šķērslaukums – vienas vienības robežā. Saskaņā ar pētījumā iegūtiem datiem, salīdzinot Meža valsts reģistra datus

un *hprGallring* datus kontroles audzes, var secināt, ka būtiskas atšķirības starp Meža valsts reģistra datiem un kontroles mērījumiem nepastāv (tab. 2.8). Savukārt, būtiskas atšķirības starp kontroles audzēm un *hprGallring* aprēķināto, lai analizētu atšķirības, ierīkoti un uzmērīti papildus objekti, kur tiek gaidīts uz mežizstrādes darbu izpildi. Pēc mežizstrādes varēs novērtēt harvestera uzmērīšanas kļūdu atsevišķās audzēs, kur atbilstoši metodikai paredzēta tehnikas kalibrēšana (papildus esošai kalibrēšanai ražošanā) audzes robežā.

Analizējot vidējo audzes koku augstumu, salīdzinot Meža valsts reģistra datus, *hprGallring* un kontrolmērījumus, būtiskas atšķirības nav konstatētas. Vienvecuma tīraudzēs, kurās ir veikta kopšanas cirte, lielākoties nav konstatētas būtiskas atstāto koku taksācijas rādītāju atšķirības.

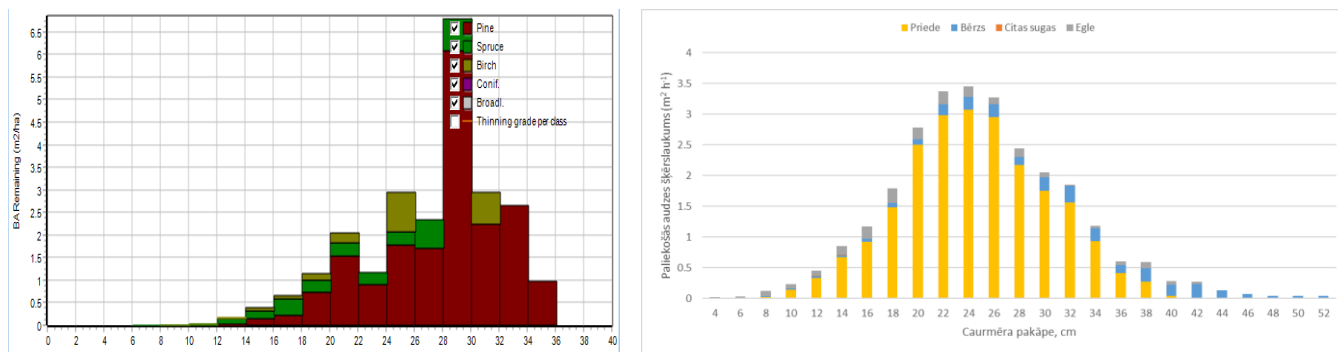
Paliekošais audzes šķērslaukums būtiski atšķiras Meža valsts reģistra datus un *hprGallring* aprēķinos. Tas skaidrojams ar atšķirībām, nosakot vidējo koka caurmēru un koku skaitu. Atšķirību iemeslus skaidrosim pēc izstrādei paredzēto audžu taksācijas rādītāju analīzes.

Tabula 2.8. Taksācijas rādītāji kontroles platībās

Cirmsas ID	Vidējais audzes caurmērs, cm			Vidējais audzes augstums, m			Audzes šķērslaukums, m ² ha ⁻¹		
	Meža valsts reģistrs	<i>hprGallring</i>	Kontrolmērījums	Meža valsts reģistrs	<i>hprGallring</i>	Kontrolmērījums	Meža valsts reģistrs	<i>hprGallring</i>	Kontrolmērījums
105-85-8	32	28	31	26	25	28	22	26	21
105-85-9	29	27	32	26	24	26	24	25	23
105-86-6	25	27	30	24	23	25	19	27	21
109-342-8	16	17	17	13	14	14	16	17	13
411-360-1	18	18	19	12	14	14	16	18	6
411-360-2	20	17	21	15	15	17	20	19	14

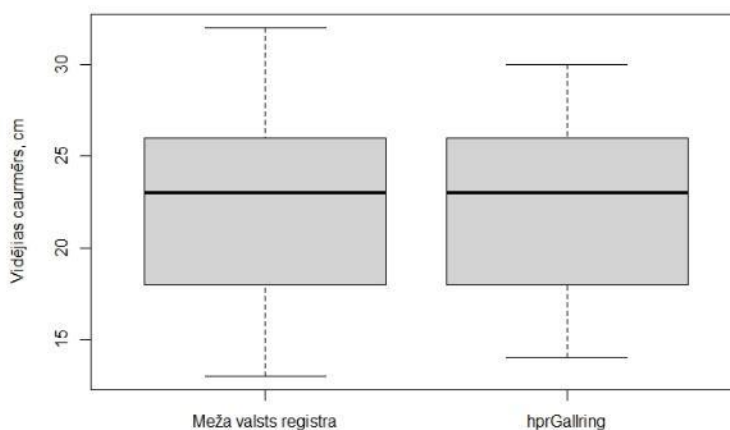
Taksācijas rādītāju, tai skaitā paliekošās audzes šķērslaukums, aprēķināšana un atspoguļošana vienas audzes ietvaros nedrīkst būtiski atšķirties. Salīdzinot *hprGallring* aprēķināto un kontroles platībās uzmērīto, uzskatāmi var redzēt, ka ir būtiskas atšķirības (att. 2.13). Analizējot paliekošo šķērslaukumu sadalījumā pa caurmēra pakāpēm, lielākas atšķirības ir tieši grupās no 20 līdz 32 cm. Atšķirības apskatītajā piemērā, kurš sastāv no diviem objektiem, galvenokārt skaidrojamas ar paliekošo koku skaita novērtējumu. Salīdzinot *hprGallring* aprēķināto platību ar Meža valsts reģistra datubāzi, atšķirība nav būtiska – 0,08 ha. Paliekošais koku skaits uz hektāra pēc kopšanas atšķiras par 12%. Ņemot vērā, ka koku skaits tieši ietekmē šķērslaukumu, nepieciešams identificēt kļūdas cēloni.

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai



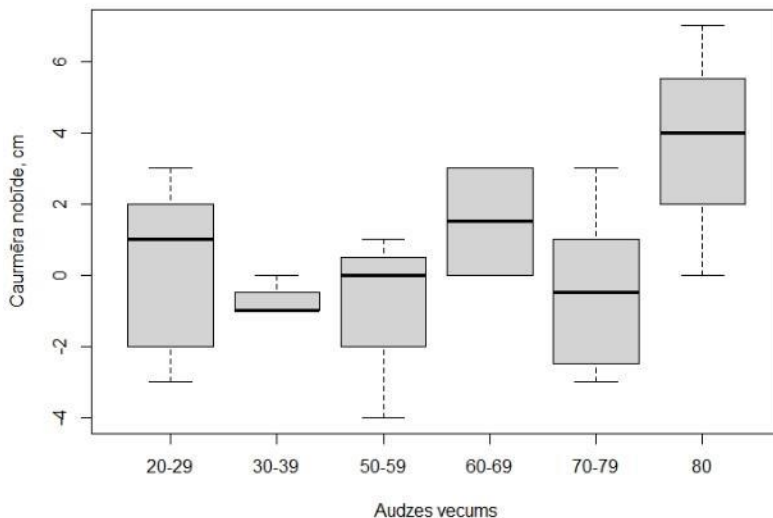
Attēls 2.13. Šķērslaukuma salīdzinājums *hprGallring* (kreisajā pusē) un kontrolmērījumos (labajā pusē)

Atlasītajos 47 objektos priežu tīraudzēs analizēti taksācijas rādītāji. **Audzēs vidējā koka caurmērs** saskaņā ar Meža valsts reģistra datiem ir $22,5 \pm 4,9$ cm, bet saskaņā ar *hprGallring* sistēmas datiem – $22,5 \pm 4,6$ cm (att. 2.14). Atšķirība nav būtiska.



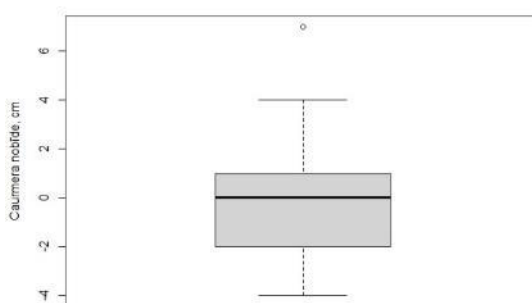
Attēls 2.14. Caurmēru salīdzinājums priedes audzēs

Salīdzinot paraugkopu izkliedes rādītājus un atbilstību normatīvajai bāzei, atšķirības ir būtiskas (att. 2.15) audzēs, kuru vecums ir līdz 30 un virs 70 gadi.



Attēls 2.15. Priežu audzes caurmēra nobīdes rādītāji

Priedes audzēs vidējā caurmēra izkliede ir lielāka par normatīvos noteikto robežvērtību – 1 cm (att. 2.16). Salīdzinot meža valsts reģistra datus un *hprGallring* aprēķināto caurmēru, atbilstība 1 cm robežās ir konstatēta 51% audžu.



Attēls 2.16. Priežu audzes vidējā koka caurmēra izkļiedes rādītāji

Koku augstums. Saskaņā ar Meža valsts reģistra datiem vidējā koka augstums ir $20,8 \pm 5,3$ m, saskaņā ar *hprGallring* aprēķiniem tas ir $20,9 \pm 5,2$ m. Pētījumā analizētās paraugkopas būtiski neatšķiras. 95% no pētījuma atlasītajiem objektiem iekļaujas Ministru Kabineta noteikumu Nr. 384 prasībās. Meža valsts reģistra un *hprGallring* aprēķinātā audzes vidējā koka augstuma korelācija ir cieša – 0,85 ($p < 0,00$).

Šajā etapā veikta koku augstuma salīdzināšana, tai skaitā ar tālīzpētes datiem, konstatējot, ka būtiska atšķirība nepastāv, jo 95% gadījumu šāda vecuma audzes augstums tieši sakrīt ar kontroles audzēm. Papildus novērtēta fotogrammetrijas metodes precizitāte, arī nekonstatējot būtiskas atšķirības (tab. 2.9).

Tabula 2.9. Augstuma salīdzināšana kontroles platībās

Cirsmas ID	Audzes vecums Meža valsts reģistrā	Koku augstums, m			
		meža valsts reģistra dati	<i>hprGallring</i>	kontroles audzes	tālizpētes dati
105-85-8	83	26	25	26	26,0
105-85-9	73	26	24	23	24,1
105-86-6	78	24	24	23	23,6

Ražošanas apstākļos ar 3 atšķirīgām metodēm pārbaudīta caurmēra sakritība, salīdzinot manuāli 1,3 m augstumā no sakņu kakla uzmērīto un harvesteru mērījumu (tab. 2.10). Atlasītajā priežu audzē sakņu kakla augstums sakrīt ar zemes virsmas augstumu, līdz ar to iegūtie mērījumi izslēdz dažādu faktoru ietekmi uz zāģējuma vietas izvēlni. Atbilstoši iegūtiem datiem ir divu veidu manuālie mērījumi, $D_{1,3}$, kas raksturo koka caurmēru un $D_{pēc}$, kas raksturo caurmēru pirmajam nogrieznim pēc stumbra sagarumošanas, un D_H , raksturo harvesteru sistēmas reģistrēto mērījumu. Pirmajā variantā harvesteru pēc koka nozāģēšanas uzreiz veic stumbra sagarumošanu, kas harvesteru failā atspoguļots kā “Automatic” (automātisks griezum). Tas nozīmē, ka stumbra sagarumošana veikta atbilstoši sistēmas piedāvātai sortimentu optimizācijai. Otrajā variantā harvesteru pēc koka nozāģēšanas sākumā veic nelikvīda zāģēšanu “nullēšanas ripas”, kas pētījumā bija 50-100 cm garas. Pēc tam veic atlikušā stumbra sagarumošanu atbilstoši sistēmas piedāvātai sortimentu optimizācijai. Manuālo griezum var identificēt sistēmā atbilstoši ierakstam “Other manual” (manuālais griezum), šajā gadījumā šis nelikvīds sistēmā tiek identificēts kā atsevišķs sortiments. Trešajā variantā, harvesteru pēc koka nozāģēšanas sākumā veic arī nelikvīda zāģēšanu (50 līdz 100 cm garu nogriezni), neveidojot atsevišķu sortimentu. Tas nozīmē, ka pēc nelikvīda nozāģēšanas nonulllēts garums un stubrs sagarumots atbilstoši sistēmas piedāvātajai sortimentu optimizācijai.

Lielākās atšķirības, salīdzinot manuālo mērījumu un harvesteru sistēmas reģistrēto, konstatētas 3. variantā. Teorētiski šāda caurmēra nobīde varētu novest pie atsevišķu mērījumu precizitātes samazināšanās, kā rezultātā iespējama novirze starp taksatoru mērījumiem un harvesteru sistēmas aprēķināto. Lai identificētu, vai šāda atšķirība ir sistemātiska un raksturīga tikai konkrētai tehnikai, 2022. gadā plānots līdzīgus mērījumus veikt arī citu ražotāju pētījumā iesaistītajai mežizstrādes tehnikai.

Tabula 2.10. Harvesteru mērījumu salīdzinājums

Koka Nr.	1.variants			2.variants			3.variants		
	$D_{1,3}$	$D_{pēc}$	D_H	$D_{1,3}$	$D_{pēc}$	D_H	$D_{1,3}$	$D_{pēc}$	D_H
1	17	16,4	17,5	10,2	10,0	10,4	9,5	8,6	8,1
2	18,2	16,1	17,6	12,7	11,2	11,6	10,4	8,7	8,3
3	12,0	11,4	12	12,7	11,8	11,8	10,5	8,8	9,1

Koka Nr.	1.variants			2.variants			3.variants		
	D _{1,3}	D _{pēc}	D _H	D _{1,3}	D _{pēc}	D _H	D _{1,3}	D _{pēc}	D _H
4	14,3	12,5	13,8	13,6	12,2	13,7	10,8	8,9	9,1
5	11,0	10,0	10,3	14,0	15,3	15,6	11,2	9,5	9,4
6	11,4	11,3	11,6	16,5	15,8	16,4	11,2	9,9	10,3
7	17,4	17,2	16,6	16,5	16,4	16,6	12,0	10,5	9,8
8	-	-	-	17	16,6	17,1	12,2	10,8	10,4
9	-	-	-	18,8	18	18,7	12,5	11	10,2
10	-	-	-	20,5	19,6	19,2	13	11,4	11,3
11	-	-	-	-	-	-	15,5	13	13,1
-	Vidējais ($\frac{D_{1,3}}{D_H}$) $0,3 \pm 0,5$			Vidējais ($\frac{D_{1,3}}{D_H}$) $0,1 \pm 0,8$			Vidējais ($\frac{D_{1,3}}{D_H}$) $1,8 \pm 0,4$		

Lai efektīvi pielietotu tāluzpētes datus, nepieciešams pilnveidot algoritmus precīzai koku skaita identificēšanai (att. 2.17). Viens no risinājumiem, kura izmantošanas iespēju analīze šobrīd turpinās citu pētījumu ietvaros, ir multispektrālu attēlu izmantošana DSM punktu mākoņa sagatavošanai, kas ļauj nofiltrēt lapotnes krāsu spektrus, izceļot koku galotnes.



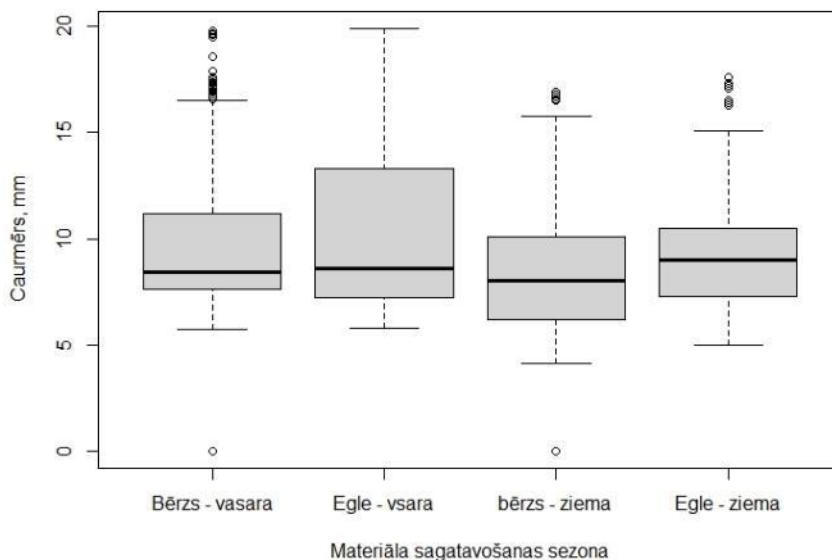
Attēls 2.17. Koku skaita identificēšana

2.4. Biokurināmā un apaļo kokmateriālu sagatavošanas metodes kopšanas cirtēs

2.4.1. Masas zuduma, kā arī cietā biokurināmā siltumspējas un mitruma satura izmaiņas

atkarībā no uzglabāšanas ilguma un citiem faktoriem

Saskaņā ar iegūtajiem rezultātiem, izmēģinājumu nodrošināšanai piegādāto apaļo kokmateriālu sortimentu nogriežņu (vasaras un ziemas sezona) vidējais caurmērs būtiski neatšķiras ($9,5 \pm 3,2$ cm, att. 2.18).



Attēls 2.18. Caurmēra sadalījums bērza un egles nogriežņiem

Izmēģinājumos iegūtie dati ļauj prognozēt koksnes blīvuma izmaiņas atkarībā no materiāla sagatavošanas sezonas (vasara vai ziema) un koku sugas (egle vai bērzs). Tabulā 2.11 apkopoti faktori ar būtisku ietekmi uz blīvuma izmaiņām.

Tabula 2.11. Apaļo kokmateriālu blīvuma izmaiņu novērtējums

Rādītājs	Koeficients	t. stat.	Būtiskums (p-vērtība)
Konstante	187,822	0,62	0,53
Uzglabāšanas ilgums, dienās	0,074	0,09	0,82
Temperatūra	3,054	0,55	0,58
Relatīvais mitrums	-1,805	-0,60	0,55
Nokrišņu daudzums, mm	-0,428	-0,82	0,41
Konstante_2 (sezona)	2,760	0,12	0,55
Konstante_3 (koku suga)	-73,917	-3,68	0,00

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

Koksnes blīvuma izmaiņu prognozēšanai izstrādātais vienādojums (formula 2.1, $R^2=0,65$) nav pielietojams ražošanas apstākļos. Tas saistīts ar materiāla sagatavošanas sezonas un koku sugas ietekmi, ko neizdevās ietvert vienā vienādojumā.

$$b = 187,822 + (0,073 * d) + (3,054 * t) + (-1,805 * m) + (-0,428 * n) + (2,76 * k_1) + (-73,917 * k_2) \quad (2.1)$$

Kur:

d – uzglabāšanas ilgums, dienas;

t – vidējā temperatūra uzglabāšanas laikā, °C;

m – vidējais relatīvais mitrums;

n – vidējais nokrišņu daudzums uzglabāšanas periodā, mm;

*k*₁ – koeficients, kas raksturo materiāla sagatavošanas sezonu (1 – vasara, 2 – ziema)

*k*₂ – koeficients, kas raksturo koku sugu (1 – bērzs, 2 – egle).

Ražošanā rekomendējam pielietot vienādojumus sadalījumā pa koku sugām un atkarībā no materiāla sagatavošanas sezonas. Tab. 2.12 atspoguļoti faktori ar būtisku ietekmi.

Tabula 2.12. Apaļo kokmateriālu blīvuma izmaiņu novērtējums atkarībā no koku sugas un materiāla sagatavošanas sezonas

Rādītājs	Bērzs – vasara			Bērzs – ziema			Egle – vasara			Egle – ziema		
	koeficients	t. stat.	p-vērtība	koeficients	t. stat.	p-vērtība	koeficients	t. stat.	p-vērtība	koeficients	t. stat.	p-vērtība
Konstante	1470,179	6,54	0,00	-838,179	-2,40	0,06	2805,257	3,83	0,00	-3039,960	-7,00	0,00
Uzglabāšanas ilgums, dienās	-3,289	-7,40	0,00	2,977	1,49	0,19	-4,702	-3,25	0,01	3,701	4,42	0,00
Temperatūra	-36,978	-9,98	0,00	53,043	2,71	0,04	-46,976	-3,72	0,00	81,919	10,89	0,00
Relatīvais mitrums	-11,213	-5,02	0,00	-2,301	-1,45	0,20	-28,039	-3,95	0,00	21,203	4,37	0,00
Nokrišņu daudzums, mm	1,492	4,79	0,00	-0,547	-0,77	0,47	2,719	2,83	0,02	-1,563	-2,21	0,05

Koksnes blīvuma izmaiņu prognozēšanai izstrādātie vienādojumi:

- Bērzs, sagatavots vasarā ($R^2=0,98$):

$$b = 1470,179 + (-3,289 * d) + (-36,978 * t) + (-11,213 * m) + (1,492 * n) \quad (2.2)$$

Kur:

- d – uzglabāšanas ilgums, dienas;
- t – vidējā temperatūra uzglabāšanas laikā, °C;
- m – vidējais relatīvas mitrums;
- n – vidējais nokrišņu daudzums uzglabāšanas periodā, mm;

- Bērzs, sagatavots ziemā ($R^2=0,94$):

$$b = 1470,179 + (-3,289 * d) + (-36,978 * t) + (-11,213 * m) + (1,492 * n) \quad (2.3)$$

Kur:

- d – uzglabāšanas ilgums, dienas;
- t – vidējā temperatūra uzglabāšanas laikā, °C;
- m – vidējais relatīvas mitrums;
- n – vidējais nokrišņu daudzums uzglabāšanas periodā, mm;

- Egle, sagatavots vasarā ($R^2=0,90$):

$$b = 2805,257 + (-4,702 * d) + (-46,976 * t) + (-28,039 * m) + (2,719 * n) \quad (2.4)$$

Kur:

- d – uzglabāšanas ilgums, dienas;
- t – vidējā temperatūra uzglabāšanas laikā, °C;
- m – vidējais relatīvas mitrums;
- n – vidējais nokrišņu daudzums uzglabāšanas periodā, mm;

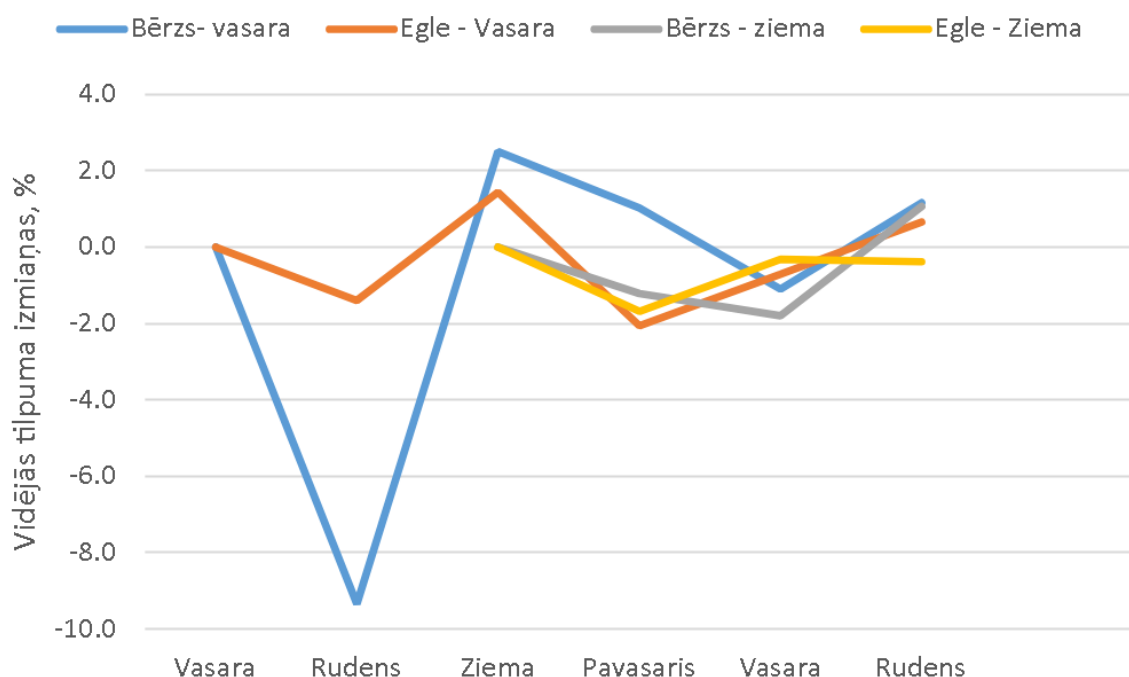
- Egle, sagatavots ziemā ($R^2=0,98$):

$$b = -3039,960 + (3,701 * d) + (81,919 * t) + (21,203 * m) + (-1,563 * n) \quad (2.5)$$

Kur:

- d – uzglabāšanas ilgums, dienas;
- t – vidējā temperatūra uzglabāšanas laikā, °C;
- m – vidējais relatīvas mitrums;
- n – vidējais nokrišņu daudzums uzglabāšanas periodā, mm;

Koksnes tilpuma izmaiņu raksturošana balstīta uz vidējo vērtību izmaiņām krautuvēs, būtiskas izmaiņas novērotas materiālam, kas sagatavots vasarā (att. 2.19). Šim materiālam novērojama gan straujāka rukšana, gan briešana.



Attēls 2.19. Tilpuma izmaiņas uzglabāšanas laikā

Pētījumā analizētas tilpuma izmaiņas atkarībā no materiāla novietojuma – kaudzes apakšā, vidū vai malās. Pēc pētījumā iegūtiem datiem bērza nogriežņiem lielākās tilpuma izmaiņas ir materiāla apakšā, tas skaidrojams ar materiāla novietojumu uz augsnes, savukārt nokrautā materiāla malas pakļautas klimatiskajiem apstākļiem (tab. 2.13). Līdzīgas izmaiņas novērotas arī egles materiālam kurš sagatavots vasarā. Savukārt, materiālam, kurš sagatavots ziemā, tilpuma izmaiņas atkarībā no materiāla novietojuma nav izteiktas.

Tabula 2.13. Vidējās tilpuma izmaiņas atkarībā no materiāla novietojuma

Koku suga un sagatavošanas sezona	Materiāla novietojums	Vasara	Rudens	Ziema	Pavasaris	Vasara	Rudens
Bērzs – vasara	Kaudzes apakšā	0	-2,8	14	-14,6	-3,3	-11,3
	Kaudzes malās	0	3,5	19	0,7	6,0	7,3
	Kaudzes vidū	0	-16,9	-21,8	9,3	-23,0	6,5
Egle – vasara	Kaudzes apakšā	0	6,8	-6,1	15,1	0,3	4,6
	Kaudzes malās	0	2,1	-6,1	15,1	0,3	4,6
	Kaudzes vidū	0	-8,1	19,0	4,1	-2,1	2,9
Bērzs – ziema	Kaudzes apakšā	-	-	0	-1,6	-0,2	6,6
	Kaudzes malās	-	-	0	-9,1	-3,2	3,1
	Kaudzes vidū	-	-	0	3,8	-5,4	-2,3

Koku suga un sagatavošanas sezona	Materiāla novietojums	Vasara	Rudens	Ziema	Pavasaris	Vasara	Rudens
Egle – ziema	Kaudzes apakšā	-	-	0	-2,3	-0,5	3,2
	Kaudzes malās	-	-	0	-1,4	-1,9	2,2
	Kaudzes vidū	-	-	0	-8,7	-2,9	-2,4

Pētījumā izstrādāts vienādojums birstoša biokurināmā tilpuma raksturošanai ($R^2=0,98$), pārrēķinot no kubikmetriem uz berkubikmetriem. Ņemot vērā, ka nav būtiska atšķirība starp materiāla gatavošanas sezonu, kā arī koku sugām, datu kopas apvienotas. Lai vienkāršotu pārrēķinu no kubikmetriem uz smalcinātas koksnes berkubikmetriem, papildus noteikts pārrēķinu koeficients 2,85.

$$b = -0,11 + (3,109 * V) \quad (2.6)$$

Kur:

V – kokmateriālu tilpums, m^3 .

Uzsākto laku darbus 2020. gada 17. jūlijā, fiksētas bāzes vērtības, pēc kurām modelē tālāko rādītāju izmaiņas (tab. 2.14).

Bērza koksnei, kura gatavota 2020. gada jūlijā (vasaras sezona), sākotnējais mitruma saturs bija 49% (svaigi cirstai koksnei), gaissausa parauga siltumspēja – 18,79 MJ kg⁻¹ un bēruma blīvums – 332 kg m⁻³. Egles koksnei sākotnējais mitrums – 39%, gaissausa parauga siltumspēja – 18,70 MJ kg⁻¹ un bēruma blīvums – 274 kg m⁻³.

2020. gada 15. decembrī piegādāts materiāls, kurš sagatavots ziemas sezonā. Bērza koksnei sākotnējais mitrums bija 44%, gaissausa parauga siltumspēja – 19,45 MJ kg⁻¹ un bēruma blīvums – 292 kg m⁻³. Egles koksnei sākotnējais mitruma saturs bija 47%, gaissausa parauga siltumspēja – 19,17 MJ kg⁻¹ un bēruma blīvums – 351 kg m⁻³.

Saskaņā ar laboratorijas analīžu rezultātiem mitruma izmaiņas atkarīgas no mežizstrādes sezonas.

Tabula 2.14. Enerģētiskās koksnes raksturojošo rādītāju izmaiņas

Koku suga un sagatavošanas sezona	Rādītājs	Vasara	Rudens	Ziema	Pavasaris	Vasara	Rudens
Bērzs - vasara	Relatīvais mitrums, %	49	41	36	28	21	31
Bērzs - ziema		-	-	44	39	26	36
Egle - vasara		39	39	42	35	19	38

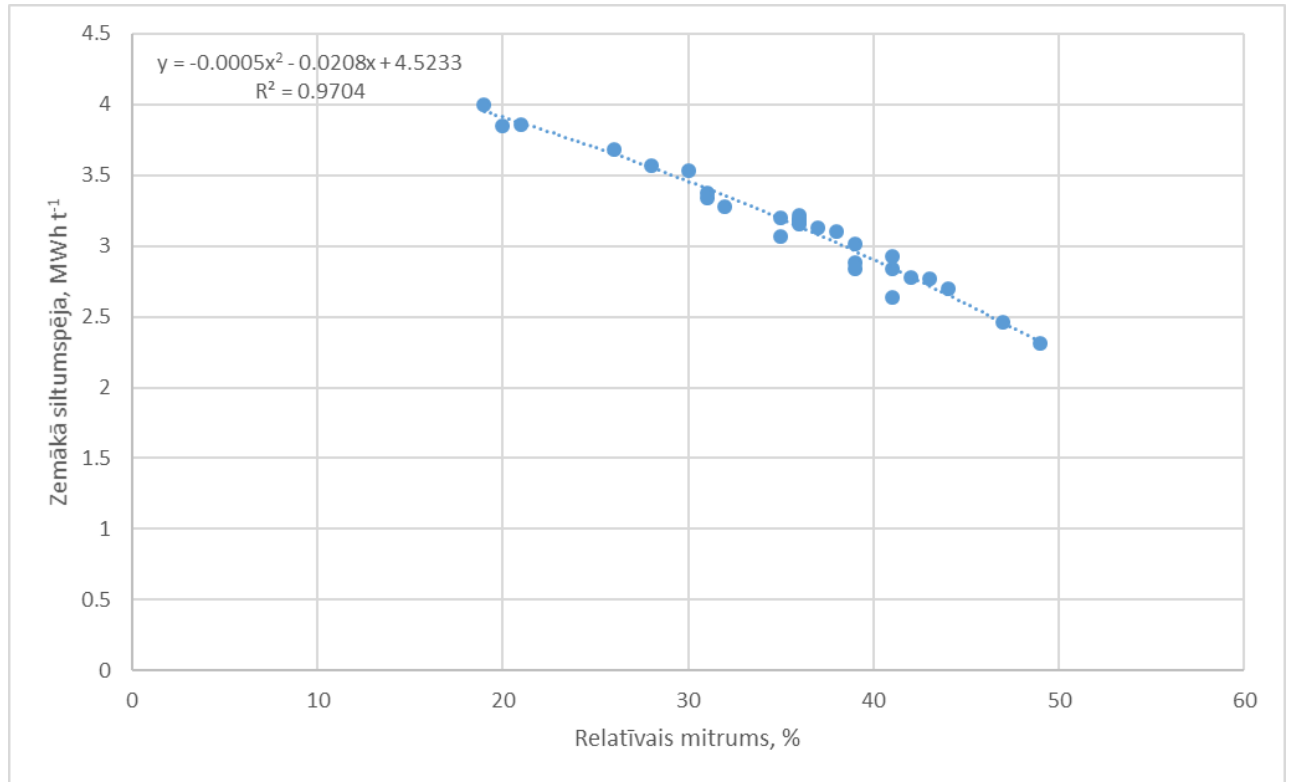
Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

Koku suga un sagatavošanas sezona	Rādītājs	Vasara	Rudens	Ziema	Pavasaris	Vasara	Rudens
Egle-ziema		-	-	47	41	20	35
Bērzs - vasara	Gaissausa parauga siltumspēja, MJ kg ⁻¹	18,79	19,30	19,25	18,34	18,34	18,98
Bērzs - ziema		-	-	19,45	18,98	18,89	19,40
Egle - vasara		18,70	19,52	19,36	18,49	18,48	19,32
Egle-ziema		-	-	19,17	18,14	18,14	19,26
Bērzs - vasara	Bēruma blīvums, kg m ⁻³	332	312	360	274	274	259
Bērzs - ziema		-	-	292	302	302	272
Egle - vasara		274	213	255	222	222	318
Egle-ziema		-	-	351	229	229	225
Bērzs - vasara	Zemākā siltumspēja, MWh t ⁻¹	2,31	2,84	3,15	3,57	3,86	3,41
Bērzs - ziema		-	-	2,70	3,2,84	3,68	3,17
Egle - vasara		2,88	3,01	2,78	3,07	4,00	3,02
Egle-ziema		-	-	2,46	2,64	3,57	3,22

Bērza materiālam, kurš sagatavots vasarā un ko uzreiz plānots smalcināt pilnas šķeldu puspiekabes kravas masa ir 31 t (16 t koksnes un 15 t ūdens), kopējā energoietilpība 72 MWh. Ja koksnes smalcināšanu plānots veikt pavasarī, saskaņā ar pētījumā iegūtajiem rādītājiem, transportējot pilnu šķeldu puspiekabi, kravas masa ir arī 24 t, bet koksne ir 17 t koksnes un ūdens 7 t, bet kopējā kravas siltumspēja ir 86 MWh. Līdzīgi var plānot nepieciešamo kravu skaitu, zinot vidējo bēruma blīvumu sezonā un pievesto koksnes apjomu.

Saskaņā ar pētījumā iegūtiem datiem, mitruma saturam izmainoties par 1%, siltumietilpība palielinās par 0,06 MWh (att. 2.20.).

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai



Attēls 2.20. Relatīvā mitrums un zemākās siltumspējas izmaiņas enerģētiskajā koksņē

Veicot pēdējos mērījumus, atsevišķiem nogriežņiem nebija iespējams noteikt caurmēru un masu. Tas saistīts ar materiāla sadalīšanos. Šī problēma bija bērza nogriežņiem, kuri sagatavoti vasarā un atrodas saskarsmē ar augsni. Arī ziemā sagatavotie bērza nogriežņi sadalījās straujāk.

NOVĒROJUMI UN SECINĀJUMI

1. Pētījuma darbībā “Energētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs” saskaņā ar darba plānu pabeigta detalizēta pētījuma metodikas izstrāde, kā arī, pateicoties veiksmīgai objektu atlasei un labvēlīgiem laika apstākļiem, 2021. gadā uzsākta izpilde daļai no 2022. gadā plānotajiem mērījumiem, veicot koksnes kaudžu monitoringu un ievācot datus koksnes kaudžu rukums aprēķiniem.
2. Darbības “Forvardera greifera svāri koksnes biokurināmā apjoma noteikšanai” īstenošana turpinās atbilstoši plānam. 2021. gadā veikta izstrādātās metodikas aprobācija. Saskaņā ar sākotnēji iegūtajiem datiem, ar svaru sistēmu var noteikt pievesto (iekrauto un izkrauto) masu, papildus raksturojot pievesto koksni sadalījumā pa tehnoloģiskajām brauktuvēm, kā arī identificējot cirsma daļas, no kurām mežizstrādes atliekas un sīkkoksne nav pievesta.
3. Darbības “Šķeldu kravu piepildījuma izmaiņu monitorings un vienādojumu izstrādāšana kravu piepildījuma samazināšanās prognozēšanai” īstenošana atpauzē no darba plāna, jo jaunas vienošanās panākšana par datu ievākšanu aizkavējās. Šobrīd datu ieguves jautājums ir atrisināts un pētījumam nepieciešamo datu kopu pilnībā iegūsim 2022. gadā. Paredzams, ka LVMI Silava darba laika patēriņš šī uzdevuma īstenošanai pārsniegs sākotnēji plānoto sakarā ar lielo nekvalitatīvo datu īpatsvaru 2021. gadā iegūtajos datos.
4. Apkopojot rezultātus, kas iegūti darbībā “Šķeldu kravu piepildījuma izmaiņu monitorings un vienādojumu izstrādāšana kravu piepildījuma samazināšanās prognozēšanai”, secināts, ka pastāv sakarība starp pārvietošanās attālumu un smalcinātas enerģētiskās koksnes – šķeldu sablīvēšanos, ko var raksturot ar nelineāriem vienādojumiem. Izteiktāka sablīvēšanās konstatēta konteineru tipa autotransportam.
5. Darbības “Forvardera atstāto risu mērīšanas iekārtas izstrāde” īstenošana turpinās atbilstoši darba plānam, ir izstrādāts jauns iekārtas prototips ar lāzersensoru un jaunais un iepriekšējais prototips ir papildināti ar augstas izšķirtspējas GNSS iekārtu. Atbilstoši darba plānam veikta iekārtu pārbaude, pārlicinoties, ka iegūtie dati būs izmantojami risu veidošanās procesa analīzei reālā laika režīmā, kā arī pēc mežizstrādes. Lāzersensora izmantošana nodrošina būtiski lielāku precizitāti, nekā līdz šim izmantotais ultraskaņas sensors.
6. Darbības “Algoritmu pilnveidošana kopšanas ciršu attālinātai kontrolei” izpildes aizkavēšanās saistīta ar pasūtītāja cirsmu plānošanas procesu. Pētījumam nepieciešamās cirsmas varēja atlasīt tikai augustā, tāpēc zemes lāzerskenēšanas metode, kas nav pielietojama, pazeminoties gaisa temperatūrai, aizstāta ar manuālu dastošanu, fiksējot koku pozīciju, kas vairākkārtīgi palielina darba apjomu cirsmu uzmērīšanai. Metodikas izmaiņas būtiski palielināja darba apjomu empīrisku datu ieguvei.
7. Lai iegūtu labāku priekšstatu par darbības “Algoritmu pilnveidošana kopšanas ciršu attālinātai kontrolei” ietvaros konstatēto novirzi koka caurmēra aprēķināšanā, jāveic nobīdes izvērtējums dažādu ražotāju mežizstrādes mašīnām, nepieciešamības gadījumā izstrādājot korekcijas vienādojumus caurmēra precīzākai aprēķināšanai.
8. Saskaņā ar pētījuma rezultātiem, salīdzinot *hprGallring* aprēķinus un vienlaidus platības uzmērīšanas rezultātus, būtiskas atšķirības vidējā caurmēra un paliekošā audzes šķērslaukuma raksturošanā saistītas ar koka caurmēra mērījumu vai aprēķinu kļūdu, kā arī paliekošā koku skaita prognozes nenoteiktību. Koku augstumam, kas novērtēts ar dažādām metodēm, nav konstatētas atšķirības.
9. Saskaņā ar pētījuma rezultātiem, salīdzinot koksnes blīvuma izmaiņas uzglabāšanas periodā, atkarībā no materiāla sagatavošanas sezonas un koku sugas, izstrādāti četri regresijas vienādojumi ar augstu ticamību ($R^2 > 0,90$).

10. Balstoties uz iegūtajiem rezultātiem, izstrādāts vienādojums un aprēķināts koeficients pārrēķiniem no kubikmetriem uz šķeldu berkubikmetriem. Iegūtie dati parāda, ka uzglabājamais materiāls sāk sadalīties pēc 450 dienām, kas izpaužas kā koksnes tilpuma, blīvuma un siltumspējas samazinājums. Izstrādātos vienādojumus nepieciešams aprobēt ražošanas apstākļos ar lielu biokurināmā apjomu, tādējādi precizējot un pielāgojot aprēķinātos koeficientus dažādiem apstākļiem. Pētījumā izstrādāti vienādojumi, kas nepieciešami blīvuma izmaiņu raksturošanai.

LITERATŪRA

1. Apostol, B., Chivulescu, S., Ciceu, A., Petrița, M., Pascu, I.-S., Apostol, E. N., Leca, S., Lorent, A., Tanase, M., & Badea, O. (2018). Data collection methods for forest inventory: A comparison between an integrated conventional equipment and terrestrial laser scanning. *Annals of Forest Research*, 61(2), 189. <https://doi.org/10.15287/afr.2018.1189>
2. AS "Latvijas valsts meži". (2008). *Kopšanas ciršu rokasgrāmata*. AS "Latvijas valsts meži". https://www.lvm.lv/images/lvm/Petijumi_un_publicacijas/KC-rokasgramata.pdf
3. AS "Latvijas valsts meži". (2019). *Harvesteru kalibrēšanas un kontrolmērījumu vadlīnijas*. https://www.lvm.lv/images/lvm/ProfesionaliEMežizstrāde/Pielikumi/harvesteru-kalibresanas-un-kontrolmerijumu-vadlinijas_v.04.pdf
4. AS "Latvijas valsts meži". (2020). *AS "Latvijas valsts meži" marķējumi cirsmu darbiem*. https://www.lvm.lv/images/lvm/lvm_cirsmu-robezu-apzimejumi_v.01.pdf
5. AS "Latvijas valsts meži". (2021). *Enerģētiskās koksnes krautuvju izveidošanas un krautnēšanas vadlīnijas*. https://www.lvm.lv/images/lvm/ProfesionaliEMe%5BEizstr%C4%81de/Pielikumi/en-ergetiskas-koksnes-krautuvju-izveidosanas-un-krautnesanas-vadlinijas_2021.pdf
6. Balenović, I., Liang, X., Jurjević, L., Hyypä, J., Seletković, A., & Kukko, A. (2021). Hand-Held Personal Laser Scanning: Current Status and Perspectives for Forest Inventory Application. *Croatian journal of forest engineering*, 42(1), 165–183. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2021.858>
7. Bauwens, S., Bartholomeus, H., Calders, K., & Lejeune, P. (2016). Forest Inventory with Terrestrial LiDAR: A Comparison of Static and Hand-Held Mobile Laser Scanning. *Forests*, 7(12), 127. <https://doi.org/10.3390/f7060127>
8. Bhuiyan, N., Möller, J. J., Hannrup, B., & Arlinger, J. (2016). *Arbetsrapport Automatisk gallringsuppföljning*. Skogforsk.
9. Broks, J. (2005). *Letonika.lv. Meža ekoloģija, tipoloģija, augsne, hidromeleorācija un kokaugu fizioloģija*. <https://www.letonika.lv/groups/default.aspx?r=7&q=ja&id=972525&g=1>
10. Cabo, C., Ordóñez, C., López-Sánchez, C. A., & Armesto, J. (2018). Automatic dendrometry: Tree detection, tree height and diameter estimation using terrestrial laser scanning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 69, 164–174. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.01.011>
11. FARO. (2020). *Focus Laser Scanner*. <https://media.faro.com/-/media/Project/FARO/FARO/FARO/Resources/2021/01/15/22/34/Tech-Sheet-FARO-Focus-Laser-Scanners-ENG.pdf?rev=cb02264ffcbd4123b82a5c42f29b14be>
12. Huang, H., Li, Z., Gong, P., Cheng, X., Clinton, N., Cao, C., Ni, W., & Wang, L. (2011). Automated Methods for Measuring DBH and Tree Heights with a Commercial Scanning Lidar. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 77(3), 219–227. <https://doi.org/10.14358/PERS.77.3.219>
13. Latvijas Valsts mežzinātnes institūta "Silava". (2013). *Nacionālā meža monitoringa 1.1. Aktivitātes "Meža resursu monitorings" metodika. Izstrādāta saskaņā ar Ministru kabineta noteikumiem Nr. 238 no 03.04.2013 "Nacionālā meža monitoringa noteikumi". Saskaņota ar Zemkopības ministra 24.04.2013 vēstuli Nr. 3.2-3e/1396/2013. Apstiprināta ar Latvijas Valsts mežzinātnes institūta "Silava" direktora 26.04.2013 rīkojumu Nr. 7-v.*

http://www.silava.lv/userfiles/file/Nacionalais%20meza%20monitorings/Me%C5%BEa%20resursu%20monitoringa%20metodika%2026_04_2013.pdf

14. Liang, X., Kankare, V., Hyypä, J., Wang, Y., Kukko, A., Haggrén, H., Yu, X., Kaartinen, H., Jaakkola, A., Guan, F., Holopainen, M., & Vastaranta, M. (2016). Terrestrial laser scanning in forest inventories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 63–77. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.006>
15. Liepa, I. (2018). *Meža taksācija*. Latvijas Lauksaimniecības Universitāte.
16. Liepiņš, J., Lazdiņš, A., & Liepiņš, K. (2017). Equations for estimating above- and belowground biomass of Norway spruce, Scots pine, birch spp. And European aspen in Latvia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1–43. <https://doi.org/10.1080/02827581.2017.1337923>
17. Liepiņš, J., Liepiņš, K., & Lazdiņš, A. (2016). Estimation of the biomass stock from growing stock volume. *Collection of Abstracts*, 120.
18. Līpiņš, L. (2013). *Apaļo kokmateriālu apjoma noteikšanā lietojamo pārrēķina koeficientu metodes izstrādāšana un aprobēšana*. LLU.
19. Līpiņš, L. (2015). *Individuālo tilpuma noteikšanas metožu precizitātes ietekmējošo faktoru izpēte*.
20. LVS/STK/38 Kokmateriāli. (2020). *Apaļo kokmateriālu uzmērīšana LVS 82:2020*.
21. Maas, H. -G., Bienert, A., Scheller, S., & Keane, E. (2008). Automatic forest inventory parameter determination from terrestrial laser scanner data. *International Journal of Remote Sensing*, 29(5), 1579–1593. <https://doi.org/10.1080/01431160701736406>
22. Mokoš, M., Mikita, T., Singh, A., Tomaščík, J., Chudá, J., Wężyk, P., Kuželka, K., Surový, P., Klimánek, M., Zięba-Kulawik, K., Bobrowski, R., & Liang, X. (2021). Novel low-cost mobile mapping systems for forest inventories as terrestrial laser scanning alternatives. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 104, 102512. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102512>