

PĀRSKATS

PAR PĒTĪJUMA

ATJAUNOJAMO ENERGORESURSU PRODUKTU RAŽOŠANAS,
PĀRSTRĀDES UN LOĢISTIKAS RŪPnieciskais PĒTĪJUMS

DARBU IZPILDI

Pārskata nosaukums **KĀPURĶĒŽU AR PALIELINĀTU VIRSMAS
LAUKUMU IZMĒĢINĀJUMI
KOKMATERIĀLU PIEVEŠANĀ NO KRĀJAS
KOPŠANAS CIRTĒM UZ AUGSNĒM AR
MAZU NESTSPĒJU**

Līguma Nr. **3. 5.5-5.1-000p-101-12-8**

Pārskata Nr. **2015/11**

Pārskata versija **1.0**

Izpildes laiks **30.06.2015 - 30.07.2015**

Izpildītājs **Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava"**

Projekta vadītājs

A. Lazdiņš

KOPSAVILKUMS

Pētījuma mērķis ir noskaidrot kāpurķēžu ar palielinātu virsmas laukumu pielietošanas ietekmi uz kokmateriālu darba ražīgu, paliekošo koku un augsnes bojājumiem, degvielas patēriņu un kokmateriālu sagatavošanas un piegādes izmaksām krājas kopšanas cirtēs. Kāpurķēdes ar palielinātu virsmas laukumu izmēģinājumos izmantotas uz aizmugurējiem tandēmiem, bet uz priekšējiem tandēmiem uzstādītas standarta ECO-Baltic ķēdes. Salīdzināmu datu iegūšanai pētījumā vērtēti arī darba ražīguma un pārējie parametri, pielietojot ražošanā jau aprobētu pievedējtraktoru aprīkojumu – ECO-Baltic ķēdes uz priekšējiem un aizmugurējiem tandēmiem un ECO-Baltic ķēdes tikai uz aizmugurējiem tandēmiem, uz priekšējiem neliekot nekādas ķēdes. Pētījums veikts 3 mežaudžu grupās, kurās sākotnējā apskatē konstatēti sarežģīti pievešanas apstākļi. Pievešanas darba laika uzskaitē veikta pēc ilgstoša sausuma perioda, tāpēc pievešanas apstākļi bija apmierinoši un rīses neveidojās pat tajos koridoros, kur izmantoja pievedējtraktoru ar kāpurķēdēm tikai uz aizmugurējiem tandēmiem. Ņemot vērā “neapmierinošos” pievešanas apstākļus, izmēģinājumi jāturpina ekstrēmos pievešanas apstākļos galvenajā cirtē, lai iegūtu datus matemātiskas sakarības starp risu veidošanos un pielietoto darba metodi izveidošanai.

Pētījumā secināts, ka ar dažādām kāpurķēdēm aprīkotu pievedējtraktoru pielietošana nerada atšķirīgu ietekmi uz paliekošo koku bojājumiem. Noteicošais faktors, kas ietekmē bojājumu veidošanos, ir augsnes nestspēja, nevis darba metodes izvēle. Pētījumā konstatēts, ka vismazākās kravas ir tehnoloģiskajos koridoros, kur pievešanā izmantotas ķēdes ar palielinātu virsmas laukumu, kas norāda uz redzamāko iespēju palielināt darba ražīgumu un samazināt tehnikas ietekmi uz vidi – pievedējtraktoru operatoriem jācenšas veidot pēc iespējas lielākas kravas.

Degvielas patēriņa analīze parāda, ka ECO-Baltic ķēžu un ķēžu ar palielinātu virsmas laukumu izmantošana nepalielina degvielas patēriņu. Degvielas patēriņa pieaugums, izmantojot platās ķēdes, saistīts ar neefektīvu pievedējtraktora kravas telpas izmantošanu. Degvielas patēriņš, iebraucot un izbraucot no audzes ir 2 reizes lielāks, nekā vidēji pievešanas laikā.

Vislabākie darba ražīguma rādītāji konstatēti pievedējtraktoram, kas aprīkots ar ECO-Baltic ķēdēm uz visiem tandēmiem. Tas saistīts ar efektīvāku darba izmantošanu kravu veidošanas un izkraušanas laikā. Variantos, kad traktoru priekšējie un aizmugurējie tandēmi bija aprīkoti ar kāpurķēdēm, braukšanas laiks ir būtiski lielāks, nekā “klasiskajā” variantā ar ķēdēm tikai uz aizmugurējiem tandēmiem. Arī pievešanas pašizmaksas analīze rāda, ka ekonomiski izdevīgākā darba metode ir pievedējtraktora, kura visi tandēmi aprīkoti ar ECO-Baltic ķēdēm, izmantošana kokmateriālu pievešanā. Pievešanas izmaksas var būtiski samazināt, efektīvāk izmantojot pievedējtraktora kravas telpu, t.i. kraujot lielākas kravas.

Augsnes sablīvējuma analīze parāda, ka ķēdes tikai uz aizmugurējiem tandēmiem saistītas ar būtiski lielāku negatīvo ietekmi uz augsni 0-50 cm dziļumā, tomēr, neatkarīgi no darba metodes, augsne sablīvējas līdz pat 80 cm dziļumam, būtiski pasliktinot augšanas apstākļus un ūdens caurlaidību vietās, kur braucis traktors. Augsnes sablīvēšanās intensitāte nekorelē ar risu garumu vai dziļumu.

Pētījums veikts Latvijas Valsts mežzinātnes institūtā “Silava”. Empīrisko datu iegūvi nodrošināja LVMI Silava darbinieki Gints Spalva un Rihards Ķepītis, pētījuma atskaiti sagatavoja Agris Zimelis un Andis Lazdiņš.

Saturs

Kopsavilkums.....	2
Ievads.....	6
Izmēģinājumu objekti un Darba metodika.....	14
Pētījumu objekti.....	14
Pētījumā izmantotās tehnikas raksturojums.....	15
Degvielas uzskaite.....	17
Darba metodes.....	18
Darba laika uzskaite.....	19
Laika apstākļi izmēģinājumu laikā.....	21
Biomases un krājas aprēķini.....	23
Pieņēmumi izmaksu aprēķiniem.....	23
Darba rezultāti.....	25
Mežaudžu raksturojums.....	25
Pirms kopšanas cirtes.....	25
Pēc kopšanas cirtes.....	27
Bojājumi.....	32
Pievestās kravas.....	35
Degvielas patēriņš.....	39
Pievešanas darba ražīgums.....	41
Augsnes nestspējas raksturojums.....	43
Penetrācijas pretestība.....	43
Vērpes pretestība.....	49
Pašizmaksu ietekmējošo faktoru analīze.....	53
Jutīguma analīze.....	57
Izmaksu un ieņēmumu analīze.....	59
Secinājumi.....	62
Ieteicamie turpmāko pētījumu virzieni.....	64
Literatūra.....	65

Attēli

Att. 1: Somu izmēģinājumu varianti2.....	11
Att. 2: Pārbraucienu skaits, neizveidojot rises, atkarībā no pievedējtraktora aprikojuma.....	12
Att. 3: Programmas ekrānskatījumi: A) iekārtu izvēles logs, B) iekārtu parametru ievades logs.....	13
Att. 4: Vidusdaugavas mežsaimniecības 503. kvartālu apgabala audzes3.....	14
Att. 5: Vidusdaugavas mežsaimniecības 511. kvartālu apgabala audze4.....	15
Att. 6: Raksturīga aina pēc kopšanas cirtes (178. kvartāla 11. nogabals).....	15
Att. 7: Pievedējtraktors John Deere 810D5.....	16
Att. 8: ECO-Baltic ķēdes ar palielinātu virsmas laukumu uz pievedējtraktora 6.....	16
Att. 9: Pievedējtraktors ar standarta platuma ECO-Baltic ķēdēm uz priekšējiem un aizmugurējiem tandēmiem (1. darba metode)7.....	17
Att. 10: Degvielas uzskaites sistēmas raksturojums8.....	18
Att. 11: Hronometrāžā izmantotais laukdators Allegro CX.....	19
Att. 12: Intermercato XW50 svāri.....	20
Att. 13: Nokrišņi izmēģinājumu laikā.....	22
Att. 14: Gaisa temperatūra izmēģinājumu laikā.....	23
Att. 15: Koku skaita sadalījums caurmēra pakāpēs 503. kv. apgabala 262. kv.....	26
Att. 16: Koku skaita sadalījums caurmēra pakāpēs 511. kv. apgabala 178. un 182. kv.....	27
Att. 17: Koku skaita sadalījums caurmēra pakāpēs 503. kv. apgabala 262. kv.....	29

Att. 18: Koku skaita sadalījums caurmēra pakāpēs 511. kv. apgabala 178. un 182. kv.....	30
Att. 19: Koku skaita sadalījums 503. kv. apgabala 282. kv. audzēs atkarībā no attāluma līdz koridora centram.....	32
Att. 20: Koku skaita sadalījums 511. kv. apgabala 178. un 182. kv. audzēs atkarībā no attāluma līdz koridora centram.....	32
Att. 21: Vienas kravas veidošanai nobrauktais maršruts.....	34
Att. 22: Sagatavoto kokmateriālu struktūra.....	37
Att. 23: Kravas lielums dažādās darba metodēs, salīdzinot ar vidējo attiecīgā kokmateriālu veida kravu.....	39
Att. 24: Pievesto kokmateriālu struktūra darba metožu griezumā.....	43
Att. 25: Penetrācijas pretestība augsnes virskārtā 178. kv. 11. nogabalā.....	44
Att. 26: Penetrācijas pretestība augsnes virskārtā 182. kv. 8. un 14. nogabalā.....	44
Att. 27: Penetrācijas pretestība augsnes virskārtā 262. kv. 27., 28., 29., 30., 32., 33. un 34. nogabalā.....	44
Att. 28: Penetrācijas pretestība tehnoloģiskajos koridoros atkarībā no darba metodes.....	45
Att. 29: Penetrācijas pretestība tehnoloģiskajos koridoros dažādos augsnes slāņos atkarībā no darba metodes.....	46
Att. 30: Penetrācijas pretestība tehnoloģiskajos koridoros un pārējā audzes daļā, izmantojot ķēdes ar palielinātu virsmas laukumu smagos pievešanas apstākļos (262. kv. audzes).....	47
Att. 31: Penetrācijas pretestība tehnoloģiskajos koridoros un pārējā audzes daļā, pielietojot dažādas darba metodes 182. kv. mežaudzēs.....	48
Att. 32: Penetrācijas pretestības pieaugums tehnoloģiskajos koridoros, pielietojot dažādas darba metodes 182. kv. mežaudzēs.....	49
Att. 33: Penetrācijas pretestības procentuālais pieaugums tehnoloģiskajos koridoros, pielietojot dažādas darba metodes 182. kv. mežaudzēs.....	49
Att. 34: Sakarība starp vērpes pretestību un risu dziļumu.....	50
Att. 35: Sakarība starp vērpes pretestību un risu dziļumu 262. kvartāla audzēs.....	51
Att. 36: Sakarība risu dziļuma un augsnes virskārtas vērpes pretestības raksturošanai sliktos pievešanas apstākļos (mežaudzes 262. kvartālā).....	51
Att. 37: Sakarība risu dziļuma un augsnes virskārtas penetrācijas pretestības raksturošanai.....	52
Att. 38: Sakarība vērpes pretestības un augsnes virskārtas penetrācijas pretestības raksturošanai.....	52
Att. 39: Jutīguma analīze, izmantojot 1. darba metodi.....	57
Att. 40: Jutīguma analīze, izmantojot 2. darba metodi.....	58
Att. 41: Jutīguma analīze, izmantojot 3. darba metodi.....	59
Att. 42: Izmaksu un ieņēmumu salīdzinājums, izmantojot 1. darba metodi.....	60
Att. 43: Izmaksu un ieņēmumu salīdzinājums, izmantojot 2. darba metodi.....	61
Att. 44: Izmaksu un ieņēmumu salīdzinājums, izmantojot 3. darba metodi.....	61

Tabulas

Tab. 1: Somijā izstrādātā pievešanas apstākļu klasifikācijas sistēma1.....	11
Tab. 2: Degvielas uzskaites sistēmas raksturojums.....	17
Tab. 3: Pievešanas darba metodes.....	19
Tab. 4: Pievešanas darba laika uzskaites elementi.....	20
Tab. 5: Laika apstākļi izmēģinājumu laikā.....	21
Tab. 6: Mežaudžu raksturojums 503. kv. apgabala 262. kv.....	25
Tab. 7: Mežaudžu raksturojuma 503. kv. apgabala 262. kv. kopsavilkums.....	25
Tab. 8: Mežaudžu raksturojuma 511. kv. apgabala 178. un 182. kv. kopsavilkums.....	26
Tab. 9: Pameža un kūdras slāņa raksturojuma 511. kv. apgabala 178. un 182. kv. mežaudzēs.....	27
Tab. 10: Mežaudžu taksācijas rādītāji 503. kv. apgabala 262. kv. tehnoloģisko koridoru griezumā.....	27
Tab. 11: Mežaudžu taksācijas rādītāju kopsavilkums 503. kv. apgabala 262. kv. audzēs.....	29
Tab. 12: Mežaudžu taksācijas rādītāji 511. kv. apgabala 178. un 182. kv. tehnoloģisko koridoru griezumā.....	30
Tab. 13: Mežaudžu taksācijas rādītāju kopsavilkums 511. kv. apgabala 178. un 182. kv. audzēs.....	31
Tab. 14: Bojājumu un ietekmes uz augsni raksturojums 511. kv. apgabala 182. kv. audzēs.....	34
Tab. 15: Pievesto kravu skaits.....	35
Tab. 16: Pievesto kravu raksturojums.....	35
Tab. 17: Vidējās kravas raksturojums atkarībā no pievesto kokmateriālu veida.....	38
Tab. 18: Vidējās kravas raksturojums atkarībā no pievesto kokmateriālu veida un darba metodes.....	38
Tab. 19: Kopējais pievesto kokmateriālu apjoms.....	39
Tab. 20: Degvielas patēriņš L stundā sadalījumā pa darba metodēm un kokmateriālu veidiem.....	40

Tab. 21: Degvielas patēriņš $L\ m^{-3}$ sadalījumā pa darba metodēm un kokmateriālu veidiem.....	40
Tab. 22: Degvielas patēriņš L stundā sadalījumā pa darba metodēm un kokmateriālu veidiem tīrkravās.....	40
Tab. 23: Degvielas patēriņš $L\ m^{-3}$ sadalījumā pa darba metodēm un kokmateriālu veidiem tīrkravās.....	40
Tab. 24: Degvielas patēriņš L stundā pārbraucienos.....	41
Tab. 25: Pievedējtraktora nobrauktais attālums, $km\ m^{-3}$	41
Tab. 26: Pievedējtraktora nobrauktais attālums, metri $m^{-3}\ 100\ m^{-1}$	41
Tab. 27: Darba ražīguma rādītāju kopsavilkums darba metožu griezumā (min. krava).....	42
Tab. 28: Darba ražīguma rādītāju kopsavilkums kokmateriālu veidu griezumā (min. krava).....	42
Tab. 29: Darba ražīguma rādītāju kopsavilkums darba metožu griezumā (min. m^3).....	43
Tab. 30: Kokmateriālu pašizmaksas analīze, pielietojot 1. darba metodi.....	53
Tab. 31: Kokmateriālu pašizmaksas analīze krājas kopšanas cirtē, pielietojot 2. darba metodi.....	53
Tab. 32: Kokmateriālu pašizmaksas analīze krājas kopšanas cirtē, pielietojot 3. darba metodi.....	54
Tab. 33: Kokmateriālu pašizmaksas analīzes kopsavilkums ($EUR\ m^{-3}$).....	54
Tab. 34: Kokmateriālu pašizmaksas analīzes kopsavilkums, pārrēķināts uz platības vienību ($EUR\ ha^{-1}$).....	54
Tab. 35: Pieņēmumi izmaksu un ieņēmumu analīzei, pielietojot 1. darba metodi.....	55
Tab. 36: Pieņēmumi izmaksu un ieņēmumu analīzei, pielietojot 2. darba metodi.....	55
Tab. 37: Pieņēmumi izmaksu un ieņēmumu analīzei, pielietojot 3. darba metodi.....	56
Tab. 38: Pieņēmumi kokmateriālu cenai un procentuālajam īpatsvaram.....	60

IEVADS

Pētījumi par smagās meža tehnikas izmantošanu sagatavoto kokmateriālu treilēšanai platībās ar zemu caurejamību Latvijā ir uzsākti 20. gadsimta 80. gados, Latvijas Valsts mežzinātnes institūtam "Silva" sadarbojoties ar citiem Padomju Savienības mežzinātnes centriem. Pagājušā gadsimta 80. gados noskaidrots, ka kūdreņos kūdras noturības rādītājs tikai par 50 % ir atkarīgs no viegli nosakāmiem faktoriem (veģetācijas sastāva, kūdras sadalīšanās pakāpes un gruntsūdens dziļuma). Par nozīmīgāko faktoru kūdras augšņu noturības noteikšanai uzskata gruntsūdens līmeni. Savukārt, risu dziļumu var izteikt kā funkciju no kūdras noturības līmeņa un pārbraucienu skaita. Tas, savukārt, ļauj izstrādāt smagās tehnikas izmantošanas ieteikumus kūdras augsnēs kopšanas ciršu laikā, pieļaujot, ka ir lietderīgi novērtēt gan riteņtraktoru, gan kāpurķēžu traktoru izmantošanas iespējas sagatavoto materiālu treilēšanā.

2005. gadā Latvijā atsāka izpēti par smagās meža tehnikas ietekmi uz augsnes fizikālo īpašību izmaiņām. Pētījumā, ko iniciēja AS "Latvijas valsts meži" un SIA "Silva", analizēta arī augsnes sagatavošanas laikā radītā noslodze. Pētījuma gaitā noskaidrots, ka 20 gadu laikā pēc platības sagatavošanas un iepriekšējās audzes izstrādes radītais augsnes noslogojums izzūd. Savukārt, kopšanas cirtes 20-50 gadu vecumā, sagatavojot 100-150 m³ koksnes vai 100 tonnas ha⁻¹, rada noslodzi 12 tonnas km⁻¹ harvestera darbības rezultātā un 26 tonnas km⁻¹ pievedējtraktora darbības rezultātā, kas kopumā dod 38 tonnas km ha⁻¹ un 3 km ha⁻¹ piebrauktas augsnes virskārtas. Krājas kopšanas ciršu starplaiks ir vidēji 20 gadi, un saskaņā ar tajā laikā valdošajiem priekšstatiem, tāda veida slodzes nesummējas, jo blīvējuma ietekme pa šo laiku augsnē būs izzudusi atkārtotas zemes sasālšanas un atkuššanas rezultātā. Savukārt, tālāk plānojamā kailcirtē mežaudžu vidējā krāja uz ha ir paredzama vidēji 350 m³ vai 250 tonnas koksnes masas. Tās pievešanai ar 19 tonnu celbspējas pievedējtraktoru nepieciešamas 25 kravas. Izstrādes laikā rada harvesters rada 45 tonnas km ha⁻¹ noslodzi, bet pievedējtraktori šādas cirsmas pievešanā noslogo platību ar 71 tonnu km ha⁻¹. Vislielākā slodze uz augsni vērojama pievešanas ceļos. Slodzes samazināšanai jāizmanto zaru klājums, jo meža atjaunošanā augsne vēl nebūs atjaunojusies no šī slogojuma (Liepa *et al.*, 2005).

Saskaņā ar 2005. gadā pabeigtā pētījuma rezultātiem par svarīgu faktoru uzskatāma pievešanas ceļu saglabāšana nākamās audzes attīstības laikā jau no iepriekšējās kailcirtes veikšanas, tādējādi nodrošinot pastāvīgu tehnoloģisko koridoru tīklu, kas no mežsaimnieciskā viedokļa ļauj optimāli izmantot ar mežsaimniecības tehniku neskartās platības (Liepa *et al.*, 2005).

Sekmīgai mežizstrādes darbu veikšanai mežizstrādes atliekas nereti jāieklāj pievešanas ceļos, lai neveidotos dziļas risas. Meža tipos uz pārmitrām augsnēm, kā purvājs, niedrājs, dumbrājs, liekņa, pat ieklājot visas ciršanas atliekas pievešanas ceļos, netiek nodrošināta daudz maz stabila pievedējtraktoru pārvietošanās, un veidojas dziļas risas. Šajos meža tipos slapjākajās vietās ieklāj arī mazāk vērtīgo stumbru koksni, lai pievedējtraktori varētu pārvietoties ar kravu. Šie meža tipi ir visapdraudētākie mežizstrādes laikā un izcirtumu apsekošanas laikā tajos konstatētas būtiskas risu aizņemtās platības kopējā pievešanas ceļu aizņemtajā laukumā. Šajos meža tipos augošo lapkoku (alkšņi, bērzi u.c.) vainagi un galotnes dod 15-20 m³ mežizstrādes atlieku uz 1 ha. Tos ieklājot uz 500 metriem kokmateriālu pievešanas ceļu (vidējais pievešanas ceļu garums 1 ha meža platības), iznāk, ka uz katru tekošo ceļa metru varam ieklāt 0,04 m³ atlieku. Šāds atlieku daudzums nenodrošina daudz maz stabili pievedējtraktoru pārvietošanos pa organisko augsni, ar mazu nestspēju (Liepa *et al.*, 2005).

2008. gadā AS "Latvijas valsts meži" uzdevumā Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava" veica augsnes sablīvējuma mērījumus cismā un uz pievešanas ceļiem, kur notiek kokmateriālu sortimentu pievešana ar pievedējtraktoru. Pētījumā salīdzināja augsnes pretestības izmaiņas visā profila dziļumā (0-80 cm), 0-20 cm biezā augsnes virskārtas slānī un 10-30 cm dziļā augsnes slānī. Izteiktā korelācija starp pārbraucienu (izvesto kravu) skaitu un augsnes sablīvēšanos konstatēta 10-30 cm augsnes slānī. Arī augsnes virskārtā daudzos gadījumos konstatēta izteikta korelācija starp izvesto kravu skaitu un augsnes sablīvēšanos, taču mērījumu rezultāti bija pārāk izkliedēti, lai šos datus izmantotu rezultātu analīzē. Dziļākos augsnes slāņos iegūto datu salīdzināšana nebija iespējama, jo daudzos gadījumos penetroleogera zondi nevarēja iespiest zemē dziļāk par 40 cm (Lazdiņš *et al.*, 2008).

2008. gada pētījumā salīdzināta korelācija starp izvesto kravu skaitu un augsnes pretestības izmaiņām, kā arī vidējās augsnes pretestības izmaiņas pēc sortimentu izvešanas (sākotnējā augsnes pretestība mīnus vidējā augsnes pretestība pēc katra reisa). Pētījumā konstatēts, ka visbūtiskākais augsnes pretestības palielinājums uz ceļa ar zaru segumu visos pievešanas apstākļos ir pievedējtraktoriem ar vismazāko kravnesību. Vidēji vislielākais augsnes sablīvējums konstatēts vidēji smagos pievešanas apstākļos. Salīdzinot visas mašīnas, lielākais summārais augsnes pretestības palielinājums uz ceļa ar zaru segumu konstatēts pievedējtraktoram ar vismazāko kravnesību (Lazdiņš *et al.*, 2008).

Mitrās minerālaugsnēs augsnes sablīvēšanos jāvērtē ilgāku laiku pēc pievešanas (nākošajā pavasarī), pretējā gadījumā rodas maldīgs iespaids, ka augsnes pretestība pēc pievešanas samazinās, kaut gan faktiskais iemesls augsnes pretestības samazinājumam ir augsnes plastiskuma palielināšanās mehāniskas iedarbības rezultātā. Pārmitrās organiskās augsnēs augsnes pretestības palielināšanos nenovēro, jo augsni, kurā lielākā daļa ir ūdens, nevar saspiest, tāpēc tā tiek izspiesta no zem riteņiem pa vieglākās pretestības ceļu. Tajā pat laikā šādās augsnēs veidojas dziļākas risas (Lazdiņš *et al.*, 2008).

Saskaņā ar 2008. gadā veiktā pētījuma rezultātiem augsnes pretestības mērījumi izmantojami pievešanas apstākļu novērtēšanai kailcirtēs un kopšanas cirtēs. Lai gan novērtējums jāveic kompleksi, ņemot vērā gan sablīvējumu, gan mehāniskos bojājumus risu veidā (Lazdiņš *et al.*, 2008).

ASV Minesotas štatā analizēta meža traktoru kustības intensitātes ietekme uz augsnes sablīvēšanos un zemsedzes sugu sastopamību. Pētījuma rezultāta tika noskaidrots, ka augsnes penetrācijas pretestība augsnes virsējā 0-15 cm slānī palielinās par 81-272 %, salīdzinājumā ar sākotnējo stāvokli. Pētījumā konstatēts, ka pastāv lineāra sakarība starp skideru kustības intensitāti un augsnes sablīvēšanos. ASV pētnieki ieteikts veidot retāku skideru ceļu tīklu, lai palielinātu skideru neietekmētās platības un saglabātu zemsedzes sugas, kas jutīgas pret augsnes sablīvēšanos un augsnes virskārtas pārvietošanu (Zenner & Berger, 2008). Līdzīgā pētījumā Beļģijā konstatēts, ka augsnes sablīvēšanās atstāj būtisku iespaidu uz zemsedzes augu sugu izplatību, līdz ar to norādot uz nepieciešamību izpētīt iespējamus variantus zemsedzes augu aizsardzībai veicot mežizstrādi (Godefroid & Koedam, 2004).

Ilgtermiņa pētījumā Jaunzēlandē analizēts, kādu ietekmi uz audzes attīstību rada atlieku un organiskā augsnes horizonta novākšana un augsnes sablīvēšana. Pētījuma rezultāti parāda, ka platībās kur koksnes atliekas tika savāktas un organiskais horizonts sablīvēts 21 gadus vecas Monterejas priedes (*Pinus Radiata*) audzes koku tilpums ir mazāks par 8%, nekā kontroles parauglaukumos, savukārt, parauglaukumos kur atliekas un organiskais horizonts bija novākts, audzes kopējās krājas samazinājums 21 gada vecumā bija 42%, bet 26 gadu vecumā 28 %,

salīdzinājumā ar kontroles audzēm. Augsnes sablīvējuma pakāpe nerada būtisku iespaidu uz vidējā koka tilpumu audzēs, kur tika aizvāktas koksnes atliekas, bet audzēs, kur kopā ar koksnes atliekām bija novākts arī organiskais horizonts ietekme bija būtiska (Murphy *et al.*, 2009).

Boreālo mežu zonā Kanādas teritorijā 2002. un 2003. gadā veikts pētījums, kura mērķis bija noskaidrot spēcīgas augsnes sablīvēšanās, visa koka (stumbrs, zari, saknes) izstrādes un augsnes zemsegas pārvietošanas ietekmi uz augsnes mikrobu biomasu C (MBC) un N (NBC) kā arī N mineralizācijas un nitrifikācijas apjomiem zemsegā un virsējos 10 minerālaugsnes centimetros. Pētījumā noskaidrojās, ka augsnes sablīvēšanās palielina minerālaugsnes blīvumu par 24 %, samazina augsnes porainību par 50% un samazina augsnes temperatūru un mitruma saturu veģetācijas sezonā. Likumsakarības, kas raksturo augsnes sablīvēšanos, organiskā materiāla pārvietošanu, augsnes bioloģisko daudzveidību un N apriti netika konstatētas. Augsnes sablīvēšanās rezultātā samazinājās zemsegas un minerālaugsnes kopējais nitrifikācijas līmenis un atsevišķos 2002. gada jūlijā ņemtajos paraugos novērots, ka samazinājies ir arī pieejamā N apjoms un mikroorganismu biomasas (Tan *et al.*, 2005).

Kopšanas un galvenās cirtes gadījumā svarīgi ir novērtēt meža tehnikas ietekmi arī uz palikušās audzes kvalitāti. Vidusjūras mežos Itālijas vidienē un dienvidos 65 audzēs novērtēja un salīdzināja mežizstrādes ietekmi uz augsnes un paliekošās audzes bojājumu līmeni izmantojot tradicionālās mežizstrādes tehnoloģijas un alternatīvās metodes. Pētījumā noskaidrojās, ka, veicot mežizstrādi ar tradicionālajām metodēm, Vidusjūras reģiona mežos 12-14 % no palikušajiem kokiem tiek mehāniski bojāti. Bojāto koku skaits var pieaugt pat līdz 20 %, ja mežizstrādē tiek izmantota lauksaimniecības tehnika uz kāpurķēdēm. Augsnes virskārtas bojājumi sasniedz 58 % no kopējās izstrādātās platības kailcirtēs un 45 % no kopējās platības kopšanas un izlases cirtēs. Papildus šiem rezultātiem konstatēts, ka ietekme uz augsnes sablīvēšanos dziļāk par 5 cm ir 5 reizes lielāka kailcirtēs, nekā kopšanas un izlases cirtēs un, ka pastāv tieša ietekmes uz augsnes virskārtu un galveno treilēšanas ceļu izvietojuma (attāluma) sakarība. Kopšanas un izlases cirtēs koku treilēšana ar kāpurķēžu lauksaimniecības traktoriem salīdzinājumā ar parastajiem gumijas riepu lauksaimniecības traktoriem, vai vinču treilēšanas sistēmām būtiski palielina bojāto koku īpatsvaru un augsnes virskārtas bojājumus. Sakarā ar tehnoloģiju attīstību turpmākajos gados Vidusjūras reģionā varētu samazināties lauksaimniecības traktoru uz kāpurķēžu un riepu bāzes izmantošana mežsaimniecībā, palielinot vinču sistēmu īpatsvaru (Spinelli *et al.*, 2010).

Zviedrijas mežsaimniecībā galveno ciršu izpildei pamatā izmanto pievedējtraktorus un harvesterus. Izmantojot šo tehniku, pastāv risks sablīvēt augsnes virskārtu un veidot risas. Zviedru pētījuma mērķis bija noskaidrot pievedējtraktora riepu spiediena ietekmi uz augsnes sablīvēšanos un risu veidošanos pēc galvenās cirtes. Pievedējtraktora riepu spiediena ietekme pētīta pie 300, 450 un 600 kPa, ik pēc 2 un 5 mašīnas pārbraucieniem. Pirmajā pārbraucienā harvestera masa bija 19,7 Mg, bet 2.-5. pārbraucienā izmantots pilnībā piekrauts pievedējtraktors ar kopējo masu 37,8 Mg. Pētījuma rezultātā noskaidrojās, ka riepu spiediens būtiski neiespaido risu dziļumu, bet pārbraucienu skaitam ir nozīmīga ietekme uz risu dziļuma palielināšanos, jo augsnes blīvums palielinās par 0,075 Mg·m⁻³ pēc pārbrauciena. Augsnes sablīvēšanās pazīmes konstatētas ātrāk pie riepu spiediena 600 kPa nekā pie citiem spiedieniem. Ārpus izpētes zonas 12,5 % no kopējās izstrādes platības bija pārklāta ar risām. Uz primārajiem treilēšanas ceļiem, kur pārvietošanās notiek vairākkārtīgi, riepu spiediena samazināšana nesamazina augsnes sablīvēšanās risku, bet uz sekundārajiem pievešanas

ceļiem, kur parasti ir tikai viens pārbrauciens riepu spiediena samazināšana varētu samazināt augsnes sablīvēšanas līmeni (Eliasson, 2005).

2000. gada augustā Kildeiras apgabalā Īrijā veiktajā pētījumā par mežizstrādes mašīnu ietekmi uz kūdras augsnēm centās noskaidrot ietekmes līmeni, kad sākas būtiska augsnes sablīvēšanās un risu veidošanās. Eksperimenta laikā harvesters un forvarders (ar pilnu kravu) 2 reizes pārvietojās pa iepriekš izvēlētām 3 m platām slejām, veicot attiecīgās mežsaimnieciskās darbības. Rezultāti novērtēti pēc abām pārvietošanās reizēm. Augsnes nestspējas līmenis noteikts, novērtējot augsnes penetrācijas pretestību un bojājumu būtiskuma līmeni pirms un pēc tehnikas pārvietošanās. Dziļās kūdras augsnē risu veidošanās sākumpunkts divām 600/55-30.5 riepām bija 594-640 kPa ar sākotnējo augsnes nestspējas robežās 524-581 kPa (Nugent *et al.*, 2003).

Citā pētījumā Anglijas un Skotijas mežos novērtēta meža tehnikas ietekme uz dziļām kūdras un glejotām minerālaugsnēm, kurās treilēšanas ceļos ieklātas mežizstrādes atliekas. Pētījumā noskaidrots, ka šajās augsnēs pateicoties mežizstrādes atliekām, augsnes sablīvēšanās ir minimāla pat pie ļoti intensīvas satiksmes, un mežizstrādes sezona platībās ar augstu ūdenslīmeni var būt ilgāka, nekā neizmantojot mežizstrādes atliekas treilēšanas ceļos (Wood *et al.*, 2003).

Pētījumā Vācijā Freiburgas apkārtnē esošajos mežos, kas atrodas uz gneisa cilmieža, 1000 m augstumā virs jūras līmeņa analizēts augsnes noslogojums un virsmas transformācija. Pirms eksperimenta uzsākšanas novērtētas arī augsnes penetrācijas pretestības vērtības, kas 20 cm dziļumā bija no 20-50 kPa, bet 40 cm dziļumā 25-60 kPa. Noslogojums un transformācija mērīti 20 un 40 cm dziļumā ar datu ieguves ātrumu 20 mērījumi sekundē, novērojot 9 minūšu garu mežizstrādes un koku treilēšanas ciklu. Maksimālais vertikālais augsnes noslogojums visos eksperimentos pārsniedza 200 kPa ar atsevišķām mežizstrādes mašīnām un harvestera operācijām 20 cm dziļumā sasniedza 500 kPa vai pat vairāk. Bija iespējams arī konstatēt, ka treilēšanas laikā īstermiņa deformācija dubultojās, kas noveda pie lielākas augsnes sablīvēšanās. Pētījumā pierādīts, ka neatkarīgi no mežizstrādes tehnikas tipa un darba procesa augsnes virskārtas sablīvēšanas un risu veidošanās nav izbēgama. Stāvokli varētu uzlabot pastāvīgu sliežu sistēmu izmantošana (Horn *et al.*, 2007).

Īrijā, lai varētu modelēt spiediena ietekmi uz augsni un tās iegrimšanu, 2 veidu meža augsnēs ierīkoti parauglaukumi, lai noteiktu augsnes virsmas un zem tās esošā vājā kūdras substrāta nestspēju un Janga moduļa vērtības. Augsnes virsmas nestspēja bija 368-1634 kPa ($1028-4320 \text{ kN}\cdot\text{m}^3$), bet Janga moduļa vidējā vērtība augsnes virskārtai bija 427 un 718 $\text{kN}\cdot\text{m}^2$. Pētījuma rezultātā izstrādāts nelineārs modelis, kas ar precizitāti līdz 19 % spēj paredzēt augsnes spiediena ietekmi un tās iegrimes dziļumu pie attiecīga noslogojuma. Šāda modeļa pielietošanai mežsaimniecības tehnikas ietekmes uz augsni raksturošanai ir nepieciešams Janga modelis un tehnikas konfigurācijas parametri (Zelege *et al.*, 2007).

Modernās mežsaimniecības mašīnas ar hidrostatisko transmisiju un CAN-bus dzinēja un transmisijas vadības sistēmu var tikt pārveidotas, lai izmērītu spēku, ko tās izmanto pārvietošanās laikā. Pie konstanta ātruma uz līdzenas virsmas šis spēks pārvēršas par kustības pretestību, kas savukārt ir tieši saistīts ar riteņu iegrimes dziļumu un līdz ar to mašīnas mobilitāti platības apstākļos. Harvesters darbojas pirms pievedējtraktora, līdz ar to, pielāgojot harvestera sistēmas datu iegūšanai par platības konfigurāciju un augsnes nestspēju, var sagatavot platības nestspējas karti pievedējtraktora pārvietošanās shēmu izstrādei. Somijas pētnieki ir noskaidrojuši, ka šo procesu var pilnīgi automatizēt un sistēmas ieviešanā radušās

papildus izmaksas ir niecīgas. CAN-bus sistēma ir pārbaudīta ar 8 riteņu Ponsse Fox harvesteru un 8 riteņu Ponsse Wisent pievedējtraktoru. Mašīnas bija aprīkotas ar iekārtām, kas uzmērija transmisijas jaudas patēriņu, pārvietošanās ātrumu, riepu iegrimi un risu dziļumu. Lai palielinātu mašīnu caurejamību grūti izbraucamās vietās uz mašīnas priekšējās un aizmugurējās šasijas tika uzmontētas tērauda sliedes. Riepu iegrimes un risu dziļuma mērījumu veikšanai mašīnas tika aprīkotas ar ultraskaņas ierīcēm. Papildus tam risu dziļuma mērījumi veikti arī manuāli ar 4 m intervālu. Testēšanas laikā mašīnas brauca pa minerālaugsnī un pa kūdras augsni ar atšķirīgu kūdras slāņa biezumu un nestspēju.

Vispirms pa testa trasi pārvietojās harvesters, kas brauca ar konstantu ātrumu un pēc tam veica kokmateriālu sagatavošanu. Beigās harvestera pastāvīgās kustības laikā nomērītais transmisijas jaudas patēriņš pārvērsts par kustības pretestības koeficientu, izmantojot harvestera braukšanas ātrumu un mašīnas kopējo masu. Pēc tam aprēķināts pārvietošanās koeficients (*net traction*), pārveidojot kustības pretestības koeficientu. Starp kustības pretestību un riteņu grimšanu / risu dziļumu konstatētas loģiskas sakarības. Salīdzinot riteņu iegrimi un risu dziļumu noskaidrojās, ka augsne zem harvestera būtiski nemaina kūdras struktūru un spēj atgriezties sākuma stāvoklī, bet pievedējtraktora kustības laikā risēs iespiestais materiāls neatgriezās sākotnējā stāvoklī.

Salīdzinot mobilitātes rādītājus no harvestera pārbrauciena ar pievedējtraktora riteņu iegrimes un risu dziļumu, noskaidrots, ka riteņu iegrime un risu dziļums ir galvenie faktori, kas izmantojami novērtējot CAN-bus kustības kartēšanas sistēmas lietderību. Salīdzinājums apstiprina CAN-bus sistēmas lietderību un potenciālu platības caurejamības kartēšanai. Noteiktais harvestera pārvietošanās koeficients vislabāk apraksta ceļa apstākļus pievedējtraktora pārvietošanās plānošanai. Absolūtās riteņu iegrimes un risu dziļuma vērtības var variēt, jo no ultraskaņas transponderu mērījumiem nepieciešams izslēgt veģetācijas un lietus ietekmi uz mērījumiem (Ala-Ilomäki *et al.*, 2012).

GIS sistēmu izmantošana izstrādājamo platību treilēšanas ceļu optimizācijai ir jauna maz apgūta tehnoloģiju joma. Šīs sistēmas darbības pamatā ir ģeogrāfiskā un ģeoloģiskā informācija par augsni un audzi, kas ļauj plānošanas procesā ar algoritmu palīdzību, izslēgt teritorijas ar zemu caurejamību, tādējādi nodrošinot optimālu treilēšanas ceļu tīklu izveidi (Mohtasahmi *et al.*, 2012; Sonesson *et al.*, 2012).

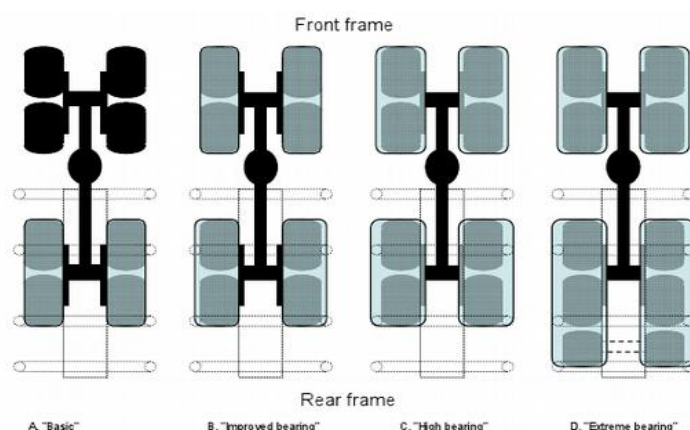
Somijā ir uzsākts darbs pie kūdras augšņu platību nestspējas klasificēšanas. Vienā no šiem pētījumiem ir noskaidrots, ka mežos uz kūdras augsni ar lielāku sakņu masu palielinās Šēra moduļa vērtība, kas savukārt samazina risu dziļumu, ja kokmateriālus sagatavo ar harvesteru un izved ar pievedējtraktoru uz kāpurķēžu bāzes, vai riteņu pievedējtraktoru, kas aprīkots ar kāpurķēdēm. Pētījumā ir noskaidrots, ka augsnes nestspēju vislabāk raksturot, izmantojot Šēra moduli un audzes krāju, bet pievedējtraktoru radīto risu dziļumu raksturo riteņu vai kāpurķēžu bāze un vai treilēšanas ceļos ir ieklātas mežizstrādes atliekas (Tab. 1, Uusitalo, 2012).

Tab. 1: Somijā izstrādātā pievešanas apstākļu klasifikācijas sistēma¹

Kategorija		1	2	3
Zemsegas veģetācija		Nav sīkrūmu, zemsegas veģetācijas un meža paaugas	Vidējs sīkrūmu, zemsegas veģetācija un paaugas koku daudzums	Liels sīkrūmu, zemsegas veģetācija un paaugas koku daudzums
Šēra modeļa vērtība		20-30 kPa	30-40 kPa	50-60 kPa
Harvesters vai pievedējtraktors uz riteņu bāzes ar kāpurķēdēm				
Mežaudzes krāja, m ³ ha ⁻¹	120-150	20	30	40
	150-180	30	40	50
	180-220	40	50	60
Kāpurķēžu traktors				
Mežaudzes krāja, m ³ ha ⁻¹	120-150	40	60	80
	150-180	60	80	100
	180-220	80	100	120

Savukārt, citā Somijā veiktajā pētījumā egļu audzēs uz kūdras augsnēm salīdzināts, kā mainās risu dziļums uz pievešanas ceļiem un ieklāto mežizstrādes atlieku apjoms, ja tajos ieklāj mežizstrādes atliekas pēc tradicionālās metodes, kad daļu koku atzaro tieši uz treilēšanas ceļiem, bet daļu ārpus to robežām, vai aizsargājošas, kad visus kokus atzaro uz treilēšanas ceļa. Pētījumā noskaidrots, ka, izmantojot tradicionālo metodi, pievešanas ceļos ieklāj 75-84 % no kopējā mežizstrādes atlieku apjoma, bet saudzējošās metodes gadījumā – 86-92 %. Saudzējošā metode kopējo samazina mežizstrādes darba ražīgumu par 6 % (Siren *et al.*, 2012).

Somijā noskaidrots, ka gadījumos, kad vasarā izstrādājamo audžu apjoms, kas atrodas uz kūdras augsnēm pārsniedz 30 % ir lietderīgi veikt papildus investīcijas un vismaz vienu pievedējtraktori aprīkot ar kāpurķēdēm, jo tā par 2-4 % samazinās pievedējtraktora vienības vidējās izmaksas. Šis ietaupījums rodas no tā, ka iekārtu var optimāli izmantot visu gadu, ne tikai ziemas mēnešos, kas ir tradicionālais kūdras augšņu izstrādes laiks. Pētījumā tika pārbaudīti četri kāpurķēžu aprīkojuma modeļi (Att. 1).

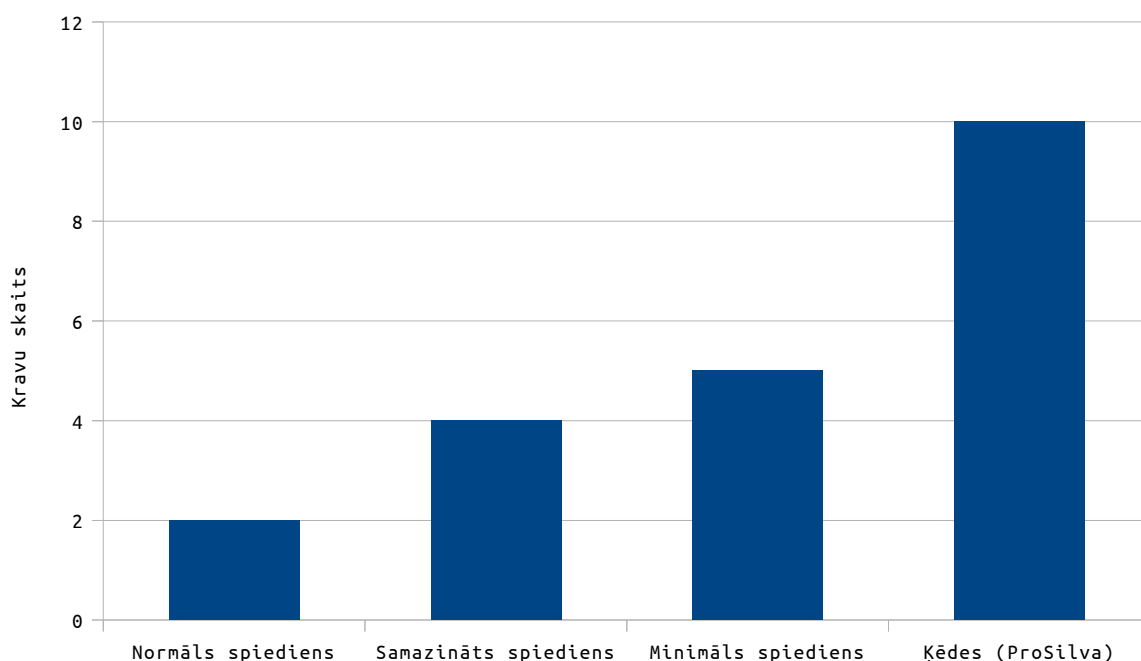
Att. 1: Somu izmēģinājumu varianti².

¹ Raksturo maksimālo koksnes apjomu, kas pievedams, neveidojoties risēm.

² A) standarta platuma kāpurķēdes uz aizmugurējās ass riteņiem, B) uzlabotā sistēma – standarta platuma kāpurķēdes uz priekšējās ass riteņiem, platākas ķēdes uz aizmugurējām, C) īpaši uzlabotā sistēma - platās kāpurķēdes uz priekšējās ass riteņiem, ekstra platās uz aizmugurējām, D) augstas caurgājāmības sistēma – kāpurķēžu aprīkojums līdzīgi kā C variantā plus viena aizmugurējā ass.

Pētījumā noskaidrots, ka vidējais pievedējtraktora darba ražīgums uz kūdras augsnēm ziemas mēnešos ir $12 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, bet vasaras mēnešos: uzlabotajai sistēmai $10,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, īpaši uzlabotajai - $10,7 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ un augstas caurgājamības sistēmai – $10,9 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (Lamminen *et al.*, 2010).

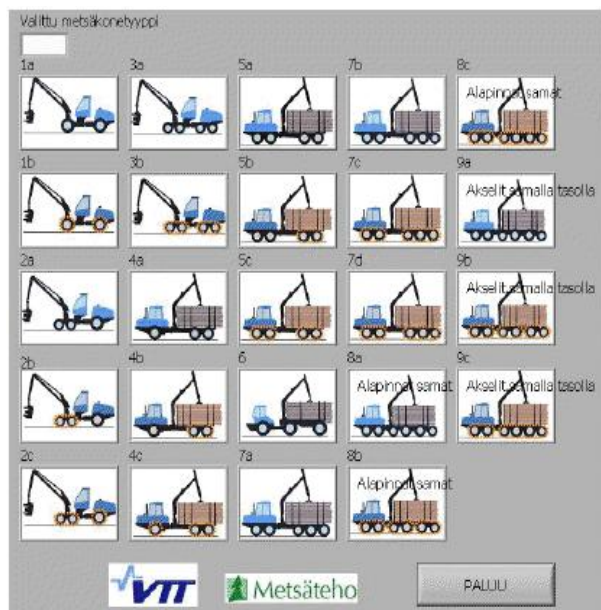
Vienu no risinājumiem risu dziļuma samazināšanai ir pievedējtraktora riepu spiediena samazināšanu no rekomendētajiem 240-550 kPa līdz 100-120 kPa, kā rezultātā var palielināt pārbraucienu skaitu kūdras augsnēs par 2-3 reizēm (Att. 2). Šajā pētījumā pārbaudīti arī dažādu kāpurķēžu tipu izmantošanas iespējas. Pētījumā secināts, ka 916-980 mm platu ķēžu izmantošana kūdras augsnēs ir obligātais minimums treilēšanas operāciju izpildei, neskaitot mežizstrādes atlieku ieklāšanu, savukārt, papildus asu uzstādīšana un aprīkošana ar platām ķēdēm neuzrādīja būtiskas priekšrocības.



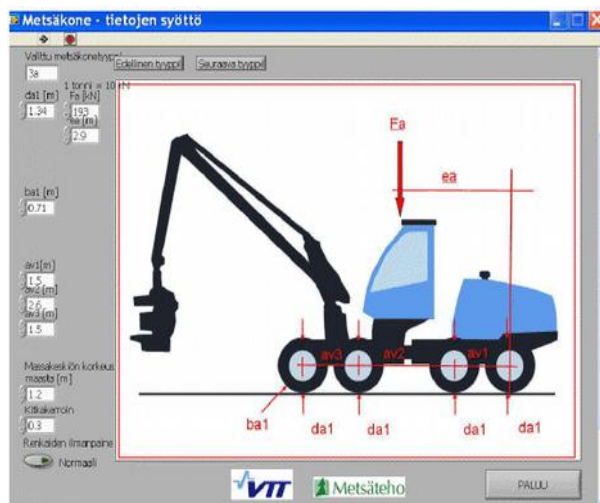
Att. 2: Pārbraucienu skaits, neizveidojot rīsus, atkarībā no pievedējtraktora aprīkojuma.

Veiksmīga alternatīva ir pievedējtraktoru aprīkošana ar ekskavatora tipa ritošo daļu ar klasiskajām kāpurķēdēm, ja iekārta paredzēta izmantošanai kūdras augsnēs, jo, izmantojot pievedējtraktoru uz ekskavatora šasijas, nav nepieciešama augsnes nostiprināšana ar mežizstrādes atliekām.

Somijas tehniskās izpētes centrā VTT ir izstrādāta matemātiska aprēķinu sistēma mežizstrādes tehnikas ietekmes novērtēšanai un risu dziļuma prognozēšanai platībām ar zemu augsnes nestspēju. Programmas pamatā ir empīriski iegūti dati par dažādu augšņu nestspēju un programma var modelēt dažāda tipa pievedējtraktoru un harvesteru piemērotību darbam dažādos apstākļos (Att. 3).



A



B

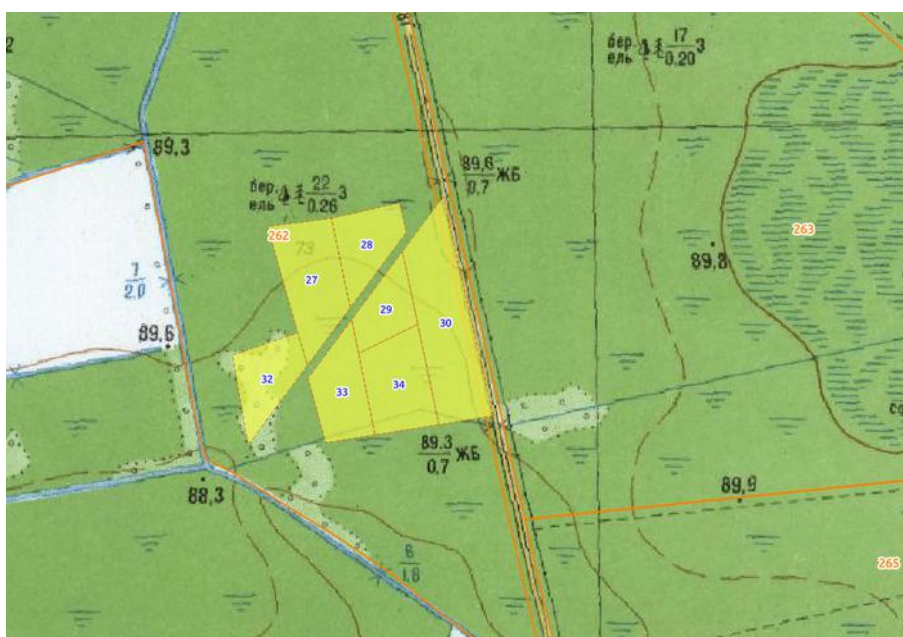
Att. 3: Programmas ekrānskatījumi: A) iekārtu izvēles logs, B) iekārtu parametru ievades logs.

Programma ļauj prognozēt iespējamo risu dziļumu attiecīgajā platībā atkarībā no pārbraucienu skaita, kas dod iespēju plānotājam izveidot optimālu treilēšanas ceļu tīklu izmantojot pieejamo transportu ar atbilstošo tehnisko nodrošinājumu. Programma ir pieejama bez maksas, taču tā ir somu valodā un tajā izmantoti Somijai raksturīgi augsnes nestspēju raksturojošie rādītāji. Saskaņā ar programmas autoru atzinumu, tā nav izmantojama kāpurķēžu tehnikas (ProSilva un taml. mašīnas) raksturošanai, jo šīm mašīnām ir citāds slodzes sadalīšanas princips, nekā ar ķēdēm aprīkoti riteņtraktoriem.

IZMĒĢINĀJUMU OBJEKTI UN DARBA METODIKA

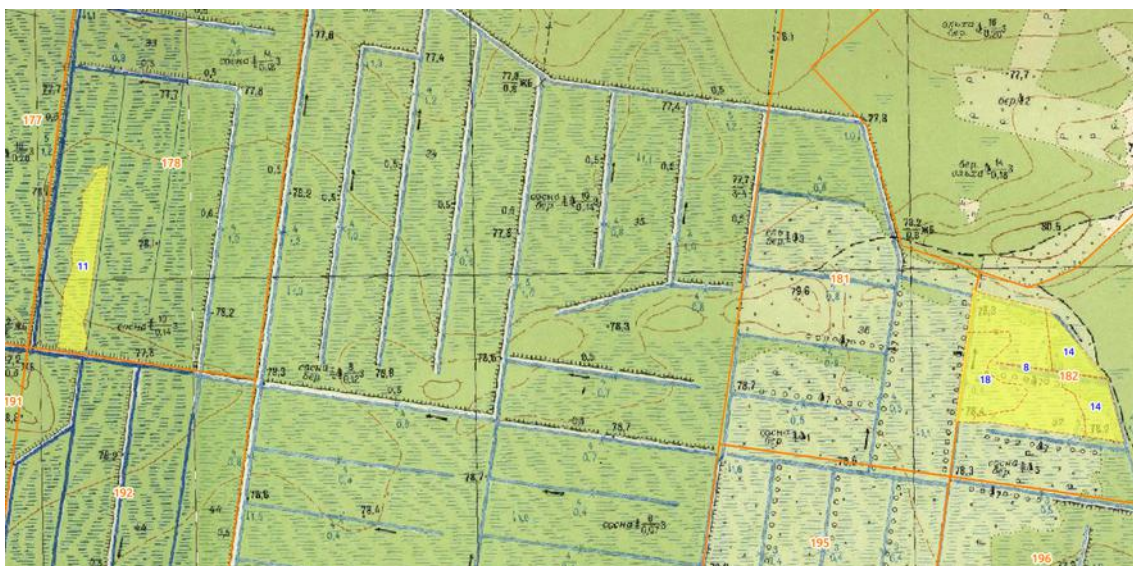
Pētījumu objekti

Kopšanas cirtes izmēģinājumi veikti vairākās AS "Latvijas valsts meži" apsaimniekotās mežaudzēs Vidusdaugavas mežsaimniecībā (Att. 4 un Att. 5). Kopējā izmēģinājumu laikā apsekotā platība ir ap 40 ha, tajā skaitā vispilnīgākā datu kopa, tajā skaitā darba laika uzskaites dati, pievesto kokmateriālu masa, augsnes sablīvējums un vērpes pretestība, kā arī paliekošo koku bojājumi, iegūti 511. kv. apgabalā 182. kv. nogabalos, tāpēc lielākā daļa datu analīzes balstīta uz šajos nogabalos iegūto informāciju. Raksturīga aina izmēģinājumos iekļautajās skujkoku audzēs redzama Att. 6.



Att. 4: Vidusdaugavas mežsaimniecības 503. kvartālu apgabala audzes³.

³ Pievešana veikta tikai ar jaunā tipa ķēdēm, darba laika uzskaitē nav veikta.



Att. 5: Vidusdaugavas mežsaimniecības 511. kvartālu apgabala audze⁴.



Att. 6: Raksturīga aina pēc kopšanas cirtes (178. kvartāla 11. nogabals).

Pētījumā izmantotās tehnikas raksturojums

John Deere 810 D pievedējtraktors (Att. 7) ar kāpurķēdēm ar palielinātu virsmas laukumu (Att. 8) un ECO-Baltic kāpurķēdēm (Att. 9). Standarta aprīkojumā pievedējtraktors aprīkots ar 4 cilindru John Deere 4045 PowerTech Plus turbocharger dzinēju ar 91 kW jaudu un maks. apgriezību skaitu darba režīmā 1900 RPM. Vadības sistēma TMC, masa 11,5 tonnas, kravnesība 9 tonnas, transmisija 8WD, riepas uz priekšējās un pakalējās ass 700 x 22,5 mm, hidromanipulators CF1 ar izlīces garumu 8,7 m. Pievedējtraktors aprīkots ar autonomo sildītāju, sauleslāģiem un ksenona lukturiem.

⁴ Šajās audzēs izmēģinātas visas darba metodes.



Att. 7: Pievedējtraktors John Deere 810D⁵.



Att. 8: ECO-Baltic ķēdes ar palielinātu virsmas laukumu uz pievedējtraktora ⁶.

⁵ Foto: Agris Zimelis.

⁶ Foto: Agris Zimelis.



Att. 9: Pievedējtraktors ar standarta platuma ECO-Baltic ķēdēm uz priekšējiem un aizmugurējiem tandēmiem (1. darba metode)⁷.

ECO-Baltic ķēdes paredzētas izmantošanai kopšanas cirtēs uz organiskām augsnēm. Ķēdes nav piemērotas darbam ziemā, kā arī uz mālainām augsnēm. Saskaņā ar Zviedrijā veiktajiem pētījumiem ECO-Baltic ķēdes samazina risu veidošanos vidēji par 40 % un augsnes sablīvēšanos par 10 %, salīdzinot ar riteņtraktoru, tajā pat laikā palielinot pievedējtraktora masu par 10-12 %. ECO-Track ķēžu būtiskā priekšrocība ir minimāla ietekme uz griezes pretestību, kas ECO-Track ķēdēm nav lielāka, nekā riepām (Bygdén *et al.*, 2003). Tas nozīmē, ka, izmantojot standarta ECO-Track ķēdes, ietekmei uz degvielas patēriņu jābūt minimālai, bet sarežģītos pievešanas apstākļos sagaidāms degvielas patēriņa samazinājums, salīdzinot ar riteņu bāzi.

Degvielas uzskaite

Pētījumā izmantota degvielas uzskaites mēriekārta AIC-904 VERITAS (Att. 10), kas tiek uzstādīta virs degvielas filtra. Sistēmas raksturojums dots Tab. 2.

Tab. 2: Degvielas uzskaites sistēmas raksturojums

Rādītājs	Raksturojums
Izmēri ar filtru	280 x 100 x 160 mm
Masa ar filtru	2,5 kg
Plūsmas sensora materiāls	misinš, alumīnijs
Blīvējuma materiāls	Viton®
Savienojumu materiāls	tērauda aizsardzība TAAC3, nerūsējošais tērauds, anodizēts tērauds
Stiprinājuma skavas materiāls	nerūsējošais tērauds
Apvalka materiāls	anodizēts alumīnijs

⁷ Foto: Agris Zimelis.

Rādītājs	Raksturojums
Plūsmas mērītājs	AIC-904 Veritas, piemērots dzinējiem ar līdz 220 kW jaudu
Plūsmas mērīšanas princips	vienvirziena, tilpuma metode, kustīgs ekscentrisks rotors, mikroprocesora vadīts impulsu ģenerators
Plūsmas mērītāja mērīšanas diapazons	10 L stundā
Plūsmas mērītāja precizitāte	vismaz 1 %
Plūsmas mērītāja rezultātu atkārtojamība	vismaz 0,2%
Plūsmas mērītāja pieļaujamais spiediens	-1 līdz 6 bāri
Plūsmas mērītāja uzstādīšanas pozīcija	vertikāla
Plūsmas mērītāja darba temperatūra	-30 līdz 90 °C
Barošanas spriegums	6-30 V, līdzstrāva
Impulsu ģenerators signāls	taisnstūra, cikls 50 %
Plūsmas mērītāja impulsu intervāls	200 ppl
Papildus aprīkojums	Degvielas atplūdes dzesēšanas radiators APS120; datu pārvades un barošanas kabelis; GPS/GSM ierīce FM4200

Att. 10: Degvielas uzskaites sistēmas raksturojums⁸.

Darba metodes

Kopšanā izmantota tradicionālā darba metode individuālu koku izkopšanai, kad vispirms izzāģē tehnoloģiskos koridorus un pēc tam izkopj pārējo audzes daļu, mežizstrādes atliekas novietojot uz tehnoloģiskajiem koridoriem. Pirms kopšanas visās audzēs nozāģēti pameža

⁸ Foto: <http://www.flowmeter-aic.com/products/aic-904-veritas-300hp>.

kociņi un koki, kas traucē mašinizētu mežizstrādi. Pameža kociņi pēc nozāģēšanas salikti tehnoloģiskajos koridoros, lai nodrošinātu labākus pievešanas apstākļus. Izmēģinājumos gatavoti apaļo kokmateriālu veidi (papīrmalka, taras kluči, zāģbalķi, malka), kas tiktu gatavoti ražošanas apstākļos.

Izmēģinājumos salīdzinātas 3 darba metodes, izmantojot ECO-Baltic kāpurķēdes uz abiem tandēmiem; ECO-Baltic ķēdes uz priekšējiem tandēmiem un ķēdes ar palielinātu virsmu uz aizmugurējiem tandēmiem un ECO-Baltic ķēdes uz aizmugurējiem tandēmiema bez ķēdēm uz priekšējiem tandēmiem (Tab. 3).

Tab. 3: Pievešanas darba metodes

Nr.	Apraksts
1	Uz visiem tandēmiem uzlikta ECO Baltic ķēdes
2	Uz priekšējiem tandēmiem parastās ķēdes (ECO Baltic), bet uz aizmugurējiem tandēmiem modificētas, platākas ķēdes
3	Uz priekšējiem tandēmiem ķēdes nav, bet uz aizmugurējiem tandēmiem ir parastās ķēdes (ECO Baltic)

Darba laika uzskaitē

Pētījuma ietvaros veikta mežizstrādes darba laika uzskaitē, izmantojot specializētu triecienu un mitruma izturīgu laukdatoru Allegro CX (Att. 11), kas aprīkots ar darba laika hronometrāžas programmu SDI.



Att. 11: Hronometrāžā izmantotais laukdators Allegro CX.

Papildus noteiktie rādītāji ir saglabājamo koku bojājumu (stumbra bojājumi virs un zem 0,5 m no zemes, iezāģējumi un sakņu bojājumi). Ķēžu radītajiem sakņu bojājumiem papildus noteikts virsmas laukums.

Pievestā materiāla uzskaitē izmantoti strēles galā stiprināmi svāri (Att. 12). Atsevišķi uzskaitīta pievesto un ceļos ieklāto kokmateriālu masa.



Att. 12: Intermercato XW50 svāri.

Darba laika patēriņš noteikts katram strāles darba ciklam atsevišķi. Darba laika uzskaites elementi parādīti Tab. 4.

Tab. 4: Pievešanas darba laika uzskaites elementi

Darba laika kategorija	Saīsinājums	Skaidrojums
Informatīvie lauki	piezīmes	dažādas piezīmes, tajā skaitā par pārtraukumiem, pārbraucieniem, koridora maiņu un taml.
Produktīvais darba laiks	iebrauc	iebrauc audzē, uzsākot darbu vai pēc izkraušanas
	izbrauc	izbrauc no audzes darba dienas beigās vai ar kravu
	sniedz	sniedzās pēc sortimenta pie iekraušanas vai izkraušanas
	satver	sortimentu satveršana pie iekraušanas vai izkraušanas
	manip	darbības ar manipulatoru sortimentu salaišanas brīdī
	iekrauj	sortimenta iekraušana, kas ilgst no sortimenta satveršanas brīža, līdz satverto sortimentu palaišanai vaļā kravas tilpnē
	pārbr	pārvietošanās pa cirsma
	snieg	sniega tīrīšana no sortimenta vai sortimenta meklēšana pa sniegu
	izkrauj	sortimenta izkraušana, kas ilgst no sortimenta satveršanas brīža kravas tilpnē, līdz satverto sortimentu palaišanai vaļā krautuvē
	kraut	pārvietošanās pa krautuvē
	brauc	pēc kravas tilpnes piekraušanas braukšana uz krautuvē
	iekļaj	zaru iekļāšana vai izņemšana no tehnoloģiskā koridora
	cits	citas ar darbu saistītas operācijas (izkritušu sortimentu pacelšana, sortimentu pielīdzināšana utt.)
Neproduktīvais laiks	remonts	tehnikas remonts pie iedarbināta dzinēja
	sver	pievedējtraktora svēršana (netiek ieskaitīta kopējā nostrādātajā laikā)
	stop	darbības, kas nav saistītas ar darbu (atpūta, telefona sarunas u.c. darbības)

Laika apstākļi izmēģinājumu laikā

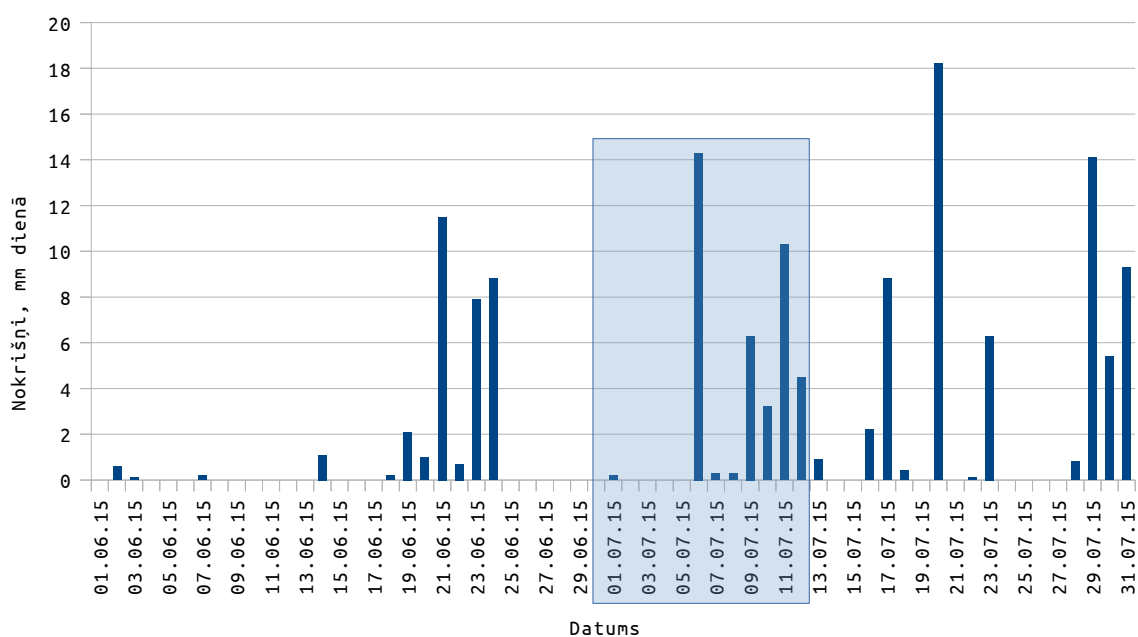
Gaisa temperatūra izmēģinājumu laikā bija vidēji 16 °C. Debesis bija skaidras vai daļēji mākoņainas (Tab. 5). Izmēģinājumu laikā jūlijā (pievešana 182. kvartālā) lija lietus, taču pirms tam 2 nedēļas bija sauss un saulains laiks (Att. 13), tāpēc zemes virskārta bija izkaltusi un nolijušais lietus būtiski nepasliktināja pievešanas apstākļus. Pateicoties siltajam laikam (Att. 14), augsnes virskārta ātri nokalta, tāpēc nokrišņu ietekme uz pievešanas apstākļiem izmēģinājumu laikā bija minimāla.

Citāda situācija bija, pievedot kokmateriālus no 262. kvartāla audzēm jūnija beigās. Pirms pievešanas 2 nedēļas gandrīz katru dienu lija lietus un augsnes virskārta pievešanas laikā bija mitra. Šajā objektā pievešanas apstākļi bija būtiski sliktāki, nekā pārējās audzēs, taču negatīvu ietekmi radīja arī operatoru izraudzītā darba metode – vispirms harvesters izveidoja taisnus tehnoloģiskos koridorus ik pēc 20 m, ko sākumā izmantoja arī kokmateriālu pievešanai, bet, kad tajos sāka veidoties rises, pievedējtraktora operatori daudzviet iebruca jaunus esošajiem tehnoloģiskajiem koridoriem paralēlus ceļus, būtiski palielinot paliekošo koku un augsnes bojājumu apjomu. Ja tehnoloģiskajā kartē jau sākotnēji tiktu ņemtas vērā pārmitrās vietas, koku un augsnes bojājumu apjomu varētu vairākkārtīgi samazināt, neizmantojot papildus aprīkojumu.

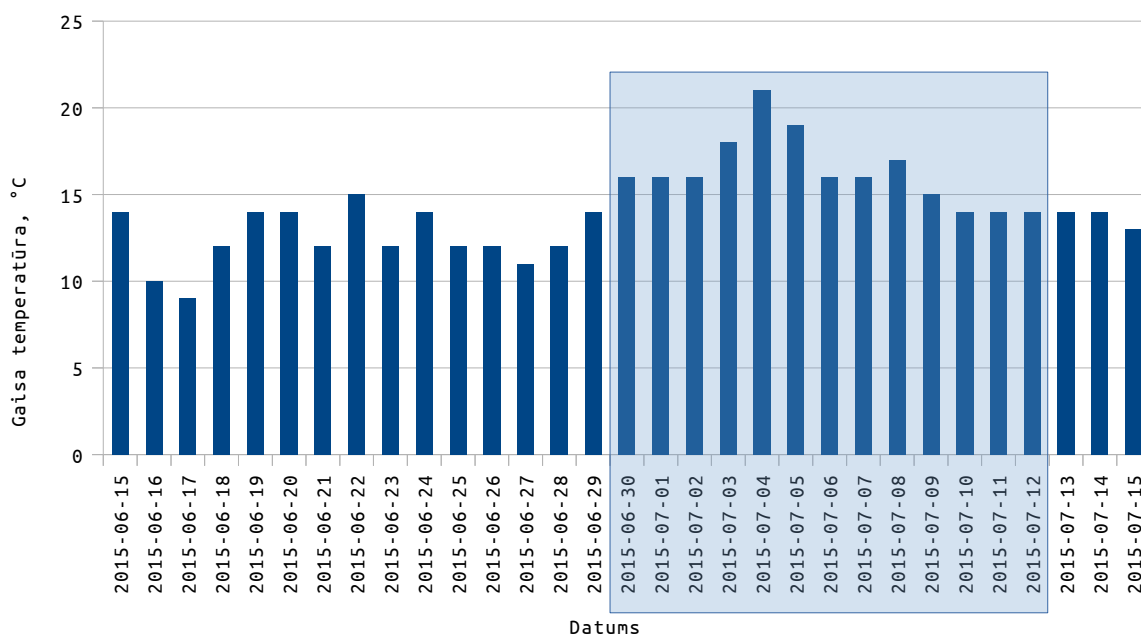
Tab. 5: Laika apstākļi izmēģinājumu laikā

EEST	Gaisa temperatūra, °C	Gaisa mitrums, %	Atmosfēras spiediens, hPa	Redzamība, Km	Vēja ātrums, Km h ⁻¹
2015-06-15	14	59	1007	20	12
2015-06-16	10	55	1015,37	20	8
2015-06-17	9	51	1017,71	20	5
2015-06-18	12	63	1011,25	20	7
2015-06-19	14	68	1007,75	12	6
2015-06-20	14	69	1011	20	2
2015-06-21	12	79	1012	12	4
2015-06-22	15	76	1010,5	20	3
2015-06-23	12	81	1009,12	12	5
2015-06-24	14	81	1010,43	20	10
2015-06-25	12	72	1018	20	8
2015-06-26	12	71	1015,5	20	6
2015-06-27	11	66	1012,25	20	6
2015-06-28	12	60	1015,38	20	7
2015-06-29	14	60	1017,75	20	1
2015-06-30	16	68	1017	20	3
2015-07-01	16	70	1020,13	20	7
2015-07-02	16	55	1027,25	20	4
2015-07-03	18	58	1029,38	20	5
2015-07-04	21	50	1022,38	20	9
2015-07-05	19	58	1017,88	20	7
2015-07-06	16	70	1013,75	11	3

EEST	Gaisa temperatūra, °C	Gaisa mitrums, %	Atmosfēras spiediens, hPa	Redzamība, Km	Vēja ātrums, Km h ⁻¹
2015-07-07	16	67	1006,5	20	19
2015-07-08	17	75	1002,25	20	8
2015-07-09	15	69	1003,29	20	8
2015-07-10	14	79	1002,88	4	9
2015-07-11	14	85	1005,37	20	7
2015-07-12	14	82	1007,14	12	9
2015-07-13	14	78	1007,37	20	2
2015-07-14	14	70	1008	20	2
2015-07-15	13	67	1010,25	20	2



Att. 13: Nokrišņi izmēģinājumu laikā.



Att. 14: Gaisa temperatūra izmēģinājumu laikā.

Biomisas un krājas aprēķini

Pievesto kokmateriālu apjoma un biomasas aprēķinos izmantoti pievedējtraktora operatoru iesniegtie dati, harvestera izdrukas par sagatavoto materiālu un izkrautā materiāla masas dati, kas iegūti ar hidromanipulatorā galā nostiprinātajiem svāriem (starp rotatoru un greifera tipa satvērēju). Svēršana veikta izkraušanās laikā, nedalot pievesto apjomu kokmateriālu veidos.

Pieņēmumi izmaksu aprēķiniem

Aprēķinos pieņemts, ka kopšanā un pievešanā izmanto lietotas mežizstrādes mašīnas, kas nostrādājušas 9000-10000 darba stundas. Mežizstrādes mašīnu cena noteikta atbilstoši MASCUS sludinājumu portālā esošajam piedāvājumam (harvesteri, kas pieejami Centrāleiropas, Austrumeiropas un Ziemeļeiropas reģionā). Harvestera John Deere 1070 vidējā cena atbilstoši portālā pieejamajiem sludinājumiem ir 150000 EUR, pievedējtraktora John Deere 810 cena pieņemta atbilstoši pētījumā par Moipu paketējošās griezējgalvas izmantošanu jaunaudžu un krājas kopšanas cirtēs un grāvju trašu apauguma novākšanā veiktajai aptaujai. Harvestera, pievedējtraktora un kokvedēja izmaksas un darba ražīguma rādītāji ņemti no šī pētījuma (Lazdiņš *et al.*, 2015).

Degvielas izmaksu aprēķinos izmantoti dati par faktiski patērētās degvielas daudzumu izmēģinājumu laikā. Aprēķinos izmantots vidējais degvielas patēriņa rādītājs katrai darba metodei, lai gan praksē pārbraucienos degvielas patēriņš izrādījās gandrīz 2 reizes lielāks, nekā traktoram atrodoties cismā un veidojot kravu vai izkraujoties. Attiecīgi, praksē, pieaugot pievešanas attālumam, degvielas patēriņš pieaugs straujāk.

Aprēķinos pieņemts, ka darbu veic 3 harvestera un pievedējtraktora operatori, kas strādā 8 stundas pēc kārtas, tajā skaitā 15 % operatoru darba laika ir atpūta un citu darbu veikšana, kad harvestera un pievedējtraktora dzinējs ir noslāpēts. No darba stundām atskaitīta arī

mašīnas pārvietošana starp objektiem, pieņemot, ka to dara 50 reizes gadā, un katra pārvietošana rada vidēji 2 stundas ilgu dīkstāvi. Harvestera tehniskās gatavības aprēķinos pieņemts, ka harvestera dzinējs darbojas 5134 stundas (246 dienas) gadā.

Operatoru atalgojums aprēķināts par 260 nostrādātām dienām, ieskaitot atvaļinājuma naudu; attiecīgi, aprēķinos pieņemts, ka pārējā laikā operatori nodarbināti uz citām mašīnām, un šīs izmaksas nav ietvertas pašizmaksas aprēķinos.

Izmaksu aprēķinā ietverta arī operatoru profesionālās kvalifikācijas paaugstināšana un veselības apdrošināšanas izmaksas.

Pašizmaksas aprēķinos izmantots LVMI Silava izstrādātais darba stundas aprēķinu modelis, kas veidots uz Zviedrijas mežzinātnes institūtā Skogforsk izstrādātā FLIS modeļa bāzes (Thor *et al.*, 2008; Lazdiņš *et al.*, 2015).

DARBA REZULTĀTI

Mežaudžu raksturojums

Pirms kopšanas cirtes

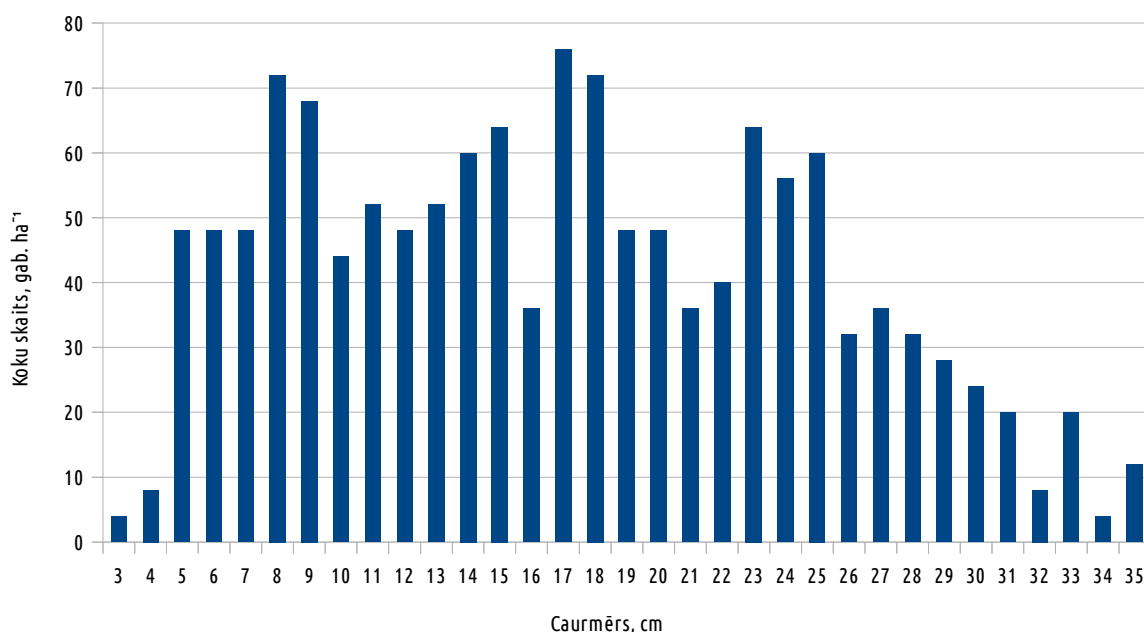
Mežaudzes iedalītas 2 grupās – 503. kv. apgabala 262. kv. nogabali, kuros pievešana veikta pēc ilgstoša lietūs sarežģītos apstākļos, bet izmantota tikai 1 darba metode, un 511. kv. apgabala 178. un 182. kv. nogabali, kuros pievešana veikta salīdzinoši labos apstākļos, salīdzinātas visas darba metodes un veikta pievešanas darba laika uzskaitē. Pirmās mežaudžu grupas raksturojums sadalījumā pa koku sugām dots Tab. 6; kopsavilkums – Tab. 7, bet koku skaita sadalījums caurmēra pakāpēs pirms kopšanas cirtes redzams Att. 15. Mežaudzēs 262. kv. ir salīdzinoši mazs (620 gab. ha^{-1}) pameža koku skaits, tāpēc ceļos ieklātas galvenokārt mežizstrādes atliekas. Visās audzēs uzstādījums bija vienāds, proti, pamežs un mežizstrādes atliekas jāieklāj tehnoloģiskajos koridoros. Materiāls, kas paredzēts ceļa seguma stiprināšanai, vajadzēja ieklāt perpendikulāri (lai labāk saslēgtos), cenšoties lielāko daļu kokmateriālu ieklāt zem potenciālajām riteņu pārvietošanās vietām, t.i. neveidot valni koridora vidū.

Tab. 6: Mežaudžu raksturojums 503. kv. apgabala 262. kv.

Suga	Koku skaits, gab. ha ⁻¹	D, cm	H, m	H vald., m	G, m ² ha ⁻¹	Stumbra biomasa, tonnas ha ⁻¹	Krāja, m ³ ha ⁻¹
B	328	19,4	24,0	24,2	10,5	72,1	120,9
Ba	8	13,3	18,0	24,0	0,1	0,6	1,2
Bl	4	11,9	15,0	15,0	0,0	0,2	0,3
E	948	15,7	16,0	21,5	23,2	133,7	246,3
Oz	4	14,4	14,0	13,5	0,1	0,3	0,4
P	76	25,3	25,0	24,8	3,9	22,6	45,2
Kopā	1368	17,1	18,0	22,7	37,9	229,5	414,3

Tab. 7: Mežaudžu raksturojuma 503. kv. apgabala 262. kv. kopsavilkums

Objekts	Pameža koku H, m	Pameža koku skaits, gab. ha ⁻¹	Valdošā suga	Valdošās sugas koku H, m	Minimālais šķērslaukums, m ² ha ⁻¹
503-262	3	620	E	16	27



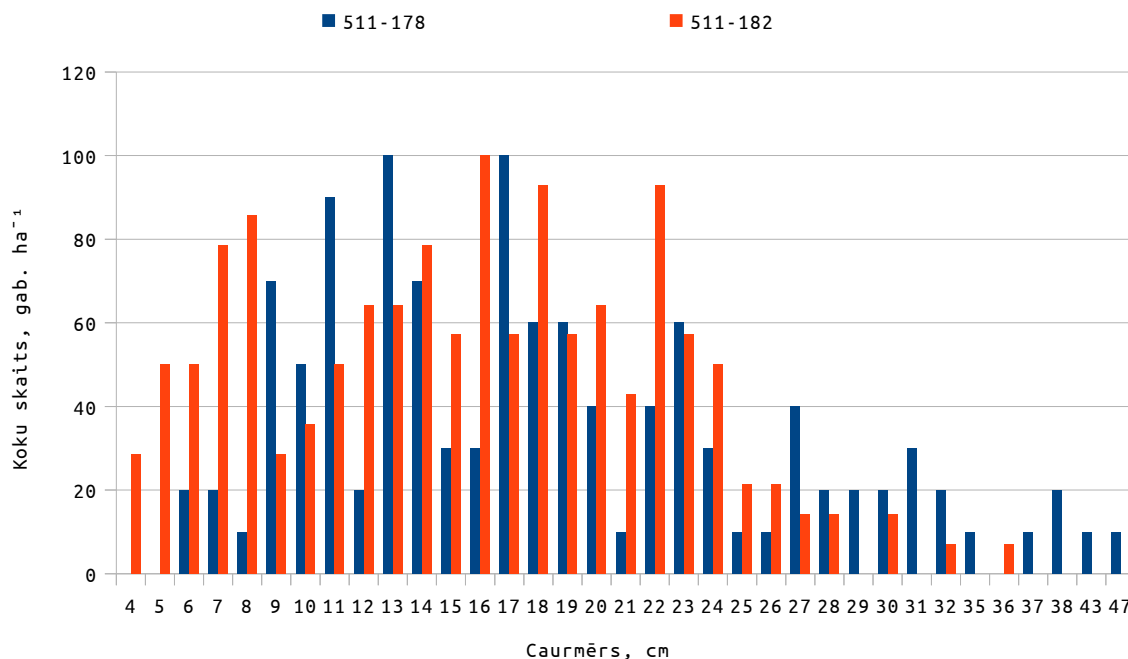
Att. 15: Koku skaita sadalījums caurmēra pakāpēs 503. kv. apgabala 262. kv.

Otrās mežaudžu grupas (511. kv. apgabals) raksturojuma kopsavilkums dots Tab. 8, bet koku skaita sadalījums caurmēra pakāpēs pirms kopšanas cirtes redzams Att. 16. Mežaudzēs 511. kv. apgabalā vairākkārt lielāks, nekā 503. kv. apgabala audzēs, (1,5-1,7 tūkst. gab. ha⁻¹) pameža koku skaits (Tab. 9). Ceļos ieklātas gan mežizstrādes atliekas, gan pameža sīkkoki. Mežaudzēs 182. kv. ir būtiski lielāks sīko kociņu īpatsvars ($D_{1,3} < 9$ cm, Att. 16).

Tab. 8: Mežaudžu raksturojuma 511. kv. apgabala 178. un 182. kv. kopsavilkums

Objekts	Valdošā suga	Platība, ha	Koku skaits, gab. ha ⁻¹	D, cm	H, m	H vald., m	G, m ² ha ⁻¹	Stumbra biomasa, tonnas ha ⁻¹	Krāja, m ³ ha ⁻¹	Minimālais G, m ² ha ⁻¹
511-178	P	2,0	1140	18,5	20,1	22,8	36,6	213,9	407,6	23
511-182	B	11,0	1386	15,5	19,6	23,5	30,7	179,9	333,0	19

Kūdras slāņa biezums 178. kv. audzē ir vidēji 47 cm, bet 182. kv. – 77 cm (Tab. 9). Abās audžu grupās pastāv liels risu veidošanās risks.



Att. 16: Koku skaita sadalījums caurmēra pakāpēs 511. kv. apgabala 178. un 182. kv.

Tab. 9: Pameža un kūdras slāņa raksturojuma 511. kv. apgabala 178. un 182. kv. mežaudzēs

Objekts	Koku skaits, gab. ha ⁻¹	D, cm	H, m	G, m ² ha ⁻¹	Kūdras slānis, cm
511-178	1491	1,7	2,1	0,3	47,2
511-182	1675	1,8	2,8	0,4	77,3

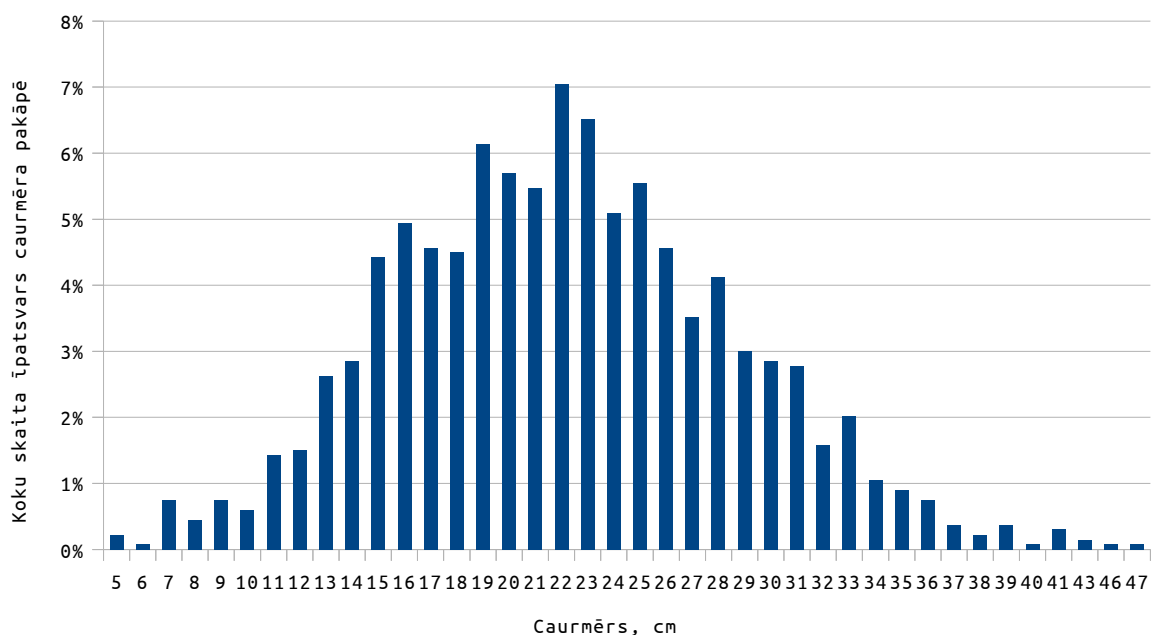
Pēc kopšanas cirtes

Pēc kopšanas cirtes izpildes mežaudžu raksturojums veikts katram tehnoloģiskajam koridoram atsevišķi. Tab. 10 dots tehnoloģisko koridoru (sleja, kas ietver tehnoloģisko koridoru un izkopto audzes daļu, kuras platumu nosaka attālums starp tehnoloģiskajiem koridoriem) raksturojums 503. kv. apgabala 262. kv. Koku skaita sadalījums caurmēra pakāpēs šajās audzēs dots Att. 17. Salīdzinot ar grafiku Att. 15, redzams, ka būtiski samazinājies par 14 cm tievāku koku skaits.

Tab. 10: Mežaudžu taksācijas rādītāji 503. kv. apgabala 262. kv. tehnoloģisko koridoru griezumā

Kods	Koridors	D, cm	H, m	Valdaudzes koku H, m	Koku attālums līdz centram, m	Koku skaits, gab. ha ⁻¹	Valdaudzes koku skaits, gab. ha ⁻¹	G, m ² ha ⁻¹	Stumbra biomasa, tonnas ha ⁻¹	Vidējā koka biomasa, kg	Krāja, m ³ ha ⁻¹	Vidējā koka krāja, m ³	Koridora platība, ha	Koridora garums, m
503-262	1	22	22	24	5,67	550	400	24	151	274	270	0,49	0,30	151
503-262	2	22	22	24	5,82	575	413	25	158	275	282	0,49	0,24	120
503-262	3	22	23	24	6,15	625	550	24	153	244	274	0,44	0,17	85
503-262	4	23	23	24	6,01	513	438	22	151	295	258	0,50	0,15	77
503-262	5	26	24	24	5,59	500	450	28	184	367	326	0,65	0,13	63

Kods	Koridors	D, cm	H, m	Valdaudzes koku H, m	Koku attālums līdz centram, m	Koku skaits, gab. ha ⁻¹	Valdaudzes koku skaits, gab. ha ⁻¹	G, m ² ha ⁻¹	Stumbra biomasa, tonnas ha ⁻¹	Vidējā koka biomasa, kg	Krāja, m ³ ha ⁻¹	Vidējā koka krāja, m ³	Koridora platība, ha	Koridora garums, m
503-262	6	22	22	25	5,38	650	475	26	177	273	300	0,46	0,09	47
503-262	7	20	24	25	5,29	600	500	21	149	249	247	0,41	0,07	35
503-262	8	21	23	25	6,17	450	375	19	128	284	222	0,49	0,16	80
503-262	9	24	24	25	5,08	400	350	20	125	312	225	0,56	0,12	58
503-262	10	21	23	24	5,98	575	450	22	137	238	250	0,44	0,07	35
503-262	11	17	22	23	6,15	775	525	20	120	155	216	0,28	0,08	38
503-262	1	27	25	25	5,86	600	600	37	224	373	426	0,71	0,08	38
503-262	2	24	23	24	6,25	775	700	37	216	278	424	0,55	0,11	55
503-262	3	24	22	24	5,86	750	625	35	210	280	400	0,53	0,14	70
503-262	4	23	22	24	5,98	725	500	32	196	270	361	0,50	0,19	95
503-262	5	24	23	24	5,90	613	500	31	194	316	352	0,58	0,23	114
503-262	6	22	22	24	5,93	650	400	27	180	277	314	0,48	0,27	133
503-262	7	24	24	25	5,77	613	588	29	190	311	333	0,54	0,29	143
503-262	8	26	24	25	5,96	450	400	26	173	385	311	0,69	0,34	170
503-262	9	22	22	24	5,49	488	388	21	141	290	245	0,50	0,26	130
503-262	10	24	23	25	5,74	533	458	26	175	329	303	0,57	0,40	200
503-262	11	22	22	26	6,70	550	375	24	155	281	280	0,51	0,26	130
503-262	12	20	23	25	6,33	500	425	17	117	233	197	0,39	0,26	130
503-262	13	18	22	24	5,61	688	488	19	118	172	207	0,30	0,27	137
503-262	14	19	22	24	5,72	463	338	14	85	185	151	0,33	0,32	158
503-262	15	22	23	24	6,03	425	358	17	118	277	200	0,47	0,37	185
503-262	16	22	22	24	5,75	433	333	17	110	253	191	0,44	0,40	199
503-262	17	22	22	23	6,37	533	400	22	135	254	251	0,47	0,44	219
503-262	18	21	22	23	5,94	458	358	17	102	222	184	0,40	0,38	188
503-262	19	20	21	23	5,75	542	392	19	111	204	205	0,38	0,30	149
503-262	20	22	22	23	5,77	542	458	21	127	235	235	0,43	0,23	114
503-262	21	21	21	23	5,11	438	300	17	104	237	191	0,44	0,11	55



Att. 17: Koku skaita sadalījums caurmēra pakāpēs 503. kv. apgabala 262. kv.

Tab. 11 dots mežaudžu taksācijas rādītāju kopsavilkums pēc kopšanas cirtes izpildes koku sugu griezumā. Kopējā krāja pēc kopšanas ir $351 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, attiecīgi, krājas samazinājums kopšanas rezultātā ir $63 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Paliekošais šķērslaukums ir $31 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, bet minimālais šķērslaukums atbilstoši vidējā koka augstumam un valdošajai sugai – $27 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, attiecīgi, kopšanas intensitāti varēja būtiski palielināt, lai nodrošinātu labākus augšanas apstākļus (vairāk gaismas paliekošajiem kokiem) ilgākā laika posmā. Vidējā valdaudzes koka augstums pēc kopšanas palielinājies par 2 m, attiecīgi, kopšana veikta no apakšas, izzāģējot augšanā atpalikušos un pameža kokus.

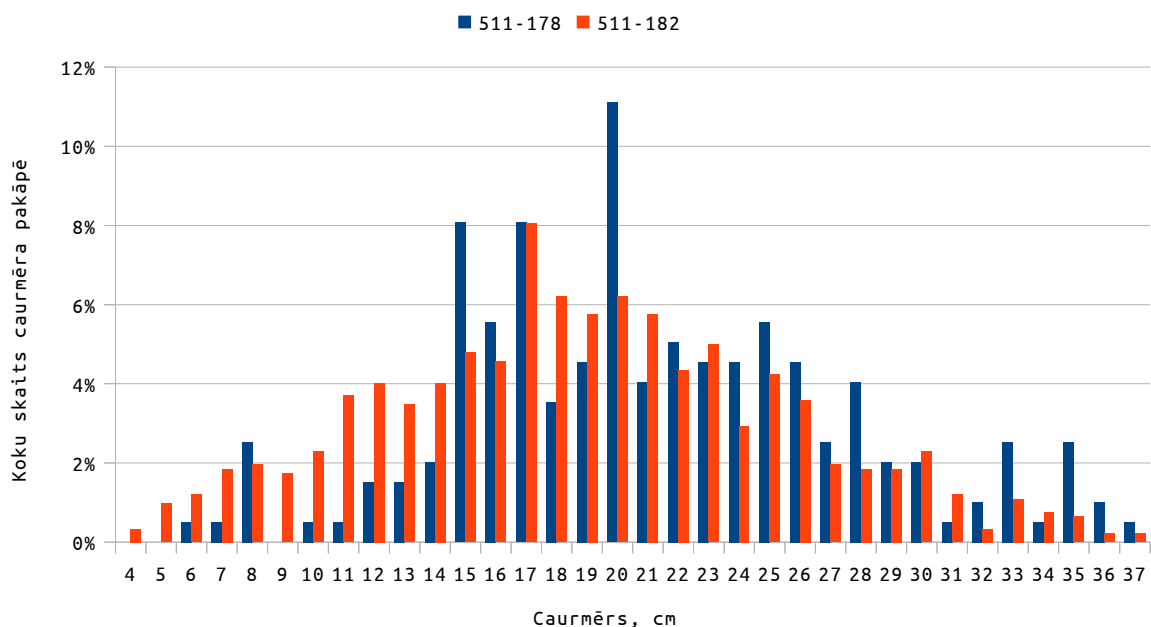
Tab. 11: Mežaudžu taksācijas rādītāju kopsavilkums 503. kv. apgabala 262. kv. audzēs

Koku suga	Koku skaits, gab. ha^{-1}	Valdošās sugas koku skaits, gab. ha^{-1}	D, cm	H, m	H vald., m	G, $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$	Stumbra biomasa, tonnas ha^{-1}	Vidējā koka biomasa, kg	Krāja, $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$	Vidējā koka krāja, $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$
A	2	2	38	28	28	0,3	2,4	1063,5	3,8	1,70
B	244	221	20	24	25	8,7	62,1	254,2	101,7	0,42
C	1	1	14	19	20	0,0	0,1	70,4	0,2	0,13
E	448	318	23	21	23	19,4	117,1	261,2	216,5	0,48
OZ	1	0	16	21		0,0	0,1	121,0	0,2	0,21
P	44	44	26	25	25	2,5	14,4	328,4	28,5	0,65
Visas sugas	741	586	22	23	24	30,8	196,2	264,8	350,8	0,47

Tab. 12 dots tehnoloģisko koridoru raksturojums 511. kv. apgabala 178. kv. un 182. kv. audzēs Koku skaita sadalījums caurmēra pakāpēs šajās audzēs dots Att. 18. Arī šajās audzēs, salīdzinot ar stāvokli pirms kopšanas cirtes, redzams, ka ir būtiski samazinājies par 14 cm tievāku koku skaits.

Tab. 12: Mežaudžu taksācijas rādītāji 511. kv. apgabala 178. un 182. kv. tehnoloģisko koridoru griezumā

Kods	Koridors	D, cm	H, m	Valdaudzes koku H, m	Koku attālums līdz centram, m	Koku skaits, gab. ha ⁻¹	Valdaudzes koku skaits, gab. ha ⁻¹	G, m ² ha ⁻¹	Stumbra biomasa, tonnas ha ⁻¹	Vidējā koka biomasa, kg	Krāja, m ³ ha ⁻¹	Vidējā koka krāja, m ³	Attālums starp koridoriem, m	Koridora platība, ha	Koridora garums, m
511-178	1	22,15	22,48	23,74	6,14	458	392	20	119	261	228	0,50	27	0,74	280
511-178	2	21,28	22,78	23,40	5,77	476	434	18	106	223	202	0,42	27	0,48	182
511-182	1	20,12	22,95	25,86	5,31	308	232	11	82	266	136	0,44	33	0,37	112
511-182	2	21,00	24,26	25,75	6,13	269	231	10	67	250	116	0,43	39	0,60	154
511-182	3	19,03	23,80	24,67	5,56	440	393	13	82	186	152	0,35	25	0,49	196
511-182	4	18,70	22,75	25,00	5,53	524	401	16	102	195	185	0,35	25	0,54	220
511-182	5	19,31	23,08	24,78	6,02	333	267	11	67	200	122	0,37	28	0,63	230
511-182	6	20,22	24,15	25,78	5,99	574	465	20	134	234	233	0,41	22	0,40	187
511-182	7	18,33	22,47	24,49	6,02	573	427	17	106	185	194	0,34	20	0,38	197
511-182	9	19,61	23,12	24,24	6,09	596	519	20	123	206	227	0,38	20	0,45	230
511-182	10	18,94	22,29	24,24	6,24	589	465	19	116	197	213	0,36	22	0,70	327
511-182	11	16,88	20,81	23,84	6,16	496	326	13	71	143	139	0,28	22	0,53	245
511-182	12	18,17	21,57	24,72	6,28	518	342	16	99	191	183	0,35	19	0,45	236
511-182	13	18,92	21,91	24,10	5,80	573	436	18	112	196	209	0,37	20	0,47	243
511-182	14	17,34	20,56	25,00	6,00	628	378	18	121	193	216	0,34	20	0,51	260



Att. 18: Koku skaita sadalījums caurmēra pakāpēs 511. kv. apgabala 178. un 182. kv.

Tab. 13 dots mežaudžu taksācijas rādītāju kopsavilkums 178. un 182. kv. audzēs pēc kopšanas cirtes izpildes koku sugu griezumā. Kopējā krāja pēc kopšanas 178. kv. audzēs ir 285 m³ ha⁻¹, bet 182. kv. audzēs 205 m³ ha⁻¹, attiecīgi, krājas samazinājums kopšanas rezultātā 178. kv. ir

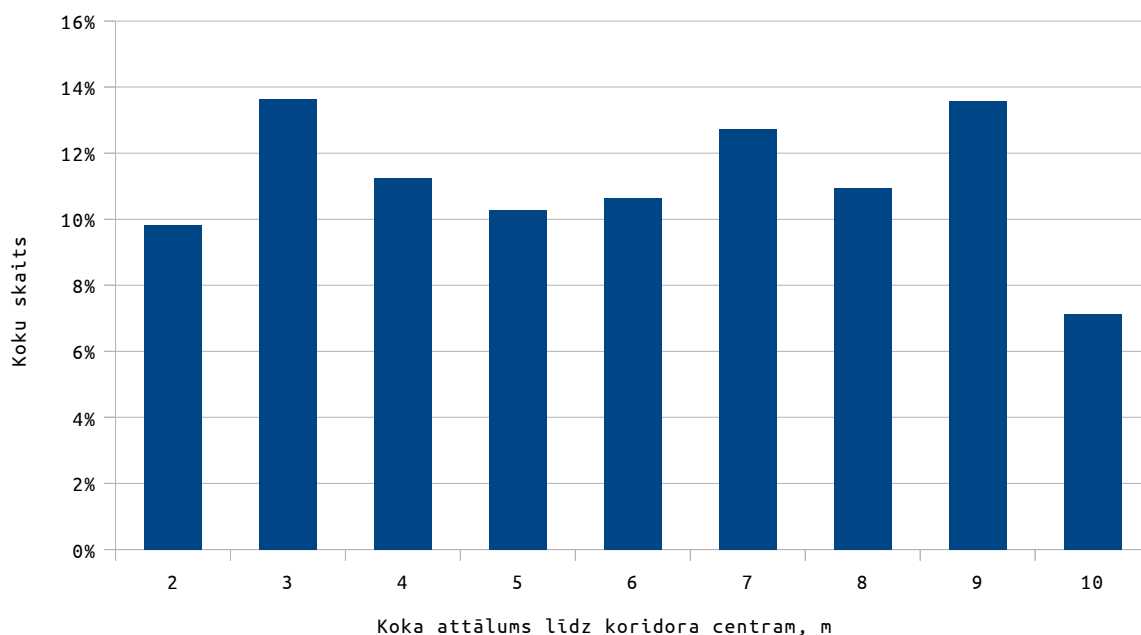
123 m³ ha⁻¹, bet 182. kv. audzēs – 128 m³ ha⁻¹. Līdz 15 % no krājas zuduma saistīta ar pameža zāģēšanu pirms mežizstrādes. Paliekošais šķērslaukums 178. kv. ir 25 m² ha⁻¹, bet minimālais šķērslaukums atbilstoši vidējā koka augstumam un valdošajai sugai – 23 m² ha⁻¹, attiecīgi, kopšanas intensitāti būtiski nevarēja palielināt. Mežaudzēs 182. kv. paliekošais šķērslaukums ir 18 m² ha⁻¹, bet minimālais šķērslaukums – 19 m² ha⁻¹, attiecīgi, paliekošais šķērslaukums ir tuvu minimālajam un kopšanas intensitātes palielināšana arī nav iespējama.

Tab. 13: Mežaudžu taksācijas rādītāju kopsavilkums 511. kv. apgabala 178. un 182. kv. audzēs

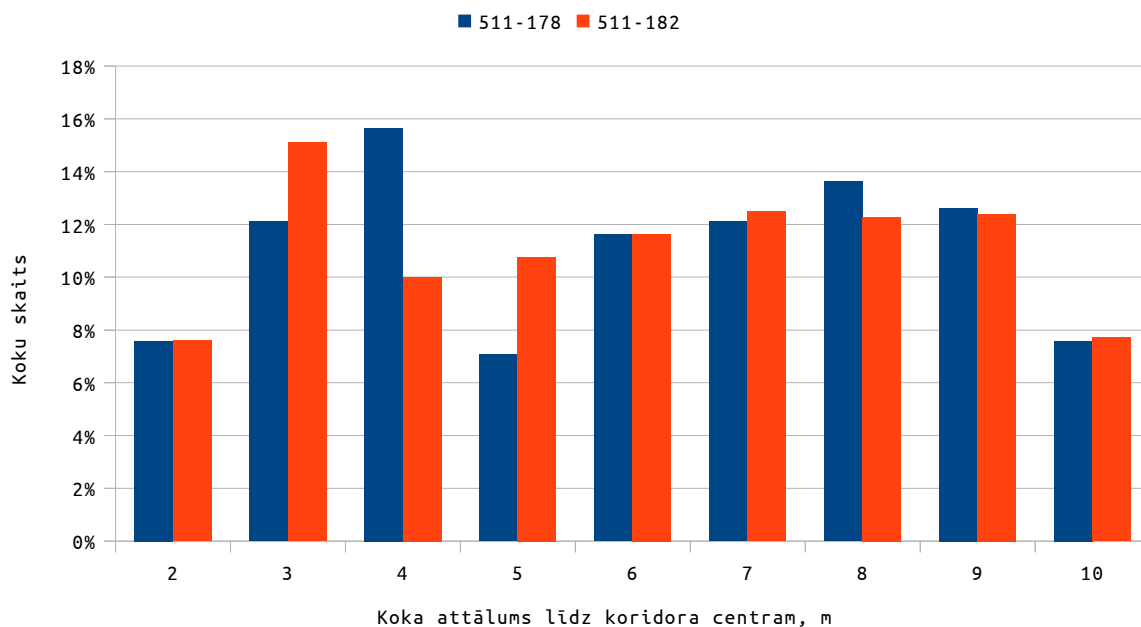
Mežaudze	Koku suga	Koku skaits, gab. ha ⁻¹	Valdaudzēs koku skaits, gab. ha ⁻¹	D, cm	H, m	H vald., m	G, m ² ha ⁻¹	Stumbra biomasa, tonnas ha ⁻¹	Vidējā koka biomasa, kg	Krāja, m ³ ha ⁻¹	Vidējā koka krāja, m ³ ha ⁻¹
511-178	B	122	78	18	22	24	3,50	23	192	37	0,31
	E	88	59	26	22	27	5,52	37	422	70	0,80
	P	409	409	22	23	23	16,37	89	218	177	0,43
	Visas sugas	619	547	22	23	24	25,39	149	241	285	0,46
511-182	A	1	0	11	17	0	0,01	0	36	0	0,08
	B	338	267	19	24	26	10,50	75	221	128	0,38
	E	53	1	14	13	21	0,90	5	90	7	0,13
	P	169	162	21	23	23	6,42	34	203	70	0,42
	Visas sugas	560	429	19	23	25	17,82	114	203	205	0,37

Att. 19 un Att. 20 parādīts koku izvietojums mežaudzē pēc kopšanas cirtes. Vienmērīgs izvietojums ap tehnoloģiskajiem koridoriem norāda uz labu kopšanas kvalitāti, bet koku skaita palielināšanās pie tehnoloģiskā koridora malas vai joslā, kas atbilst pilnai harvesterā izliecei norāda uz problēmām, kas visbiežāk saistītas ar operatora pieredzes trūkumu un/vai tehniskām problēmām. Raksturīgākās tehniskā problēmas ir rāmja bremzes defekti, kas neļauj efektīvi strādāt ar pilnu hidromanipulatora izlici, kā arī harvesterā izliecei neatbilstoša attāluma starp tehnoloģiskajiem koridoriem izmantošana.

Izmēģinājumos visās audzēs koku izvietojums starp koridoriem ir vienmērīgs. Koku skaita samazināšanās 10 m attālumā no koridora centra saistīts ar to, ka šo joslu harvesterā ir izkopsis no abām pusēm, ar otro piegājienu izņemot kokus, kas pirmajā piegājienu aiz piesardzības vai citiem iemesliem ir atstāti.



Att. 19: Koku skaita sadalījums 503. kv. apgabala 282. kv. audzēs atkarībā no attāluma līdz koridora centram.



Att. 20: Koku skaita sadalījums 511. kv. apgabala 178. un 182. kv. audzēs atkarībā no attāluma līdz koridora centram.

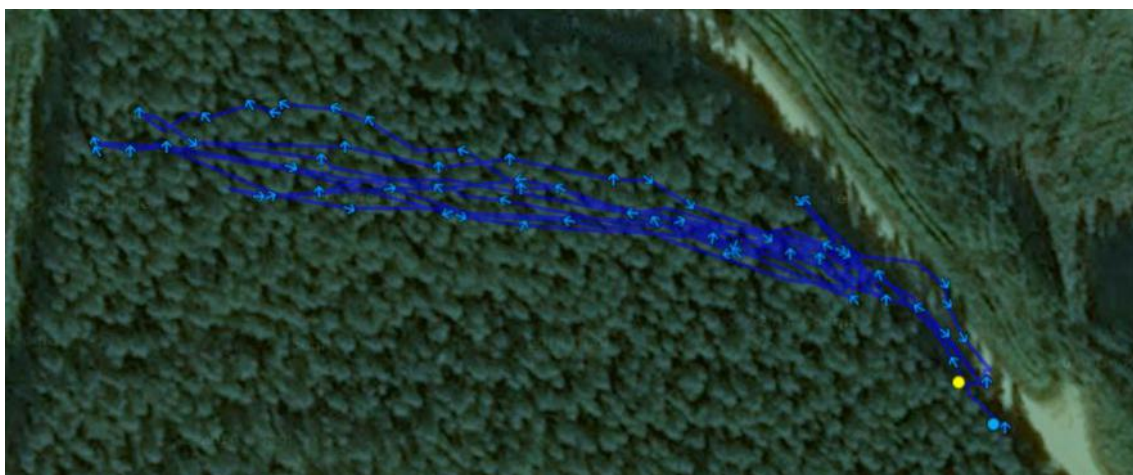
Bojājumi

Paliekošo koku un augsnes bojājumi ir viens no svarīgākajiem kritērijiem darba metožu salīdzināšanai. Pētījumā vērtēti paliekošo koku bojājumi, tajā skaitā sakņu bojājumi, kas izdarīti

ar pievedējtraktora ķēdēm, un pārējie bojājumi, kā arī augsnes sablīvēšanās līdz 80 cm dziļumā un risu veidošanās. Papildus pievešanas apstākļu raksturošanai mērīta augsnes virskārtas vērpes pretestība. Detalizēts augsnes sablīvējuma un vērpes pretestības mērījumu rezultātu izvērtējums dots nodaļā [Augsnes nestspējas raksturojums](#). Tab. 14 dots mērījumu rezultātu kopsavilkums 511. kv. apgabala 182. kv. audzēs, kurās izmēģinātas visas darba metodes un iegūta vispilnīgākā datu kopa.

Salīdzinot vērpes pretestību, vislabākie braukšanas apstākļi ir tehnoloģiskajos koridoros, kuros izmantota 3. darba metode, t.i. pievedējtraktors ar ECO-Baltic ķēdēm uz aizmugurējiem tandēmiem un bez ķēdēm uz priekšējiem tandēmiem. Vērpes pretestības rādītāju atšķirība nav statistiski būtiska. Līdzīga tendence vērojama, salīdzinot penetrācijas pretestību 0-20 cm dziļumā. Būtiski, ka vērpes pretestība ir vidēji 20 reizes lielāka, nekā penetrācijas pretestība. Tas nozīmē, ka braukšanas apstākļus nosaka galvenokārt sakņu un kritalu veidots paklājs, nevis augsnes īpašības. Uz tehnoloģiskajiem koridoriem braukšanas apstākļi ir vēl labāki, jo tur ieklāti pameža koki un mežizstrādes atliekas. Vērpes pretestības mērījumos ņemta vērā tikai augsnes, sakņu, zemsedzes augu un kritalu radītā pretestība. Salīdzinoši lielākais risu dziļums konstatēts vietās, kur strādājis pievedējtraktors ar ECO-Baltic ķēdēm uz abiem tandēmiem, vismazākais – kur strādājis traktors ar ECO-Baltic ķēdēm uz aizmugurējiem tandēmiem un bez ķēdēm uz priekšējiem tandēmiem, tomēr atšķirība nav statistiski būtiska. Nevienā no izmēģinājumu audzēm neveidojās rīsi, kas pārsniegtu kvalitātes prasībās noteiktos rādītājus.

Salīdzinoši vairāk ķēžu radīto bojājumu konstatēts tehnoloģiskajos koridoros, kur izmantotas ķēdes ar palielinātu virsmas laukumu, taču atšķirība nav statistiski būtiska; attiecīgi, pētījuma rezultāti nenorāda uz koku bojājumu īpatsvara palielināšanos, izmantojot platākas ķēdes. Tomēr pievedējtraktora radīto bojājumu īpatsvars visos variantos ir salīdzinoši liels – 40 % no kopējā bojājumu daudzuma. Pētījuma ietvaros līdz šim veiktajos mašinizētās jaunaudzju kopšanas izmēģinājumos pievedējtraktora radīto bojājumu īpatsvars parasti nepārsniedza 5 %. Iespējams, ka tas saistīts ar būtiski lielāku pievedamo kokmateriālu apjomu, attiecīgi, pievedējtraktoram jābrauc pa vienu un to pašu vietu vairāk reizes, nekā jaunaudzju kopšanā. Palielēto koku un augsnes bojājumu apjomu lielā mērā nosaka pārvietošanās reižu skaits; izmēģinājumos vairākas kravas bija nepilnas (vidējā krava līdz 80% no pievedējtraktora kravnesības). Att. 21 redzams braukšanas maršruts 6 kravu izvešanai. Saskaņā ar degvielas uzskaites sistēmai, šo kravu veidošanai un pievešanai nobraukti 2,3 km, tajā skaitā 1,5 km iebraukšanai un izbraukšanai no audzes un 0,8 km – vācot kokmateriālu audzē un izkraujoties. Faktiski pievedējtraktors 6 reizes izbrauc visu koridoru abos virzienos. Atbilstoši kokmateriālu koncentrācijai ap tehnoloģiskajiem koridoriem ($0,27 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$), 10 m^3 lielas kravas izveidošanai jānobrauc 37 m, bet analizēto 6 kravu savākšanai – 0,2 km, attiecīgi, 4 reizes mazāk. Problēmas risinājums ir jauktu kravu veidošana. Darba ražīguma zudumu izkraušānās laikā kompensēs ātrāka kravu veidošana un būtiski mazāks darba laika patēriņš pārbraucieniem. Materiāla šķirošana augšgala krautuvē nodrošinās arī būtiski mazāku ietekmi uz vidi, samazinot pārbraucienu skaitu.



Att. 21: Vienas kravas veidošanai nobrauktais maršruts.

Salīdzinot penetrācijas pretestības izmaiņas (augšnes sablīvēšanos uz tehnoloģiskajiem koridoriem), būtiski lielāks augšnes sablīvējums 0-20 cm dziļumā konstatēts tehnoloģiskajos koridoros, kur izmantota 1. darba metode. Arī tehnoloģiskajos koridoros, kur kokmateriāli pievesti ar pievedējtraktoru, kas aprīkots ar platākām ķēdēm uz aizmugurējiem tandēmiem konstatēts lielāks sablīvējums, nekā variantā, kad izmantotas ECO-Baltic ķēdes uz visiem tandēmiem, tomēr atšķirība nav statistiski būtiska. Iegūtie rezultāti apstiprina iepriekš veiktajos pētījumos izdarīto secinājumu, ka ķēžu izmantošana uz visiem pievedējtraktora tandēmiem ļauj samazināt augšnes sablīvējumu. Būtiska atšķirība starp testētajiem ķēžu tipiem nav konstatēta, attiecīgi, šaurāku vai platāku ķēžu izmantošana ir uzņēmēja izvēle. Platāku ķēžu izmantošana ļauj samazināt tehnikas dīkstāves riskus, gaidot pievešanai labvēlīgus apstākļus.

Visos variantos augšnes penetrācijas pretestība 0-20 cm dziļumā ir palielinājusies vismaz 2 reizes, attiecīgi, ūdens horizontālā kustība caur tehnoloģiskajiem koridoriem ir traucēta, taču pagaidām pietrūkst empīriskais materiāls, lai šo ietekmi novērtētu skaitliski. Augšnes penetrācijas pretestība nevienā no variantiem augšnes virskārtā nepietuvojas sakņu augšanai kritiskajiem 2-3 MPa.

Tab. 14: Bojājumu un ietekmes uz augšni raksturojums 511. kv. apgabala 182. kv. audzēs

Darba metode	Risu dziļums, cm	Ķēžu bojājumi, gab. ha ⁻¹	Pārējie bojājumi, gab. ha ⁻¹	Vērpes pretestība, MPa	Penetrācijas pretestība kontroles PL 0-20 cm dziļumā, MPa	Penetrācijas pretestība uz TK 0-20 cm dziļumā, MPa	Penetrācijas pretestības izmaiņas, %
1	1,20	29	38	8,02	0,39	0,86	125,61%
2	0,93	31	26	8,10	0,39	0,99	165,20%
3	0,71	30	49	8,18	0,41	1,13	201,17%
Vidēji	0,99	30	35	8,09	0,40	0,97	156,56%

Lai salīdzinātu dažādu faktoru ietekmi uz bojājumiem, veikta korelācijas analīze. Ķēžu radīto bojājumu daudzumam konstatēta būtiska korelācija ar vērpes pretestību ($R = -0,41$), t.i. jo lielāka vērpes pretestība, jo mazāk ķēžu radīto bojājumu konstatēts.

Pievestās kravas

Kopā 178. un 182. kv. audzēs, kur veikta darba laika uzskaite un kravu svēršana, pievestas 396 tonnas kokmateriālu (aptuveni 495 m³). Kopā šajā platībā pievestas 72 kravas (Tab. 15). Kravu raksturojums sadalījumā pa audzēm un tehnoloģiskajiem koridoriem, tajā skaitā primārais pievesto kokmateriālu veids, masa un darba metode, dots Tab. 16.

Tab. 15: Pievesto kravu skaits

Audze	Koridors	Kravas koridorā
511-178	1	7
	2	6
	kopā	13
511-182	1	4
	2	4
	3	6
	4	6
	5	5
	6	4
	7	4
	9	5
	10	4
	11	4
	12	3
	13	4
	14	6
	kopā	59

Tab. 16: Pievesto kravu raksturojums

Cirsmas kods	TK	Krava cirmā	Krava koridorā	Primārais sortiments	Darba metode	Masa, kg
511-178	1	1	1	Baļķi	1	7290
511-178	1	2	2	Baļķi	1	5350
511-178	1	3	3	PM	1	5990
511-178	1	4	4	PM	1	5330
511-178	1	5	5	PM	1	4960
511-178	1	6	6	Malka	1	1480
511-178	1	7	7	Malka	1	3570
511-178	2	8	1	PM	2	4370
511-178	2	9	2	Baļķi	2	6690
511-178	2	10	3	PM	2	11260
511-178	2	11	4	PM	2	7190
511-178	2	12	5	PM	2	6660
511-178	2	13	6	Malka	2	3670
511-182	1	1	1	PM	1	6030
511-182	1	2	2	PM	1	7840

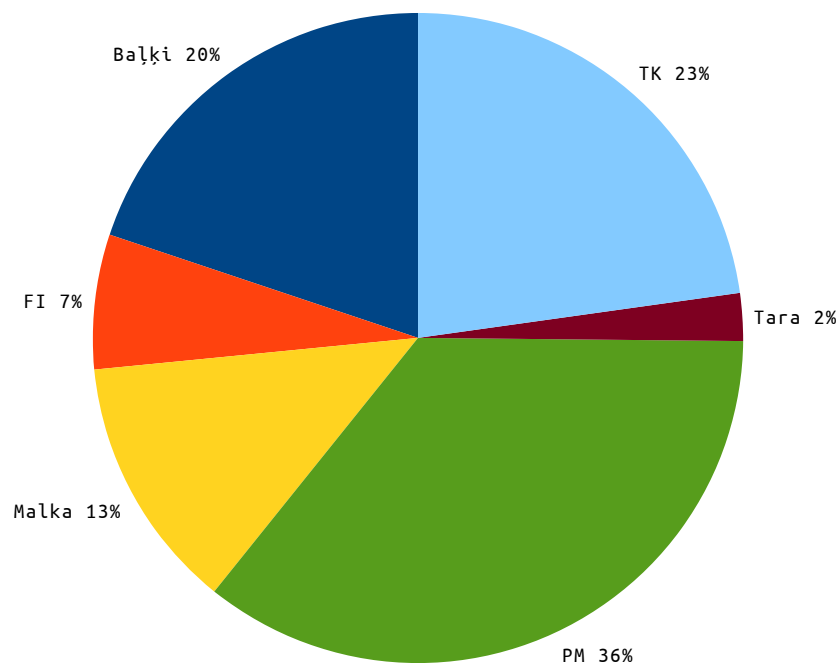
Darba rezultāti

Atjaunojamo energoresursu produktu ražošanas,
pārstrādes un loģistikas rūpnieciskais pētījums

Cirsmas kods	TK	Krava cirsma	Krava koridorā	Primārais sortiments	Darba metode	Masa, kg
511-182	1	3	3	PM	1	4800
511-182	1	4	4	Tara	1	2530
511-182	2	38	1	Baļķi	2	290
511-182	2	39	2	TK	2	5830
511-182	2	40	3	PM	2	5880
511-182	2	41	4	PM	2	6130
511-182	2	42	5	Malka	2	4530
511-182	3	5	1	PM	1	6090
511-182	3	6	2	TK	1	7820
511-182	3	7	3	PM	1	6430
511-182	3	8	4	Malka	1	4940
511-182	3	9	5	FI	1	6550
511-182	3	10	6	Malka	1	1560
511-182	4	43	1	Baļķi	2	7870
511-182	4	44	2	PM	2	6030
511-182	4	45	3	PM	2	3860
511-182	4	46	4	TK	2	5370
511-182	4	47	5	Malka	2	3530
511-182	4	48	6	FI	2	1600
511-182	5	11	1	PM	1	6400
511-182	5	12	2	PM	1	6610
511-182	5	13	3	TK	1	5820
511-182	5	14	4	FI	1	6890
511-182	5	15	5	FI	1	2340
511-182	6	23	1	PM	3	6080
511-182	6	24	2	TK	3	5960
511-182	6	25	3	Malka	3	5040
511-182	6	26	4	FI	3	5100
511-182	7	49	1	Baļķi	2	7180
511-182	7	50	2	PM	2	5710
511-182	7	51	3	PM	2	4700
511-182	7	52	4	Malka	2	1750
511-182	9	27	1	Baļķi	3	10580
511-182	9	28	2	PM	3	6190
511-182	9	29	3	TK	3	13430
511-182	9	30	4	Tara	3	5180
511-182	9	31	5	TK	3	4290
511-182	10	16	1	PM	1	6190
511-182	10	17	2	TK	1	9190
511-182	10	18	3	PM	1	6220
511-182	10	19	4	PM	1	6680
511-182	11	57	1	TK	2	5040

Cirsmas kods	TK	Krava cīsmā	Krava koridorā	Primārais sortiments	Darba metode	Masa, kg
511-182	11	58	2	Baļķi	2	5740
511-182	11	59	3	Baļķi	2	2590
511-182	11	60	4	Tara	2	1670
511-182	12	20	1	TK	1	6450
511-182	12	21	2	Malka	1	6050
511-182	12	22	3	FI	1	2650
511-182	13	53	1	TK	2	6200
511-182	13	54	2	PM	2	6520
511-182	13	55	3	TK	2	2690
511-182	13	56	4	FI	2	1410
511-182	14	32	1	Baļķi	3	5240
511-182	14	33	2	PM	3	6240
511-182	14	34	3	PM	3	5440
511-182	14	35	4	TK	3	6230
511-182	14	36	5	TK	3	5870
511-182	14	37	6	Malka	3	3020

Lielākā daļa no sagatavotajiem kokmateriāliem ir papīrmalka un tehnoloģiskā koksne (kopā 59 %, Att. 22); pārējie kokmateriālu veidi ir zāģbaļķi, malka, finierkluči un taras kluči.



Att. 22: Sagatavoto kokmateriālu struktūra.

Vidējās kravas raksturojums sadalījumā pa kokmateriālu veidiem dots Tab. 17. Vislielākās ir kravas, kurās vesti zāģbaļķi un tehnoloģiskā koksne, vismazākās – finierkluču un taras kravas (Tab. 17). Vidēji katrā kravā pievestas 5,4 tonnas vai 7 m³ kokmateriālu. Plānojot kopējo mežizstrādi, papildus darba laika patēriņš jāparedz kokmateriālu šķirošanai, jo platībās ar mazu augsnes nestspēju pievešana jāplāno tā, lai maksimāli samazinātu atkārtotu

pārbraucienu skaitu. Izmēģinājumos operatoti aptuveni pusē gadījumu veidoja tīrkravas, nevis jauktas kravas, kā tas būt jādara (511. kv. apgabala 178. kvartāla audzēs 50 % bija tīrkravas un 50 % jauktas kravas, bet 182. kv. 55 % bija tīrkravas un 45 % jauktas kravas). Tikai 6 % jaukto kravu bija vairāk par 3 kokmateriālu veidiem.

Vismazākā vidējā krava ir tiem kokmateriālu veidiem, kas veido nelielu daļu no sagatavotā apjoma.

Tab. 17: Vidējās kravas raksturojums atkarībā no pievesto kokmateriālu veida

Primārais sortiments	Masa, kg	Tilpums, m ³
Baļķi	6047	8
FI	3791	5
Malka	3858	5
PM	6131	8
Tara	3127	4
TK	6442	8
Vidēji	5423	7

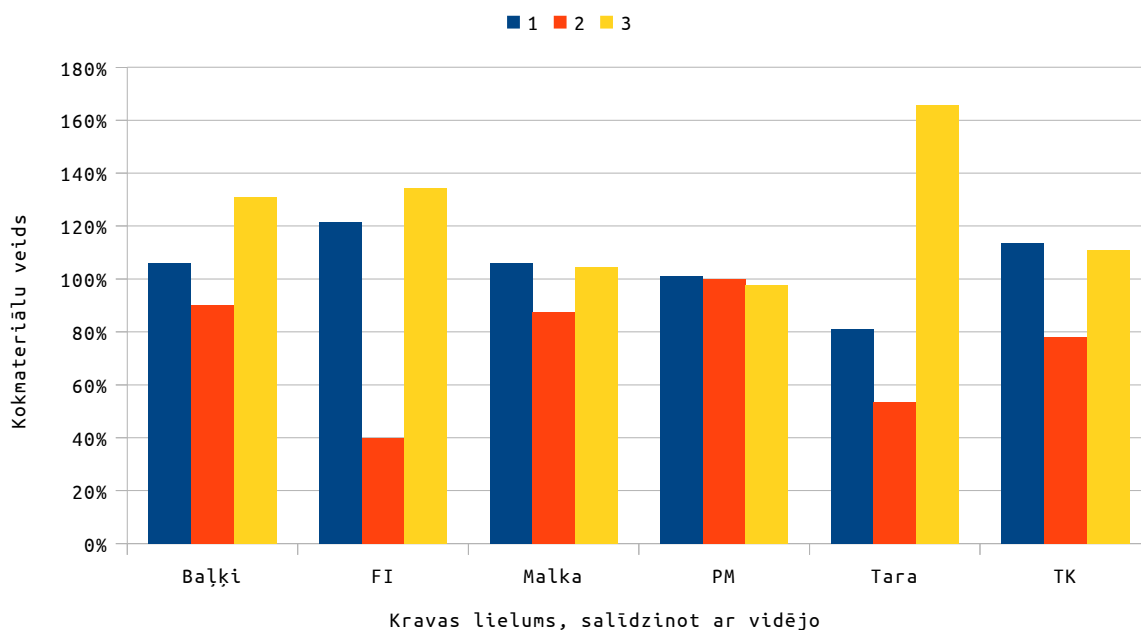
Pievesto kravu raksturojums sadalījumā pa darba metodēm parādīts Tab. 18. Vismazākās kravas ir 2. darba metodē (platas ķēdes) un vislielākās – 3. darba metode (ECO-Baltic ķēdes uz aizmugurējiem tandēmiem). Salīdzinot atšķirības no vidējās kravas (Att. 23), redzams, ka 2. darba metodē visas kravas, izņemot papīrmalku, ir mazākas par vidējo rādītāju. Papīrmalkas kravas ir vienādas visās darba metodēs.

Pētījuma rezultāti neuzrāda objektīvus iemeslus, kāpēc ar 2. darba metodi pievestās kravas ir mazākas, nekā pārējās metodēs, taču līdzīgi rezultāti iegūti arī iepriekšējos pētījumos par kokmateriālu pievešanu kopšanas cirtēs, piemēram, ProSilva pievedējtraktors pieveda tikai nelielu daudzumu kravas, nekā John Deere 810 D bez ķēdēm, kura kravnesība ir vismaz 2 reizes mazāka. Iespējams, ka operatori pielāgojās pievedējtraktora jaudas izmaiņām, uzstādot smagākas ķēdes, un krāva mazākas kravas, taču iespējams, ka operatori jutās komfortablāk ar platākām ķēdēm un vairāk veda tīrkravas, t.i. vairāk veda nepilnas kravas, nebaidoties atkārtoti braukt pa vienu un to pašu ceļu. Neatkarīgi no iemesliem, kāpēc ar labāk aprīkotām mašīnām pievestas mazākas kravas, pētījuma rezultāti norāda uz nepieciešamību efektīvāk izmantot pievedējtraktora kravas telpu un veidot jauktas, pēc iespējas lielākas kravas.

Risu veidošanās un augsnes sablīvēšanās notiek kumulatīvas iedarbības rezultātā, t.i. ietekmes uz augsni novērtējumā jāņem vērā nevis vidējā vai smagākā pievestā krava, bet kopējā pievedējtraktora un visu kravu masa, ko pārved pa tehnoloģisko koridoru. Jo lielāka ir atsevišķas kravas masa, jo mazāka ir kopējā masa, kas pārvietojas pa tehnoloģisko koridoru, jo vismaz puse no šīs masas ir pats pievedējtraktors, attiecīgi, apvienojot nepilnu finierkluču un nepilnu taras kravu, kopējā pārvadājamā masa samazinās par pievedējtraktora masu.

Tab. 18: Vidējās kravas raksturojums atkarībā no pievesto kokmateriālu veida un darba metodes

Darba metode	Baļķi	FI	Malka	PM	Tara	TK	Vidēji
1	8	6	5	8	3	9	7
2	7	2	4	8	2	6	6
3	10	6	5	7	6	9	8
Vidēji	8	5	5	8	4	8	7



Att. 23: Kravas lielums dažādās darba metodēs, salīdzinot ar vidējo attiecīgā kokmateriālu veida kravu.

Visvairāk kokmateriālu izmēģinājumos pievests ar 1. un 2. darba metodi, gandrīz 2 reizes mazāk – ar 3. metodi (Tab. 19). Trešajā metodē procentuāli ir vislielākais finiera, taras un tehnoloģiskās koksnes īpatsvars, kas var daļēji izskaidrot lielāku vidējo kravu, strādājot ar šo metodi, t.i. operators izveda visus finierklučus un taru 2 salīdzinoši pilnās kravās un neveidoja nepilnas kravas.

Tab. 19: Kopējais pievesto kokmateriālu apjoms

Darba metode	Baļķi	FI	Malka	PM	Tara	TK	Vidēji
1	24	23	36	77	3	37	200
2	54	4	17	69	2	31	177
3	20	6	10	30	6	45	117
Vidēji	98	33	63	176	12	113	495

Degvielas patēriņš

Pētījumā vērtēts vidējais degvielas patēriņš veidojot kravas un izkraujoties, kā arī degvielas patēriņš pārbraucienā laikā. Degvielas patēriņš noteikts katrai kravai atsevišķi. Tab. 20 redzams vidējais degvielas patēriņš stundā dažādu kokmateriālu veidu kravām, atkarībā no izmantotās darba metodes. Vismazākais patēriņš bijis, veicot pievešanu ar platākajām ķēdēm uz aizmugurējiem tandēmiem, vislielākais – pievedot kokmateriālus ar ECO-Baltic ķēdēm uz visiem tandēmiem. Tomēr atšķirība nav statistiski būtiska. Vidējais degvielas patēriņš kokmateriālu pievešanā ir 8,8 L stundā. Pētījuma rezultāti norāda uz to, ka ķēžu izmantošana nerada ietekmi uz degvielas patēriņu apstākļos, kādos veikti izmēģinājumi. Lai gan pētījumā nav novērtēts pievedējtraktora bez ķēdēm darba ražīgums un degvielas patēriņš, kam teorētiski jābūt mazākam, nekā jebkuram variantam ar ķēdēm. Pētījuma rezultāti netieši norāda arī uz to, ka platāku ķēžu pielietošana izmēģinājumam raksturīgos apstākļos

nepalielina slodzi uz tehniku, taču slodzes pieaugums iespējams smagākos pievešanas apstākļos.

Tab. 20: Degvielas patēriņš L stundā sadalījumā pa darba metodēm un kokmateriālu veidiem

Darba metode	Baļķi	FI	Malka	PM	Tara	TK	Vidēji
1	9,8	9,2	9,2	8,9	9,1	10,2	9,2
2	8,9	7,2	8,9	8,1	10,1	8,3	8,5
3		8,7	8,9	8,9	9,8	6,3	9,0
Vidēji	9,0	8,9	9,0	8,3	9,7	8,0	8,8

Vidējais degvielas patēriņš 1 m³ pievešanai ir 0,8 L, vislielākais – izmantojot ķēdes ar palielinātu virsmas laukumu, un vismazākais – ar ECO-Baltic ķēdēm (Tab. 21). Degvielas patēriņa pieaugums, pievedot kokmateriālus ar traktoru, kas aprīkots ar platākām ķēdēm, saistīts ar to, ka šajā variantā vidējā pievestā krava bija būtiski mazāka, attiecīgi, darba laika patēriņš kokmateriālu pievešanai – proporcionāli lielāks.

Tab. 21: Degvielas patēriņš L m⁻³ sadalījumā pa darba metodēm un kokmateriālu veidiem

Darba metode	Baļķi	FI	Malka	PM	Tara	TK	Vidēji
1	0,690	0,517	1,026	0,435	0,497	0,536	0,541
2	1,624	0,300	1,191	0,855	1,533	0,751	1,058
3		0,531	0,778	0,447	0,901	0,663	0,757
Vidēji	1,468	0,503	1,075	0,736	0,885	0,686	0,816

Degvielas patēriņš tīrkravām, kad vests tikai viens kokmateriālu veids, parādīts Tab. 22 un Tab. 23. Arī šādā griezumā vismazākais vidējais stundas patēriņš konstatēts, vedot kokmateriālus ar traktoru, kas aprīkots ar platākām ķēdēm uz aizmugurējiem tandēmiem, bet vislielākais degvielas patēriņš bijis traktoram, kas aprīkots ar ECO-Baltic ķēdēm uz aizmugurējiem tandēmiem. (pazudis teikuma turpinājums)

Salīdzinot pievesto kokmateriālu apjomu un degvielas patēriņu, vismazākais patēriņš ir darba metodē, kad uz abiem tandēmiem uzstādītas ECO-Baltic ķēdes (0,5 L m⁻³), bet vislielākais – vedot kravas ar traktoru, kam uz uzstādītas ķēdes ar palielinātu virsmas laukumu.

Tab. 22: Degvielas patēriņš L stundā sadalījumā pa darba metodēm un kokmateriālu veidiem tīrkravās

Darba metode	Baļķi	FI	Malka	PM	SPM	Vidēji
1		8,8	9,2	9,2	9,4	9,1
2	9,8	7,2	8,0	8,5		8,5
3	10,2		10,3	9,1		9,8
Vidēji	10,1	8,4	9,2	8,9	9,4	9,0

Tab. 23: Degvielas patēriņš L m⁻³ sadalījumā pa darba metodēm un kokmateriālu veidiem tīrkravās

Darba metode	Baļķi	FI	Malka	PM	SPM	Vidēji
1		0,462	1,026	0,470	0,480	0,530
2	4,966	0,300	0,636	0,586		1,104
3	0,696		1,272	0,506		0,735
Vidēji	2,119	0,421	0,978	0,529	0,480	0,785

Viens no būtiskākajiem rādītājiem, kas ietekmē pievešanas izmaksas un darba ražīgumu, ir degvielas patēriņš pārbraucienos – iebraucot cīsmā un izbraucot no tās ar kravu.

Pārbraucienā laikā operatori palielina dzinēja apgriezienus, attiecīgi pieaug arī degvielas patēriņš. Tab. 24 redzams, ka visātrāk bez kravas pārvietojās pievedējtraktors, kam ECO-Baltic ķēdes uzstādītas uz (vidējais ātrums 89 m min^{-1} , bet variantos, kad abi tandēmi bija aprīkoti ar ķēdēm, pārvietošanās ātrums bija būtiski mazāks. Arī degvielas patēriņš 3. darba metodē ir būtiski lielāks, nekā pārējos variantos (18 L stundā). Tas nozīmē, ka degvielas patēriņu ietekmē ne tik daudz ķēžu esamība un virsmas laukums, bet gan braukšanas ātrums, lai gan smagos pievešanas apstākļos situācija var mainīties. Degvielas patēriņš pārbraucienos ir vismaz 2 reizes lielāks, nekā vidējais degvielas patēriņš kravas sagatavošanai, pievešanai un izkraušanai. Iegūtie rezultāti norāda uz nepieciešamību efektīvāk izmantot pievedējtraktora kravas telpu, izvairoties no nepilnu kravu pievešanas un nepieciešamības gadījumā veidojot jauktas kravas. Attiecīgi, lielāku kravu veidošana ne tikai samazinās pievedējtraktora radīto negatīvo ietekmi uz vidi, bet ļaus samazināt arī kokmateriālu pievešanas izmaksas.

Tab. 24: Degvielas patēriņš L stundā pārbraucienos

Darba metode	Braukšanas laiks, min.	Attālums, m	Patēriņš, L	Ātrums, m min^{-1}	L km^{-1}	L stundā
1	12	900	3,0	75,0	3,3	15,0
2	10	800	2,6	80,0	3,3	15,6
3	9	800	2,7	88,9	3,4	18,0

Pievešanas darba ražīgums

Darba laika uzskaitē veikta kokmateriālu pievešanai, vienlaicīgi fiksējot darba laika sadalījumu, kokmateriālu masu un degvielas patēriņu. Degvielas patēriņa uzskaitē ļauj novērtēt arī pievešanas laikā nobraukto attālumu. Izmantojot platās ķēdes uz (2. darba metode), 1 m^3 pievešanai nobraukts būtiski lielāks attālums, nekā pārējās darba metodēs (Tab. 25). Iegūtais rezultāts sasaistās ar iepriekšējās nodaļas izdarīto secinājumu par neefektīvu kravas telpas izmantošanu, izmantojot 2. darba metodi. Ņemot pievešanas ceļa garuma ietekmi (Tab. 26), atšķirība starp darba metodēm saglabājas un vislielākais nobrauktais attālums uz 100 m ceļa, pievedot 1 m^3 kokmateriālu, ir 2. darba metodē.

Tab. 25: Pievedējtraktora nobrauktais attālums, km m^{-3}

Darba metode	Bajķi	FI	Malka	PM	Tara	TK	Vidēji
1	0,073	0,052	0,103	0,034	0,044	0,055	0,052
2	0,228		0,153	0,084	0,240	0,074	0,126
3		0,068	0,095	0,053	0,110	0,104	0,096
Vidēji	0,202	0,052	0,131	0,071	0,109	0,081	0,095

Tab. 26: Pievedējtraktora nobrauktais attālums, metri $\text{m}^{-3} 100 \text{ m}^{-1}$

Darba metode	Bajķi	FI	Malka	PM	Tara	TK	Vidēji
1	0,39	0,28	0,55	0,18	0,23	0,29	0,28
2	1,39		0,93	0,51	1,46	0,45	0,77
3		0,4	0,56	0,31	0,64	0,61	0,56
Vidēji	1,16	0,3	0,75	0,41	0,63	0,46	0,54

Darba laika patēriņš minūtēs 1 kravas sagatavošanai, pievešanai un izkraušanai sadalījumā pa darba metodēm parādīts Tab. 27. Salīdzinoši visilgāk veidotas kravas 3. darba metodē, taču

šajā variantā pievestās kravas ir arī vislielākās. Vismazākais izkraušanas laiks ir 1. darba metodē, taču iegūtajam rezultātam var būt arī nejaušs raksturs.

Tab. 27: Darba ražīguma rādītāju kopsavilkums darba metožu griezumā (min. krava)

Metode	Iebrauc	Sniedzas	Satver	Ieceļ	Kārto	Brauc cīrsmā	Pako ceļu	Citas darbības	Izbrauc	Sniedzas izkraujot	Satver izkraujot	Izkrauj	Kārto izkraujot	Pārvietojas izkraujot	Pārtraukums	Tiešais darba laiks	Efektīvais laiks	Kopējais laiks	Iekraušana	Izkraušana	Braukšana	Kravas tilpums, m ³	Pieņemšanas ceļa garums, m
1	3,8	2,3	2,5	4,8	1,1	6,2	0,1	0,6	4,4	1,1	0,8	1,9	0,3	0,7	4,4	22,3	30,6	35,0	17,5	4,9	8,3	7,4	240
2	4,1	2,2	2,9	5,1	0,9	6,7	0,0	0,6	5,5	1,1	1,0	2,0	0,8	0,5	2,6	23,8	33,5	36,1	18,3	5,5	9,7	6,7	205
3	2,4	2,9	2,2	5,8	1,1	6,9	0,2	4,1	4,0	1,3	1,1	2,2	0,6	0,8	6,4	29,1	35,5	41,9	23,2	5,9	6,4	8,2	229
Vidēji	3,7	2,3	2,6	5,1	1,0	6,5	0,1	1,3	4,8	1,1	0,9	2,0	0,6	0,7	4,1	24,3	32,8	36,9	19,0	5,3	8,4	7,3	224

Salīdzinot dažādu kokmateriālu veidu pieņemšanas darba ražīgumu, būtisks kritums konstatēts, pievedot taru (Tab. 28). Tas saistīts ar būtisku darba laika patēriņa pieaugumu izkraušanās laikā un citām darba operācijām (kokmateriālu pārkraušana un taml.). Darba laika patēriņa pieaugumam, pievedot taras klučus, nav būtiskas ietekmes uz vidējiem darba ražīguma rādītājiem, taču arī šis piemērs norāda uz nepieciešamību labāk plānot pieņemšanu, lai izvairītos no nepilnām kravām un vienā jauktā kravā vedamos kokmateriālu veidus novietotu blakus augšgala krautuvē.

Tab. 28: Darba ražīguma rādītāju kopsavilkums kokmateriālu veidu griezumā (min. krava)

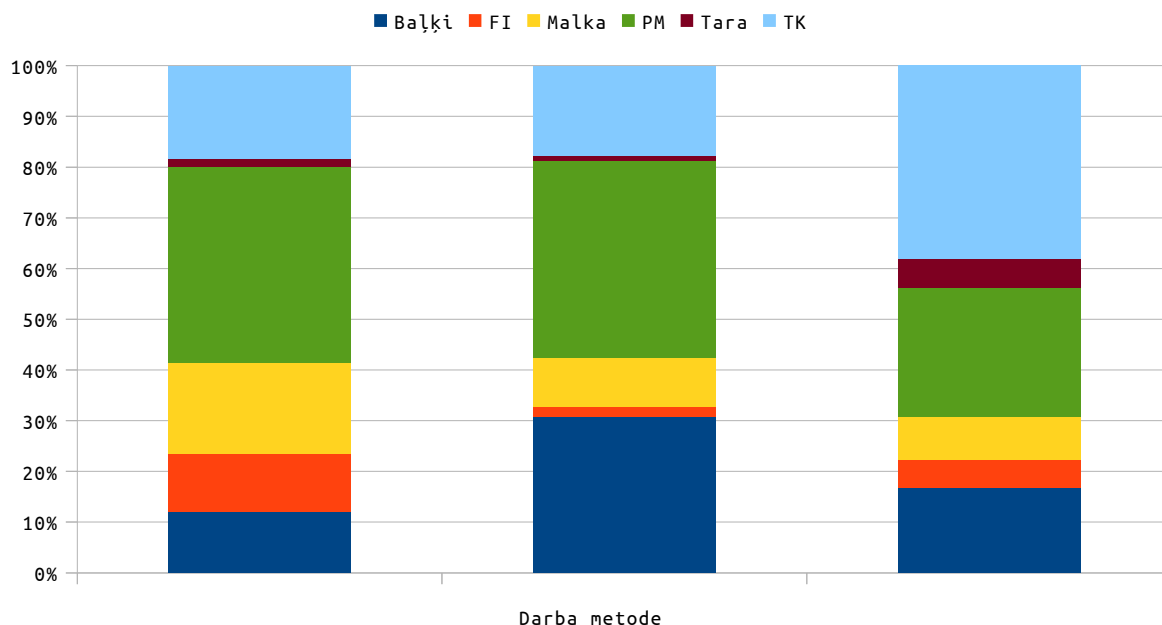
Kravas tips	Iebrauc	Sniedzas	Satver	Ieceļ	Kārto	Brauc cīrsmā	Pako ceļu	Citas darbības	Izbrauc	Sniedzas izkraujot	Satver izkraujot	Izkrauj	Kārto izkraujot	Pārvietojas izkraujot	Pārtraukums	Tiešais darba laiks	Efektīvais laiks	Kopējais laiks	Iekraušana	Izkraušana	Braukšana	Kravas tilpums, m ³	Pieņemšanas ceļa garums, m
Balki	3,2	2,0	2,2	4,4	0,6	7,2	0,0	3,7	1,0	1,0	1,8	0,8	0,7	2,6	0,7	22,5	29,4	32,0	17,1	5,4	6,9	7,9	225
FI	5,6	3,3	4,3	7,7	2,0	8,7	0,5	2,3	1,8	1,5	3,2	0,7	0,5	13,7	0,5	34,7	42,6	56,3	27,1	7,7	7,9	8,7	263
Malka	2,9	1,7	2,0	3,8	0,5	5,1	0,0	4,1	0,7	0,5	1,1	0,3	0,5	2,1	1,1	17,3	24,4	26,5	14,2	3,1	7,1	4,4	206
PM	3,9	1,9	2,4	4,4	1,0	5,2	0,0	5,2	1,1	0,7	1,8	0,4	0,4	1,7	0,5	19,7	28,8	30,5	15,3	4,4	9,1	7,2	211
Tara	13,7	12,4	10,6	24,2	5,0	31,9	0,2	31,7	5,4	5,5	10,4	3,6	5,2	26,3	15,4	129	175	201	99,6	30,1	45,5	6,9	228
TK	1,2	1,4	1,2	2,9	0,5	3,0	0,0	1,1	0,5	0,4	0,9	0,4	0,2	1,8	0,9	12,4	14,7	16,5	9,9	2,5	2,3	8,6	209
Vidēji	3,7	2,3	2,6	5,1	1,0	6,5	0,1	4,8	1,1	0,9	2,0	0,6	0,7	4,1	1,3	24,3	32,8	36,9	19,0	5,3	8,4	7,3	224

Pārreķinot uz darba laika patēriņu 1 m³ pieņemšanai, atšķirības starp darba metodēm samazinās, tomēr, izmantojot 2. darba metodi, kokmateriālu iekraušana un izkraušana prasa nedaudz vairāk laika, bet braukšanai patērēts gandrīz 2 reizes vairāk laika, nekā 3. darba metodē (Tab. 29). Darba laika patēriņa pieauguma iemesli braukšanai izdiskutēti iepriekšējās nodaļās; galvenais iemesls ir nepilnu kravu pieņemšana, kas palielina darba laika patēriņu uz 1 m³.

Tab. 29: Darba ražīguma rādītāju kopsavilkums darba metožu griezumā (min. m³)

Metode	Iebrauc	Sniedzas	Satver	Ieceļ	Kārto	Brauc cīsmā	Pako ceļu	Citas darbības	Izbrauc	Sniedzas izkraujot	Satver izkraujot	Izkrauj	Kārto izkraujot	Pārvietojas izkraujot	Pārtraukums	Tiešais darba laiks	Efektīvais laiks	Kopējais laiks	Iekraušana	Izkraušana	Braukšana
1	0,55	0,33	0,36	0,70	0,15	0,90	0,01	0,09	0,64	0,16	0,12	0,28	0,05	0,11	0,63	3,24	4,43	5,07	2,53	0,70	1,20
2	0,68	0,35	0,47	0,84	0,14	1,09	0,00	0,10	0,90	0,18	0,17	0,33	0,13	0,09	0,43	3,90	5,47	5,90	2,99	0,90	1,58
3	0,31	0,37	0,29	0,75	0,14	0,89	0,02	0,52	0,51	0,16	0,13	0,28	0,08	0,10	0,82	3,72	4,54	5,36	2,97	0,76	0,82
Vidēji	0,54	0,35	0,38	0,76	0,15	0,96	0,01	0,19	0,70	0,17	0,14	0,30	0,09	0,10	0,60	3,59	4,83	5,44	2,80	0,79	1,24

Pievesto kokmateriālu struktūra darba metožu griezumā parādīta Att. 24. Otrajā darba metodē ir būtiski lielāks zāģbaļķu īpatsvars, nekā pārējās darba metodēs, bet 3. metodē ir būtiski lielāks tehnoloģiskās koksnes un mazāks papīrmalkas īpatsvars. Otrajā darba metodē nav konstatēts lielāks sīko dimensiju kokmateriālu īpatsvars, kas varētu negatīvi ietekmēt pievešanas darba ražīgumu.



Att. 24: Pievesto kokmateriālu struktūra darba metožu griezumā.

Augsnes nestspējas raksturojums

Penetrācijas pretestība

Augsnes penetrācijas mērījumu rezultāti augsnes virskārtā (0-20 cm dziļumā) grafiski parādīti Att. 25, Att. 26 un Att. 27. Attēlos var redzēt, ka platības nav viendabīgas un tajās ir atsevišķas vietas ar labākiem augsnes noturības rādītājiem (penetrācijas pretestība pietuvojas 2 MPa), lai gan vairumā gadījumu šādi rādījumi konstatēti uz tehnoloģiskajiem koridoriem pēc kokmateriālu pievešanas. Salīdzinoši vissliktākie pievešanas apstākļi ir 262. kv. audzēs (Att. 27), kur konstatēts arī vislielākais augsnes bojājumu īpatsvars un dziļākās rīses.

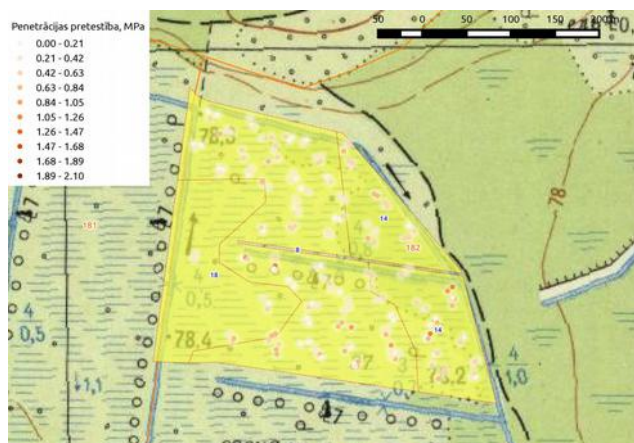


Pirms pievešanas

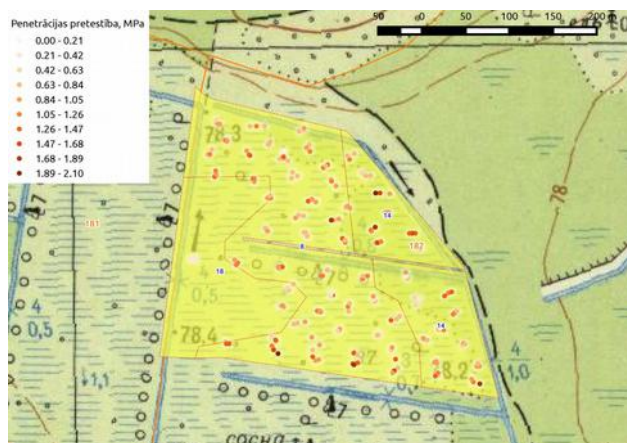


Pēc pievešanas

Att. 25: Penetrācijas pretestība augsnes virskārtā 178. kv. 11. nogabalā.



Pirms pievešanas



Pēc pievešanas

Att. 26: Penetrācijas pretestība augsnes virskārtā 182. kv. 8. un 14. nogabalā.



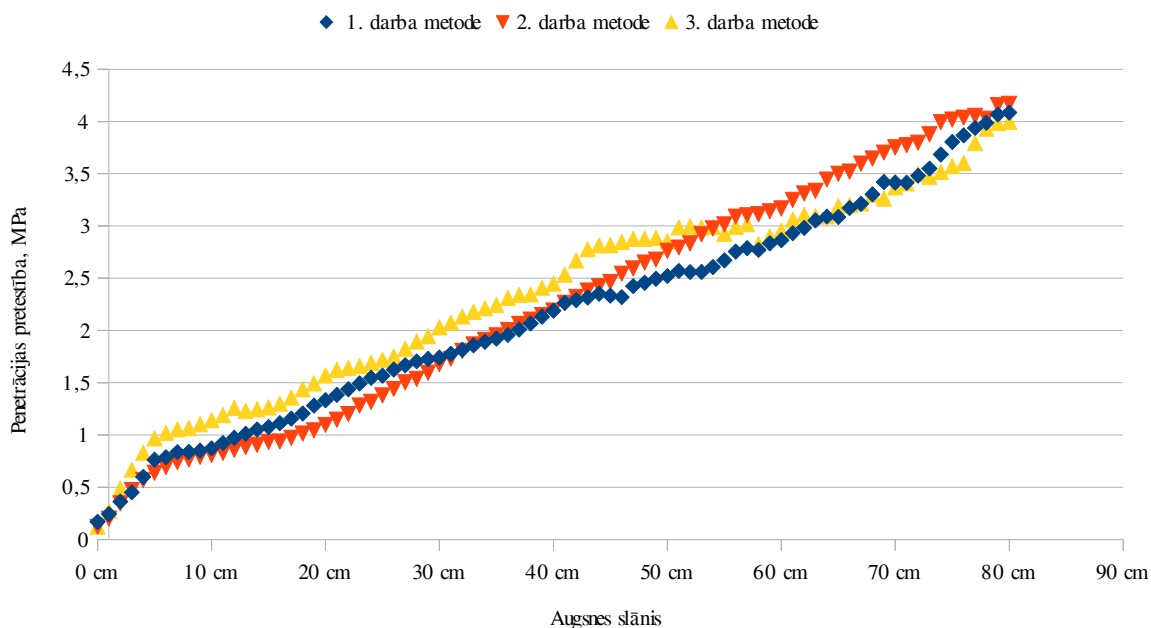
pirms pievešanas



pēc pievešanas

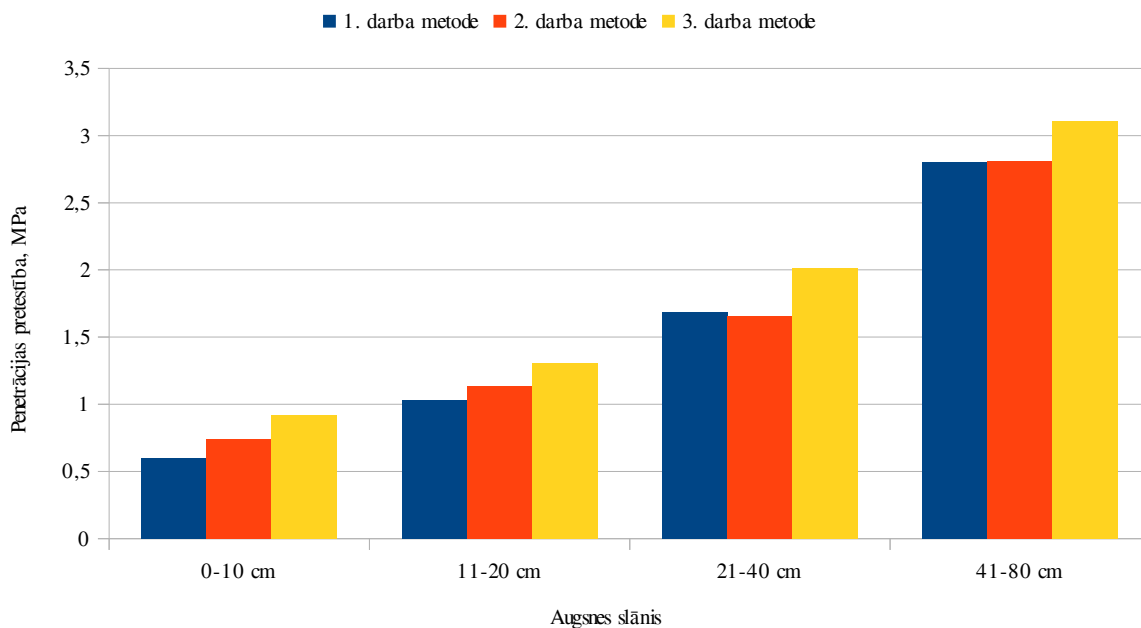
Att. 27: Penetrācijas pretestība augsnes virskārtā 262. kv. 27., 28., 29., 30., 32., 33. un 34. nogabalā.

Salīdzinot augsnes penetrācijas pretestību uz tehnoloģiskajiem koridoriem (182. kv.) pēc pievešanas, nav konstatēta statistiski būtiska atšķirība, taču lielāku augsnes sablīvējumu līdz pat 50 cm dziļumam ir radījusi 3. darba metode (ECO-Baltic ķēdes uz), kas saskan ar iepriekšējos pētījumos gūto atziņu par riteņtraktoru ietekmi uz augsni. Nav konstatēta atšķirība starp 1. un 2. darba metodi, t.i. starp standarta ECO-Baltic ķēdēm un ķēdēm ar palielinātu virsmas laukumu (Att. 28).



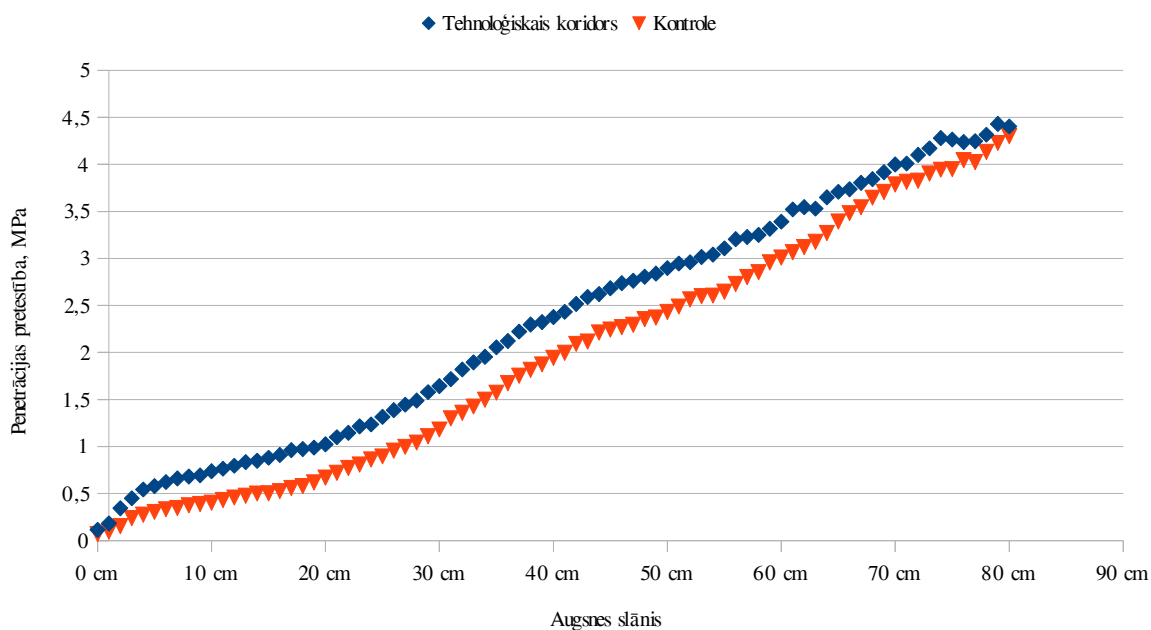
Att. 28: Penetrācijas pretestība tehnoloģiskajos koridoros atkarībā no darba metodes.

Salīdzinot vidējos penetrācijas pretestības rādītājus dažādos augsnes slāņos uz tehnoloģiskajiem koridoriem (Att. 29), statistiski būtiska atšķirība konstatēta tikai 21-40 cm dziļumā – ar pirmo darba metodi augsne sablīvēta būtiski vairāk. Būtiska atšķirība starp 1. un 2. darba metodi nav konstatēta.



Att. 29: Penetrācijas pretestība tehnoloģiskajos koridoros dažādos augsnes slāņos atkarībā no darba metodes.

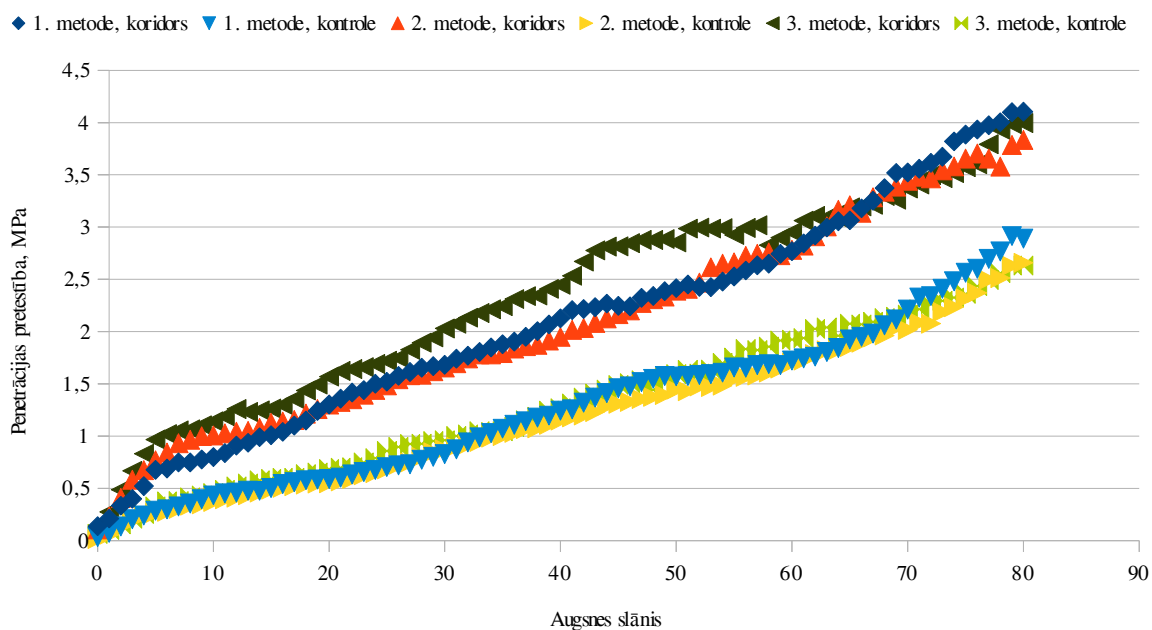
262. kv. nogabalos, kur pievešanā izmantota tikai 2. darba metode, visā mērītā augsnes slāņa biezumā konstatēts būtisks sablīvējums. Atšķirība starp kontroles mērījumiem un penetrācijas pretestību uz tehnoloģiskajiem koridoriem ir salīdzinoši konstanta līdz pat 70 cm dziļumam (Att. 30). Augu sakņu augšanai kritiskā 3 MPa robeža tiek sasniegta 50-60 cm dziļumā; dziļāk augu saknes vairs nevar iespiesties.



Att. 30: Penetrācijas pretestība tehnoloģiskajos koridoros un pārējā audzes daļā, izmantojot ķēdes ar palielinātu virsmas laukumu smagos pievešanas apstākļos (262. kv. audzes).

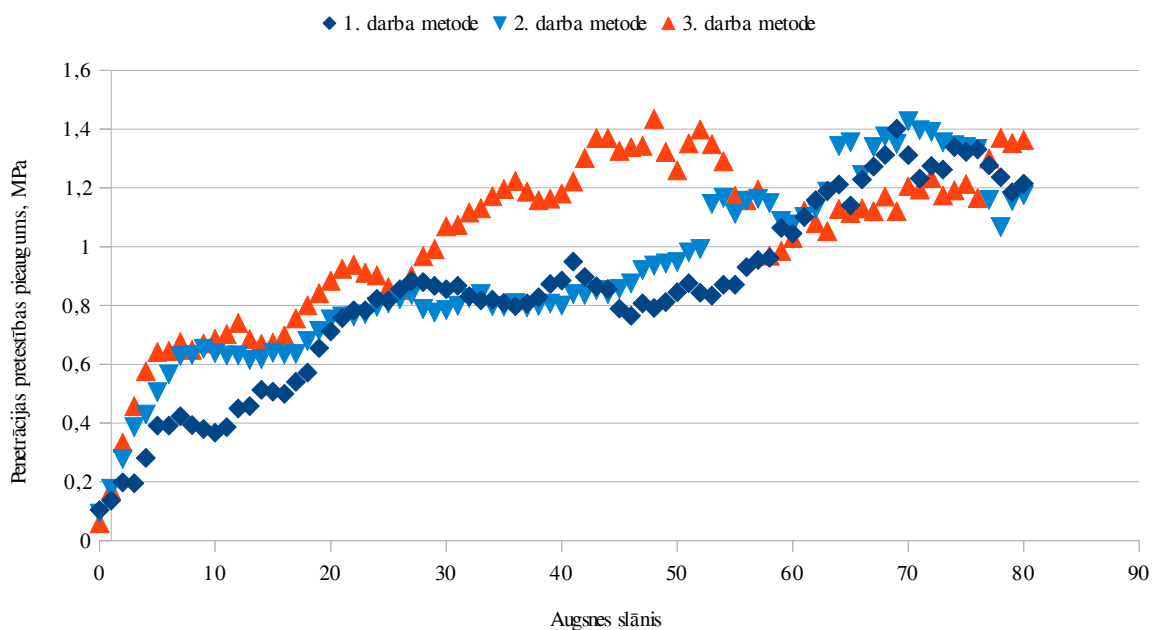
Att. 31 parādīts penetrācijas pretestības mērījumu kopsavilkums salīdzinoši labos pievešanas apstākļos, kur rises pievešanas laikā neveidojās. Grafikā redzams, ka pirms pievešanas penetrācijas pretestība visos koridoros būtiski neatšķīrās, bet pēc pievešanas augsnes penetrācijas pretestība būtiski palielinājusies un atšķirība starp kontroli un mērījumiem uz koridoriem ir lielāka, nekā sliktos pievešanas apstākļos (Att. 30), kur vizuāli novērtējamie bojājumi ir nozīmīgāki.

Kontroles mērījumos augu sakņu augšanai kritiskā 3 MPa robeža netiek pārsniegta līdz 80 cm dziļumam, bet tehnoloģiskajos koridoros penetrācijas pretestība pārsniedz 3 MPa 60-65 cm dziļumā, t.i. saknes, kas tehnoloģiskajos koridoros atrodas dziļāk par šo robežu, pārtrauks augšanu vai ies bojā. Augsnes sablīvējums būtiski ietekmēs arī horizontālo ūdens caurlaidību, kas var būt par iemeslu mežaudzes pārpurvošanai vai koridoru malās augošo koku augšanas gaitas palēnināšanai. Ņemot vērā, ka augsnes sablīvējums konstatēts līdz pat 80 cm dziļumam, kas pārsniedz normālu augsnes sasalšanas robežu, sliktāka ūdens caurlaidība uz tehnoloģiskajiem koridoriem var saglabāties vairākus gadu desmitus.

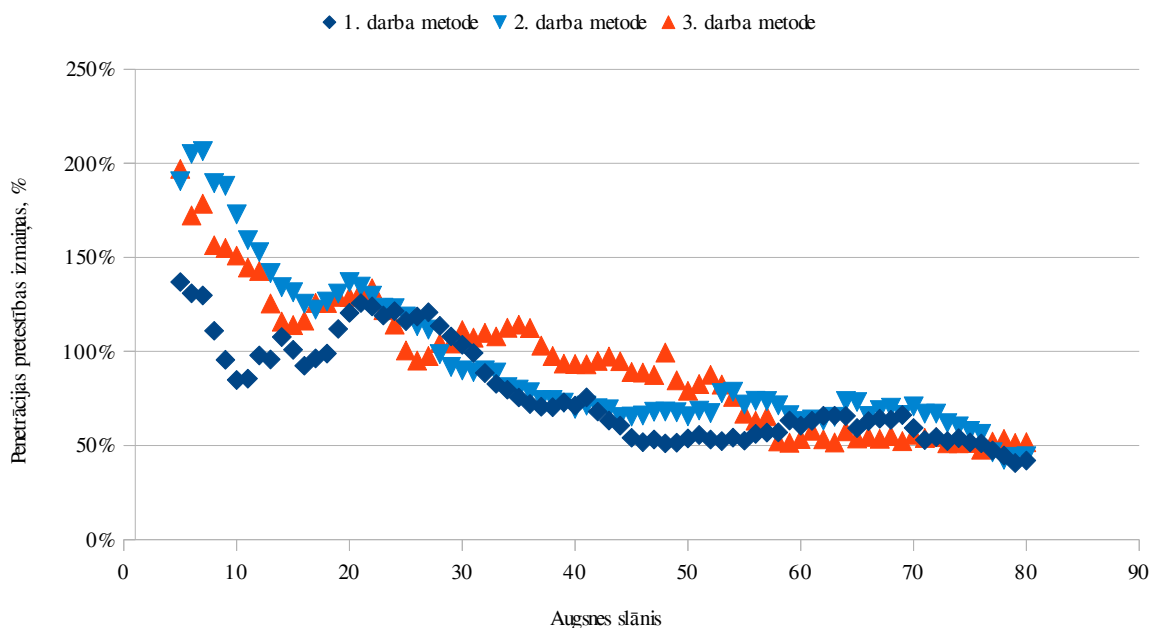


Att. 31: Penetrācijas pretestība tehnoloģiskajos koridoros un pārējā audzes daļā, pielietojot dažādas darba metodes 182. kv. mežaudzēs.

Att. 32 parādīts augsnes penetrācijas pieaugums absolūtās mērvienībās (MPa), bet Att. 33 - relatīvais pieaugums, salīdzinot ar sākotnējo stāvokli. Kūdras slānī līdz 40 cm dziļumam penetrācijas pretestība pieaug par 0,2-1,0 MPa; visvairāk koridoros, kur pielietota 3. darba metode, bet minerālaugsnē – par 1-1,4 MPa. Procentuālā izteiksmē lielāks penetrācijas pretestības pieaugums ir augsnes virskārtā (līdz 200 %), bet 50-80 cm dziļumā penetrācijas pretestība palielinās par 50 %.



Att. 32: Penetrācijas pretestības pieaugums tehnoloģiskajos koridoros, pielietojot dažādas darba metodes 182. kv. mežaudzēs.

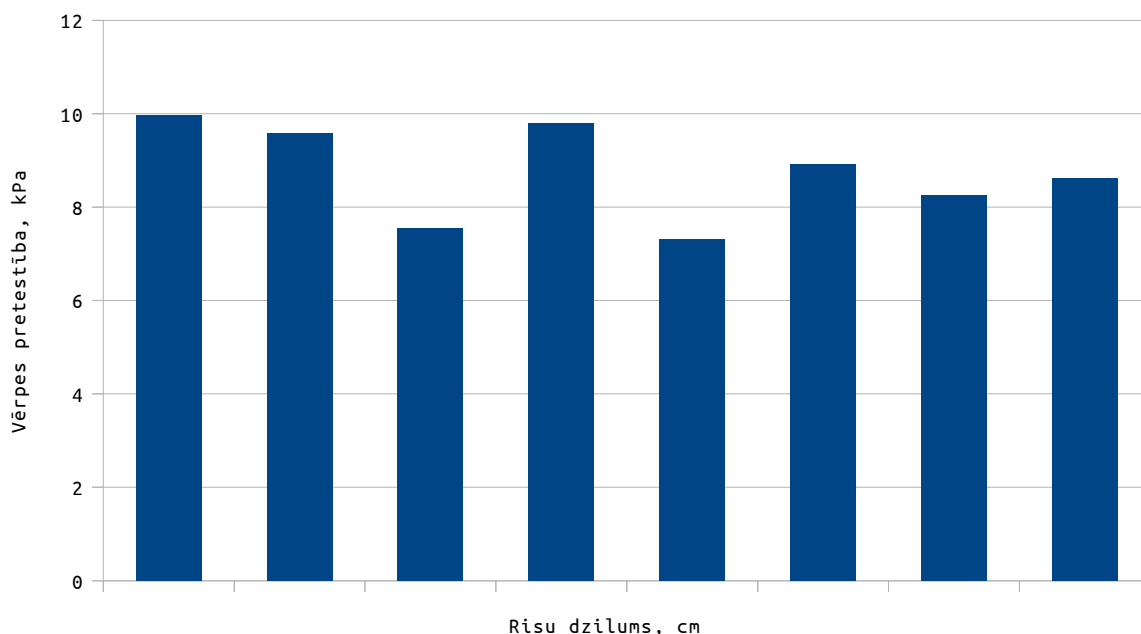


Att. 33: Penetrācijas pretestības procentuālais pieaugums tehnoloģiskajos koridoros, pielietojot dažādas darba metodes 182. kv. mežaudzēs.

Vērpes pretestība

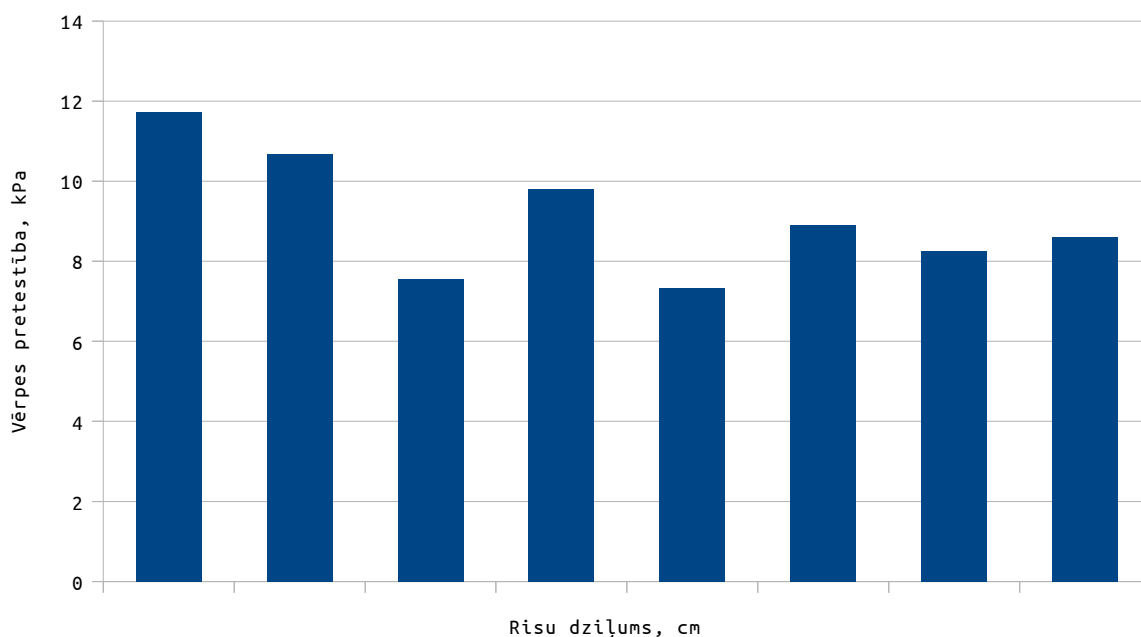
Vērpes pretestības mērījumi paredzēti pievešanas apstākļu raksturošanai. Vērpes pretestību nosaka augsnes īpašības, sakņu tīkls, kritālas un, ja tehnoloģiskajos koridoros ieklātas

mežizstrādes atliekas, arī to klājuma noturība (Eliasson & Wästerlund, 2007). Vērpes pretestība raksturo spēku, kāds jāizmanto, lai izkustinātu (savērtu) augsnes slāni, t.i. kad veidosies risas. Vērpes pretestība augsnes virskārtā ir būtiski lielāka, nekā penetrācijas pretestība, kas raksturo tikai augsnes īpašības (Mulqueen *et al.*, 1977).

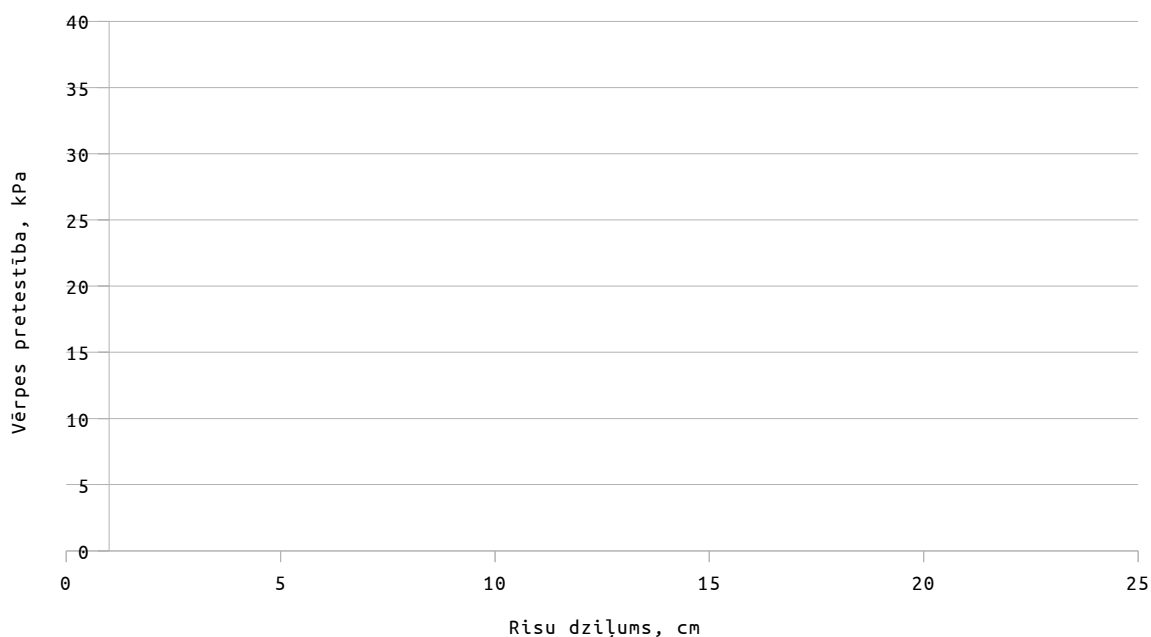


Att. 34: Sakarība starp vērpes pretestību un risu dziļumu.

Sakarība starp augsnes vērpes pretestību un risu dziļumu ir izteiktāka 262. kv. audzēs, kur pievešanas apstākļi bija sarežģītāki un veidojās dziļākas risas (Att. 35). Šo sakarību raksturo pakāpes vienādojums (Att. 36). Objektīvu rezultātu iegūšanai par vērpes pretestību un risu dziļumu izmēģinājumi jāveic galvenajā cirtē, kur pievedējtraktoru operatori necenšas slēpt risas.



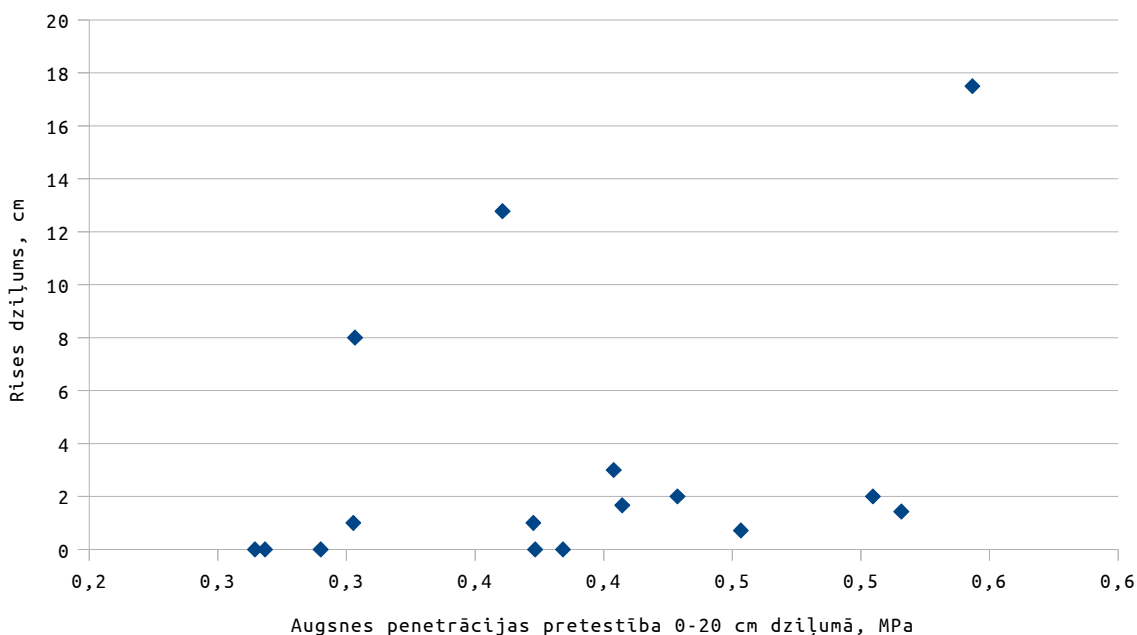
Att. 35: Sakarība starp vērpes pretestību un risu dziļumu 262. kvartāla audzēs.



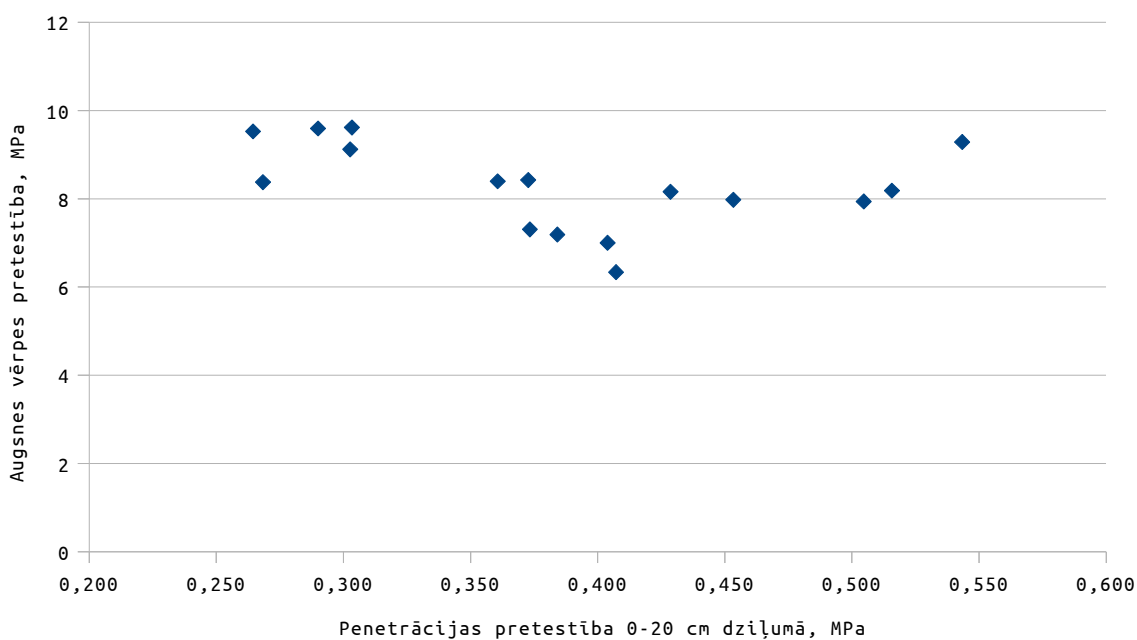
Att. 36: Sakarība risu dziļuma un augsnes virskārtas vērpes pretestības raksturošanai sliktos pievešanas apstākļos (mežaudzes 262. kvartālā).

Att. 37 redzama sakarība starp augsnes penetrācijas pretestību un risu dziļumu, bet Att. 38 parādīta sakarība starp vērpes un penetrācijas pretestību. Abos gadījumos matemātiskā sakarība ir nebūtiska, tomēr vērojama vienāda tendence – jo lielāka augsnes penetrācijas pretestība, jo lielāka ir vērpes pretestība un seklākas rises veidojas. Tas nozīmē, ka penetrācijas pretestība ietekmē augsnes nestspēju, bet noteicošā loma ir augu saknēm,

kritālām un mežizstrādes atliekām. Iespējams, ka vērpes pretestība raksturo to brīdi, kad parādīsies rīses, t.i., kad tiks sagrauta augsnes virskārtas pretestība, bet augsnes dziļāko slāņu penetrācijas pretestība nosaka to, cik dziļas rīses veidosies, turpinot kokmateriālu pievešanu. Šīs hipotēzes pārbaudei, kā arī matemātiskai raksturošanai nepieciešama lielāka empīriskā materiāla datu kopa, kā arī izmēģinājumos jākoncentrējas uz galveno cirti, kur var iegūt objektīvu informāciju par rīsu dziļumu.



Att. 37: Sakarība rīsu dziļuma un augsnes virskārtas penetrācijas pretestības raksturošanai.



Att. 38: Sakarība vērpes pretestības un augsnes virskārtas penetrācijas pretestības raksturošanai.

Pašizmaksu ietekmējošo faktoru analīze

Pašizmaksas analīzē vērtēta apaļo kokmateriālu sagatavošana, pievešana un piegāde uz patēriņa vietu. Izmaksu rādītāji pieņemti atbilstoši pētījumos par Moipu 300F griezējgalvu iegūtajiem datiem (Lazdiņš *et al.*, 2015). Tab. 30, Tab. 31 un Tab. 32 apkopotas tehnikas izmaksas (EUR gadā), darba ražīguma rādītāji (pievedējtraktoram atbilstoši izmēģinājumu rezultātiem, pārējām tehnikas vienībām vienādi visām darba metodēm), ikgadējais ražošanas apjoms un aprēķinātā pašizmaksa atbilstoši faktiskajām zāģējamo koku dimensijām izmēģinājumos. Salīdzinoši vislielākās ikgadējās pievedējtraktora izmaksas ir 1. darba metodē, kas saistīts ar lielākām mainīgajām izmaksām, ko, savukārt, ietekmē darba ražīgums. Investīcijas visos aprēķinu variantos atšķiras ar pieņēmumiem par ķēžu izmaksām – bāzes variantā (1. darba metode) ķēžu izmaksas pieņemtas 15 tūkst. EUR, 2. darba metodē ķēžu cena pieņemta 20 tūkst. EUR, bet 3. darba metodē, pieņemot, ka izmanto tikai 1 standarta ķēžu pāri – 8 tūkst. EUR.

Tab. 30: Kokmateriālu pašizmaksas analīze, pielietojot 1. darba metodi

Tehnika	Harvesters	Pievedējtraktors	Kokvedējs
Atsevišķas tehnikas vienības izmaksas, EUR gadā			
Investīcijas	€ 65 678	€ 39 095	€ 17 301
Personāls	€ 63 031	€ 49 581	€ 16 423
Operacionālās izmaksas	€ 235 979	€ 63 775	€ 37 692
Plānotā peļņa	€ 18 234	€ 7 623	€ 3 571
Kopā, EUR gadā	€ 382 922	€ 160 073	€ 74 987
Ražīgums			
Ražīgums, m ³ E15-h ⁻¹	8,1	14,6	14,7
Atsevišķas tehnikas vienības gada laikā saražoto kokmateriālu apjoms			
apaļie kokmateriāli, m ³ gadā	37320	60012	26242
Rezultāts			
Kokmateriāli, EUR m ⁻³	€ 10,26	€ 2,40	€ 2,86

Tab. 31: Kokmateriālu pašizmaksas analīze krājas kopšanas cirtē, pielietojot 2. darba metodi

Tehnika	Harvesters	Pievedējtraktors	Kokvedējs
Atsevišķas tehnikas vienības izmaksas, EUR gadā			
Investīcijas	€ 65 678	€ 40 122	€ 17 301
Personāls	€ 63 031	€ 49 581	€ 16 423
Operacionālās izmaksas	€ 235 979	€ 60 608	€ 37 692
Plānotā peļņa	€ 18 234	€ 7 516	€ 3 571
Kopā, EUR gadā	€ 382 922	€ 157 826	€ 74 987
Ražīgums			
Ražīgums, m ³ E15-h ⁻¹	8,1	12,8	14,7
Atsevišķas tehnikas vienības gada laikā saražoto kokmateriālu apjoms			
apaļie kokmateriāli, m ³ gadā	37320	52772	26242
Rezultāts			
Kokmateriāli, EUR m ⁻³	€ 10,26	€ 2,69	€ 2,86

Tab. 32: Kokmateriālu pašizmaksas analīze krājas kopšanas cirtē, pielietojot 3. darba metodi

	Harvesters	Pievedējtraktors	Kokvedējs
Atsevišķas tehnikas vienības izmaksas, EUR gadā			
Investīcijas	€ 65 678	€ 37 381	€ 17 301
Personāls	€ 63 031	€ 49 581	€ 16 423
Operacionālās izmaksas	€ 235 979	€ 60 608	€ 37 692
Plānotā peļņa	€ 18 234	€ 7 378	€ 3 571
Kopā, EUR gadā	€ 382 922	€ 154 948	€ 74 987
Ražīgums			
Ražīgums, m ³ E15-h ⁻¹	8,1	13,7	14,7
Atsevišķas tehnikas vienības gada laikā saražoto kokmateriālu apjoms			
apaļie kokmateriāli, m ³ gadā	37320	56391	26242
Rezultāts			
Kokmateriāli & biokurināmais, EUR m ⁻³	€ 10,26	€ 2,47	€ 2,86

Kokmateriālu sagatavošanas un piegādes pašizmaksas aprēķina kopsavilkums dots Tab. 33. Pievešana ir 15-17 % no kokmateriālu pašizmaksas. Vislielākās izmaksas, pateicoties salīdzinoši vismazākajiem darba ražīguma rādītājiem, ir 2. darba metodē (ķēdes ar palielinātu virsmas laukumu uz). Kokmateriālu pašizmaksa, izmantojot 1. un 3. darba metodi, būtiski neatšķiras. Ņemot vērā, ka 3. darba metodes pielietošana sarežģītos darba apstākļos nav rekomendējama, iegūtie rezultāti parāda, ka standarta ECO-Baltic ķēžu izmantošana ir izdevīgāka, nekā modificēto ķēžu izmantošana. Taču, ja 2 darba metodē kravas apjoms būtu vismaz tikpat liels, kā 1. darba metodē, abu variantu izmaksas būtu līdzīgas.

Tab. 33: Kokmateriālu pašizmaksas analīzes kopsavilkums (EUR m⁻³)

Darba metode	Harvesters	Pievedējtraktors	Kokvedējs	Kopā
Pirmā darba metode	€ 10,26	€ 2,40	€ 2,86	€ 15,52
Otrā darba metode		€ 2,69		€ 15,81
Trešā darba metode		€ 2,47		€ 15,59

Pārrēķinot uz 1 ha, kopējās izmaksas kokmateriālu sagatavošanai un piegādei ir 1818-1846 EUR, tajā skaitā pameža zāģēšana (Tab. 34).

Tab. 34: Kokmateriālu pašizmaksas analīzes kopsavilkums, pārrēķināts uz platības vienību (EUR ha⁻¹)

Darba metode	Pameža zāģēšana	Harvesters	Pievedējtraktors	Kokvedējs	Kopā
Pirmā darba metode	€ 180	€ 1 124	€ 235	€ 279	€ 1 818
Otrā darba metode	€ 180	€ 1 124	€ 263	€ 279	€ 1 846
Trešā darba metode	€ 180	€ 1 124	€ 242	€ 279	€ 1 825

Tab. 35, Tab. 36 un Tab. 37 parādīti pieņēmumi un aprēķinu starprezultāti dažādu faktoru ietekmes uz ražošanas izmaksām novērtēšanai (jutīguma analīzei) un izdevumu un ieņēmumu attiecības noteikšanai, veicot mežizstrādi skujkoku mežaudzēs ar dažādu dimensiju kokiem.

Tab. 35: Pieņēmumi izmaksu un ieņēmumu analīzei, pielietojot 1. darba metodi

Vidējā nozāgētā koka krāja, m³	0,080	0,082	0,084	0,086	0,088	0,090	0,092	0,094	0,096	0,099	0,101	0,103	0,105	0,108	0,110	0,113	0,115	0,117	0,120	0,122
Vidējais audzes koks, cm	14,43	14,55	14,66	14,78	14,89	15,00	15,12	15,23	15,35	15,46	15,57	15,69	15,80	15,92	16,03	16,14	16,26	16,37	16,49	16,60
Vidējā nozāgētā koka caurmērs, cm	12,56	12,70	12,83	12,97	13,11	13,25	13,39	13,52	13,66	13,80	13,94	14,08	14,21	14,35	14,49	14,63	14,77	14,90	15,04	15,18
Izstrādājamo koku krāja, m³ ha ⁻¹	95,17	96,74	98,32	99,91	101,50	103,10	104,70	106,31	107,92	109,54	111,17	112,80	114,44	116,08	117,72	119,38	121,03	122,70	124,36	126,04
Sortimentu struktūra, m³ ha ⁻¹ :																				
apaļie kokmateriāli	77,76	78,97	80,18	81,40	82,63	83,85	85,08	86,31	87,55	88,79	90,03	91,28	92,52	93,77	95,03	96,28	97,54	98,80	100,07	101,33
Zāģēšanas ražīgums, m³ E15 stundā	6,57	6,73	6,89	7,06	7,22	7,39	7,56	7,74	7,91	8,09	8,27	8,45	8,63	8,82	9,00	9,19	9,39	9,58	9,78	9,97
Zāģēšanas izmaksas, EUR m ⁻³ ar mizu	€ 12,63	€ 12,33	€ 12,04	€ 11,76	€ 11,49	€ 11,23	€ 10,97	€ 10,73	€ 10,49	€ 10,26	€ 10,04	€ 9,82	€ 9,61	€ 9,41	€ 9,22	€ 9,03	€ 8,84	€ 8,66	€ 8,49	€ 8,32
Vidējais apaļo kokmateriālu sortimenta caurmērs, cm	10,28	10,35	10,42	10,49	10,56	10,62	10,69	10,76	10,83	10,90	10,97	11,04	11,11	11,18	11,25	11,31	11,38	11,45	11,52	11,59
Apaļo kokmateriālu krava, m ⁻³	40,70	40,95	41,19	41,43	41,67	41,91	42,15	42,40	42,64	42,88	43,12	43,36	43,60	43,85	44,09	44,33	44,57	44,81	45,06	45,30
Apaļo kokmateriālu transporta ražīgums, m³ E15 stundā	13,96	14,04	14,12	14,20	14,29	14,37	14,45	14,54	14,62	14,70	14,78	14,87	14,95	15,03	15,12	15,20	15,28	15,36	15,45	15,53
Apaļo kokmateriālu transporta izmaksas, EUR m ⁻³	€ 3,01	€ 2,99	€ 2,97	€ 2,96	€ 2,94	€ 2,92	€ 2,91	€ 2,89	€ 2,87	€ 2,86	€ 2,84	€ 2,83	€ 2,81	€ 2,79	€ 2,78	€ 2,76	€ 2,75	€ 2,73	€ 2,72	€ 2,70
Kopējās ražošanas izmaksas, EUR m ⁻³ :	€ 18,04	€ 17,72	€ 17,41	€ 17,12	€ 16,83	€ 16,55	€ 16,28	€ 16,02	€ 15,77	€ 15,52	€ 15,28	€ 15,05	€ 14,83	€ 14,61	€ 14,40	€ 14,19	€ 13,99	€ 13,80	€ 13,61	€ 13,43

Tab. 36: Pieņēmumi izmaksu un ieņēmumu analīzei, pielietojot 2. darba metodi

Vidējā nozāgētā koka krāja, m³	0,080	0,082	0,084	0,086	0,088	0,090	0,092	0,094	0,096	0,099	0,101	0,103	0,105	0,108	0,110	0,113	0,115	0,117	0,120	0,122
Vidējais audzes koks, cm	14,43	14,55	14,66	14,78	14,89	15,00	15,12	15,23	15,35	15,46	15,57	15,69	15,80	15,92	16,03	16,14	16,26	16,37	16,49	16,60
Vidējā nozāgētā koka caurmērs, cm	12,56	12,70	12,83	12,97	13,11	13,25	13,39	13,52	13,66	13,80	13,94	14,08	14,21	14,35	14,49	14,63	14,77	14,90	15,04	15,18
Izstrādājamo koku krāja, m³ ha ⁻¹	95,17	96,74	98,32	99,91	101,50	103,10	104,70	106,31	107,92	109,54	111,17	112,80	114,44	116,08	117,72	119,38	121,03	122,70	124,36	126,04
Sortimentu struktūra, m³ ha ⁻¹ :																				
apaļie kokmateriāli	77,76	78,97	80,18	81,40	82,63	83,85	85,08	86,31	87,55	88,79	90,03	91,28	92,52	93,77	95,03	96,28	97,54	98,80	100,07	101,33
Zāģēšanas ražīgums, m³ E15 stundā	6,57	6,73	6,89	7,06	7,22	7,39	7,56	7,74	7,91	8,09	8,27	8,45	8,63	8,82	9,00	9,19	9,39	9,58	9,78	9,97
Zāģēšanas izmaksas, EUR m ⁻³ ar mizu	€ 12,63	€ 12,33	€ 12,04	€ 11,76	€ 11,49	€ 11,23	€ 10,97	€ 10,73	€ 10,49	€ 10,26	€ 10,04	€ 9,82	€ 9,61	€ 9,41	€ 9,22	€ 9,03	€ 8,84	€ 8,66	€ 8,49	€ 8,32
Vidējais apaļo kokmateriālu sortimenta caurmērs, cm	10,28	10,35	10,42	10,49	10,56	10,62	10,69	10,76	10,83	10,90	10,97	11,04	11,11	11,18	11,25	11,31	11,38	11,45	11,52	11,59
Apaļo kokmateriālu krava, m ⁻³	40,70	40,95	41,19	41,43	41,67	41,91	42,15	42,40	42,64	42,88	43,12	43,36	43,60	43,85	44,09	44,33	44,57	44,81	45,06	45,30
Apaļo kokmateriālu transporta ražīgums, m³ E15 stundā	13,96	14,04	14,12	14,20	14,29	14,37	14,45	14,54	14,62	14,70	14,78	14,87	14,95	15,03	15,12	15,20	15,28	15,36	15,45	15,53
Apaļo kokmateriālu transporta izmaksas, EUR m ⁻³	€ 3,01	€ 2,99	€ 2,97	€ 2,96	€ 2,94	€ 2,92	€ 2,91	€ 2,89	€ 2,87	€ 2,86	€ 2,84	€ 2,83	€ 2,81	€ 2,79	€ 2,78	€ 2,76	€ 2,75	€ 2,73	€ 2,72	€ 2,70

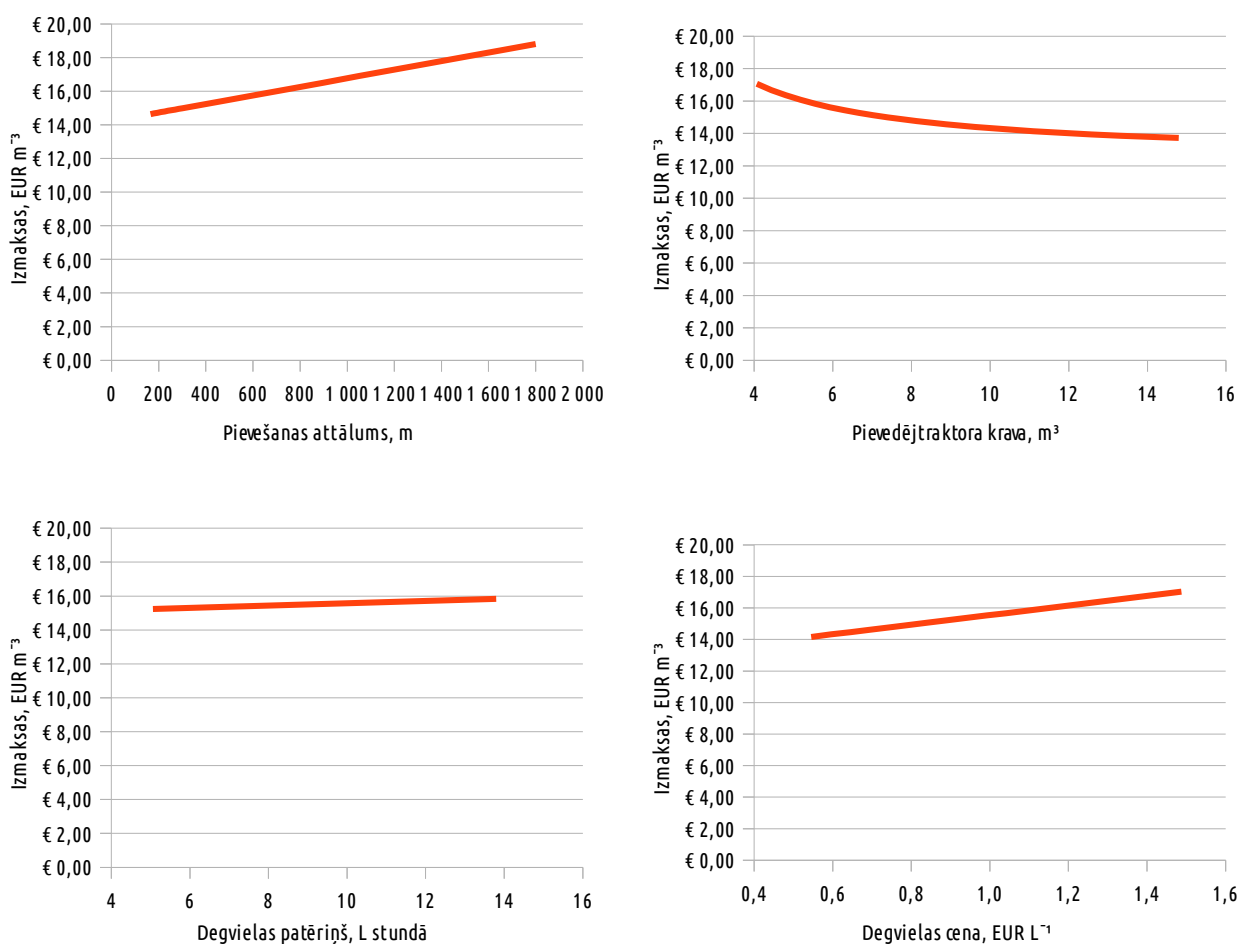
Vidējā nozāgētā koka krāja, m³	0,080	0,082	0,084	0,086	0,088	0,090	0,092	0,094	0,096	0,099	0,101	0,103	0,105	0,108	0,110	0,113	0,115	0,117	0,120	0,122
Kopējās ražošanas izmaksas, EUR m ⁻³ :	€ 18,33	€ 18,01	€ 17,71	€ 17,41	€ 17,12	€ 16,84	€ 16,57	€ 16,31	€ 16,06	€ 15,81	€ 15,57	€ 15,34	€ 15,12	€ 14,90	€ 14,69	€ 14,48	€ 14,28	€ 14,09	€ 13,90	€ 13,72

Tab. 37: Pieņēmumi izmaksu un ieņēmumu analīzei, pielietojot 3. darba metodi

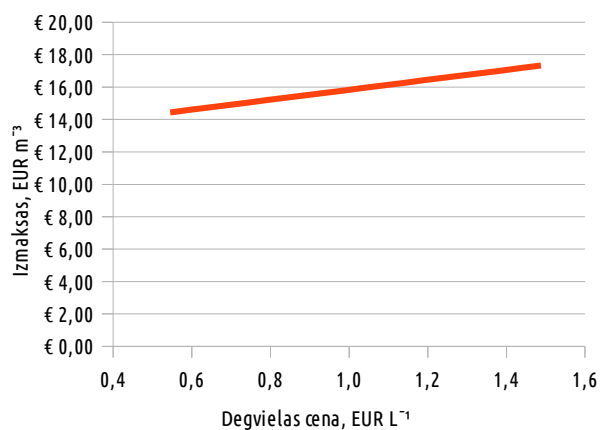
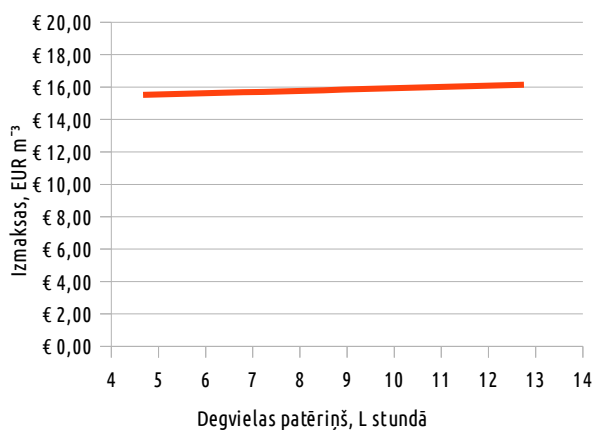
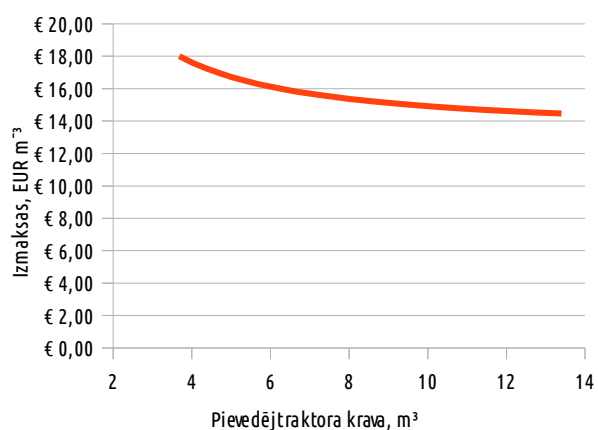
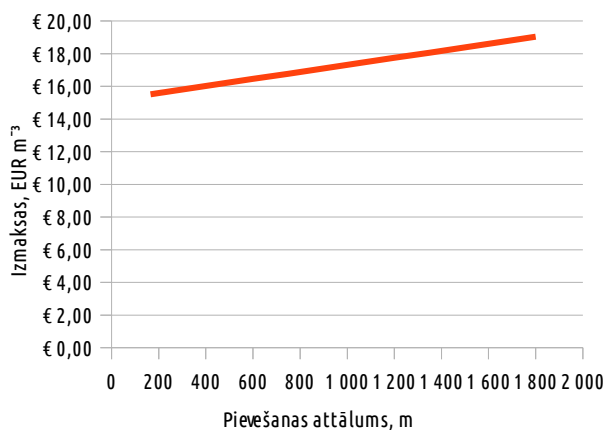
Vidējā nozāgētā koka krāja, m³	0,080	0,082	0,084	0,086	0,088	0,090	0,092	0,094	0,096	0,099	0,101	0,103	0,105	0,108	0,110	0,113	0,115	0,117	0,120	0,122
Vidējais audzes koks, cm	14,43	14,55	14,66	14,78	14,89	15,00	15,12	15,23	15,35	15,46	15,57	15,69	15,80	15,92	16,03	16,14	16,26	16,37	16,49	16,60
Vidējā nozāgētā koka caurmērs, cm	12,56	12,70	12,83	12,97	13,11	13,25	13,39	13,52	13,66	13,80	13,94	14,08	14,21	14,35	14,49	14,63	14,77	14,90	15,04	15,18
Izstrādājamo koku krāja, m³ ha ⁻¹	95,17	96,74	98,32	99,91	101,50	103,10	104,70	106,31	107,92	109,54	111,17	112,80	114,44	116,08	117,72	119,38	121,03	122,70	124,36	126,04
Sortimentu struktūra, m³ ha ⁻¹ :																				
apaļie kokmateriāli	77,76	78,97	80,18	81,40	82,63	83,85	85,08	86,31	87,55	88,79	90,03	91,28	92,52	93,77	95,03	96,28	97,54	98,80	100,07	101,33
Zāgēšanas ražīgums, m³ E15 stundā	6,57	6,73	6,89	7,06	7,22	7,39	7,56	7,74	7,91	8,09	8,27	8,45	8,63	8,82	9,00	9,19	9,39	9,58	9,78	9,97
Zāgēšanas izmaksas, EUR m ⁻³ ar mizu	€ 12,63	€ 12,33	€ 12,04	€ 11,76	€ 11,49	€ 11,23	€ 10,97	€ 10,73	€ 10,49	€ 10,26	€ 10,04	€ 9,82	€ 9,61	€ 9,41	€ 9,22	€ 9,03	€ 8,84	€ 8,66	€ 8,49	€ 8,32
Vidējais apaļo kokmateriālu sortimenta caurmērs, cm	10,28	10,35	10,42	10,49	10,56	10,62	10,69	10,76	10,83	10,90	10,97	11,04	11,11	11,18	11,25	11,31	11,38	11,45	11,52	11,59
Apaļo kokmateriālu krava, m ⁻³	40,70	40,95	41,19	41,43	41,67	41,91	42,15	42,40	42,64	42,88	43,12	43,36	43,60	43,85	44,09	44,33	44,57	44,81	45,06	45,30
Apaļo kokmateriālu transporta ražīgums, m³ E15 stundā	13,96	14,04	14,12	14,20	14,29	14,37	14,45	14,54	14,62	14,70	14,78	14,87	14,95	15,03	15,12	15,20	15,28	15,36	15,45	15,53
Apaļo kokmateriālu transporta izmaksas, EUR m ⁻³	€ 3,01	€ 2,99	€ 2,97	€ 2,96	€ 2,94	€ 2,92	€ 2,91	€ 2,89	€ 2,87	€ 2,86	€ 2,84	€ 2,83	€ 2,81	€ 2,79	€ 2,78	€ 2,76	€ 2,75	€ 2,73	€ 2,72	€ 2,70
Kopējās ražošanas izmaksas, EUR m ⁻³ :	€ 18,11	€ 17,79	€ 17,49	€ 17,19	€ 16,90	€ 16,62	€ 16,35	€ 16,09	€ 15,84	€ 15,59	€ 15,35	€ 15,12	€ 14,90	€ 14,68	€ 14,47	€ 14,26	€ 14,06	€ 13,87	€ 13,68	€ 13,50

Jutīguma analīze

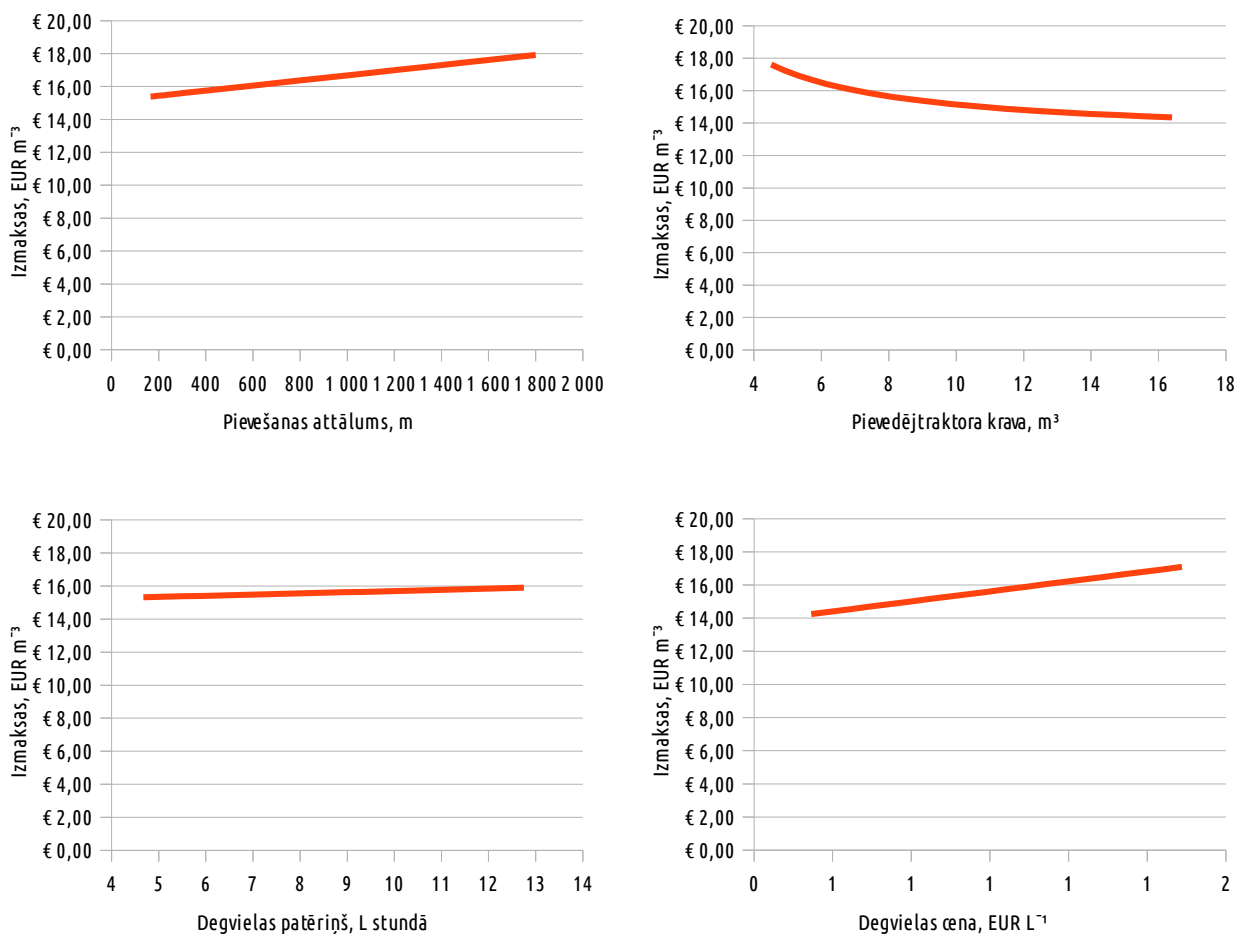
Ražošanas sistēmas jutīguma analīzē vērtēts pievešanas attālums, pievedējtraktora kravas lielums, pievedējtraktora degvielas patēriņš un degvielas cena. Aprēķins veikts kopējām apaļo kokmateriālu ražošanas un piegādes izmaksām. Jutības analīzes rezultāti dažādām darba metodēm parādīti Att. 39, Att. 40 un Att. 41. Visos grafikos redzams, ka salīdzinoši vismazākā ietekme ir degvielas patēriņam, bet pārējiem faktoriem ir būtiska ietekme uz kokmateriālu pašizmaksu. Otrā darba metodi, salīdzinot ar 1. variantu, vairāk ietekmē pievešanas attāluma palielināšanās. Jāņem vērā, ka faktiskā pievešanas attāluma un vidējās kravas apjoma palielināšanās ietekme ir lielāka, jo pārbraucienu laikā degvielas patēriņš dubultojas, bet aprēķinos izmantots konstants vidējais degvielas patēriņš.



Att. 39: Jutīguma analīze, izmantojot 1. darba metodi.



Att. 40: Jutīguma analīze, izmantojot 2. darba metodi.



Att. 41: Jutīguma analīze, izmantojot 3. darba metodi.

Jutības analīze apstiprina, ka vidējās kravas apjoms ir kritiskā vērtība, kas nosaka gan pievešanas darba ražīgumu un izmaksas, gan arī meža tehnikas ietekmi uz augsni. Izmēģinājumos nav konstatēts palielināts degvielas patēriņš, izmantojot ECO-Baltic ķēdes ar palielinātu virsmas laukumu, tāpēc nav pamata uzskatīt, ka platāku ECO tipa ķēžu izmantošana būtiski palielinātu kokmateriālu pievešanas izmaksas sakarā ar degvielas patēriņa pieaugumu. Citādus rezultātus var iegūt galvenajā cirtē sarežģītos pievešanas apstākļos, kur rīses var būtiski ietekmēt pievešanas darba ražīgumu un degvielas patēriņu pievedējtraktoriem, kas aprīkoti dažāda tipa ķēdēm. Objektīvu rezultātu iegūšanai par ķēžu ietekmi uz augsni, darba ražīgumu un degvielas patēriņu izmēģinājumi ir jāveic galvenajā cirtē, kraujot maksimāli lielas kravas, nosakot risu veidošanās dinamiku un mērot faktisko risu dziļumu nevis pievešanas laikā nolīdzinātās rīses kopšanas cirtēs.

Izmaksu un ieņēmumu analīze

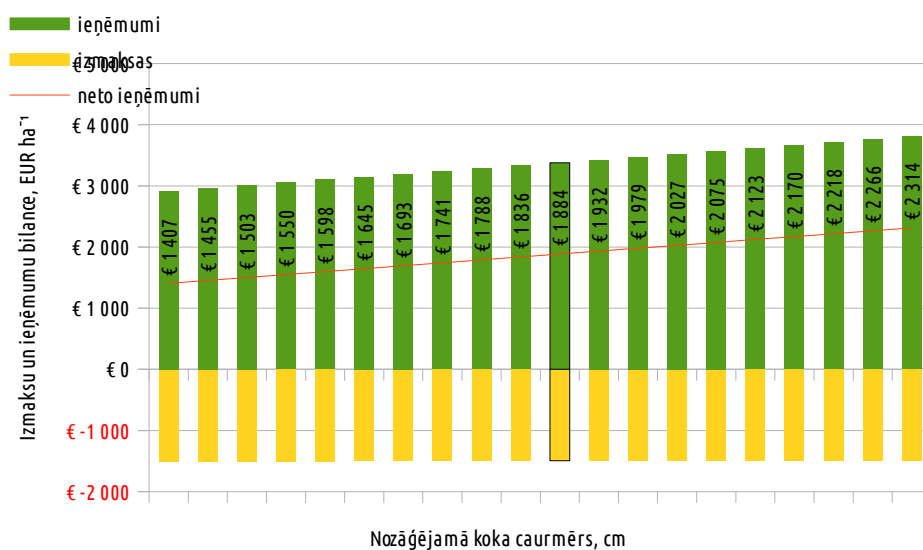
Prognozējamā izmaksu un ieņēmumu attiecība ir viens no rādītājiem, kas uzskatāmi demonstrē tehnoloģiju priekšrocības un trūkumus, kā arī to pielietojšanas "areālu" (koku dimensijas, augšanas apstākļus un taml.). Pētījumā salīdzinātas apaļo kokmateriālu sagatavošanas izmaksas un prognozējamie ieņēmumi, atkarībā no vidējā nozāģējamā koka

dimensijām (aprēķinu pieņēmumi doti Tab. 35, Tab. 36 un Tab. 37). Kokmateriālu struktūra un cenas pieņemtas nemainīgas, neatkarīgi no zāgējamo koku dimensijām (Tab. 38).

Tab. 38: Pieņēmumi kokmateriālu cenai un procentuālajam īpatsvaram⁹

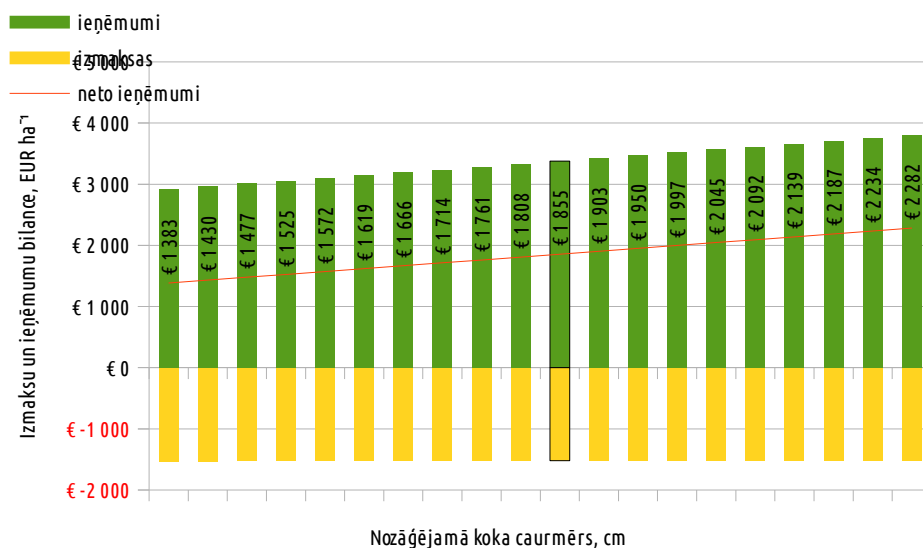
Sortiments	Malka	Papīrmalka	Baļķi	Finieris	TK	Tara
Sortimentu cenas (EUR m ⁻³)	€ 20,00	€ 28,00	€ 68,00	€ 65,00	€ 28,00	€ 23,00
Sortimentu procentuālais īpatsvars	12%	36%	20%	7%	23%	2%

Neto ieņēmumi, neatkarīgi no pielietotās darba metodes, izmēģinājuma objektiem raksturīgajos darba apstākļos ir 1,9 tūkst. EUR ha⁻¹. Palielinoties zāgējamo koku dimensijām, straujāks ieņēmumu pieaugums sagaidāms, strādājot ar 1. un 3. darba metodi, taču atšķirība nav būtiska.

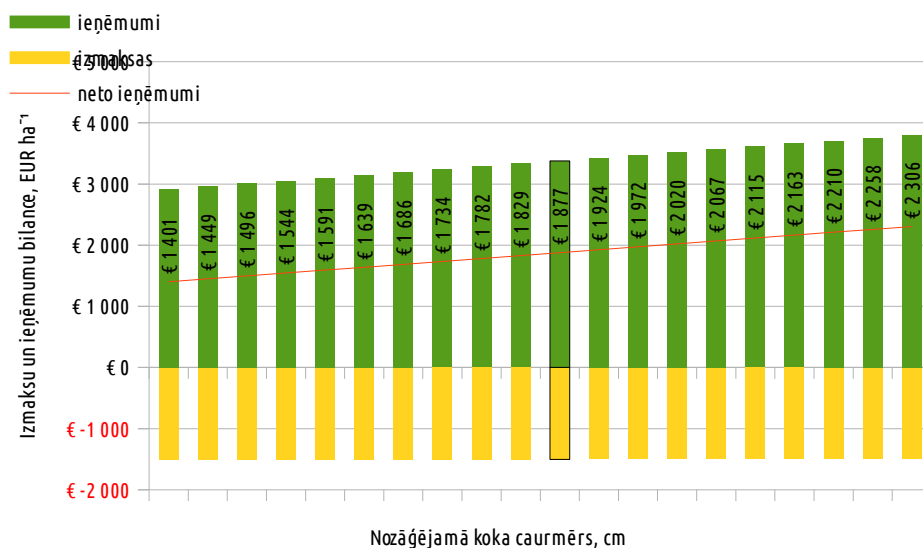


Att. 42: Izmaksu un ieņēmumu salīdzinājums, izmantojot 1. darba metodi.

⁹ Kokmateriālu cenas atbilstoši - http://www.mezsaimnieks.lv/lv/koksnes_tirgus_apskats/



Att. 43: Izmaksu un ieņēmumu salīdzinājums, izmantojot 2. darba metodi.



Att. 44: Izmaksu un ieņēmumu salīdzinājums, izmantojot 3. darba metodi.

SECINĀJUMI

1. Izmēģinājumu objektos, kuros iegūta vispilnīgākā datu kopa, pievešana veikta pēc ilgstoša sausuma perioda, lai gan pievešanas laikā ilgstoši lija lietus, tāpēc pievešanas apstākļi, neskatoties uz biezo kūdras slāni un lietu, bija apmierinoši un risu veidošanos nenovēroja pat tajos koridoros, kur izmantoja pievedējtraktoru, kas aprīkots ar kāpurķēdēm tikai uz aizmugurējiem tandēmiem. Objektīvu rezultātu iegūšanai par ekstrēmām situācijām, kā arī lai noteiktu matemātiskās sakarības starp risu veidošanos un pielietoto darba metodi, izmēģinājumi jāveic galvenajā cirtē, modelējot kopšanas cirtēm raksturīgās darba metodes.
2. Objektīvu rezultātu iegūšanai par ekstrēmām situācijām, kā arī lai noteiktu matemātiskās sakarības starp risu veidošanos un pielietoto darba metodi, izmēģinājumi jāveic galvenajā cirtē, modelējot kopšanas cirtēm raksturīgās darba metodes. Jo šajā gadījumā pievešanas apstākļu kardinālu uzlabošanas varētu daļēji skaidrot ar mērķtiecīgi kvalitatīvu koridoru izveidošanu, kā rezultātā mežizstrādes atliekas labi "sasējās" nodrošinot būtiski labākus pievešanas apstākļus.
3. Dažādu darba metožu pielietošana nerada atšķirīgu ietekmi uz paliekošo koku bojājumiem. Ķēžu radīto bojājumu daudzums korelē ar vērpes pretestību (augšnes nestspēju) neatkarīgi no pievešanas darba metodes, attiecīgi, noteicošais faktors, kas ietekmē bojājumu veidošanos, ir augšnes nestspēja, nevis darba metode.
4. Pētījumā konstatēta ķēžu masas vai radītās papildus slodzes un kravas lieluma kopsakarība – vismazākās kravas ir tehnoloģiskajos koridoros, kur pievešana veikta ar ķēdēm ar palielinātu virsmas laukumu. Šādam rezultātam nav objektīva tehniska iemesla, jo pievešanas apstākļi visos koridoros ir līdzīgi. Pievedējtraktoru operatoriem jācenšas veidot pēc iespējas lielākas kravas, lai samazinātu kumulatīvo ietekmi uz augsni un palielinātu darba ražīgumu.
5. Degvielas patēriņa analīze apstiprina ECO-Baltic ķēžu ražotāja apgalvojumu un citos pētījumos iegūto atziņu, ka šo ķēžu izmantošana nepalielina degvielas patēriņu. Degvielas patēriņa pieaugums nav konstatēts arī tad, ja uz pievedējtraktora aizmugurējiem tandēmiem izmantotas ķēdes ar palielinātu virsmas laukumu. Degvielas patēriņa pieaugums, pielietojot 2. darba metodi, saistīts ar neefektīvu pievedējtraktora kravas telpas izmantošanu, kā rezultātā būtiski pieaudzis darba laika patēriņš pārbraucieniem. Degvielas patēriņš, ie braucot un izbraucot no audzes ir 2 reizes lielāks, nekā vidēji pievešanas laikā, tāpēc pārbraucieniem patērētā laika palielināšanās krasi palielina degvielas patēriņu un kokmateriālu pievešanas izmaksas.
6. Vislabākie darba ražīguma rādītāji konstatēti 1. darba metodei. Tas saistīts ar efektīvāku darba izmantošanu kravu veidošanas un izkraušanas laikā. Abos variantos, kad traktoru priekšējie un aizmugurējie tandēmi bija aprīkots ar kāpurķēdēm, braukšanas laiks ir būtiski lielāks, nekā "klasiskajā" variantā ar ķēdēm tikai uz aizmugurējiem tandēmiem. Braukšanas ātruma samazināšanos apstiprina arī testa braucieni, kas veikti degvielas patēriņa novērtēšanai.
7. Augšnes sablīvējuma analīze parāda, ka 3. darba metode (ķēdes uz aizmugurējiem tandēmiem) rada būtiski lielāku negatīvo ietekmi uz augsni 0-50 cm dziļumā, tomēr, neatkarīgi no darba metodes, augsne sablīvējas līdz pat 80 cm dziļumam, būtiski pasliktinot augšanas apstākļus un ūdens caurlaidību vietās, kur braucis traktors. Ietekme uz augsni ir lielāka tajās audzēs, kur nav konstatēta risu veidošanos, tomēr šai sakarībai var būt arī nejaušs raksturs.
8. Pētījumā konstatēta sakarība starp risu dziļumu un augšnes vērpes pretestību, kas raksturo augšnes nestspēju. Vērpes pretestība augšnes virskārtā ir par kārtu lielāka, nekā penetrācijas pretestība, tāpēc korektai pievešanas apstākļu raksturošanai jāizmanto vērpes pretestības

mērījumi vai jākombinē vērpes un penetrācijas pretestības dati. Savukārt, penetrācijas pretestības dati izmantojami tehnikas ietekmes uz vidi raksturošanai.

9. Pievešanas pašizmaksas analīze parāda, ka ekonomiski izdevīgākā darba metode atbilstoši iegūtajiem rezultātiem ir pievedējtraktora, kura visi tandēmi aprīkoti ar ECO-Baltic ķēdēm, izmantošana kokmateriālu pievešanā, taču 2. darba metodes izmaksas var samazināt, efektīvāk izmantojot pievedējtraktora kravas telpu, t.i. kraujot lielākas kravas.
10. Sistēmas jutīguma analīze parāda, ka salīdzinoši vismazākā ietekme uz kokmateriālu pašizmaksu ir pievedējtraktora degvielas patēriņam, bet 2. darba metodē salīdzinoši lielāka ir pievešanas attāluma ietekme. Pētījumā nav pilnībā ievērtēts degvielas patēriņa pieaugums, palielinoties pārbraucienos pavadītā darba laika īpatsvaram, tāpēc faktiskais ražošanas izmaksu pieaugums, palielinoties pievešanas attālumam, var būtiski pārsniegt prognozēto.
11. Ražošanas izmaksu un ieņēmumu salīdzinājums parāda, ka darba metodes izvēle nerada būtisku ietekmi uz neto ieņēmumu prognozi, tomēr visām darba metodēm, it īpaši 1. un 2. metodei, ir būtisks izmaksu samazināšanas potenciāls, veidojot lielākas kravas un samazinot pārbraucienos pavadīto laiku. Lielāku kravu veidošana var mazināt arī augsnes sablīvējumu, samazinot kumulatīvo slodzi uz augsni, kas veidojas pievešanas laikā.

IETEICAMIE TURPMĀKO PĒTĪJUMU VIRZIENI

1. Mežizstrādes atlieku pareizas ieklāšanas ietekme uz tālāko pievešanas procesu, tajā skaitā pievedējtraktora un harvestera darba ražīguma izmaiņas, veicot atzarošanu pie tehnoloģiskajiem koridoriem un precīzi ieklājot zarus ceļos.
2. Tīrkravu un jauktu kravu veidošanas ietekme uz pievedējtraktora darba ražīgumu, kokmateriālu pašizmaksu, darbu izpildes kvalitāti, augsnes un mežaudzes bojājumiem smagos pievešanas apstākļos. Jauktu kravu veidošanas pieredzes aprobācija un rekomendāciju izstrādāšana efektīvai pievešanas organizēšanai.
3. Operatoru apmācība pievedējtraktora kravnesības efektīvākai izmantošanai smagos pievešanas apstākļos, pielietojot hidromanipulatoram pievienojamus svarus – darba ražīguma un ietekmes uz vidi monitorings ražošanas apstākļos.
4. Empīrisku datu ieguve mežaudzēs uz susinātām un pārmitrām minerālaugsnēm un organiskām augsnēm augsnes sablīvējuma tehnoloģiskajos koridoros ietekmes uz ūdens horizontālo kustību augsnē modelēšanai rekomendāciju izstrādāšanai mežaudžu pārpurvošanās novēršanai.
5. Monitoringa metodikas izstrādāšana un aprobēšana tehnoloģisko koridoru stāvokļa (risu dziļuma) mākslīgas uzlabošanas iespēju noteikšanai pēc mežizstrādes krājas kopšanas cirtēs.
6. Empīrisku datu ieguve rekomendāciju izstrādāšanai mazās meža tehnikas (trīssasu un četrasu pievedējtraktori ar pašmasu līdz 6 tonnās) izmantošanai kokmateriālu pievešanā sarežģītos pievešanas apstākļos uz augsnēm ar mazu nestspēju.

LITERATŪRA

1. Ala-Ilomäki, J., Lamminen, S., Sirén, M., Väättäin, K. & Asikainen, A. (2012). Using harvester CAN-bus data for mobility mapping. [online],. Available from: <http://jukuri.luke.fi/handle/10024/517148>. [Accessed 2015-08-10].
2. Bygdén, G., Eliasson, L. & Wästerlund, I. (2003). Rut depth, soil compaction and rolling resistance when using bogie tracks. *Journal of Terramechanics* 40(3), 179–190.
3. Eliasson, L. (2005). Effects of forwarder tyre pressure on rut formation and soil compaction. *Silva Fennica* [online],. Available from: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FI2006063378>. [Accessed 2015-08-10].
4. Eliasson, L. & Wästerlund, I. (2007). Effects of slash reinforcement of strip roads on rutting and soil compaction on a moist fine-grained soil. *Forest Ecology and Management* 252(1–3), 118–123.
5. Godefroid, S. & Koedam, N. (2004). Interspecific variation in soil compaction sensitivity among forest floor species. *Biological Conservation* 119(2), 207–217.
6. Horn, R., Vossbrink, J., Peth, S. & Becker, S. (2007). Impact of modern forest vehicles on soil physical properties. *Forest Ecology and Management* 248(1–2), 56–63.
7. Lamminen, S., Väättäin, K. & Asikainen, A. (2010). Operational efficiency of the year-round CTL - harvesting on sensitive sites in Finland – a simulation study., South Africa, Stellenbosch, 2010. pp 18–20. South Africa, Stellenbosch.
8. Lazdiņš, A., Zimelis, A. & Kalēja, S. (2015). *Biokurināmā sagatavošana jaunaudžu kopšanā, pirmajā krājas kopšanā un grāvju trašu apaugumā ar Moipu griezējgalvu*. Salaspils. (Atjaunojamo energoresursu produktu ražošanas, pārstrādes un loģistikas rūpnieciskais pētījums; 2015/05).
9. Lazdiņš, A., Zimelis, A. & Liepiņš, J. (2008). *Augsnes sablīvēšanās mērījumu rezultāti*. Salaspils. (Pievešanas apstākļu ietekme uz pievešanas mašīnu izmaksām galvenās izmantošanas cirtēs; 5.5-5.1/001Y/110/08/8).
10. Liepa, J., Lazdāns, V., Kariņš, Z., Epalts, E., Kāposts, V., Blija, T., Āboliņa, A., Laiviņa, S. & Lazdiņa, D. (2005). *Smagās meža tehnikas ietekme uz augsnes fizikālo īpašību izmaiņām*. Salaspils. (TOP-04-57).
11. Mohtasahmi, S., Bergkvist, I., Sonesson, J. & Thor, M. (2012). GIS decision support tools to minimize soil and water damage in logging operations - Swedish case studies show great potential. *Proceedings of Formec*, Croatia, 2012. Croatia.
12. Mulqueen, J., Stafford, J. V. & Tanner, D. W. (1977). Evaluation of penetrometers for measuring soil strength. *Journal of Terramechanics* 14(3), 137–151.
13. Murphy, D. M., Solomon, S., Portmann, R. W., Rosenlof, K. H., Forster, P. M. & Wong, T. (2009). An observationally based energy balance for the Earth since 1950. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 114(D17), D17107.
14. Nugent, C., Kanali, C., Owende, P. M. ., Nieuwenhuis, M. & Ward, S. (2003). Characteristic site disturbance due to harvesting and extraction machinery traffic on sensitive forest sites with peat soils. *Forest Ecology and Management* 180(1–3), 85–98.
15. Siren, M., Ala-Ilomäki, J., Mäkinen, H. & Lamminen, S. (2012). Possibilities to reduce damage in thinning of Norway spruce during unfrozen soil. *Proceedings of OSCAR 2012*, Salaspils, 2012. pp 24–26. Salaspils: LSFRI Silava.
16. Sonesson, J., Bergkvist, I. & Mohrtasami, S. (2012). Find The Smartest Roads In The Terrain During Forest Operations Using GIS. *Proceedings of OSCAR 2012*, Salaspils, 2012. pp 26–28. Salaspils: LSFRI Silava.
17. Spinelli, R., Magagnotti, N. & Nati, C. (2010). Benchmarking the impact of traditional small-scale logging systems used in Mediterranean forestry. *Forest Ecology and Management* 260(11), 1997–2001.
18. Tan, X., Chang, S. X. & Kabzems, R. (2005). Effects of soil compaction and forest floor removal on soil microbial properties and N transformations in a boreal forest long-term soil productivity study. *Forest Ecology and Management* 217(2–3), 158–170.
19. Thor, M., Iwarsson-Wide, M., Hofsten, H. Von, Nordén, B., Lazdiņš, A., Zimelis, A. & Lazdāns, V. (2008). *Forest energy from small-dimension stands, infra-structure objects and stumps (research report)*. Uppsala.
20. Uusitalo, J. (2012). New solutions in management and harvesting of peatland forests. Tampere, Finland.
21. Wood, M. J., Moffat, A. J. & Carling, P. A. (2003). Improving the Design of Slash Roads Used to Reduce Soil Disturbance During Mechanised Harvesting of Coniferous Forest Plantations in the UK. *International Journal of Forest Engineering* [online], 14(1). Available from: <https://journals.lib.unb.ca/index.php/IJFE/article/view/9879>. [Accessed 2015-08-10].
22. Zeleke, G., Owende, P. M. O., Kanali, C. L. & Ward, S. M. (2007). Predicting the pressure–sinkage characteristics of

- two forest sites in Ireland using in situ soil mechanical properties. *Biosystems Engineering* 97(2), 267–281.
23. Zenner, E. K. & Berger, A. L. (2008). Influence of skidder traffic and canopy removal intensities on the ground flora in a clearcut-with-reserves northern hardwood stand in Minnesota, USA. *Forest Ecology and Management* 256(10), 1785–1794 (6th North American Forest Ecology Workshop: From science to sustainability).