



PĀRSKATS  
PAR PĒTĪJUMA 2023. GADA REZULTĀTIEM

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: **TEHNOLOĢIJAS MEŽA APSAIMNIEKOŠANAS  
PROCESU EFEKTIVITĀTES PAAUGSTINĀŠANAI**

LĪGUMA NR. 5\_5.9.1\_0081\_101\_21\_87

PĒTĪJUMA ZINĀTNISKAIS VADĪTĀJS: Andis Lazdiņš, LVMI Silava vadošais pētnieks

PĒTĪJUMS ĪSTENOTS AKCIJU SABIEDRĪBAS "LATVIJAS VALSTS MEŽI" UN LATVIJAS VALSTS  
MEŽZINĀTNES INSTITŪTA "SILAVA" 2021. GADA 13. SEPTEMBRA SADARBĪBAS LĪGUMA IETVAROS

Salaspils, 2023

## KOPSAVILKUMS

Pētījuma “Enerģētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs” īstenošanas ietvaros turpinās datu ievākšana un apstrāde saskaņā ar darba uzdevumu un kalendāro plānu. Pētījuma īstenošanas ietvaros 2023. gadā ierīkotas papildu krautuves, lai raksturotu mežizstrādes atlieku uzglabāšanas cismā ietekmi uz šķeldu kvalitāti raksturojošajiem parametriem (mitrumu, siltumspēju, pelnu saturu) un mežizstrādes atlieku krautņu rukumu. Papildus, skuju koku un mistrotu audžu cismās izveidotas trešās grupas krautuves, kurās sākām paraugu ievākšanu mežizstrādes atlieku īpašību izmaiņu raksturošanai dažādās sezonās (rudē, ziemā, pavasarī un vasarā) izstrādātās cismās.

Pētījuma “Forvardera greifera svāri meža biomasas apjoma noteikšanai” izpildei pievešanas procesā uzsākta biokurināmā svēršana, uzsākts darbs pie algoritmu izstrādes, balstoties uz pētījumā iegūtiem datiem.

Otra pētnieciskā uzdevuma “Meža tehnikas monitoringa sistēmu un datu automatizētās apstrādes instrumentu pilnveidošana un ieviešana ražošanā” ietvaros 2023. gadā īstenots viens pētījums “Forvardera atstāto risu mērīšanas iekārtas izstrāde”. Lai noteiktu kokmateriālu pievešanas no cismas uz AGK laikā izveidojušos risu izvietojumu un dziļumu, pētījumā izmantotas precīzas GNSS iekārtas.

Pētījums īstenots saskaņā ar LVMI Silava un LVM līgumu Nr. 5\_5.9.1\_0081\_101\_21\_87 par pētījumu programmas “Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai” īstenošanu. Pētījuma izpildes progresu kopsavilkums dots tab. 1.1.

Tabula 1.1. Pētījuma īstenošanas progressa kopsavilkums

Darbs	Pamatojums, darbības un metodika (pētījums, darbs)	Nodevumi	Statuss uz 31.12.2023
1. Meža biokurināmā ražošanas un piegāžu tehnoloģiju pilnveidošana un aprobācija			
1.1.	<p><b>Darbu nolūks:</b> Novērtēt meža biomasas kvalitātes izmaiņas uzglabāšanas laikā augšgala krautuvē un cirmā 3 gadu periodā.</p> <p>Lauku darbi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Koksnes paraugu ievākšana reizi mēnesī no iepriekš sagatavotajām 1. un 2. grupas krautuvēm siltumspējas un mitruma satura analīzēm;</li> <li>• iepriekš sagatavoto 1. un 2. grupas krautuvju uzmērīšana reizi mēnesī, izmantojot manuālo un attālās izpētes metodi;</li> <li>• iepriekš sagatavotās 1. grupas 9. un 10. krautuves atstājamas ilglaicīgu novērojumu veikšanai;</li> <li>• uzglabātā materiāla šķeldošana reizi trīs mēnešos šķeldu īpašību (siltumspēja, mitruma un pelnu saturs un tīlpumblīvums) izmaiņu raksturošanai;</li> <li>• koksnes krautuvju uzmērīšana reizi mēnesī, izmantojot manuālo un attālās izpētes metodi;</li> <li>• šķeldu paraugu ievākšana analīzēm, šķeldu kravu tīlpuma mērīšana un svēršana ražošanas apstākļos iepriekš sagatavotajās 1. grupas krautuvēs;</li> <li>• biomasas paraugu ievākšana no ilglaicīgi uzglabājamajām 1. grupas 9. un 10. krautuvēm siltumspējas, mitruma un pelnu saturs noteikšanai;</li> <li>• jaunu izmēģinājumu ierīkošana mežizstrādes atlieku īpašību izmaiņu raksturošanai uzglabāšanas laikā</li> </ul>	<p>Izstrādāti pilnveidoti prognožu modeļi, kas noformēti atbilstoši IT praksei. Modeļi atbalsta maināmus ievades parametrus, piemēram, sugu sastāvs, EK sagatavošanas datums u.t.t. Modelis prognozē siltumspējas (arī pārējo raksturlielumu) mazināšanos laika skalā.</p> <p>Sagatavots prognožu rezultāts pārskatā gan grafiskā, gan skaitļu veidā, rezultāts sagatavots fiziskās mērvienībās (berkubikmetri), sausnas tonnās un enerģijas mērvienībās</p> <p>Sagatavots pētījuma 2023. gada rezultātu apkopojums etapa pārskatā, aprakstīti starpsecinājumi un sagatavotas rekomendācijas pētījuma nākamajam posmam.</p>	<p>Pilnveidoti iepriekš izstrādātie krautuvju rukuma un zemākas siltumspējas aprēķini modeļi. Tie pielāgoti mainīgu ievades parametru izmantošanai. Iepriekš izstrādātie modeļi piemēroti lapu koku audzēm. Modeļi izmantojami R vidē (piemēram, programmā R-studio). Pētījuma turpinājumā papildu uzmanību pievērsīsim izstrādāto vienādojumu pielietošanas vienkāršošanai.</p>

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

Darbs	Pamatojums, darbības un metodika (pētījums, darbs)	Nodevumi	Statuss uz 31.12.2023
	<p>cirmā un augšgala krautuvē (3 sezonas, 6 mēnešus ilgs uzglabāšanas periods cirmā un līdz 24 mēnešus ilgs uzglabāšanas periods augšgala krautuvē (AGK), priedes, mistrotas skuju koku un lapu koku cirsma, 3 atkārtējumi katrā variantā) un periodiska (reizi mēnesī) biomasas paraugu ievākšana cirmā pirms mežizstrādes atlieku pievešanas mitruma un pelnu satura kā arī siltumspējas noteikšanai;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• periodiska (reizi mēnesī) pievestā materiāla krautuvju (3. krautuvju grupa) uzmērīšana, izmantojot 2022. gadā aprobētās metodes, periodiska (reizi mēnesī) biomasas paraugu ievākšana no krautuvēm;</li> <li>• pakāpeniska (reizi 3 mēnešos) 2023. gadā sagatavoto krautuvju šķeldošana, šķeldu paraugu ievākšana siltumspējas, mitruma un pelnu satura un īpatnējā blīvuma noteikšanai, krautuvju pārmērīšana pēc šķeldošanas;</li> <li>• jaunu izmēģinājumu ierīkošana (4.krautuvju grupa) mežizstrādes atlieku īpašību izmaiņu raksturošanai uzglabāšanas laikā augšgala krautuvēs (mežizstrādes atliekām krautuvē jābūt vecākām par diviem gadiem ar identificējamu izcelsmes laiku un sastāvu (30 krautuves)</li> <li>• periodiska (reizi mēnesī) ilglaicīgo krautuvju uzmērīšana, izmantojot 2022. gadā aprobētās metodes un periodiska (reizi mēnesī) biomasas paraugu ievākšana no krautuvēm;</li> <li>• pakāpeniska (reizi 3 mēnešos) krautuvju šķeldošana, šķeldu paraugu ievākšana siltumspējas, mitruma un</li> </ul>		

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

Darbs	Pamatojums, darbības un metodika (pētījums, darbs)	Nodevumi	Statuss uz 31.12.2023
	<p>pelnu saturu un īpatnējā blīvuma noteikšanai, krautuvju vietas mērīšana pēc šķeldošanas krautuves tilpuma precizēšanai;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4.krautuvju grupas biomasas un šķeldu paraugu ievākšana atbilstoši pētījumā izstrādātajai metodikai;</li> </ul> <p>Kamerālie darbi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• biomasas paraugu no 1. krautuvju grupas analīzes laboratorijā, nosakot mitruma un pelnu saturu un siltumspēju;</li> <li>• šķeldas paraugu no 1. krautuvju grupas analīzes laboratorijā, nosakot mitruma un pelnu saturu, īpatnējo blīvumu un siltumspēju;</li> <li>• biokurināmā īpašību prognožu modeļa pilnveidošana, izmantojot 2023. gadā iegūto empīrisku datu kopu;</li> <li>• pētījuma metodikas pielāgošana biomasas paraugu ievākšanai cismās vienlaidus atjaunošanas cirtēs, lai raksturotu biomasas īpašību izmaiņas uzglabāšanas laikā cismās, 3. grupas krautuvju uzmērīšanai pēc pievešanas, kā arī biomasas un šķeldu paraugu ievākšanai un analīzēm;</li> <li>• cismās un 3. un 4. krautuvju grupās ievāktu biomasas paraugu analīzes laboratorijā, nosakot mitruma un pelnu saturu un siltumspēju;</li> <li>• šķeldojot 3. un 4. grupas krautuves ievāktu šķeldu paraugu analīzes laboratorijā, nosakot mitruma un pelnu saturu, siltumspēju un īpatnējo blīvumu.</li> </ul>		
1.2.	<b>Darbu nolūks:</b> Uzlabot pievestā materiāla uzskaites precizitāti un nodrošināt ātrāku ražošanas datu apriti.	Izstrādāti funkcionāli algoritmi, kas noformēti atbilstoši IT praksei.	Izstrādāts algoritms (fizisko mērvienību

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

Darbs	Pamatojums, darbības un metodika (pētījums, darbs)	Nodevumi	Statuss uz 31.12.2023
	<p>Lauka darbi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• datu ievākšanas kvalitātes sākotnējais novērtējums, salīdzinot ar AGK iegūtiem datiem;</li> <li>• datu ieguve ar greifera svariem ražošanas apstākļos, pievedot mežizstrādes atliekas, lai iegūtu datu kopu iespējamo problēmu identificēšanai un risinājumu izstrādāšanai;</li> <li>• pievestā materiāla krautuvju uzmērīšana, izmantojot 1. darba uzdevumā izstrādāto manuālās uzmērīšanas un attālās izpētes metodi;</li> <li>• cirsmu apsekošana prognožu un ar dažādām mērījumu metodēm iegūto datu iespējamo atšķirību novērtēšanai (grunts nestspēja, atlieku ieklāšana brauktuvēs, atlikumi cirmā);</li> <li>• biomasas paraugu ievākšana no krautuvēm siltumspējas, mitruma un pelnu satura un faktiski pievestās biomasas noteikšanai;</li> <li>• šķeldu kravu svēruma datu iegūšana lejasgala krautuvē (LGK) pēc krautuvju sašķeldošanas un šķeldu piegādes patērētājiem.</li> </ul> <p>Kamerālie darbi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pētījumā iegūto datu apkopošana, analīze un sakarību novērtēšana;</li> <li>• darba uzdevumā "Enerģētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs" izstrādāto vienādojumu precizitātes novērtēšana, izmantojot krautuvju, patērētājiem piegādātā materiāla un tā īpašību mērījumu un analīžu datus;</li> <li>• saskaņā ar svēršanas un krautuvju uzmērīšanas</li> </ul>	<p>Algoritmi atbalsta EK sagatavošanas datuma, sugas un EK masas ievadi, rezultāts izrēķināts fiziskās mērvienībās (berkubikmetros) un enerģijas mērvienībās (MWh).</p> <p>Aprakstīta algoritma funkcionalitāte, sagatavots piemērs, kas parādītu 2023. gadā iegūtos rezultātus, kā arī sagaidāmo rezultātu pētījuma izskaņā.</p> <p>Sagatavots pētījuma 2023. gada rezultātu apkopojums etapa pārskatā, aprakstīti secinājumi un sagatavotas rekomendācijas pētījuma nākamajam posmam.</p>	<p>aprēķināšanas), šobrīd izstrādātiem algoritmiem nepieciešams paaugstināt to precizitāti, palielinot ievades datu kopu.</p>

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

Darbs	Pamatojums, darbības un metodika (pētījums, darbs)	Nodevumi	Statuss uz 31.12.2023
	<p>rezultātiem iegūto datu salīdzināšana</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• teorētiski pieejamā koksnes biokurināmā pieejamības novērtējums izmēģinājumu platībās un zudumu iespējamo iemeslu novērtējums, salīdzinot ar faktiski pievesto apjomu;</li> <li>• ievākto biomasas paraugu analīzes laboratorijā, nosakot mitruma un pelnu saturu un siltumspēju;</li> <li>• sākotnējo rekomendāciju sagatavošana svaru sistēmu pielietošanai ražošanā.</li> </ul>		
<p>2. Meža tehnikas monitoringa sistēmu un datu automatizētās apstrādes instrumentu pilnveidošana un ieviešana ražošanā</p>			
<p>.2.1</p>	<p><b>Darbu nolūks:</b> RM2 sistēmas pielietošanas izmēģinājumi ražošanas apstākļos.</p> <p>Lauka darbi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pētījumā iesaistīto forvarderu operatoru apmācības;</li> <li>• divu RM2 prototipu sistēmu uzstādīšana kopšanas un vienlaidus atjaunošanas cirtēs strādājošiem forvarderiem;</li> <li>• RM2 prototipu testēšana ražošanas apstākļos, veicot apaļo kokmateriālu pievešanu (pievešanas izmēģinājumi veicami ne mazāk kā 3 mēnešus);</li> <li>• risu dziļuma kontrolmērījumu veikšana, izmantojot tradicionālo metodi (kontrolmērījumi jāveic ne mazāk kā 10 ha kopšanas un atjaunošanas cirtes cismās, kur veikta automatizēta risu mērīšana).</li> </ul> <p>Kamerālie darbi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• RM2 prototipa pilnveidošana, nodrošinot datu rezerves kopēšanu un pārraidi uz attālinātu serveri;</li> <li>• divu pilnveidotu RM2 prototipu izgatavošana lauka</li> </ul>	<p>Sagatavots veikto apmācību plāns, norādot apmācītos dalībnieki.</p> <p>Izstrādāts programmas prototips datu analizēšanai (R vidē funkcionējošu vienādojumu kopa), kas noformēti atbilstoši IT praksei.</p> <p>Aprakstīts programmas darbības apraksts, konfigurācijas iespējas un tās administrēšanas vadlīnijas.</p> <p>Apkopotas sistēmas prototipa tehniskās specifikācijas un tehniskās prasības iekārtu pielietošanai.</p> <p>Sagatavots pētījuma 2023. gada rezultātu apkopojums etapa pārskatā, aprakstīti secinājumi un sagatavotas</p>	<p>Veikta operatoru apmācība, uzstādītas divas RM2 sistēmas, kas nodrošina datu kopēšanu un pārraidi uz serveri.</p> <p>Izstrādāts programmas prototips datu analizēšanai (R-vidē).</p> <p>Aprakstīti programmas darbības principi.</p>

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

<b>Darbs</b>	<b>Pamatojums, darbības un metodika (pētījums, darbs)</b>	<b>Nodevumi</b>	<b>Statuss uz 31.12.2023</b>
	<p>izmēģinājumiem;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• ar RM2 prototipiem un kontrolmērījumos iegūto brauktuves raksturojošo rādītāju, tajā skaitā tehnoloģisko brauktuvju platības un dziļu risu izplatības analīze;</li><li>• programmas prototipa izveide risu mērījumu un brauktuves raksturojošo datu analīzei.</li></ul>	rekomendācijas pētījuma nākamajam posmam.	



## SUMMARY

As part of the implementation of the study "Storage of energy wood in stacks", the collection and processing of data in accordance with the terms of reference and calendar plan continues. As part of the implementation of the study, additional stacks have been installed in 2023 to characterize the impact of storage of logging residues in the felling site on the parameters characterizing the quality of wood chips (humidity, calorific value, ash content) and the shrinkage of logging residue stacks. In addition, a third group of stacks have been created in the felling of coniferous and mixed stands, where we began collecting samples to characterize changes of the properties of logging residues in felling sites prepared in different seasons (autumn, winter, spring, and summer).

To conduct the study "Forwarder crane scales for determining the amount of forest biomass", biofuel weighing trials has been started in the process of forwarding, the work has been started on the development of algorithms based on the data obtained in the study.

Within the framework of the second research task "Improvement and implementation of monitoring systems and automated data processing tools in production", one study "Development of a measuring device for the ruts left by the forwarder" was implemented in 2023. To determine the location and depth of the ruts formed during the transportation of logs to roadside stack, the study used accurate GNSS equipment.

The research is being implemented according to the agreement between Latvian State Forest Research Institute "Silava" (LSFRI Silava) and Joint stock company "Latvia's state forests" (LVM) No. 5\_5.9.1\_0081\_101\_21\_87 on implementation of the research program "Technologies for improvement of efficiency of forest management processes".

## Saturs

<b>1. Meža biokurināmā ražošanas un piegāžu tehnoloģiju pilnveidošana un aprobācija.....</b>	<b>7</b>
1.1. Enerģētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs.....	7
1.1.1. Sākotnējie secinājumi un rekomendācijas .....	21
1.1.2. Priekšlikumi pētījuma īstenošanai 2024. gadā.....	21
1.2. Forvardera greifera svāri koksnes biokurināmā apjoma noteikšanai .....	22
2.1.1. Sākotnējie secinājumi un rekomendācijas .....	25
2.1.2. Priekšlikumi pētījuma īstenošanai 2024. gadā.....	25
<b>2. Meža tehnikas monitoringa sistēmu un datu automatizētās apstrādes instrumentu pilnveidošana un ieviešana ražošanā.....</b>	<b>27</b>
2.1. Forvardera atstāto risu mērīšanas iekārtas izstrāde .....	27
1.2.1. Sākotnējie secinājumi un rekomendācijas .....	33
1.2.2. Priekšlikumi pētījuma īstenošanai 2024. gadā.....	34
<b>3. Ceturtā etapa darba uzdevumi un kalendārais plāns.....</b>	<b>35</b>
3.1. Enerģētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs.....	35
3.2. Forvardera greifera svāri koksnes biokurināmā apjoma noteikšanai .....	36
3.3. Forvardera atstāto risu mērīšanas iekārtas izstrāde .....	37

## Attēli

Attēls 1.1. Rukums un relatīvais gaisa mitrums uzglabāšanas laikā.....	8
Attēls 1.2. Rukums un gaisa temperatūra uzglabāšanas laikā.....	9
Attēls 1.3. Vidējās zemākās siltumspējas un uzglabāšanas ilguma sakarība 1. un 2. grupas krautuvēs .....	10
Attēls 1.4. Koksnes mitruma un zemākās siltumspējas izmaiņas uzglabāšanas laikā .....	11
Attēls 1.5. Vidējās rukuma izmaiņas uzglabāšanas laikā.....	11
Attēls 1.6. Modelētā un faktiskā rukuma salīdzinājums .....	13
Attēls 1.7. Modelētā un faktiskā rukuma salīdzinājums .....	14
Attēls 1.8. Rukuma izmaiņu aprēķina piemērs .....	14
Attēls 1.9. Relatīvā mitruma satura izmaiņas uzglabāšanas laikā.....	15
Attēls 1.10. Relatīvā mitruma izmaiņas uzglabāšanas laikā .....	16
Attēls 1.11. Modelēto un faktisko vērtību salīdzināšana .....	17
Attēls 1.11. Faktiskā un modelētā zemākās siltumspēja .....	18
Attēls 1.12. Pievešanas attāluma un degvielas patēriņa sakarība .....	23
Attēls 2.1. Cīrsmas, kurās veikti RM2 sistēmu izmēģinājumi.....	28
Attēls 2.2. Mērījumu telpiskais novietojums, izmantojot RM2 sensora sniegto informāciju.....	30
Attēls 2.3. Mērīju telpiskais novietojums pēc datu apstrādes R .....	30
Attēls 2.4. Izstrādātās R programmas piemērs.....	33

## Tabulas

Tabula 1.1. Pētījuma īstenošanas progressa kopsavilkums .....	1
Tabula 1.1. Pirmā modeļa informācija par brīvo locekli ( <i>Intercept</i> ) un virzienu koeficientiem.....	12
Tabula 1.2. Otrā modeļa informācija par brīvo locekli ( <i>Intercept</i> ) un virzienu koeficientiem .....	12
Tabula 1.3. Trešā modeļa informācija par brīvo locekli ( <i>Intercept</i> ) un virzienu koeficientiem .....	13
Tabula 1.4. Modeļa informācija par brīvo locekli ( <i>Intercept</i> ) un virzienu koeficientiem.....	17
Tabula 1.5. Modeļa informācija par brīvo locekli ( <i>Intercept</i> ) un virzienu koeficientiem.....	18
Tabula 1.6. Ierīkotie trešās grupas krautuvju objekti .....	18
Tabula 1.7. Atlasīto ceturtās krautuvju grupas izpētes objektu raksturojums .....	19

## Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

Tabula 1.8. John Deere svēršanas sistēmas iegūto datu kopsavilkums.....	22
Tabula. 1.9. Modeļa informācija par brīvo locekli ( <i>Intercept</i> ) un virzienu koeficientiem.....	24
Tabula 1.10. Modeļa informācija par brīvo locekli ( <i>Intercept</i> ) un virzienu koeficientiem.....	24
Tabula 1.11. Pievestā koksnes apjoma salīdzinājums .....	25
Tabula 2.1. RM2 sistēmas datu matrica .....	28
Tabula. 2.2. Rises raksturojošie rādītāji .....	31

## **DARBĀ LIETOTIE SIMBOLI UN SAĪSINĀJUMI**

LVM – AS “Latvijas valsts meži”

LVMI Silava – Latvijas Valsts mežzinātnes institūts “Silava”

LiDAR – Atrašana un attāluma noteikšana ar gaismu (Light detection and ranging)

RTK – Reālā laika kinemātika (Real-time kinematic.)

AGK - augšgala krautuve

IT - informāciju tehnoloģijas

GNSS - Globālās Navigāciju Satelītu sistēmas

R – programmēšanas valoda statistiskiem aprēķiniem

## IEVADS

Pētījumu programmas “Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai” 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 Latvijā vai AS “Latvijas valsts meži” līdz šim neizmantotas, taču tirgū pieejamas vai no jauna izstrādājamas tehnoloģijas. Pētījumu programmu veido trīs pētnieciskie uzdevumi:

- 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.

Pētnieciskie uzdevumi strukturēti vairākos pētījumos. Pētnieciskā uzdevuma “Meža biokurināmā ražošanas un piegāžu tehnoloģiju pilnveidošana un aprobācija” ietvaros 2023. gadā turpināti divi pētījumi: “Enerģētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs” un “Forvardera greifera svāri meža biomasas apjoma noteikšanai”. Pirmā pētījuma mērķis ir izstrādāt vienādojumus mežizstrādes atlieku uzglabāšanas ilguma ietekmes uz meža biokurināmā īpašībām un apjomu raksturošanai. Otrā pētījuma uzdevums ir aprobēt risinājumus pievesto mežizstrādes atlieku uzskaitē ar svēršanas metodi un sagatavot rekomendācijas metodes ieviešanai ražošanā. Pētījuma “Enerģētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs” uzdevumi ir novērtēt krautuves izmēru izmaiņas, šķeldu siltumspējas un mitruma satura izmaiņas un tās ietekmējošos faktorus. Pētījuma ietvaros 2022. gadā secināts, ka lapu koku audzēs iegūtās biomasas uzglabāšanas laikā pirmās un otrās grupas krautuvēs straujāks krautuvju rukums vērojams līdz 150. uzglabāšanas dienai. Uzglabājot biomasu krautuvē ilgāk, krautuvju izmērs samazinās minimāli, bet, sākot ar 361. dienu, krautuvju rukums nav novērojams. Lai noteiktu vai šāda sakarība ir novērojama visā meža biomasas uzglabāšanas laikā, nepieciešami papildus dati, kas ietver ilgāku novērojumu posmu. Līdz šim iegūtā datu kopa raksturo situāciju lapu koku audzēs. Lai izstrādātu mitruma satura izmaiņu prognozēšanas vienādojumu, kas piemērots dažādu koku sugu audzēm (priežu, skuju koku un lapu koku audzēm) un izmantojams ražošanas apstākļos, 2023. gadā darba uzdevums papildināts, iekļaujot jaunus izpētes objektus, kas raksturo dažādas koku sugas, mežizstrādes sezonas un ilgstoši uzglabātu mežizstrādes atlieku īpašību izmaiņu novērojumus. Lai iegūtu datus par krautuvju rukumu 36 mēnešu laikā, pētījuma metodika papildināta, paredzot turpināt novērojumus arī 2024. gadā.

Pētījumā “Forvardera greifera svāri meža biomasas apjoma noteikšanai”, veicot izmēģinājumus ar tehnikas ražotāja svēršanas sistēmu, papildus pievestā materiāla masai, iegūta informācija par pievesto kravu skaitu objektā, kopējo un vidējo pārvietošanās attālumu un patērētās degvielas daudzumu objektā. Šo datu ieguvei nepieciešams, lai forvardera datu uzskaites sistēma atbalstītu StanFord2010 standartu. Datu apstrādei ir pieejams forvardera produkcijas fails (\*.fpr) un darba un remontu uzskaites fails (\*.mom). Lai izstrādātu pārrēķina algoritmu, kas nosvērtu apjomu ļauj izteikt enerģijas vienībās, 2023. gadā papildus forvardera svēršanas datiem, uzsākta datu ievākšana par meža biomasu raksturojošiem rādītājiem (miruma un pelnu saturs un koksnes siltumspēju). Ņemot vērā, ka izstrādātais vienādojums pētījuma datus raksturo tikai 55% gadījumu, datu ieguve turpinās, lai uzlabotu izstrādātā vienādojuma precizitāti.

Pētnieciskā uzdevuma “Meža tehnikas monitoringa sistēmu un datu automatizētās apstrādes instrumentu pilnveidošana un ieviešana ražošanā” īstenošanas ietvaros 2023. gadā turpināts viens pētījums – “Forvardera atstāto risu mērīšanas iekārtas izstrāde”. Pētījuma mērķis izvirzīts izstrādāt

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

un pārbaudīt uz forvardera montējamu iekārtu risu dziļuma mērīšanai, nosūtot risu dziļuma uzskaites informāciju LVM IT sistēmai. Pētījums īstenojams, lai uzlabotu kopšanas ciršu kvalitātes kontroles procesu un samazinātu izmaksas līdzināmo risu datu ieguvē. 2023. gadā pētījumu programma papildināta, iekļaujot izmēģinājumus ar RM2 sistēmu kopšanas un galvenajā cirtē. Saskaņā ar 2022. gadā veikto kontrolmērījumu rezultātiem risu uzmērīšanas sistēma RM2 izmēģinājumos uzrāda augstu (50%) atbilstību mērījumiem uz lauka. Saskaņā ar sākotnējiem datiem šīs sistēma efektīvi strādā arī objektos, kuros veikta tehnoloģiskā koridora nostiprināšana. Aptuveni pusē no vērtētajām audzēm sistēma fiksējusi lielāku risu garumu nekā kontrolmērījumos. Lai palielinātu iegūto datu ticamību, sākotnējie kontroles mērījumi jāveic pirms pievešanas darbu uzsākšanas, kas parādītu vietas, kur pirms pievešanas jau izveidojušies harvesterā iespiedumi gruntī.

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

## 1.1. Enerģētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs

Pētnieciskā uzdevuma īstenošanai 2021. gadā izstrādāta mežaudžu atlases metodika un veikta objektu atlase (LVMI Silava, 2021). 2021. gada otrajā pusē izstrādāta datu ievākšanas metodika, izdalot divas krautuvju grupas. Pirmās grupas 10 krautuvēs un otrās grupas 6 krautuvēs uzsākta datu ievākšana. 2022. gada sākumā turpināta datu ievākšana iepriekš ierīkotajās krautuvēs, kā arī apkopoti pirmie rezultāti koksnes biokurināmā krautuvju rukuma izmaiņām sadalījumā pa mēnešiem. Tāpat izstrādāts krautuvju rukumu raksturojošs vienādojums, ņemot vērā to ietekmējošos faktorus (LVMI Silava, 2022). 2022. gada otrajā pusē turpināta datu ievākšana, un precizēts krautuvju rukuma noteikšanas vienādojums. Paralēli veikta krautuvju manuāla un attālā uzmērīšana, izmantojot bezpilota gaisa kuģi, kā arī analizētas koksnes biokurināmā raksturojošo rādītāju izmaiņas atkarībā no uzglabāšanas ilguma. 2022. gadā izstrādāti ieteikumi darba uzdevuma paplašināšanai, iekļaujot mežizstrādes atlieku uzglabāšanu cīsmā (trešā krautuvju grupa) un ilglaicīgo krautuvju (ceturtā krautuvju grupa) ierīkošanu (LVMI Silava, 2022). Gada noslēgumā pabeigta datu ievākšana no otrās grupas krautuvēm.

Šajā nodaļā, salīdzinot ar starpziņojumu, papildināta rezultātu analīze un aprēķinu vienādojumi, kuros iekļauti jaunākie uzskaites rezultāti.

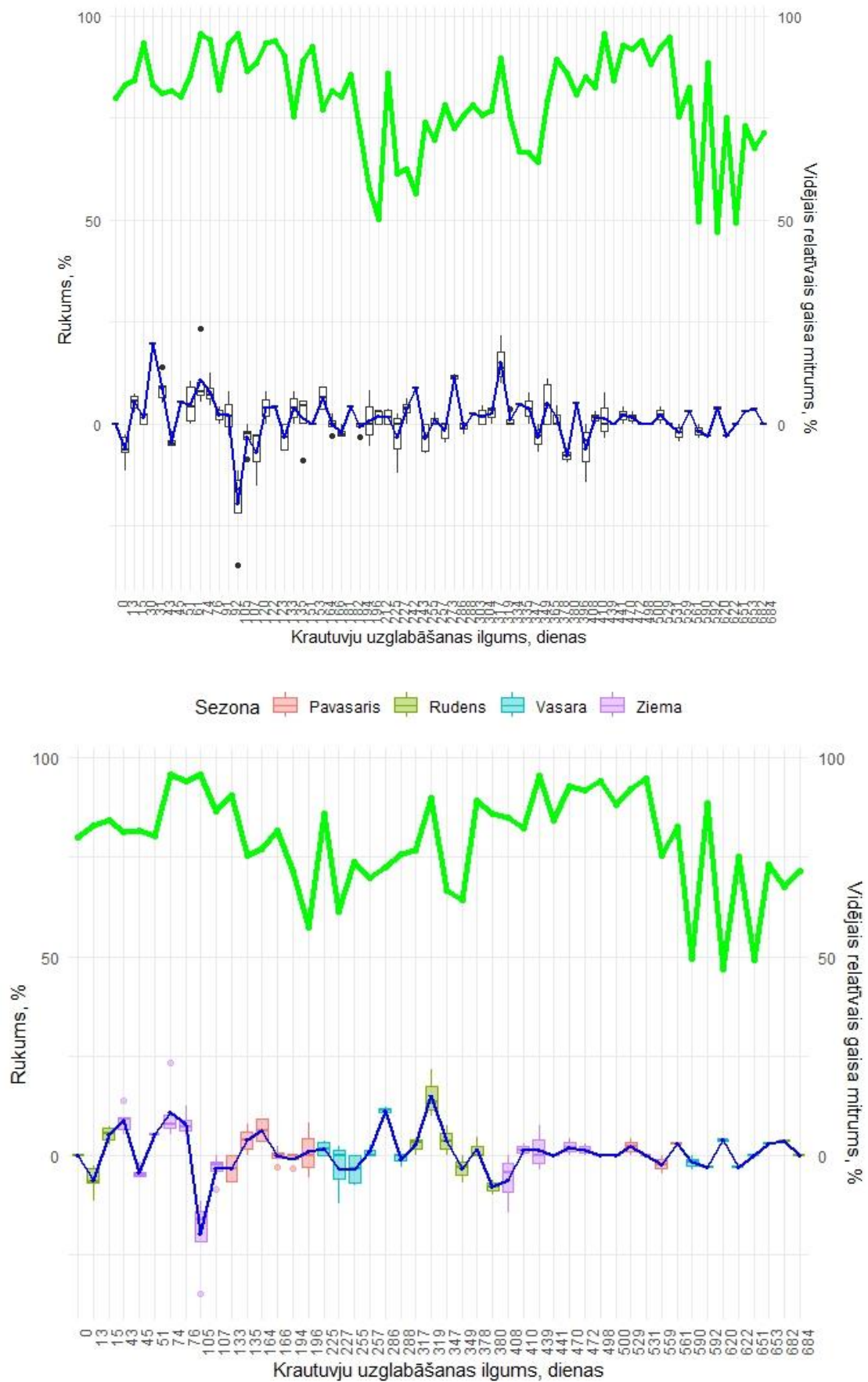
2023. gadā turpināta datu ievākšana no pirmās grupas krautuvēm, uzsākta objektu atlase un ierīkošana mežizstrādes atlieku uzglabāšanai cīsmās, kā arī veikta krautuvju atlase un ierīkošana ilglaicīgo krautuvju uzmērīšanai (LVMI Silava, 2023).

Šobrīd, atbilstoši precizētajam šķeldošanas grafikam, turpinās datu ievākšana no atlikušajām pirmās grupas 5. un 10. krautuvēm. Saskaņā ar precizēto šķeldošanas grafiku, Piekta krautuve daļēji (apmēram puse no materiāla) sašķeldota 2023. gada novembrī, atlikušo materiālu paredzēts šķeldot 2024. gada maijā (saskaņā ar šķeldošanas grafiku). 10. krautuvi, saskaņā ar šķeldošanas grafiku, plānots šķeldot 2024. gadā. Krautuvju pakāpeniska šķeldošana nepieciešama, lai varētu precīzāk novērtēt krautuvju izmēra un koksnes kvalitātes izmaiņas ilgākā laika posmā. Līdz 2023. gada beigām, atbilstoši plānotajam, ievākti 42 šķeldu paraugi.

Koksnes biokurināmā krautuvju novērtēšanai izmantoti dati no pirmās un otrās grupas krautuvēm. Rukuma raksturošanai izmantotā datu kopa ietver laika periodu no krautuvju ierīkošanas brīža līdz 2023. gada decembrim (760 uzglabāšanas dienas).

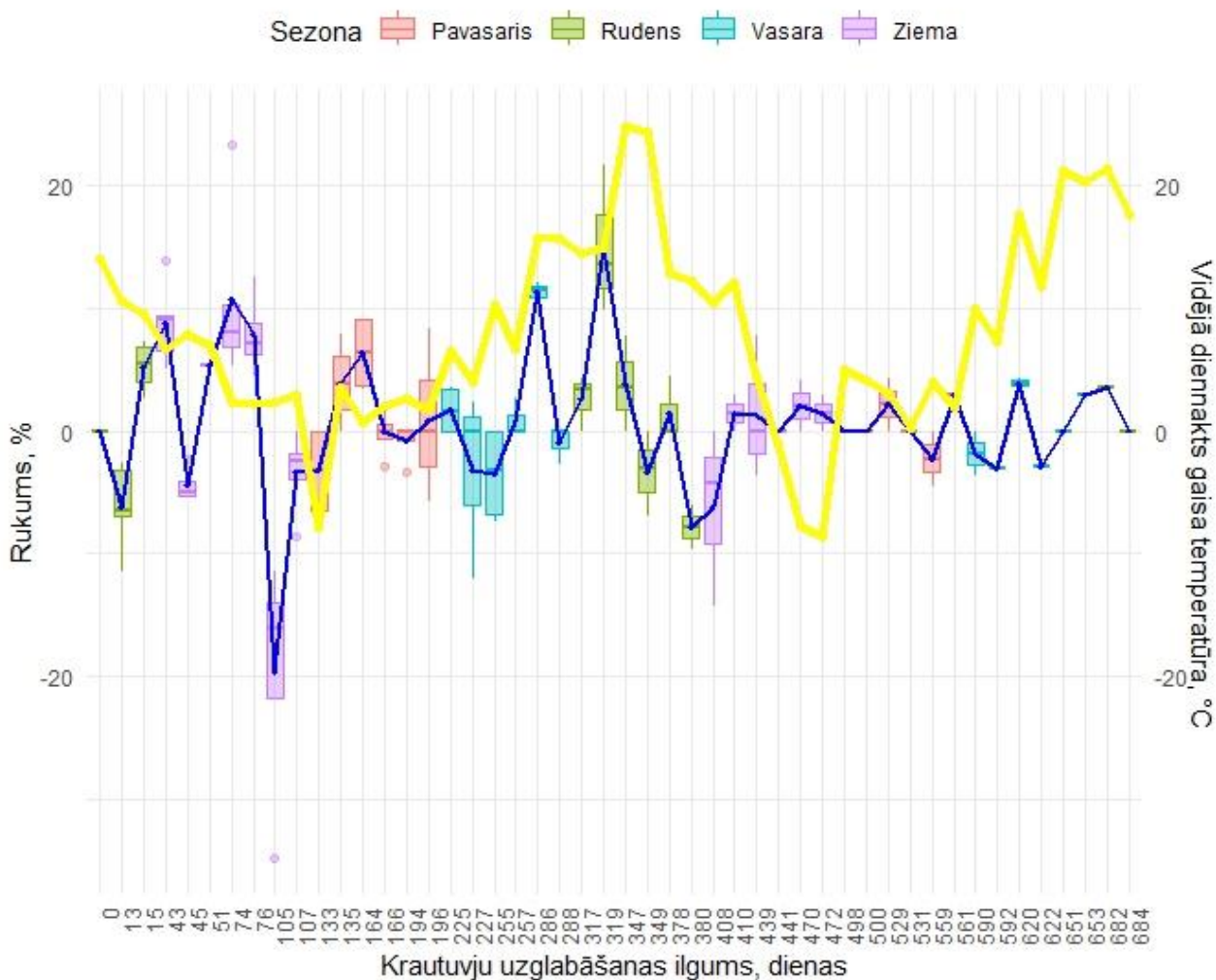
Krautuvju mērījumu izmaiņas atspoguļotas att. 1.1. un 1.2. Pirmajos novērojuma mēnešos vērojama izteikta krautuvju rukšana, savukārt iestājoties ziemai, vērojama krautuvju izmēru (augstuma un platuma) šķietama palielināšanās, ko var skaidrot ar krautuvju sasvēršanos. Izmaiņas krautuvju rukumā vērojamas pirmās 365 dienas, pēcāk izmaiņas praktiski nenotiek. Izmaiņas krautuvju rukumā pēc 365. dienas skaidrojamas ar mērījuma vietas izvēli krautuvē. Atkārtoti uzmērot biokurināmā krautuves, sākuma punkts var mainīties  $\pm 10$  cm robežās, ieviešot mērījuma rezultātā atšķirību, kas nepārsniedz 4% no krautuvē aprēķinātā vidējā augstuma.

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai



Attēls 1.1. Rukums un relatīvais gaisa mitrums uzglabāšanas laikā





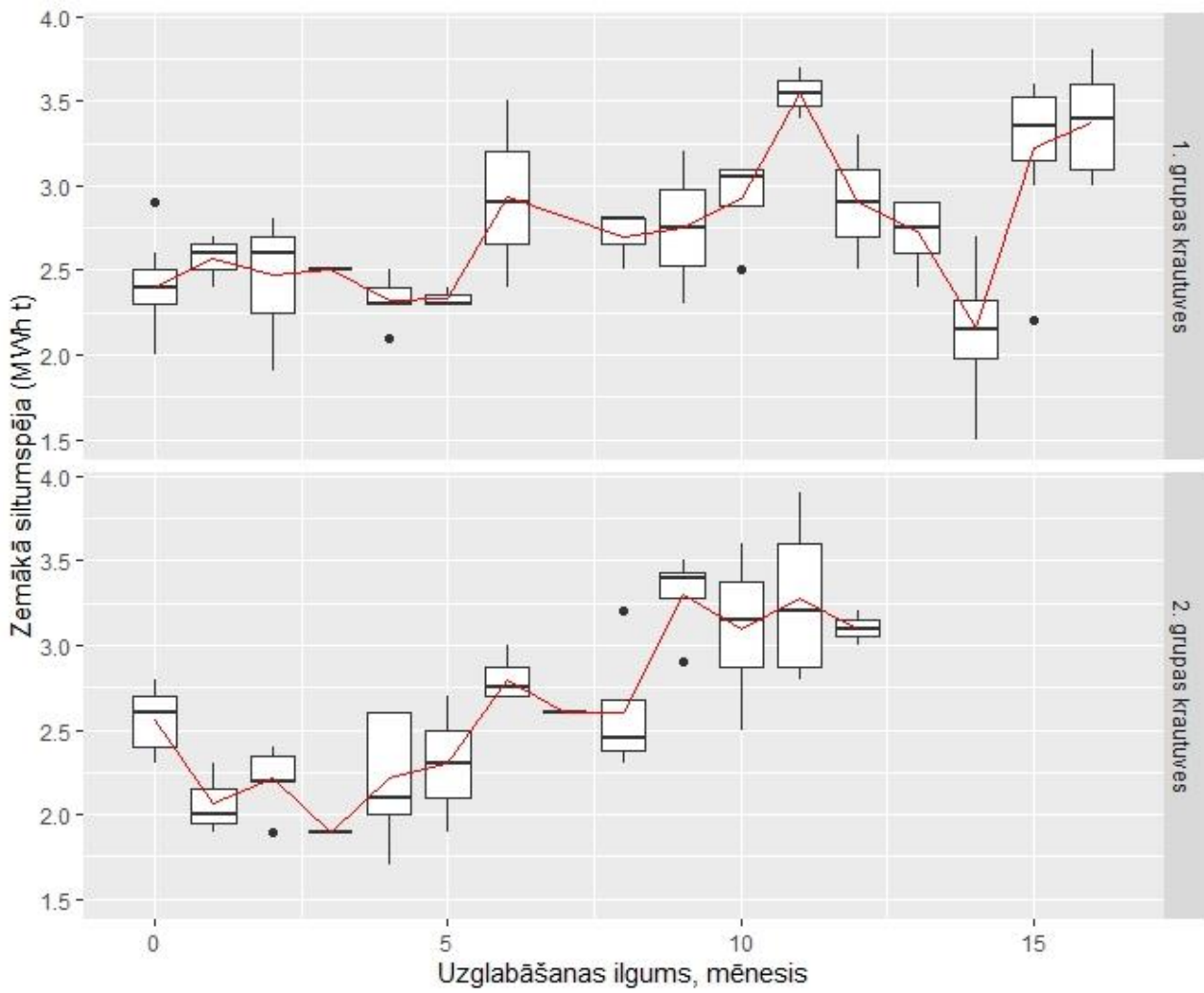
**Attēls 1.2. Rukums un gaisa temperatūra uzglabāšanas laikā**

Sākotnēji no 8 izmēģinājuma platībām sagatavotais un ilglaicīgai novērošanai paredzētais biokurināmais nokrauts 16 krautuvēs, divās krautuvju grupās, tajā skaitā Pirmajā krautuvju grupā iekļauti 2 izmēģinājuma objekti, kuros sagatavotais un pievestais biokurināmais novietots 10 krautuvēs, 5 krautuves katrā izmēģinājuma objektā. Iegūtais materiāls ir no lapu koku audzēm, bez skuju koku piemistrojuma. Arī 2. krautuvju grupu veido 5 krautuves, kurās pievestais materiāls iegūts, izstrādājot lapu koku audzes.

Lai iegūtie dati raksturotu situāciju krautuvē kopumā, paraugu ievākšana krautuvē notiek 5 vietās, ievācot gan mazu, gan lielu dimensiju materiālu paraugus (stumbra fragmenti, zari, lapas, skuju u.c.). Pēc ievākto paraugu nogādāšanas laboratorijā tos sasmalcina līdz smalku šķeldu konsistencei. Vidējo smalcināta materiāla paraugu izmanto analīžu veikšanai.

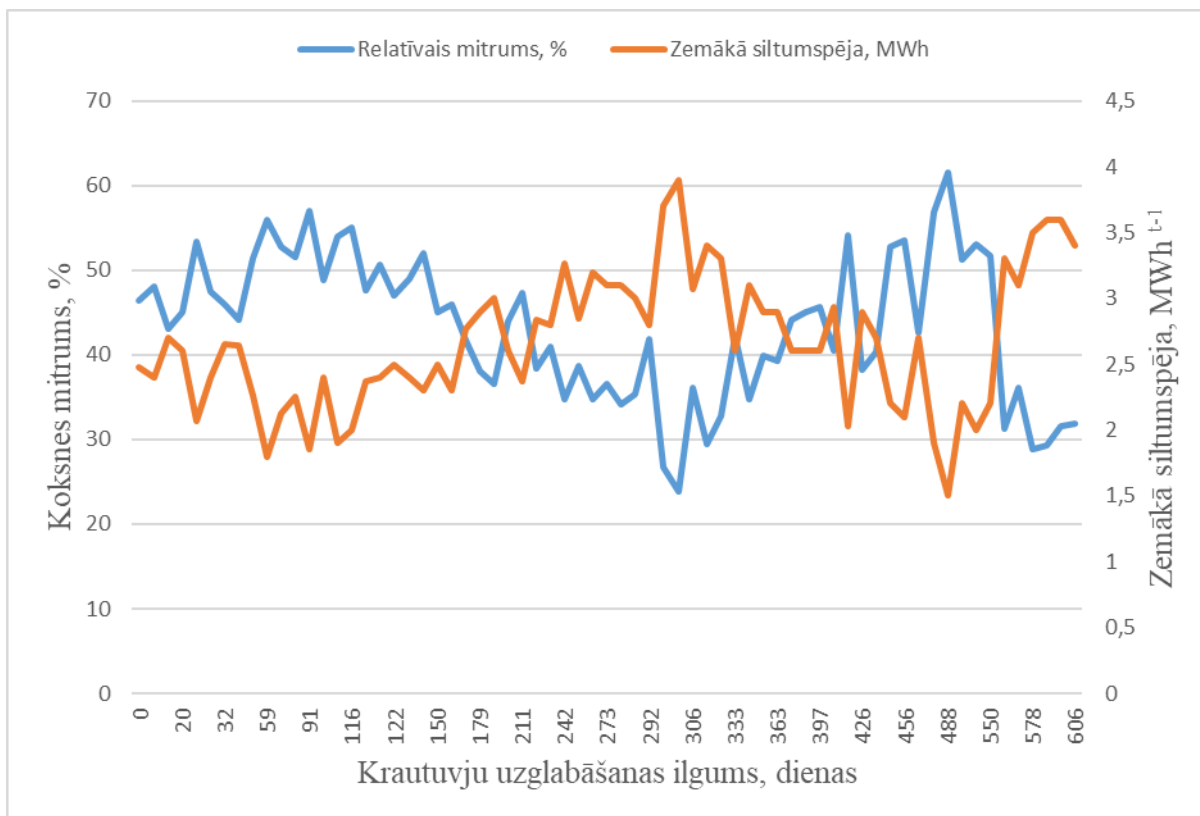
Koksnes biokurināmā zemāko siltumspēju aprēķina, par pamatu ņemot koksnes relatīvo mitrumu, pelnu saturu un gaissausa parauga siltumspēju. Pirmās un otrās grupas krautuvēs vidējais relatīvais mitrums ir 44,0 (±8,1)%, pelnu saturs 1,8 (±0,6)%, gaissausa parauga vidējā siltumspēja 19,2 (±0,6) MJ kg<sup>-1</sup> un vidējā zemākā siltumspēja 2,6 (±0,5) MWh t<sup>-1</sup> (att. 1.3.). Pirmās grupas krautuves ierīkotas 2021. gada oktobrī (att. 1.3. atskaites punkts “0”), bet 2. grupas krautuves – lielākoties novembrī (att. 1.3. atskaites punkts “0”). Zemākās siltumspējas izmaiņas, neatkarīgi no uzglabāšanas ilguma, visvairāk ietekmē relatīvais mitruma saturs koksnē izmaiņas (att. 1.4.).

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai



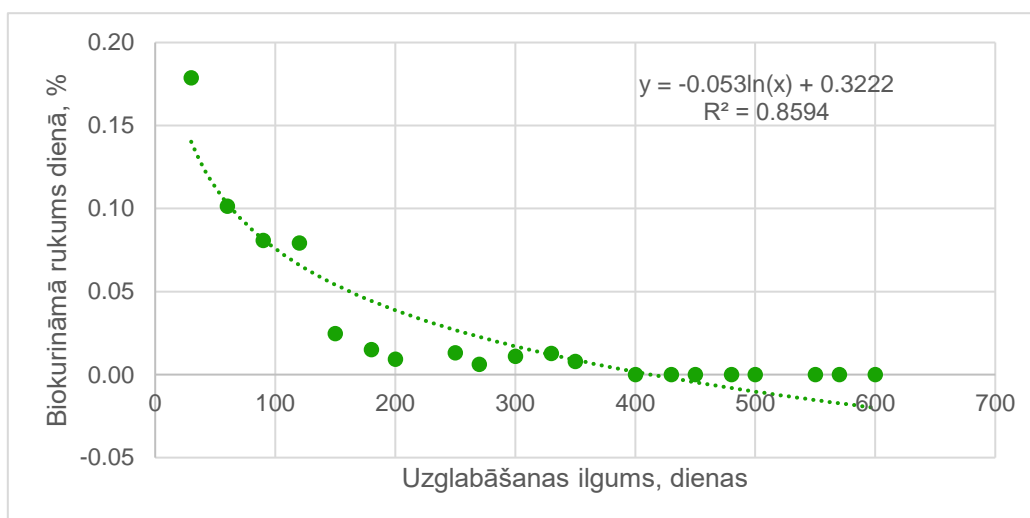
Attēls 1.3. Vidējās zemākās siltumspējas un uzglabāšanas ilguma sakarība 1. un 2. grupas krautuvēs

**Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai**



**Attēls 1.4. Koksnes mitruma un zemākas siltumspējas izmaiņas uzglabāšanas laikā**

Krautņu rukuma izmaiņām konstatēta sakarība ar koksnes uzglabāšanas ilgumu. Vidējie rukuma rādītāji sadalījumā pa dienām parādīti 1.5. att. Straujākās rukuma izmaiņas notiek līdz 150. dienai. Pēc tam rukšana palēninās. Sākot ar 361. dienu, krautuvju izmēros nav novērotas izmaiņas.



**Attēls 1.5. Vidējās rukuma izmaiņas uzglabāšanas laikā**

Pirmās grupas krautuves veidotas galvenokārt no sīkkoksnes (lapu koku, sugu sastāvā Ba Os), kas iegūta apauguma novākšanā. Otrās grupas krautuves veidotas galvenokārt no ciršanas atliekām, kas iegūtas lapu koku audzēs, veicot galvenās izmantošanas cirti. Operatori veidojuši

ražošanas apstākļiem tipiskas krautuves, krautuves blīvums (brīvās vietas koksnes krājumā krautuvē) atsevišķi pētījumā nav vērtēti.

Rukuma izmaiņu prognozēšana ražošanas apstākļos, ja koksne pievesta uzreiz pēc mežizstrādes, iespējama, izmantojot trīs scenārijus.

**Pirmais scenārijs** paredz rukuma izmaiņu prognozēšanai pielietot tādus parametrus kā uzglabāšanas ilgums, vidējā gaisa temperatūra, summārie nokrišņi un vidējais relatīvais gaisa mitrums uzglabāšanas periodā. Ar iegūto lineāro jaukto efektu modeli (angļu val. mixed-effects models) var izskaidrot 78% (attēls 1.6, tab. 1.1.) gadījumu (MSE = 15.6, RMSE = 3.9, MAE = 2.7). Izstrādātais modelis darbojas R un Python vidē, pielietojot pakotnes “statsmodels” vai “lme4”.

*mod = lmer(RA ~ temp\_vid + sum\_nokri + mit\_vid + dienas + (1|dienas), data = dati)*

*Aprēķins = predict(mod, newdata = dati)*

Kur:

RA – koksnes biokurināmā rukums uzglabāšanas laikā, %;

temp\_vid – Gaisa temperatūra, faktiskā, °C;

sum\_nokri – Kopējais nokrišņu daudzums, mm;

mit\_vid – Kopējais relatīvais mitrums, faktiskais, %;

dienas – koksnes biokurināmā uzglabāšanas ilgums, dienas;

data – datu matrica.

**Tabula 1.1. Pirmā modeļa informācija par brīvo locekli (*Intercept*) un virzienu koeficientiem**

Rādītājs	Vērtības	Standartklūda	Vērības	P-vērtība
Intercept	4,6473	7,4036	0,628	0,533
temp_vid	0,1117	0,1277	0,874	0,386
sum nokri	0,1038	0,1818	0,571	0,571
mit_vid	0,0142	0,0844	0,168	0,867
dienas	0,0148	0,0051	2,936	0,005

**Otrais scenārijs** rukuma modelēšanai paredz pielietot tikai vienu rādītāju – koksnes uzglabāšanas ilgumu krautuvē ( $p < 0,05$ ). Otrs izstrādātais modelis pielietojams R un Python vidē, un ar to var izskaidrot 78% (att. 1.6. un tab. 1.2.) gadījumu (MSE = 27,0; RMSE = 5,2; MAE = 3,6).

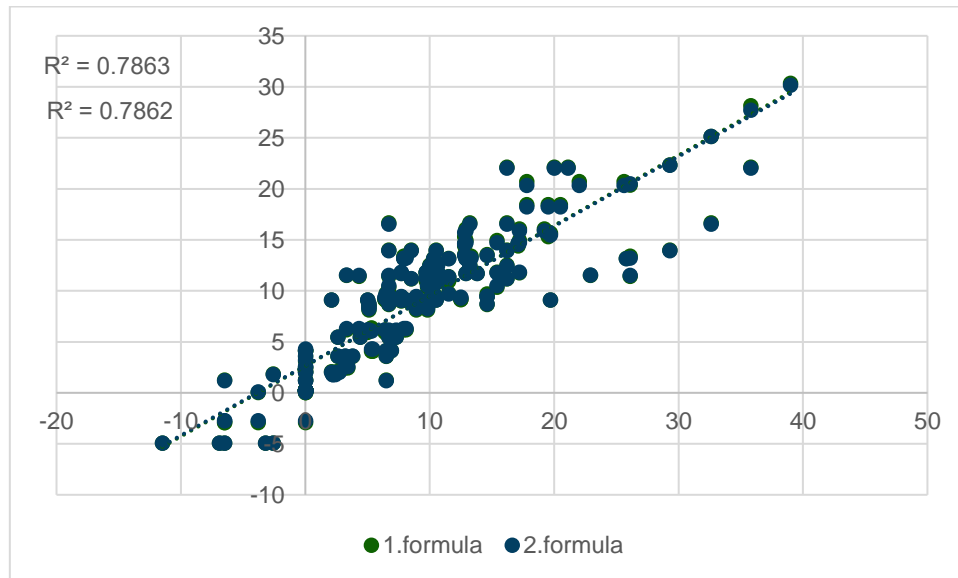
**Tabula 1.2. Otrā modeļa informācija par brīvo locekli (*Intercept*) un virzienu koeficientiem**

Rādītājs	Vērtības	Standartklūda	Vērības	P-vērtība
Intercept	6,7123	1,5450	4,345	0,0006
dienas	0,0154	0,0046	3,361	0,001

*mod1 < -R ~ dienas + (1|dienas), data = dati*

*Aprēķins = predict(mod, newdata = dati)*

## Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai



**Attēls 1.6. Modelētā un faktiskā rukuma salīdzinājums**

**Trešais scenārijs** rukuma modelēšanai paredz pielietot tikai vienu rādītāju – koksnes uzglabāšanas ilgumu krautuvē. Izstrādātais modelis pielietojams Microsoft Excel vidē, un ar to var izskaidrot 38% gadījumu (att. 1.7. un tab. 1.3.).

**Tabula 1.3. Trešā modeļa informācija par brīvo locekli (*Intercept*) un virzienu koeficientiem**

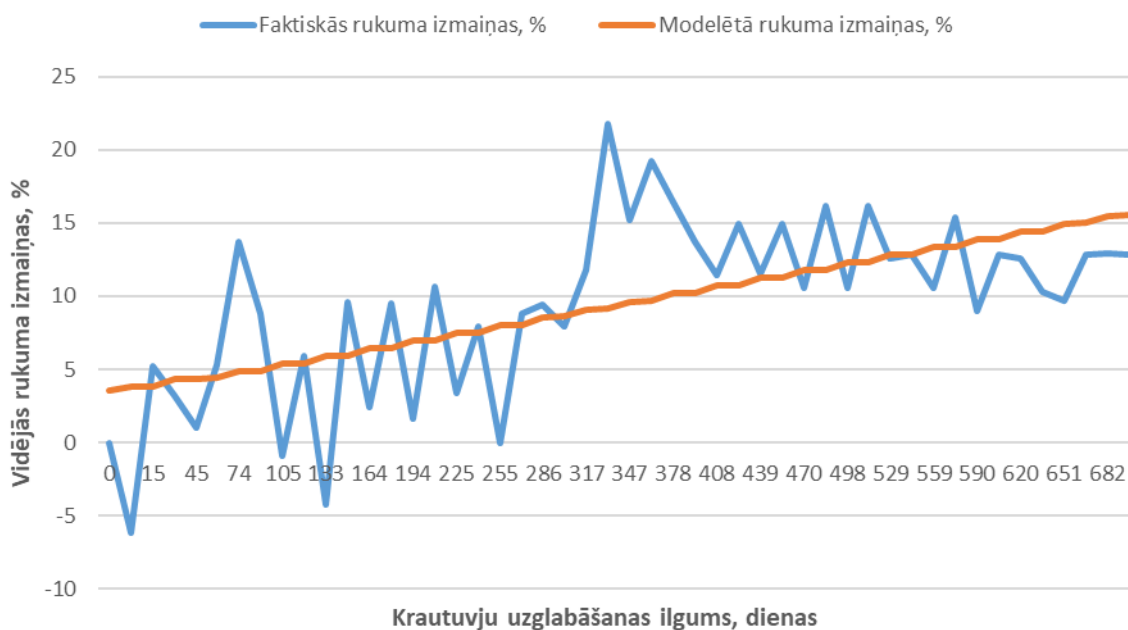
Rādītājs	Vērtības	Standartklūda	P-vērtība
$k_1$	3,5623	1,3010	0,009
$k_2$	0,0175	0,0033	0,000

$R = k_1 + k_2 * \text{dienasR}$  – rukuma izmaiņas, %;

$k_1$  – brīvais loceklis (*Intercept*);

$k_2$  – koksnes uzglabāšanas ilgums, dienas.

## Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai



Attēls 1.7. Modelētā un faktiskā rukuma salīdzinājums

Izstrādāto modeļa izmantošanas rezultātu piemēri redzami att. 1.8. Neatkarīgi no pielietotā scenārija (1. vai 2. modelis), vispirms jāizveido datu matrica. Pirmais scenārijs paredz vispirms noteikt faktisko vai prognozēto koksnes uzglabāšanas ilgumu dienās. Atbilstoši biokurināmā uzglabāšanas periodam, informāciju par krautuvju rukumu ietekmējošiem faktoriem iegūt, izmantojot “Latvijas vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs” apkopots novērojumu datus (vidējā gaisa temperatūra, summārais nokrišņu apjoms un vidējais relatīvais mitruma saturs gaisā). Otrais scenārijs paredz aprēķināt biomasas uzglabāšanas ilgumu dienās, ko pēc tam izmanto koksnes krautuvju rukuma prognozēšanai.

### Datu aprēķināšana

```
library(lme4)
# izstrādāto modeļu pievienošana
mod <- readRDS("E:/SILAVA/DARBS/Projekti_2023/biomasas_aprekini/mod.rds")
mod1 <- readRDS("E:/SILAVA/DARBS/Projekti_2023/biomasas_aprekini/mod1.rds")

#Aprēķini
dati$mod <- predict(object = mod, newdata = dati, type = "response")
dati$mod1 <- predict(object = mod1, newdata = dati, type = "response")

write_xlsx(dati, "E:/SILAVA/DARBS/Projekti_2023/biomasas_aprekini/dati_p1.xlsx",
           col_names = TRUE, format_headers = TRUE)
```

### Datu matrica

dienas	vejs_vid	mit_vid	sum_nokri	temp_vid	mod	mod1
0	5.170833	79.91667	4.8	13.98333333	0.23391851	0.20718417
13	3.657143	83.04762	0.0	10.53333333	-4.94536505	-4.93275719
43	2.733333	81.25000	0.0	6.62083333	3.57416016	3.60424000
74	2.716667	95.79167	5.5	2.28333333	13.16407989	13.14092025
0	5.170833	79.91667	4.8	13.98333333	0.23391851	0.20718417
13	3.657143	83.04762	0.0	10.53333333	-4.94536505	-4.93275719

### Aprēķinātās vērtības

### Rezultāts

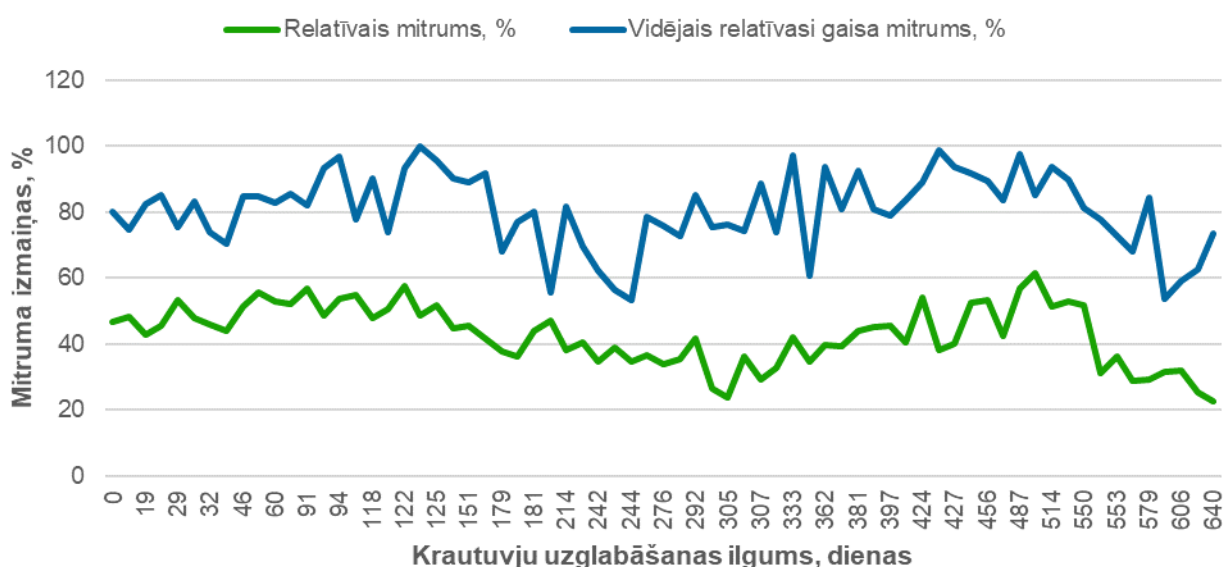
Biomasas apjoms AGK sākumā, ber.m <sup>3</sup>	Biomasas pievešana datums	Mērķa datums	Uzglabāšanas ilgums, dienas	mod	mod1	Aprēķinātais apjoms pēc "mod", ber.m <sup>3</sup>	Aprēķinātais apjoms pēc "mod1", ber.m <sup>3</sup>	Faktiskais uzņēmētais apjoms, ber.m <sup>3</sup>
399	2021-10-19	2021-11-01	13	-4.95	-4.93	418.7	418.7	409.5
399	2021-10-19	2021-12-01	43	3.57	3.60	384.7	384.6	388.5
399	2021-10-19	2022-01-01	74	13.16	13.14	346.5	346.6	367.5

Attēls 1.8. Rukuma izmaiņu aprēķina piemērs

Izstrādātie modeļi izmantojami biomasas krautņu rukuma raksturošanai lapu koku audzēs. Turpmākajos pētījuma etapos iegūsim papildu datus no audzēm ar dažādu sugu sastāvu, kas sniegs

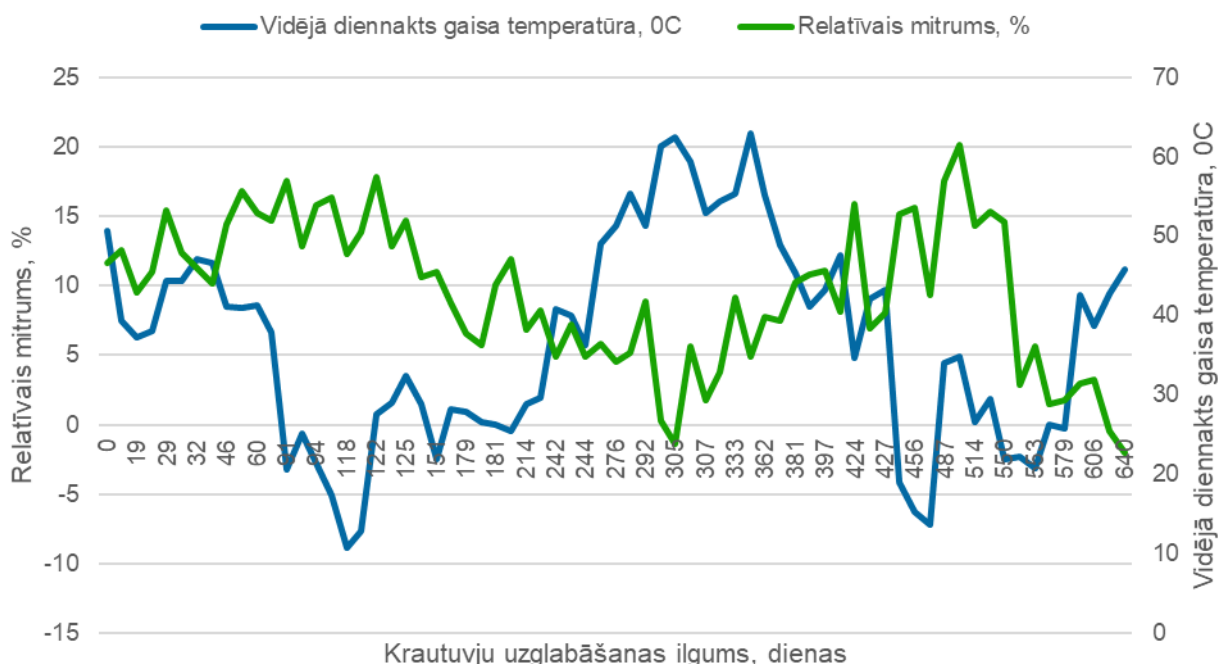
iespēju pilnveidot izstrādātos vienādojumus, audzes sugu sastāvu iekļaujot aprēķinā, kā vienu no koksnes krautņu rukumu ietekmējošiem faktoriem.

2023. gada augustā (306. diena no mērījuma sākuma) fiksēts mazākais relatīvais mitruma saturs koksnē, kas saistāms ar salīdzinoši augstas diennakts vidējās gaisa temperatūras un zema relatīvā gaisa mitruma saglabāšanos ilgākā periodā (att. 1.9.1.10.). Saskaņā ar pētījumā iegūtiem datiem, mainoties meteoroloģiskajiem apstākļiem, novērojama relatīvā mitruma satura koksnē palielināšanās. Tas nozīmē, ka relatīvā mitruma saturs uzglabāšanas laikā var ne tikai samazināties, bet arī pieaugt virs sākotnējā līmeņa. Šādi rezultāti iegūti arī Somijā veiktā pētījumā (Acuna, 2012), kurā konstatēta mitruma satura koksnē palielināšanās rudens beigās, savukārt ziemā tas saglabājās nemainīgi augsts. Lai izstrādātu koksnes biokurināmā uzglabāšanas modeli, kas iespējami precīzi prognozē lietderīgo koksnes izglabāšanas krautuvēs ilgumu, nepieciešams iegūt datus par biokurināmā izmaiņām uzglabāšanas laikā vismaz par 3 kalendārajiem gadiem.



Attēls 1.9. Relatīvā mitruma satura izmaiņas uzglabāšanas laikā

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

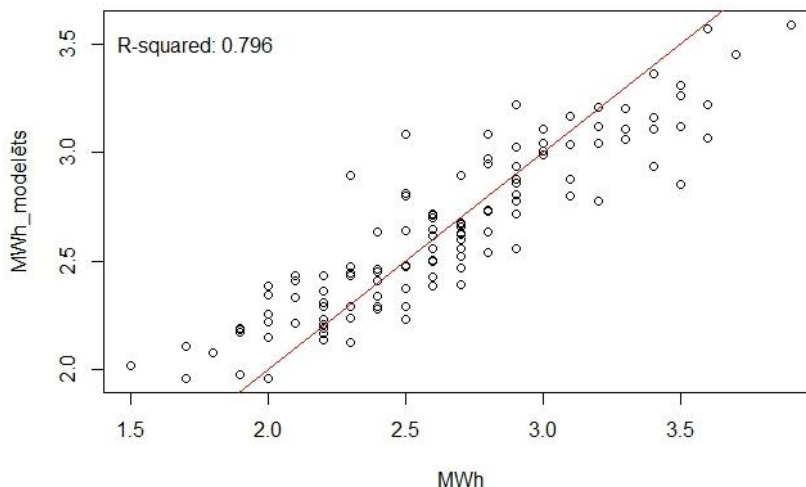


Attēls 1.10. Relatīvā mitruma izmaiņas uzglabāšanas laikā

Zemākās siltumspējas izmaiņu prognozēšanai koksnes krautuvēs izstrādāti divu veidu scenāriji (modeļi).

**Pirmais scenārijs** paredz izmantot sekojošos ievades parametrus – zemākā siltumspēja sākumā (MWh), koksnes uzglabāšanas ilgums (dienas), diennakts vidējā gaisa temperatūra (°C) un diennakts vidējais relatīvais gaisa mitrums (%) uzglabāšanas periodā. Ar iegūto lineāro jaukto efektu modeli (angļu val. mixed-effects models) (3) var izskaidrot 80% (att. 1.11. un tab. 1.4.) gadījumu (MSE = 0,1, RMSE = 0,2, MAE = 0,2). Izstrādātais modelis darbojas R un Python vidē, pielietojot pakotnes “statsmodels” vai “lme4”. Modeļa pielietošanai nav nepieciešamas programmēšanas zināšanas.





**Attēls 1.11. Modelēto un faktisko vērtību salīdzināšana**

$$lmer(MWh_{t,x} \sim temp_{vid} + mit_{vid} + dienas + MWh_{t,y} + (1|dienas))$$

$$Aprēķins = predict(mod, newdata = dati)$$

Kur:

MWh<sub>t,x</sub> - prognozētā zemākā siltumspēja, MWh;

temp<sub>vid</sub> – gaisa temperatūra, faktiskā, °C;

mit<sub>vid</sub> – kopējais relatīvais mitrums, faktiskais, %;

dienas – koksnes bikurināmā uzglabāšanas ilgums, dienas;

MWh<sub>t,y</sub> – zemākā siltumspēja AGK<sub>sākumā</sub>, MWh;

dati – datu matrica.

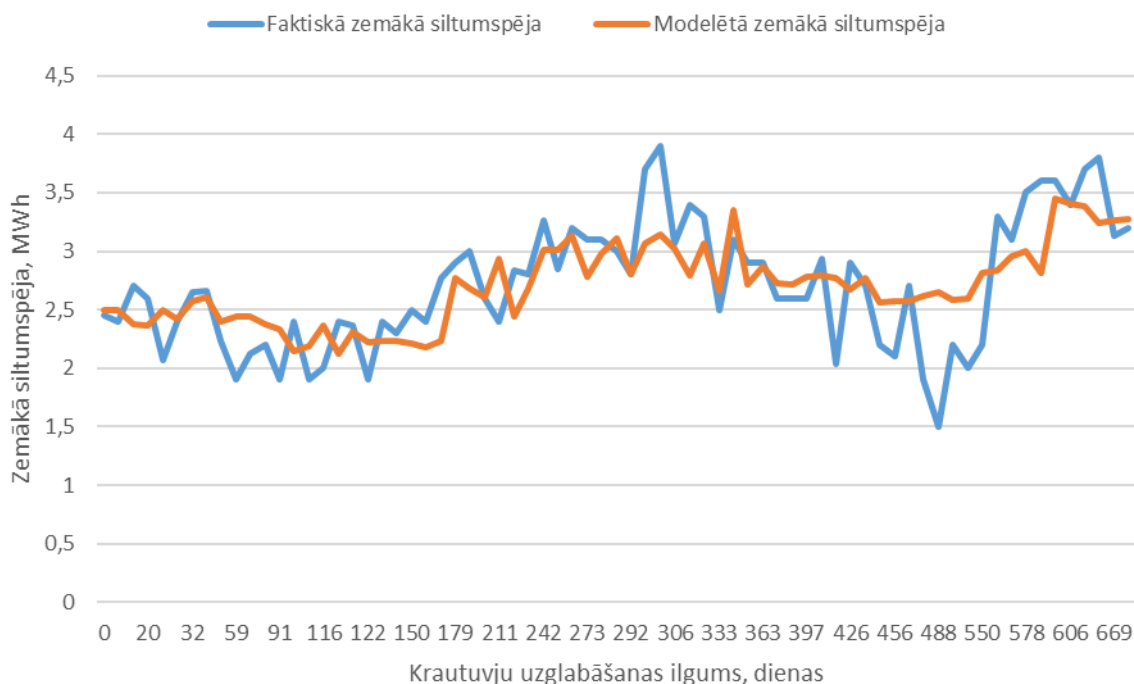
**Tabula 1.4. Modeļa informācija par brīvo locekli (*Intercept*) un virzienu koeficientiem**

Nosaukums	Vērtības	Standartklūda	Vērības	P-vērtība
(Intercept)	3,090	0,4998	6,182	0,0000
temp <sub>vid</sub>	0,023	0,0063	3,609	0,0007
mit <sub>vid</sub>	-0,016	0,0041	-3,768	0,0004
dienas	0,001	0,0003	3,739	0,0004
MWh <sub>t,y</sub>	0,192	0,125	1,536	0,1276

**Otrajā scenārijā** zemākās siltumspējas aprēķināšanai izmanto uzglabāšanas ilgumu, vidējo vēja stiprumu, vidējo relatīvo gaisa mitrumu un vidējo gaisa temperatūru uzglabāšanas periodā. Ar izstrādāto regresijas vienādojumu var izskaidrot 42% gadījumu (att. 1.12. un tab. 1.4.).

**Tabula 1.5. Modeļa informācija par brīvo locekli (*Intercept*) un virzienu koeficientiem**

Nosaukums	Vērtības	Standartklūda	P-vērtība
(Intercept)	3,8026	0,3080	0,000
dienas	0,0010	0,0001	0,000
Vid vējš	-0,0451	0,0235	0,057
Mit vid	-0,0161	0,0033	0,000
Temp vid	0,01514	0,0045	0,001



**Attēls 1.12. Faktiskā un modelētā zemākās siltumspēja**

Trešās grupas krautuvēs ievāktais paraugu apjoms ir lielāks nekā sākotnēji plānots. Paraugu apjoma pieaugums skaidrojamas ar to, ka ražošanas procesā netika ņemtas vērā atzīmes par cirsmās notiekošajiem izpētes darbiem. Lai nodrošinātu pietiekamas datu kopas iegūvi, vajadzēja atlasīt un iegūt datus par vēl 6 objektiem. Trešās grupas krautuvju ierīkošana ir pilnībā pabeigta, saskaņā ar darba plānu (tab. 1.6.).

**Tabula 1.6. Ierīkotie trešās grupas krautuvju objekti**

Sezona	Cirsmas identifikācija	Sugu sastāvs	Grupa	Paraugu ievākšanas datums
Vasaras	601-319-3	9P1E	priežu audzes	09.06.2023
	601-316-9	6P4E	priežu audzes	09.06.2023
	601-316-7	6P4E	priežu audzes	09.06.2023
	404-384-14	10E	skuju koku audzes	13.06.2023
	601-316-14	5P4E1B	skuju koku audzes	09.06.2023
	503-68-16	5E4B2A	skuju koku audzes	13.06.2023

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

Sezona	Cirsmas identifikācija	Sugu sastāvs	Grupa	Paraugu ievākšanas datums
	502-116-21	4E4A2B	skuju koku audzes	13.06.2023
	407-103-10	4B1E2A3Ba	lapu koku audzes	02.10.2023
	407-103-11	4B1E2A3Ba	lapu koku audzes	02.10.2023
	406-273-1	1A1E6B1P	lapu koku audzes	02.10.2023
	406-272-7	5B1A2E1Oz	lapu koku audzes	02.10.2023
	508-123-3	3P6E1B	skuju koku audzes	16.06.2023
	508-123-23/31	1P7E1M	skuju koku audzes	16.06.2023
	406-272-11	-	priežu audzes	-
	601-409-11	7P3E	priežu audzes	12.09.2023
Rudens	408-119-26	10P	priežu audzes	10.11.2023
	408-121-5	10P	priežu audzes	10.11.2023
	408-476-5	10P	priežu audzes	10.11.2023
	508-276-4,8,11	6P 4E	skuju koku audzes	27.10.2023
	508-276-4,8,11	6P 4E	skuju koku audzes	27.10.2023
	607-251-3	7Ba3A	lapu koku audzes	06.11.2023
	605-279-14	9A1B	lapu koku audzes	-
	605-281-17	8A2B	lapu koku audzes	-
	508-273-3	5P5E	skuju koku audzes	06.11.2023
	508-219-13	9E	skuju koku audzes	06.11.2023
	407-478-21	7P2E	priežu audzes	10.11.2023
	609-293-16	-	skuju koku audzes	10.11.2023
	407-489-1	7P3E	priežu audzes	10.11.2023
	509-106-13	6A3Ba	lapu koku audzes	21.11.2023
	509-106-14	6A3Ba	lapu koku audzes	21.11.2023
Ziema	407-486-12	8P2E	priežu audzes	10.11.2023
	408-121-27	-	priežu audzes	10.11.2023
	609-292-13	-	skuju koku audzes	10.11.2023

Ceturtās grupas krautuvēs iegūti dati mežistrādes atlieku izmaiņu raksturošanai, ilgstoši (vairāk nekā 24 mēneši) uzglabājot tās AGK. 2023. gada jūlija beigās no LVM iegūta informācija par datu ieguvei pieejamām krautuvēm. 2023. gada augustā veikta krautuvju apsekošana, atlasot 21 krautuvi (tab. 1.7.) un izveidojot krautuvju šķeldošanas grafiku. Visos pētījumam izraudzītajos objektos uzsāka pētījumam nepieciešamo datu ievākšana.

**Tabula 1.7. Atlasīto ceturtās krautuvju grupas izpētes objektu raksturojums**

Krautuves identifikācija	Sugu sastāvs	Sortimenta nosaukums	Krautuves atlikums, ber. m <sup>3</sup>	Krautuve segta	Šķeldošanas mēnesis
AA_SK00091	7E 1B 1P	Apaugums	170	Nē	marts, 2024

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

Krautuves identifikācija	Sugu sastāvs	Sortimenta nosaukums	Krautuves atlikums, ber. m <sup>3</sup>	Krautuve segta	Šķeldošanas mēnesis
AA_SK00099	10A	Apaugums	207	Nē	augusts, 2024
AC_SK00161	4P 3E 3B	Apaugums	82	Nē	marts, 2025
AM_SK00222	5E 2A 2B	Mežizstrādes atliekas	781	Jā	novembris, 2024
BA_SK00166	10E	Apaugums	172	Jā	augusts, 2025
BP_SK00232	4E 4Ba 2Bl 1B	Apaugums	51	Nē	novembris, 2025
DE_SK00163	8P 2B	Apaugums	163	Jā	janvāris, 2025
HB_SK00249	4P 4E 2B	Mežizstrādes atliekas	60	Jā	marts, 2025
HR_SK00336	8E 1Oz 1B	Apaugums	76	Nē	augusts, 2025
IM_SK00109	7P2E	Ciršanas atliekas	257	Jā	jūnijs, 2023
IM_SK00212	5P 4E	Mežizstrādes atliekas	444	Jā	novembris, 2024
IS_SK00190	6P 3E 1B	Mežizstrādes atliekas	117	Jā	marts, 2025
JB_SK00472	6P 3E	Mežizstrādes atliekas	43	Jā	jūnijs, 2025
JG_SK00140	7E 1P 1B	Mežizstrādes atliekas	150	Jā	janvāris, 2024
JG_SK00167	9E 1A	Apaugums	97	Jā	novembris, 2025
JJ_SK00105	9P	Apaugums	103	Jā	novembris, 2024
JM_SK00027	6P 2E 1B	Ciršanas atliekas	296	Jā	novembris, 2023
JN_SK00015	4P 4E 2A	Apaugums	247	Nē	augusts, 2025
JO_SK00125	9A 1B	Apaugums	180	Nē	jūnijs, 2025
R_SK00117	9P 1E	Mežizstrādes atliekas	235	Jā	janvāris, 2025

Biokurināmā paraugu ievākšanu no ceturtās grupas krautuvēm veic saskaņā ar pirmajai krautuvju grupai izstrādāto metodiku (LVMI Silava, 2022). 2023. gadā, atbilstoši plānotajam, nošķeldota viena krautuve (JM\_SK00015), iegūstot 121,1 t šķeldu (1. autovilcējam – 31,1 t, 2. autovilcējam – 37,3 t, 3. autovilcējam – 30,7 t un 4. autovilcējam – 22,1 t). Ievākts šķeldu materiāls laboratorijas analīžu veikšanai.

### 1.1.1.Sākotnējie secinājumi un rekomendācijas

Lapu koku (sugu sastāvā Ba un Os) audzēs iegūtās biomasas uzglabāšanas laikā pirmās un otrās grupas krautuvēs straujāks krautuvju rukums vērojams līdz 150. uzglabāšanas dienai. Uzglabājot biomasu krautuvē ilgāk, krautuvju izmērs samazinās minimāli, bet, sākot ar 361. dienu, krautuvju rukums nav novērojams. Rukuma modelēšanai ražošanas apstākļos lapu koku audzēs praktiskai pielietošanai rekomendējams 2. pētījumā izstrādātais modelis, kas prognozei izmanto tikai uzglabāšanas ilgumu dienās.

Koksnes uzglabāšanai krautuvēs ir būtiska sakarība ar relatīvā mitruma satura izmaiņām koksne, kas ietekmē materiāla zemāko siltumspēju. Šī parametra prognozēšanai izstrādātais 3. modelis pagaidām izmantojams tikai lapu koku audzēs, bet, turpinot pētījumā uzsākto datu ievākšanu priežu audzēs, skuju koku un lapu koku mistraudzēs, modeli var pilnveidot, paplašinot tā pielietošanas iespējas šķeldu īpašību prognozēšanai.

Objektu atlase un datu ievākšana no trešās un ceturtās grupas krautuvēm turpinās. Iegūto datu apjoms pagaidām nav pietiekošs, lai pilnveidotu izstrādātos modeļus krautuvju rukuma un zemākas siltumspējas prognozēšanai.

### 1.1.2.Priekšlikumi pētījuma īstenošanai 2024. gadā

Lai sasniegtu pētījumā izvirzīto mērķi novērtēt meža biokurināmā kvalitātes izmaiņas uzglabāšanas laikā augšgala krautuvē, tajā skaitā novērtēt krautuves izmēru izmaiņas, šķeldu siltumspējas un mitruma satura izmaiņas un tās ietekmējošos faktoros, 2024. gadā jāturpina iepriekš plānotie lauku un kamerālie darbi.

2024. gadā turpināsim koksnes krautuvju izmēru izmaiņu monitoringu. Tāpat, pētījumā analizēsīm biokurināmā kvalitātes un krautuvju izmēru izmaiņas, izmantojot trīs gadu laikā iegūtos datus.

Lauku darbi (eksperimentālo datu iegūšanas turpinājums):

- koksnes paraugu ievākšana reizi mēnesī no 1., 3. un 4. grupas krautuvēm siltumspējas un mitruma satura analīzēm;
- 1., 3. un 4. grupas krautuvju uzmērīšana reizi mēnesī, izmantojot manuālo un fotogrammetrijas metodi;
- uzglabātā materiāla šķeldošana atbilstoši izstrādātajam kalendārajam grafikam šķeldu īpašību (siltumspēja, mitruma un pelnu saturs un tilpumblīvums) izmaiņu raksturošanai;
- ražošanas apstākļos 1. grupas krautuvēs sagatavoto šķeldu paraugu ievākšana analīzēm, šķeldu kravu tilpuma mērīšana un svēršana;
- ražošanas apstākļos 4. grupas krautuvēs sagatavoto šķeldu paraugu ievākšana analīzēm, šķeldu kravu tilpuma mērīšana un svēršana.

Kamerālie darbi:

- ievākto biokurināmā paraugu (1., 3. un 4. krautuvju grupas) analīzes laboratorijā, nosakot mitruma un pelnu saturu un siltumspēju;
- ievākto šķeldas paraugu (1. un 4. krautuvju grupa) analīze laboratorijā, nosakot mitruma un pelnu saturu, īpatnējo blīvumu un siltumspēju;
- prognožu modeļa pilnveidošana, izmantojot pētījumā iegūto datu kopu;
- iegūto datu publicēšana zinātniskajā periodikā.

Koksnes biokurināmā apjoma prognozēšanas modeļa izstrāde, izmantojot ražošanas apstākļos sagatavoto apaļo kokmateriālu apjomu, sniegs iespēju savlaicīgi pieņemt lēmumu par materiāla ražošanu. Zinot audzes taksācijas rādītājus, var prognozēt teorētiski pieejamās koksnes apjomu, kas izsakāms sausnas tonnās vai enerģijas mērvienībās. Šādi vienādojumi piemērojami arī oglekļa aprites aprēķiniem, jo tajos nav ietverti mežizstrādes procesā radušies tehniskie zudumi. Lai prognozētu iegūstamās koksnes biomasas tehniski pieejamo apjomu, nepieciešama informācija par saražoto apaļo kokmateriālu daudzumu, mežizstrādes sezonu, pievešanas ceļu garumu un apstākļiem, kā arī AGK pievestās biomasas apjomu. Izmantojot šo informāciju, var izstrādāt lēmuma atbalsta rīku koksnes biokurināmā ražošanas plānošanai.

## 1.2. Forvardera greifera svāri koksnes biokurināmā apjoma noteikšanai

Pētījuma iepriekšējos etapos veikta datu ievākšana, izmantojot divas pievesto kokmateriālu svēršanas sistēmas – Intermercato XW 50 PS un John Deere integrēto svēršanas sistēmu. Neskatoties uz to, ka abas svēršanas sistēmas nodrošina pietiekoši lielu precizitāti (vidējā pievestā materiāla masas nenoteiktība nepārsniedz 5%), turpmākiem pētījumiem rekomendēts izmantot mežizstrādes tehnikas ražotāja piedāvātos svaru sistēmu risinājumus, kas nodrošina labākas datu integrācijas iespējas, izmantojot forvarderu produkcijas datus. Tehnikas ražotāju integrēto svēršanas sistēmu izmantošana ļauj samazināt arī darba apjomu datu pirmapstrādei. Iepriekšējā pētījuma etapā konstatēts, ka jāvērtē arī pieejamie IT risinājumi svēršanas datu pārsūtīšanai no forvardera uz datu uzglabāšanas sistēmu, lai automatizētu datu apmaiņas procesu.

Forvardera greifera svaru sistēmas izmēģinājumi sākotnēji plānoti 2023. gada janvāra beigās, dažādu, no LVMI Silava neatkarīgu iemeslu dēļ, svaru sistēmas uzstādīšana būtiski kavējās, kas samazināja iegūto datu apjomu. Tikai 2023. gadā 26. septembrī (ar 9 mēnešu nobīdi no sākotnēji plānotā datu ievākšanas termiņa) uzsākti izmēģinājumi ar John Deere 1110 G forvarderu, kas aprīkots ar ražotāja integrēto svēršanas sistēmu. Datu ievākšanas turpinās un svēršanas sistēmu plānots demontēt 2024. gada februāra beigās. Laikā no 26.09.2023 līdz 01.11.2023 pievešanas darbi veikti 25 izmēģinājuma objektos ražošanas apstākļos, pievedot 382 kravas ar kopējo masu 1930 t (tab. 1.8.). Lai novērtētu uzmērīšanas precizitāti, veikta 10 pievesto kravu kontroļsvēršana, izmantojot stacionāros svarus. Iegūtie rezultāti parāda, ka uzmērīšanas nenoteiktība ir  $\pm 6\%$ .

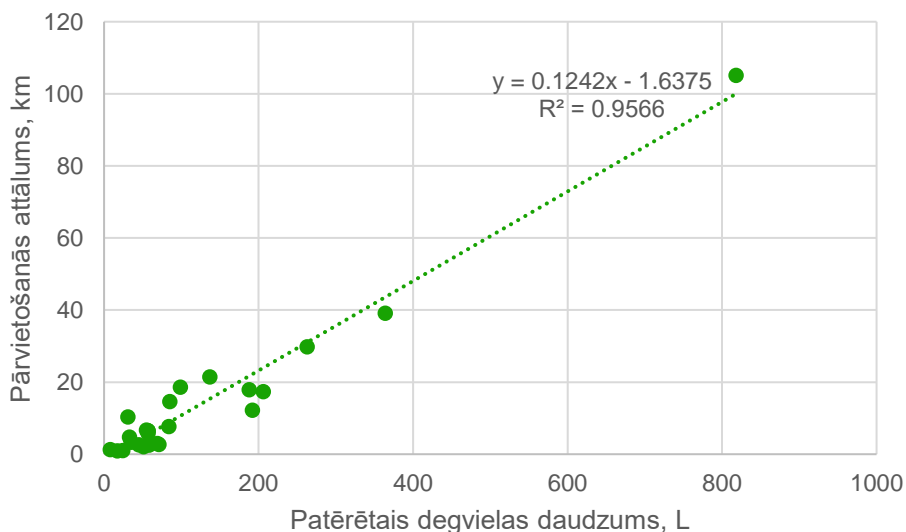
Tabula 1.8. John Deere svēršanas sistēmas iegūto datu kopsavilkums

Krautuves ID	Sugu sastāvs	Pievestais apjoms uz AGK, t	Kravu skaits objektā, gab.	Produktivitāte, t h <sup>-1</sup>
JH_SK00146	5E4B1P	43,60	11	4,28
JH_SK00147	8P2E	18,14	6	2,16
JE_SK00403	8P2E	22,647	5	4,12
JE_SK_00393	4E3P2A1B	48,13	9	7,70
JH_SK00148	4E2B2A1M1P	44,13	7	8,25
JH_SK00156	4CS4P2E	13,23	4	4,80
JH_SK00149	6E2B1P1ML	21,62	5	7,65
JH_SK00150	4E4B1ML1P	8,24	4	4,00
JH_SK00151	6B4E	53,25	14	5,99
JH_SK00152	4E3B2M1A	240,23	47	6,54
JH_SK00127	6P3E1B	5,56	4	7,60
KJ_SK00087	5P3E2B	121,22	26	5,82

Krautuves ID	Sugu sastāvs	Pievestais apjoms uz AGK, t	Kravu skaits objektā, gab.	Produktivitāte, t h <sup>-1</sup>
JE SK00400	10E	66,51	10	9,45
JE SK00398	4P3E2B	66,54	11	7,64
JE SK00401	6E4P	76,32	14	6,61
JE SK00402	9P1E	88,59	21	3,23
JE SK00397	4B3E3A	334,47	63	4,98
JE SK00394	4P4E2B	52,58	8	8,49
JE SK00395	9E1B	162,16	29	7,36
JE SK00396	9P1E	29,09	7	4,59
JH SK00157	5E3CS1A1P	16,62	5	4,60
KJ SK00070	6B1 2A 2B	170,31	26	13,01
KJ SK00077	10P	23,04	6	3,83
KJ SK00078	9P 1B	179,53	35	9,60
KJ SK00075	3B 3B1 3P	23,96	5	6,54

Kopējais forvardera pievešanas ceļa garums 25 objektos bija 345 km un vidējais pievešanas attālums cismā 796 m. Kopā izmēģinājumu laikā patērēti 3104 L dīzeļdegvielas, kas atbilst vidēji 1,61 (±0,73) L t<sup>-1</sup> vai 12,3 (±6,7) L km<sup>-1</sup>.

Pētījumā novērota cieša sakarība starp pievešanas attālumu un vidējo degvielas patēriņu (att. 1.13.). Forvardera degvielas patēriņš izmēģinājumos, pieaugot vidējam pievešanas attālumam cismā virs 1 km, palielinās par 54%, salīdzinot ar degvielas patēriņu pie vidējā pievešanas attāluma.



Attēls 1.13. Pievešanas attāluma un degvielas patēriņa sakarība

Lai aprēķinātu AGK pievestās biomasas daudzumu, izstrādāts regresijas vienādojums (4), kas lietojams Microsoft Excel vidē un ar ko var izskaidrot 70% gadījumu (tab. 1.9.). Lai pilnveidotu izstrādāto modeli, turpmākajos pētījuma etapos iegūstama lielāka datu kopa.

Zemākās siltumspējas izmaiņu modelēšanai izmantojami vairāki rādītāji – vidējā gaisa temperatūra, vidējais relatīvais gaisa mitrums uzglabāšanas periodā un uzglabāšanas ilgums. Ar iegūto lineāro jauktu efektu modeli (angļu val. *mixed-effects models*) iespējams izskaidrot 73% no

datiem. Izstrādātais modelis darbojas R un Python vidē, pielietojot pakotnes “statsmodels” vai “lme4”.

$$MWh = \text{lmer}(MWh_{t,x} \sim \text{temp\_vid} + \text{mit\_vid} + \text{dianas} + (1|\text{dianas}), \text{data} = \text{dati})$$

$$\text{Aprēķins} = \text{predict}(MWh, \text{newdata} = \text{dati})$$

Kur:

MWh<sub>t,x</sub> – zemākā siltumspēja, MWh t<sup>-1</sup>;

temp\_vid – diennakts vidējā gaisa temperatūra no zāgēšanas līdz paraugu ievākšanai, °C;

mit\_vid – kopējais relatīvais mitrums, faktiskais, %;

dianas – koksnes biokurināmā uzglabāšanas ilgums, dienas;

data – datu matrica.

**Tabula. 1.9. Modeļa informācija par brīvo locekli (*Intercept*) un virzienu koeficientiem**

Rādītājs	Vērtības	Standartklūda	Vērības	P-vērtība
Intercept	3,651	0,356	10.266	0,00
temp_vid	0,022	0,006	3,672	0,00
mit_vid	-0,017	0,004	-4,153	0,00
dianas	0,001	0,000	4,226	0,00

Pievestās enerģētiskās koksnes pārrēķiniem no masas vienības (t) uz tilpuma vienību (ber.m<sup>3</sup>) izstrādāts regresijas vienādojums, ar kura palīdzību šobrīd iespējams izskaidrot 55% datu (tab. 1.10.). Lai uzlabotu izstrādāta vienādojuma ticamību, nepieciešams ievākt lielāku datu paraugkopu un novērtēt neprecizitātes uzmērītajā vai nosvērtajā apjomā. Piemēram, krautuvē JE\_SK00394 uzmērītais enerģētiskās koksnes apjoms ir 327 ber.m<sup>3</sup>, bet pievestais apjoms 580 ber.m<sup>3</sup> (pārrēķinot no masas uz tilpuma mērvienībām pievestās 162 tonnas, pieņemot, ka 1 ber.m<sup>3</sup> ir 280 kg, MK, 2016). Savukārt krautuvē KJ\_SK00078 uzmērītais enerģētiskās koksnes apjoms ir 81 ber.m<sup>3</sup>, bet pievestais apjoms 640 ber.m<sup>3</sup> (pārrēķinot no pievestajām 180 tonnām). No kopumā 25 objektiem 8 vērojamas būtiskas enerģētiskās koksnes uzskaitītā apjoma un pievestās koksnes atšķirības, kas tieši ietekmē modeļa precizitāti. Lai uzlabotu izstrādātā modeļa efektivitāti, nepieciešams turpināt pētījumu, palielinot izmantojamo datu kopu.

$$V_{ber.m^3} = k_1 + k_2 * t$$

kur:

k<sub>1</sub>, k<sub>2</sub> – koeficienti;

t – biokurināmais, t.

**Tabula 1.10. Modeļa informācija par brīvo locekli (*Intercept*) un virzienu koeficientiem**

Rādītājs	Koeficients	Standartklūda	P-vērtība
k1	42,341	24,20	0,09
k2	1,165	0,22	0,00

Izstrādātā modeļa rezultātu piemērs un tā salīdzinājums ar datiem, kas iegūti LVM uzskaites sistēmas, apkopti tabulā (tab. 1.11.). Nosakot biokurināmā apjomu augšgala krautuvē, nepieciešams zināt pievestā materiāla masu. Šos datus var iegūt no forvardera produkcijas failu atskaites (ražotāja integrētās svaru sistēmas) vai alternatīvām svaru sistēmām (pētījumā nav iekļautas).



Tabula 1.11. Pievestā koksnes apjoma salīdzinājums

Cirsmas ID	Svēršanas sistēmas uzskaitītā masa, t	Koeficients, k <sub>1</sub>	Koeficients, k <sub>2</sub>	Aprēķinātais koksnes apjoms AGK (no modeļa iegūtie rezultāti), ber.m <sup>3</sup>	Aprēķinātais koksnes apjoms AGK (pēc LVM datiem), ber.m <sup>3</sup>	Aprēķinu rezultātu atšķirības, %
21JH557	18,14	42,341	1,165	63	59	-7
22JH307	44,13			94	87	-8
22KJ016	121,22			184	195	6
23JE130	162,16			231	327	29
23JH085	16,62			62	62	0
23JE063	66,5			<b>120</b>	<b>185</b>	<b>35</b>

### 2.1.1. Sākotnējie secinājumi un rekomendācijas

Veicot izmēģinājumus ar tehnikas ražotāja svēršanas sistēmu, papildus pievestā materiāla masai var iegūt informāciju par pievesto kravu skaitu objektā, kopējo un vidējo pārvietošanās attālumu, patērētās degvielas daudzumu objektā. Šo datu ieguvei nepieciešams, lai forvardera datu uzskaites sistēma atbalstītu StanFord2010 standartu, datu apstrādei ir pieejams forvardera produkcijas fails (\*.fpr) un darba un remontu uzskaites fails (\*.mom).

Lai palielinātu pievestā materiāla aprēķinu precizitāti, jāpilnveido aprēķinu vienādojumi meža biomasas īpašību (mitruma saturs) prognozēšanai, kas ir saistīts ar lielākas datu kopas iegūšanu. Papildus nepieciešami dati no visām mežizstrādes sezonām un dati par biomasas uzglabāšanas ilguma cirsma.

### 2.1.2. Priekšlikumi pētījuma īstenošanai 2024. gadā

Lai sasniegtu pētījuma mērķi – uzlabot pievestā materiāla uzskaites precizitāti un nodrošināt ātrāku ražošanas datu apriti – nepieciešams ražošanas apstākļos turpināt datu ieguvei atbilstoši plānam, salīdzināt dažādu ražotāju sistēmu efektivitāti, nosakot svēršanas precizitāti, darbietilpīgumu un papildu iegūstamos datus, kas īpaši svarīgi tiem forvarderu ražotājiem un modeļiem, kam nav pieejamas ražotāja atbalstītas svēršanas sistēmas. Lauku darbi ietver:

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

Kamerālie darbi ietver:

#### Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

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

Pētījumā lietderīgi novērtēt arī citu ražotāju forvardera svēršanas sistēmas, novērtējot precizitāti, darbietilpību un papildu iegūstamos datus. Citu svēršanas sistēmu izpēte īpaši svarīga, jo mežizstrādes atlieku pievešanā nereti izmanto vecākus forvarderus, kam nav pieejami integrēti risinājumi. Šos pētījumus var veikt Somijā, kur pievesto mežizstrādes atlieku un papīrmalkas uzskaitē ar svēršanas metodi ir ikdienišķa parādība.

Lai novērtētu degvielas patēriņa izmaiņas, atkarībā no pievešanas attāluma un citiem pievešanas apstākļus un ražību ietekmējošiem faktoriem, tajā skaitā kravu piepildījuma, pētījumā izmantotā svaru sistēma uzstādāma uz lielākas klases John Deere forvardera. Datu ieguve, pielietojot dažādu klašu forvarderus mežizstrādes atlieku pievešanā, dos iespēju labāk novērtēt svēršanas sistēmu precizitāti, kā arī izstrādāt prognožu vienādojumus ietekmes uz izmaksām un siltumnīcefekta gāzu emisijām aprēķināšanai, atkarībā no pievešanas attāluma un citiem faktoriem.

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

### 2.1. Forvardera atstāto risu mērīšanas iekārtas izstrāde

Pētījuma uzdevums 2023. gadā pilnveidot un pārbaudīt praksē, ražošanas apstākļos 2022. gadā izstrādāto risu mērīšanas sistēmu RM2 (GNSS RTK), raksturojot sistēmas precizitāti un identificējot iespējamās problēmas kopšanas un galvenajā cirtē. Etapa ziņojumā papildināta starpziņojumā sniegtā informācija par rezultātiem, kā arī izstrādātās programmas prototipu.

Līdz 2023. gadam pētījuma ietvaros turpināta risu dziļuma uzskaites sistēmas pilnveidošana un empīrisku datu ieguve. Uzsākot pētījumu, risu mērīšanas sistēmas darbības pamatā bija mērījumi, kuri iegūti ar ultraskaņas attāluma mērīšanas sensoriem, novērtējot attālumu starp sensoru un zemes virsmu ārpus tehnoloģiskā koridora un salīdzinot to ar prognozējamo attālumu pie nulles līmeņa iegrimis. Aprēķinos izmantoti arī forvardera novietojuma attiecībā pret zemes virsmu dati. Faktiski šī sistēma ir auto novietošanas ultraskaņas sensoru sarežģītāka versija. Pētījumā konstatēts, ka ultraskaņas sensoru pielietošana saistīta ar vairākām problēmām – izklīdēts atstarotais signāls, ja atstarošanās virsma nav perpendikulāra sensoram, signāla slāpēšana vai izklīdēšana, atstarojoties no veģetācijas, sniega vai ūdens virsmas, sistēma ir viegli mehāniski sabojājama. Pirmais risu mērīšanas prototips pilnveidots, aizstājot ultraskaņas sensorus ar LiDAR (*Light detection and ranging*) sensoriem, mainot sensoru novietojumu uz forvardera priekšpusi un uzlabojot datu uzkrāšanas programmatūru, kas tiešsaistes režīmā veica datu filtrēšanu un risu dziļuma aprēķinus. Risu dziļuma aprēķins balstījās uz taisnleņķa trīsstūra katetes garuma aprēķinu formulu. Nākošajā uzlabotajā prototipā rīses dziļumu aprēķināja, salīdzinot nulles līmeņa un faktisko attālumu līdz zemei brauktuves centrā. 2022. gadā veikti mērījumi, izmantojot LiDAR RTK. Pētījumā secināts, ka mērījumu precizitāte atkarīga no tā, vai brauktuve nostiprināta ar mežizstrādes atliekām – cirmās, kur mežizstrādes atliekas bija ieklātas tehnoloģiskajos koridoros, brauktuves vidū veidojās pacēlums, kas radīja maldīgu iespaidu par to, ka attiecīgajā vietā veidojas arvien dziļākas rīses. Tas nozīmē, ka LiDAR RTK iekārta izmantojama risu dziļuma noteikšanai platībās, kurās netiek veikta tehnoloģiskās brauktuves nostiprināšana ar mežizstrādes atliekām. Pilnveidojot risu uzmērīšanas sistēmu 2022. gadā, LiDAR RTK sensors aizstāts ar GNSS RTK tehnoloģiju, kas nemēra neko, bet maksimāli precīzi nosaka augstuma izmaiņas vienā un tajā pašā vietā ar precīza GNSS RTK uztvērēja palīdzību. 2022. gadā konstatēts, ka ar šo iekārtu var iegūt precīzus risu mērījumus objektos, kur veikta tehnoloģiskās brauktuves nostiprināšana, kā arī var atrisināt problēmas, kas saistītas ar tiešas mērīšanas ultraskaņas vai LiDAR sensoru pielietošanu. Ņemot vērā GNSS RTK (RM2) risu uzmērīšanas sistēmas pilot izmēģinājumu rezultātus, pētījumā rekomendēts turpmāk koncentrēties uz šīs sistēmas pilnveidošanu un 2023. gadā pārbaudīt to ražošanas apstākļos kopšanas un galvenajā cirtē.

Turpinot pētījumu, 2023. gadā uz forvarderiem Wisent un ELK uzstādīti RM2 risu mērīšanas sistēmu prototipi. Iekārtu uzstādīšanai un to darbības nepārtrauktības nodrošināšanai veiktas iesaistīto meža mašīnu operatoru apmācības, kas ietver operatoru informēšanu par sistēmas darbības principiem un tās lietošanu datu ievākšanai. Pievešanas darbu laikā operatoru pienākums ir sekot līdzi nepārtrauktai strāvas padevei, lai nodrošinātu sistēma darbību. Pārskata sagatavošanas brīdī iekārtas mērījumi veikti 42 cirmās (att. 2.2.). Laika posmā no 2023. gada jūlija līdz oktobrim kopējais ar RM2 sistēmu uzmērītais punktu skaits ir 3,2 milj. (iekārtas darbības laiks, kad forvarders strādā LVM platībās). RM2 sistēmas datu saglabāšanai izmantotas atmiņas kartes, bet rezerves

kopijas tiešsaistes režīmā pārsūtās uz serveri (datu nosūtīšanai izmantots rūteris – Mikrotik LTE18). Kā attālinātā servera risinājums izmantota platforma uz *DigitalOcean* mākoņa servera (datu apjoma sakritība ar SD karti ir 99%), izveidojot *PostgreSQL* datubāzi. Sistēmas reģistrētie dati satur informāciju ar mērījuma numuru (ID), iekārtas identifikācijas numuru (device), mērījuma laiku (gnsstime), laiks (itow), satelītu skaitu (sat), mērījuma režīmu (0 – uztver tikai GNSS signālu, 1 – GNSS ar daļēju RTK korekciju, 2 – GNSS signāls ar RTK korekciju), garums (lat), platums (lon), augstums (alt), horizontālā un vertikālā mērījuma kļūda (hacc, vacc). Garuma un platuma mērvienības izteiktas decimālgrādos (tab. 2.1.). Turpmākajai analīzei izmanto kvalitatīvus datus ar vertikālā mērījuma kļūdu < 0,05 m no izmēģinājuma objektiem nogabalu robežās. Apstrādājamo datu apjoms ir 21% no kopējā datu apjoma jeb 0,67 milj. datu punkti, ievērojami palēninot datu apstrādes procesu *Digital Ocean* mākoņa serverī. Lai samazinātu servera noslodzi datu uzglabāšanā un apstrādē, kā arī uzlabotu izstrādāto R koda efektivitāti, nepieciešams pilnveidot šobrīd izmantoto sistēmu, papildinot to ar datu pirmapstrādes procesu, lai atsijātu liekos datus. Izstrādātais programmas prototipa kods pievienots elektroniskā veidā pielikumā. Šajā pētījuma etapā datu pirmapstrādes iekļaušana RM2 sistēmā nav plānota, bet, ņemot vērā lielo datu apjomu, šāds uzlabojums ir jāparedz.



Attēls 2.1. Cirsma, kurās veikti RM2 sistēmu izmēģinājumi

Tabula 2.1. RM2 sistēmas datu matrica

id	device	gnsstime	itow	sat	fix	lat	lon	alt	hacc	vacc
....	40:F5:20:57:A0 :42	04/07/2023 00:21	18489775 0	26	2	56.7331	23.7903 6	28,9 3	0,01	0,01
16479	40:F5:20:57:A0 :42	04/07/2023 00:27	18525050 0	32	2	56.7334	23.7882	29,8 4	0,01	0,01
16600	40:F5:20:57:A0 :42	04/07/2023 00:32	18559600 0	32	2	56.7339	23.7863 1	29,5 2	0,01	0,01
16722	40:F5:20:57:A0 :42	04/07/2023 00:38	18594800 0	32	2	56.7341	23.7855 1	29,6 5	0,01	0,01
16844	40:F5:20:57:A0 :42	04/07/2023 00:44	18630850 0	32	2	56.7336	23.7849 5	29,7 9	0,01	0,01
16965	40:F5:20:57:A0 :42	04/07/2023 00:50	18665400 0	31	2	56.7340	23.7859 8	29,5 7	0,01	0,01

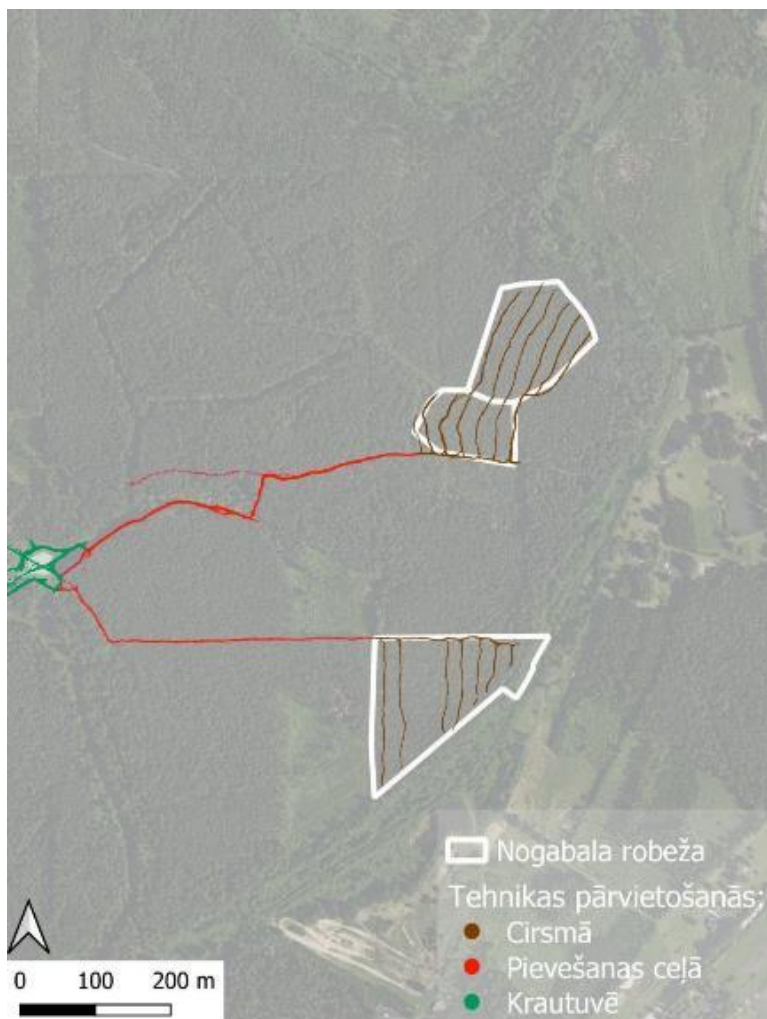
id	device	gnsstime	itow	sat	fix	lat	lon	alt	hacc	vacc
....	40:F5:20:57:A0 :42	04/07/2023 00:56	18699850 0	31	2	56.7335	23.7875 8	29,9 3	0,01	0,01

2022. gadā automātiskai datu apstrādei izstrādāts R kods (1. Pielikums, R Core Team, 2022). Izstrādātais kods paredzēja analizē iekļaut visus datus (att. 2.2.), tai skaitā forvardera pārvietošanos pa krautuvi un starp objektiem. Veicot šī metodes praktisku aprobāciju, risu dziļuma un garuma aprēķināšana viena objekta ietvaros izrādījās apgrūtināta, jo informācija, kas iegūta ārpus cirsma, būtiski ietekmēja aprēķinu rezultātu. 2023. gadā uzsākta iepriekš izstrādātā koda pilnveidošana, lai no aprēķina izslēgtu ārpus cirsma robežām veiktos mērījumus. Minētā darbība nepieciešama, lai uzlabotu zemes virsmas modeļa izstrādi, kas ietvertu informāciju no objektā veiktiem mērījumiem (att. 2.2. un 2.3.), tādējādi paaugstinot datu apstrādes kvalitāti un iegūto mērījumu ticamību.

Ar risu mērītāju iegūto datu apstrāde notiek R programmatūras vidē. Apstrādei paredzētajai datu kopai R vidē veiktas sekojošas darbības:

- datu pārklājuma teritorijā izveido kvadrātisku poligonu šūnu tīklu (*grid*) ar poligonu malām 1 m garumā;
- katrā no izveidotā tīkla šūnām atrod maksimālo augstumu vērtību, ko atlasa pēc ievades datu koordinātēm;
- izmantojot *Spline* interpolācijas metodi, veido zemes virsmas reljefa modeli, par pamatu ņemot iepriekšējā solī atlasītās maksimālās augstumu vērtības, kuras iegūtas forvarderam pirmo reizi pārvietojoties pa katru konkrēto šūnu;
- no datu kopas nošķir tos punktus, kuri iegūti, forvarderam stāvot uz vietas;
- katram datu punktam aprēķina forvardera pārvietošanās virzienu un kārtas numuru pārbraucienam pa konkrēto tehnoloģisko koridoru;
- vadoties no atrašanās vietas, katram datu punktam piešķir vērtību no zemes virsmas reljefa modeļa (rastra slāņa) un aprēķina starpību starp modeli ģenerēto zemes virsmas augstumu un mērījuma augstumu, tādējādi nosakot izveidoto risu dziļumu;
- ja risu dziļums ir lielāks par 20 cm, programma ģenerē līniju vektorus, kurus var eksportēt uz telpisko datu slāni;
- programma automātiski aprēķina konkrētajā apgabalā nobraukto ceļa garumu un par 20 cm dziļāku risu kopējo garumu.

Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai



Attēls 2.2. Mērījumu telpiskais novietojums, izmantojot RM2 sensora sniegto informāciju



Attēls 2.3. Mērīju telpiskais novietojums pēc datu apstrādes R

Krājas kopšanas cirtēs ir noteikts kopējais maksimāli pieļaujamais risu garums, tāpēc RM2 sistēma galvenokārt paredzēta izmantošanai šajā cirtes veidā. Tomēr zināt risu izvietojumu un dziļumu būtiski arī galvenajā cirtē. Piemēram, metāna emisijas no risēm var pieaugt vairākus simtus reižu, salīdzinot ar pārējo cirsma daļu, tāpēc mežizstrādes ietekmes uz vidi raksturošanai ir svarīgi zināt risu izvietojumu arī galvenās cirtes cirmās. Tāpēc, izmantojot RM2 sistēmu, dati iegūti arī atjaunošanas cirtēs.

Iegūtie rezultāti parāda, ka kopšanas cirtē, salīdzinot RM2 sistēmas mērījumus ar kontrolmērījumiem, pilnīga sakritība ir 50%, bet pārējos gadījumos RM2 sistēma uzrāda lielāku par 20 cm dziļāku risu garumu nekā kontrolmērījumos. To var skaidrot ar mikroreljefu un atsevišķiem augstiem celmiem tehnoloģiskajos koridoros. Savukārt atjaunošanas cirtēs RM2 datu pilnīga sakritība ar kontrolmērījumiem ir tikai 20% cirsma. 50% galvenās cirtes cirsma sistēmas uzrādītais mērījums ir lielāks, bet 30% gadījumu mazāks par kontroles mērījumu (tab. 2.2.). Risu raksturojošo rādītāju noteikšanas precizitātes novirzes objektā var skaidrot ar izteiktu mikroreljefu, atsevišķiem augstiem celmiem uz tehnoloģiskā koridora, vai harvesteru izveidotām risēm, kuras RM2 sistēma fiksē kā zemes virsmu jeb bāzes punktu, ko izmanto tālākā datu apstrādē.

**Tabula. 2.2. Rises raksturojošie rādītāji**

Cirtes veids	ID	Kontrolmērījums, m	RM2 sistēmas mērījums, m	Nogabalā nobrauktais attālums, m	Nogabala platība, ha	Atšķirība starp kontrolmērījumu un RM2, m
Atjaunošanas cirte	610-13-10	6	8	3058	2.26	-2
	610-253-21	49	69	4019	2.09	-20
	610-261-14	227	83	6624	1.18	144
	610-267-21	14	8	4160	0.75	6
	610-275-17	215	57	4859	1.2	158
	610-275-9	36.5	61	11173	1.09	-24.5
	610-282-33	0	0	788	0.29	0
	610-282-34	10	12	1274	0.87	-2
	610-33-3	0	6	2181	0.75	-6
	610-34-16	29.5	59	4493	1.72	-29.5
Krājas kopšanas cirte	609-255-16	0	0	126	0.17	0
	609-257-8	0	15	1545	1.79	-15
	609-261-13	0.5	13	5890	2	-12.5
	609-266-3	1.5	13	1403	1.13	-11.5
	610-239-9	2	7	1134	0.84	-5
	610-241-4	0	2	741	0.53	-2
	610-241-9	23.5	23	7652	2.06	0.5
	610-33-13	3.5	3	774	0.66	0.5
	610-33-23	16.5	22	4601	1.62	-5.5
610-33-8	162	162	24775	1.84	0	

Pētījuma īstenošanas laikā uzstādītā risu uzmērīšanas sistēma RM2, kas nodrošināja datu ievākšanu kopšanas cirtēs, ir bojāta. Pievešanas procesā operators aizķēris kādu šķērsli, kā rezultātā GNSS antena norauta no forvardera jumta. RM2 sistēmas svarīgākā komponente ir tieši GNSS antena. Iekārtas bojājuma dēļ, datu tālāka ievākšana nebija iespējama. Lai izslēgtu šādus gadījumus, turpmākajos pētījuma etapos izveidosim papildus GNSS antenas un vada (no GNSS antenas uz kabīni) stiprinājumus.

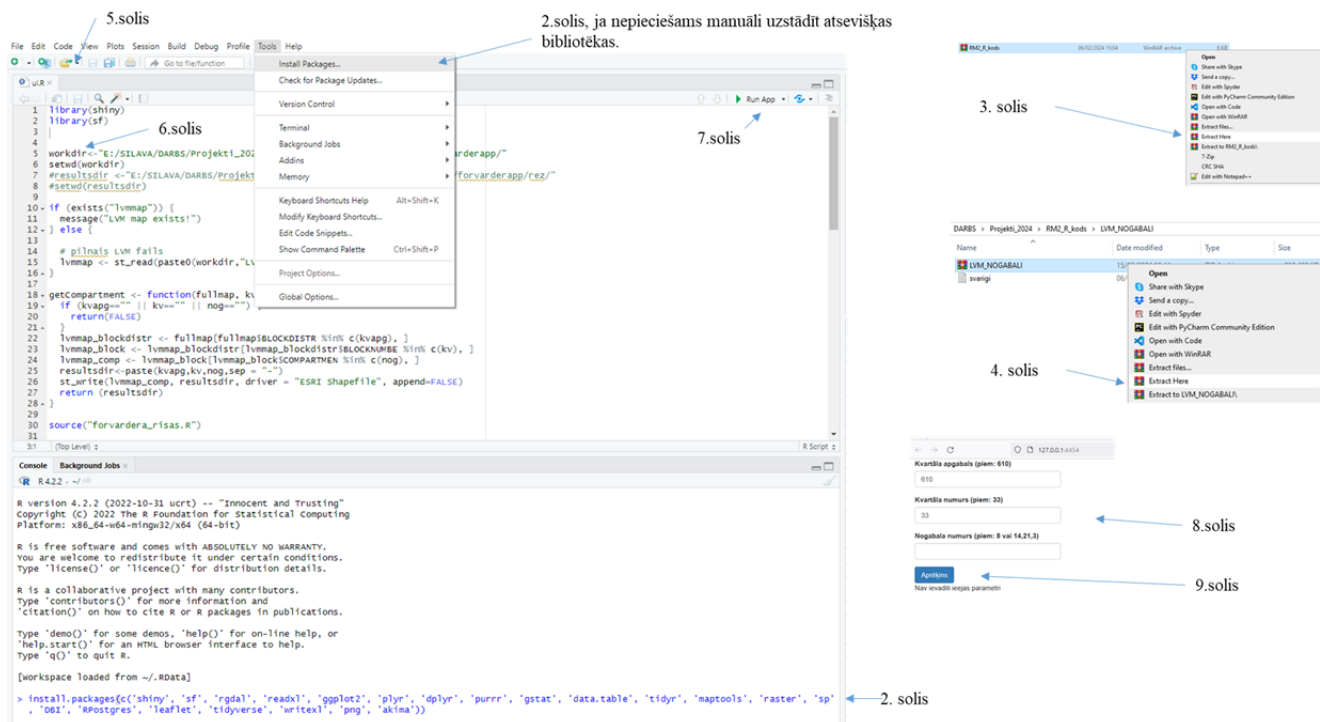
Izstrādātā programmas prototipa izmantošanas ilustratīvs piemērs redzams att. 2.4. Izstrādātā programmas prototipa izmantošanai nepieciešams izpildīt 9 secīgas darbības:

1. Nepieciešams uzstādīt programmas RStudio un RTools. Lai uzstādītu RStudio, vispirms datorā jāuzstāda programmēšanas vide R (pieejama lejupielādei, piemēram, vietnē <https://posit.co/downloads/>). R vides izstrādātāji aprakstījuši uzstādīšanas secību un veicamās darbības. Pēc R vides un RStudio programmas uzstādīšanas papildus nepieciešams uzstādīt programmu RTools (pieejams lejupielādei <https://cran.r-project.org/bin/windows/Rtools/rtools43/rtools.html>).
2. Nepieciešams aktivizēt aprēķiniem nepieciešamās bibliotēkas. Lai to izdarītu, RStudio logā “Console” ievada kodu “install.packages(c('shiny', 'sf', 'rgdal', 'readxl', 'ggplot2', 'plyr', 'dplyr', 'purrr', 'gstat', 'data.table', 'tidyr', 'maptools', 'raster', 'sp', 'DBI', 'RPostgres', 'leaflet', 'tidyverse', 'writexl', 'png', 'akima'))” un nospiež Enter taustiņu uz klaviatūras. Papildus bibliotēku uzstādīšana var aizņemt vairākas minūtes. Šī darbība jāveic tikai vienu reizi. Atsevišķos gadījumos bibliotēkas “rgdal” un “maptools” jāuzstāda manuāli, lejupielādējot no izstrādātāju vietnes (<https://cran.r-project.org/web/packages/rgdal/index.html> un <https://cran.r-project.org/web/packages/rgdal/index.html>). Bibliotēku manuālu uzstādīšanu veic RStudio logā “Tools”, izvēloties komandu “Install Packages” un logā “Install from” izvēloties “Package Archive File”. Kad aprēķiniem nepieciešamo programmu un bibliotēku uzstādīšana ir pabeigta, veic darbības ar RM2 programmas prototipu.
3. Pievienoto failu “RM2\_R\_kods” nepieciešams atarhivēt direktorijā, kurā notiks darbs ar programmu.
4. Izstrādātās programmas prototipa funkcionēšanai mapē “/.../RM2\_R\_kods/LVM\_NOGABALI” ievieto analizējamo nogabalu ģeogrāfisko informāciju “shp” datņu formātā (<https://www.lvmgeo.lv/dati> sadaļā “Meža īpašnieku nogabali”) jāizvēlas “AS Latvijas valsts meži meža nogabali SHP”.
5. Izmantojot programmas RStudio galvenā loga izvēlni, jāatver datne (Open File) “ui.R”.
6. R console logā jānorāda, kurā mapē atrodas izstrādātais kods “workdir”, izmantojot komandu `setwd("<ceļš uz direktoriju>/RM2_R_kods/")`, kā direktoriju atdalītāju izmantojot “/”.
7. Jāaktivizē programma, apstiprinot izvēlni “Run App”. Pēc programmas palaišanas notiek R koda aktivizēšana un process noslēdzas ar interneta pārlūka atvēršanu.
8. Interneta pārlūkprogrammā jāievada pamatinformācija par objektu – kvartālu apgabalu, kvartālu un nogabalu.
9. Pēc pamatinformācijas ievadīšanas aktivizē aprēķinu, nospiežot pogu “Aprēķins” (process var aizņemt no dažām sekundēm līdz dažām minūtēm, atkarībā no datu apjoma uz servera un datora jaudas).

Pēc aprēķinu veikšanas programma ģenerē datni ar nogabala robežām (\*.shp), risu izvietojumu (\*.shp) un risu garumu nogabalā. Izveidotās datnes programma saglabā pirmajā solī norādītajā mapē.



## Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai



**Attēls 2.4. Izstrādātās R programmas piemērs**

Izstrādātajā programmā, veicot vienkāršu R koda modifikāciju, lietotājs var mainīt divus parametrus: izmantojamo telpisko vienību (nogabals, kvartāls vai cita telpiskā vienība) un risu dziļuma robežvērtību. Pēc noklusējuma programmā ievada kvartālu apgabala, kvartāla un nogabala numuru, lai veiktu aprēķinus nogabala līmenī. Ja aprēķinus nepieciešams veikt plašākai teritorijai, tad nogabala numuru vajag izdzēst un programma veiks aprēķinus kvartāla līmenī. Vairākus kvartālus programmā nevar izvēlēties, taču programmas kodu var pilnveidot, lai nodrošinātu šādu iespēju. Alternatīvs risinājums, lai veiktu aprēķinus vairākiem nogabaliem viena kvartāla robežās vai vairākos kvartālos, jāizveido jauns telpisko datu slānis, kurā interesējošiem nogabaliem piešķir kopīgu identifikatoru un programmas kodā veic korekcijas, lai datu atlase notiek pēc šīs pazīmes. Ja nepieciešams noteikt citu risu dziļuma robežvērtību (piem. lai noteiktu par 0,5 m dziļākas rīses), R koda “forwadera\_rises.R” sadaļā “`LKS_rut_depth_filter <- filter(DF, rut_depth > 0.2)`” jānorāda cits risu dziļuma rādītājs; attiecīgi, ja nepieciešamā robežvērtība ir 0,5 m, tad “0.2” jānomaina pret “0.5”. Mainot risu dziļuma robežvērtības, jāaprēķinās ar to, ka risu noteikšanas precizitāte pārbaudīta pie 0,2 m dziļuma robežvērtības.

### 1.2.1. Sākotnējie secinājumi un rekomendācijas

Saskaņā ar kontrolmērījumu rezultātiem, risu uzmērīšanas sistēma RM2 kopšanas ciršu izmēģinājumos uzrāda augstu (50%) precizitāti. R kodā iestrādātas vairākas konfigurācijas iespējas, tajā skaitā lietotājam noderīgākās ir iespēja mainīt risu dziļuma robežvērtības, kā arī nomainīt izmantojamos telpiskos datus.

Pusē cirsmu sistēma fiksējusi lielāku risu apjomu nekā kontrolmērījumos, kas var būt saistīts ar reljefa nelīdzenumiem, piemēram, celmiem, tāpēc datu interpretācijas programmas uzlabošana ir jāturpina, lai nofiltrētu šādu faktoru ietekmi. Galvenajā cirtē viens no atšķirību iemesliem ir harvesteru radītie iespaidumi, ko sistēma vairs neuztver kā rīses. Lai izslēgtu šo faktoru, jāpapildina pētījuma metodika, papildus kontroles mērījumus veicot pirms pievešanas darbu uzsākšanas.

GNSS signāla koriģēšanai visos gadījumos izmantota informācija no vienas LatPos bāzes stacijas (309093,595 504631,315), jo visas cirsmas atradās netālu, līdz ar to pētījumā nav

noskaidrots, vai un kā datu precizitāti ietekmē tīkla pārklājums vai attālums līdz LatPos bāzes stacijai, tāpēc turpmākajos izpētes etapos šo iekārtu lietderīgi secīgi uzstādīt vairākiem forvarderiem, lai iegūtu informāciju par šī faktora ietekmi.

Tālākajos pētījuma etapos jāsāk sistēmas aprobēšana ražošanas apstākļos. Jau šobrīd sistēmas sagatavotā informācija norāda uz cirstmām, kur veidojas risēs un kur lietderīgi veikt kontrolmērījumus, samazinot darba apjomu kopšanas cirstu izpildes kvalitātes novērtēšanai.

### **1.2.2.Priekšlikumi pētījuma īstenošanai 2024. gadā**

Lai sasniegtu pētījuma mērķi – RM2 sistēmas pielietošanas izmēģinājumi ražošanas apstākļos – nepieciešams turpināt datu iegūvi no kopšanas cirtēm, veicot sākotnējos kontrolmērījumus pirms pievešanas darbu uzsākšanas. Šie dati palīdzēs salīdzināt zemes virsmas modeļus, kas iegūti no risu uzmērīšanas sistēmas RM2 un LiDAR, paredzot perspektīvā izmantot publiski pieejamos LiDAR datus sākotnējā zemes virsmas augstuma prognozēšanai. Lauku darbi ietver

- pētījumā iesaistīto forvarderu operatoru apmācības;
- bojātās RM2 sistēmas atjaunošana;
- 
- trīs RM2 prototipu sistēmu uzstādīšana kopšanas un vienlaidus galvenās cirtes cirstmās strādājošiem forvarderiem;
- RM2 prototipu testēšana ražošanas apstākļos, veicot apaļo kokmateriālu pievešanu (pievešanas izmēģinājumi plānoti līdz gada beigām);
- risu dziļuma kontrolmērījumu veikšana, izmantojot tradicionālo metodi (kontrolmērījumi un LiDAR jāveic ne mazāk kā 10 ha kopšanas cirstmās, kur veikta automatizēta risu mērīšana).

Kamerālie darbi:

- RM2 prototipa pilnveidošana, nodrošinot datu rezerves kopēšanu un pārraidi uz attālinātu serveri;
- viena pilnveidota RM2 prototipa izgatavošana lauka izmēģinājumiem;
- ar RM2 prototipiem un kontrolmērījumos iegūto brauktuves raksturojošo rādītāju, tajā skaitā tehnoloģisko brauktuves platības un dziļu risu izplatības analīze;
- programmas prototipa izveide risu mērījumu un brauktuves raksturojošo datu analīzei.

### 3. CETURTĀ ETAPA DARBA UZDEVUMI UN KALENDĀRAIS PLĀNS

Ceturtajā etapā plānots turpināt trīs pētniecisko uzdevumu īstenošanu:

- enerģētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs;
- forvardera greifera svāri koksnes biokurināmā apjoma noteikšanai;
- forvardera atstāto risu mērīšanas iekārtas izstrāde.

#### 3.1. Enerģētiskās koksnes uzglabāšana krautuvēs

Darbu nolūks: Novērtēt meža biomasas kvalitātes izmaiņas uzglabāšanas laikā augšgala krautuvē, cirsnā un ilglaicīgo krautuvju uzglabāšanā.

Lauku darbi (eksperimentālo datu iegūšanas turpinājums):

- koksnes paraugu ievākšana reizi mēnesī no 1., 3. un 4. grupas krautuvēm siltumspējas un mitruma satura analīzēm;
- 1., 3. un 4. grupas krautuvju uzmērīšana reizi mēnesī, izmantojot manuālo un fotogrammetrijas metodi;
- jaunu izmēģinājumu ierīkošana mežizstrādes atlieku īpašību izmaiņu raksturošanai uzglabāšanas laikā cirsnā un augšgala krautuvē (1 sezonas, 6 mēnešus ilgs uzglabāšanas periods cirsnā un līdz 24 mēnešus ilgs uzglabāšanas periods augšgala krautuvē (AGK), priedes, mistrotas skuju koku un lapu koku cirsmas, 3 atkārtojumi katrā variantā) un periodiska (reizi mēnesī) biomasas paraugu ievākšana cirsnā pirms mežizstrādes atlieku pievešanas mitruma un pelnu satura kā arī siltumspējas noteikšanai;
- uzglabātā materiāla šķeldošana atbilstoši izstrādātajam kalendārajam grafikam šķeldu īpašību (siltumspēja, mitruma un pelnu saturs un tilpumblīvums) izmaiņu raksturošanai;
- uzglabātā materiāla šķeldošana reizi trīs mēnešos šķeldu īpašību (siltumspēja, mitruma un pelnu saturs un tilpumblīvums) izmaiņu raksturošanai;
- ražošanas apstākļos 1., 3. un 4. grupas krautuvēs sagatavoto šķeldu paraugu ievākšana analīzēm, šķeldu krāvu tilpuma mērīšana un svēršana.

Kamerālie darbi:

- ievākto biokurināmā paraugu (1., 3. un 4. krautuvju grupas) analīzes laboratorijā, nosakot mitruma un pelnu saturu un siltumspēju;
- ievākto šķeldas paraugu (1. un 4. krautuvju grupa) analīze laboratorijā, nosakot mitruma un pelnu saturu, īpatnējo blīvumu un siltumspēju;
- prognožu modeļa pilnveidošana, izmantojot pētījumā iegūto datu kopu;
- iegūto datu publicēšana zinātniskajā periodikā.

Sagaidāmie rezultāti:

- izstrādāti pilnveidoti prognožu modeļi, kas noformēti atbilstoši IT praksei (modeļi atbalsta maināmus ievades parametrus, piemēram, sugas sastāvs, EK sagatavošanas

datums u.t.t., kā rezultātā modelis prognozē siltumspējas un citu raksturlielumu mazināšanos laika skalā);

- sagatavots prognožu modeļu rezultāts pārskatā gan grafiskā veidā, gan skaitļu veidā, rezultāts sagatavots fiziskās mērvienībās (berkubikmetri), sausnas tonnās un enerģijas mērvienībās;
- sagatavots pētījuma 2023. gada rezultātu apkopojums etapa pārskatā, aprakstīti secinājumi un sagatavotas rekomendācijas pētījuma nākamajam posmam.

Nepieciešamais atbalsts no LVM puses:

- pirmās grupas krautuvju šķeldošanas nodrošinājums 2024. gadā atbilstoši iepriekš izstrādātajam grafikam;
- trešās grupas krautuvju izveidošanu (pavasara sezonā);
- trešās grupas krautuvju pievešana atbilstoši iepriekš izstrādātajam grafikam (izpētes objektu nodrošināšana mežizstrādes atlieku uzglabāšanas cismā 6 mēneši un krautuvēs līdz 24 mēneši);
- ceturtās grupas krautuvju šķeldošana atbilstoši iepriekš izstrādātajam grafikam;
- mežizstrādes uzskaites dati par 3. un 4. grupas krautuvēm – harvestera uzskaites datnes (\*.hpr) no attiecīgajām cismām.

### **3.2. Forvardera greifera svāri koksnes biokurināmā apjoma noteikšanai**

Darbu nolūks: Uzlabot pievestā materiāla uzskaites precizitāti un nodrošināt ātrāku ražošanas datu apriti.

Lauka darbi (eksperimentālo datu iegūšanas turpinājums):

- datu ievākšanas kvalitātes sākotnējais novērtējums, salīdzinot ar AGK iegūtiem datiem;
- datu ieguve ar greifera svāriem ražošanas apstākļos (izmantojot divas svēršanas sistēmas), pievedot mežizstrādes atliekas, lai iegūtu datu kopu iespējamo problēmu identificēšanai un risinājumu izstrādāšanai;
- pievestā materiāla krautuvju uzmērīšana, izmantojot pirmajā pētnieciskajā uzdevumā izstrādāto manuālās uzmērīšanas un attālās izpētes metodi;
- biomasas paraugu ievākšana no krautuvēm siltumspējas, mitruma un pelnu satura un faktiski pievestās biomasas noteikšanai;
- šķeldu kravu svēruma datu iegūšana lejasgala krautuvē (LGK) pēc krautuvju sašķeldošanas un šķeldu piegādes patērētājiem.

Kamerālie darbi:

- pētījumā iegūto datu apkopšana, analīze un sakarību novērtēšana;
- svēršanas un krautuvju uzmērīšanas laikā iegūto datu salīdzināšana;
- teorētiski pieejamā koksnes biokurināmā pieejamības novērtējums izmēģinājumu platībās un zudumu iespējamo iemeslu novērtējums, salīdzinot ar faktiski pievesto apjomu;

## Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

- ievākto biomasas paraugu analīzes laboratorijā, nosakot mitruma un pelnu saturu un siltumspēju;
- sākotnējo rekomendāciju sagatavošana svaru sistēmu pielietošanai ražošanā.

Sagaidāmie rezultāti:

- pētījuma 2024. gada rezultātu apkopojums etapa pārskatā, pievesto materiālu vērtējot fiziskās mērvienībās (berkubikmetri), sausas tonnās un enerģijas mērvienībās.
- veikto apmācību plāns un dalībnieki.

Nepieciešamais atbalsts no LVM puses:

- svēršanas sistēmu nodrošināšana ražošanas apstākļos (John Deere) empīrisku datu iegūšanai;
- atbalsts svēršanas sistēmas uzstādīšanai (Komatsu vai ekvivalentu svēršanas sistēmu nodrošina LVMI Silava);
- operatoru apmācību nodrošināšana, piesaistot tehnikas izplatītāju instruktorus;
- plānoto cirsmu saraksta sagatavošana, kontaktpersonas nozīmēšana saziņai par mežizstrādes atlieku pievešanas progresu, lai nodrošinātu iespēju ievākt paraugus no krautuvēm ne vēlāk kā 5 dienu laikā pēc cirsmas pievešanas uzsākšanas;
- koksnes biokurināmā apjomu novērtēšanai nepieciešamo harvesteru uzskaites datņu (\*.hpr) no pētījuma ietvaros pievestajām cirmām iesniegšana izpildītājam.

### 3.3. Forvardera atstāto risu mērīšanas iekārtas izstrāde

Darbu nolūks: automatizētās risu mērīšanas sistēmas RM2 izmēģinājumi ražošanas apstākļos.

Lauka darbi (empīrisku datu ieguve):

- pētījumā iesaistīto forvarderu operatoru apmācības;
- divu RM2 prototipu sistēmu uzstādīšana kopšanas cirtēs strādājošiem forvarderiem (ražošanas apstākļos visu gadu);
- risu dziļuma kontrolmērījumu veikšana, izmantojot tradicionālo metodi (kontrolmērījumi jāveic ne mazāk kā 30 ha kopšanas cirtes cirmās, kur veikta automatizēta risu mērīšana).

Kamerālie darbi:

- RM2 prototipa pilnveidošana, nodrošinot datu rezerves kopēšanu un pārraidi uz attālinātu serveri;
- ar RM2 prototipiem un kontrolmērījumos iegūto brauktuves raksturojošo rādītāju, tajā skaitā tehnoloģisko brauktuvju platības un dziļu risu izplatības analīze;
- programmas prototipa izveide risu mērījumu un brauktuves raksturojošo datu analīzei.

Sagaidāmie rezultāti:

- veikto apmācību plāns un dalībnieki;
- pilnveidots programmas prototips datu analizēšanai (R vidē funkcionējošu vienādojumu kopa);

## Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

- sistēmas prototipa tehniskās specifikācijas un tehniskās prasības iekārtu pielietošanai;
- pētījuma 2024. gada rezultātu apkopojums etapa pārskatā.

### Nepieciešamais LVM atbalsts:

- divu forvarderu nodrošināšana empīrisku datu ieguvei ražošanas apstākļos kopšanas cirtēs (visu gadu);
- piekļuves nodrošināšana izmēģinājumos iesaistītajiem forvarderiem pilnveidoto RM2 iekārtu montāžai un demontāžai;
- LVM kontaktpersonas(u) nozīmēšana saziņai un izstrādātās programmas prototipa testēšanai ražošanas apstākļos;
- tehniska atbalsta nodrošināšana iekārtu kalibrēšanai pēc uzstādīšanas (atsevišķi pārbraucieni cirmsmā kontrolētos apstākļos, kur veikti zemes virsmas uzmērījumi ar augstas precizitātes GPS vai ekvivalentu precizitāti nodrošinošu iekārtu);
- forvardera uzskaites datņu (\*.fpr vai ekvivalenta formāta datņu) nodrošināšana no izmēģinājumos iekļautajām cirmsmām vai manuāli fiksēti odometra rādījumi augšgala krautuvē katrai pievestai kravai.

## LITERATŪRA

1. Acuna M., Anttila P., Sikanen L., Prinz R., Asikainen A. (2012). Predicting and Controlling moisture content to optimise forest biomass logistics. *Croatian Journal of Forest Engineering*, Vol 33 No.2, 2012. <https://hrcak.srce.hr/116842>.
2. LVMI Silava. (2021). *Etapa ziņojums par pētījumu programmas Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai darba uzdevumu izpildi 2021. gadā*.
3. LVMI Silava. (2022). *Etapa ziņojums par pētījumu programmas Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai darba uzdevumu izpildi 2022. gadā*.
4. LVMI Silava. (2023). *Starpziņojums par pētījumu programmas Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai darba uzdevumu izpildi 2023. Gadā*.
5. Ministru kabineta 2016. gada 20. decembra noteikumu Nr. 812 "Oficiālās statistikas veidlapu paraugu apstiprināšanas un veidlapu aizpildīšanas un iesniegšanas noteikumi". Veidlapas Nr.2-EK "Pārskats par enerģētisko resursu iegādi un izlietošanu 20\_\_ . gadā".
6. R Core Team. (2022). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>

# **1. Pielikums: Risu dziļuma aprēķina kods “Forvaders\_rises\_2023.R”**



## Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

```
library(sf)
library(rgdal)
library(readxl)
library(ggplot2)
library(plyr)
library(dplyr)
library(purrr)
library(gstat)
library(data.table)
library(tidyr)
library(maptools)
library(raster)
library(sp)
library(shiny)
library(DBI)
library(RPostgres)
library(leaflet)
library(tidyverse)
library(writexl)
library(png)
library(akima)

forvardera_rises <- function(workdir, resultsdir) {

  con <- dbConnect(RPostgres::Postgres(),
    dbname = "gpsbase",
    host = "164.90.166.31",
    port = 5432,
    user = "gpsuser",
    password = "GipsyKing23",
    sslmode = "require")

  landfill <- st_read(paste0(workdir,resultsdir))
  bbox<-st_bbox(landfill)

  plot(st_geometry(landfill))

  sql_query <- paste0("SELECT
  t.*, st_x(t.geom),st_y(t.geom)
FROM public.gnss_data t
WHERE t.geom && ST_SetSRID(ST_MakeBox2D(
  ST_SetSRID(ST_Point(",bbox$xmin,",",bbox$ymin,"), 3059),
  ST_SetSRID(ST_Point(",bbox$xmax,",",bbox$ymax,"), 3059)
),3059)");

  data <- dbGetQuery(con, sql_query)
  data <- data %>% filter(fix == 2)

  class(data)

  data_sf <- st_as_sf(data, coords = c("st_x", "st_y"), crs = 3059)
  points_inside_landfill <- st_filter(data_sf,landfill)
  data_sf <- points_inside_landfill

  png(file=paste0(workdir,resultsdir,"/plot2.png"))
```

## Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

```
ggplot() +
  geom_sf(data = landfill, fill = "lightblue", alpha = 0.5) + # Poligons
  geom_sf(data = data_sf, color = "green", size = 2) + # Iekrāto punkti
  theme_minimal()
dev.off()

png(file=paste0(workdir,resultdir,"/plot3.png"))
plot(st_geometry(data_sf))
dev.off()

data_sf
new_coords = st_crs(3059)
data_3059 <- st_transform(data_sf, new_coords)
data_3059

LKS <- data_3059 %>%
  mutate(lon = unlist(map(data_3059$geometry,1)),
         lat = unlist(map(data_3059$geometry,2)))
LKS
class(LKS)

area_fishnet_grid = st_make_grid(LKS, c(2, 2), what = "polygons", square =
TRUE)

fishnet_grid_sf = st_sf(area_fishnet_grid) %>%
  mutate(grid_id = 1:length(lengths(area_fishnet_grid)))
class(fishnet_grid_sf)

Test_points_grid_id <- st_join(LKS, left = FALSE, fishnet_grid_sf["grid_id"])
# join points
Points_no_geometry <- Test_points_grid_id
class(Points_no_geometry)
st_geometry(Points_no_geometry) <- NULL
class(Points_no_geometry)

Filter_Vacc <- filter(Points_no_geometry, vacc<0.05)
Filter_fix <- filter(Filter_Vacc, fix==2)
class(Filter_fix)

Filter_top_points <- Filter_fix %>%
  group_by(grid_id) %>%
  slice(which.max(alt))
class(Filter_top_points)

test_temp <- Filter_top_points
test_temp$x <- test_temp$lon
test_temp$y <- test_temp$lat
test_temp <- na.omit(test_temp)
coordinates(test_temp) = ~x + y

interp_points <- with(test_temp, interp(test_temp$long, test_temp$lat,
test_temp$AMSL, extrap = TRUE, nx = 1000, ny = 1000))
plot(interp_points)
```

## Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

```
raster_data <- raster(interp_points)
class(raster_data)

plot(raster_data, main = "Altitude Interpolation")

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

LKS_dist_filter <- filter(LKS_apvienots,dist > 0.05)

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

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

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

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

LKS_apvienots_2$group<-cumsum(LKS_apvienots_2$turn==1)

LKS_apvienots_2$ID <- LKS_apvienots_2$group
LKS_apvienots_2$X <- LKS_apvienots_2$lon.x
LKS_apvienots_2$Y <- LKS_apvienots_2$lat.x
LKS_apvienots_2$uid <- LKS_apvienots_2$ID_2.y

setDT(LKS_apvienots_2)
class(LKS_apvienots_2)

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

LKS_apvienots_2$noise <- abs(LKS_apvienots_2$L-LKS_apvienots_2$R)
```

## Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

```
LKS_noise_filter <- filter(LKS_apvienots_2, noise < 20)
LKS_noise_filter
class(LKS_noise_filter)

New_data <- dplyr::select(LKS_apvienots_2, c('ID_2','lon.x','lat.x', 'alt',
'nn_dist'))
class(New_data)

coords <- cbind(New_data$lon.x, New_data$lat.x) # x1: lon; x2: lat
spdf <- SpatialPointsDataFrame(coords, New_data)
class(spdf)
head(spdf)

values <- raster::extract(raster_data$layer, spdf)
spdf$elev <- values
head(spdf)
class(spdf)

spdf$rut_depth <- (spdf$elev - spdf$alt)
DF <- as.data.frame(spdf)
LKS_rut_depth_filter <- filter(DF, rut_depth > 0.2) ### Insert rut depth here

png(file=paste0(workdir, resultdir, "/plot4.png"))
ggplot() +
  geom_point(data = LKS_rut_depth_filter, aes(x = lon.x, y = lat.x), alpha
= .5)
dev.off()

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

png(file=paste0(workdir, resultdir, "/plot5.png"))
ggplot() +
  geom_point(data = LKS_group_filter, aes(x = lon.x, y = lat.x), alpha = .5)
dev.off()

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

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

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

png(file=paste0(workdir, resultdir, "/plot6.png"))
ggplot() +
  geom_point(data = LKS_apvienots_3, aes(x = lon.x.x, y = lat.x.x), alpha
= .5)
dev.off()
```

## Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

```
points_to_line <- function(data, lon, lat, id_field = NULL, sort_field =
NULL) {

  coordinates(data) <- c(lon, lat)

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

  if (is.null(id_field)) {

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

    return(lines)

  } else if (!is.null(id_field)) {

    paths <- sp::split(data, data[[id_field]])

    sp_lines <- SpatialLines(list(Lines(list(Line(paths[[1]])), "line0")))

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

    return(sp_lines)
  }
}

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

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

v_lines

class(v_lines)
plot(v_lines)
```

## Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

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

print(paste("Total distance travelled -", round(Travel_distance, digits = 0),
"m"))

print(paste("Total length of ruts -", round(rut_length), "m"))

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

colnames(IDS)[1] <- "linkid"

ruts_full <- join(IDS, LKS_apvienots_3)

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

class(rut_df)
png("/rises.png")
plot(rut_df)
dev.off()

rut_df

writeOGR(rut_df, dsn=paste(workdir,resultssdir,"/rezultats", sep =
""), layer="610-261-14_3",driver="ESRI Shapefile")
}
Datu vizualizācija
library(shiny)
library(sf)

workdir<-
"E:/SILAVA/DARBS/Projekti_2023/forvarders_rises/forvarderapp/forvarderapp/"
setwd(workdir)
#resultssdir <-
"E:/SILAVA/DARBS/Projekti_2023/forvarders_rises/forvarderapp/forvarderapp/rez/"
#setwd(resultssdir)

if (exists("lvmmmap")) {
  message("LVM map exists!")
} else {

  # pilnais LVM fails
  lvmmmap <- st_read(paste0(workdir,"LVM_NOGABALI/LVM_NOGABALI_Shape.shp"))
}

getCompartment <- function(fullmap, kvapg, kv, nog) {
  if (kvapg==" " || kv==" " || nog==" ") {
    return(FALSE)
  }
}
```

## Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

```
}
lvmmmap_blockdistr <- fullmap[fullmap$BLOCKDISTR %in% c(kvapg), ]
lvmmmap_block <- lvmmmap_blockdistr[lvmmmap_blockdistr$BLOCKNUMBE %in% c(kv), ]
lvmmmap_comp <- lvmmmap_block[lvmmmap_block$COMPARTMEN %in% c(nog), ]
resultsdire<-paste(kvapg,kv,nog,sep = "-")
st_write(lvmmmap_comp, resultsdire, driver = "ESRI Shapefile", append=FALSE)
return (resultsdire)
}

source("forvardera_rises.R")

ui <- fluidPage(
  textInput("numblockdistr", "Kvartāla apgabals (piem: 610)", value = "610"),
  textInput("numblock", "Kvartāla numurs (piem: 33)", value = "33"),
  textInput("numcomp", "Nogabala numurs (piem: 8 vai 14,21,3)", value = ""),
  submitButton("Aprēķins"),
  textOutput("text"),
  plotOutput("plot"),
  imageOutput("image"),
  htmlOutput("text1")
)

server <-function(input, output) {
  output$text <- renderText({
    resultsdire <- getCompartment(lvmmmap, input$numblockdistr, input$numblock,
input$numcomp)
    if (resultsdire!=FALSE) {
      rises<-forvardera_rises(workdir, resultsdire)
      paste0("Rezultatu direktoriija: ", workdir, resultsdire)
    } else {
      paste0("Nav ievaditi ieejas parametri")
    }
  })
  output$text1 <- renderUI({
    resultsdire <- getCompartment(lvmmmap, input$numblockdistr, input$numblock,
input$numcomp)
    if (resultsdire != FALSE) {
      rises_info <- file.path(workdir, resultsdire, "output.txt")
      if (file.exists(rises_info)) {
        # Read the content of the file
        rises_content <- readLines(rises_info)
        # Wrap the content in HTML tags to preserve line breaks
        return(HTML(paste(rises_content, collapse = "<br>")))
      } else {
        return("Kļūda: 'output.txt' nav atrasts.")
      }
    }
  })
  output$image <- renderImage({
    resultsdire <- getCompartment(lvmmmap, input$numblockdistr, input$numblock,
input$numcomp)
    if (!isFALSE(resultsdire)) {
      rises_path <- file.path(workdir, resultsdire, "rises_plot.png")
      if (file.exists(rises_path)) {
        list(src = rises_path,
              contentType = "image/png",
              width = "100%")
      }
    }
  }), deleteFile = FALSE)
```

## Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai

```
  outputOptions(output, 'image', suspendWhenHidden = FALSE)
}
shinyApp(ui, server)
```