

PĀRSKATS

PAR PĒTĪJUMA

KRAVU LIELUMA UN SKAITA IETEKME UZ RISU
VEIDOŠANOS GALVENĀS CIRTES CIRSMĀS AR
ORGANISKĀM AUGSNĒM

DARBA UZDEVUMU IZPILDI

Līguma Nr. 080 719/S70

Pārskata Nr. 2019-080 719 S70-1

Izpildītājs Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava" un
Latvijas Lauksaimniecības universitāte



Nosaukums	Kravu lieluma un skaita ietekme uz risu veidošanos galvenās cirtes cirmās ar organiskām augsnēm
Autori	Ziedonis Sarmulis, Aleksandrs Savelļevs, Linards Sisenis, Georgijs Savelļevs, Edžus Romāns
Attēli un fotogrāfijas	A. Zimelis, Z. Sarmulis
Ziņojuma numurs	2019-080719_S70-1
Vieta	Salaspils
Institūcija	Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava" un Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Kontaktinformācija	Rīgas iela 111, Salaspils, LV-2169 Tālr.: +37167942555 E-pasts: inst@silava.lv Interneta vietne: www.silava.lv
Datums	2019
Lappušu skaits	52

KOPSAVILKUMS

Darbs izstrādāts MPS "Kalsnava" meža fondā galvenās cirtes cirmā šaurlapju kūdrenī (Ks) 2019.g. oktobrī - novembrī. Pirms eksperimentāliem izmēģinājumiem cirsmā izstrādāta, izmantojot tradicionālo mežizstrādes tehniku: pievedējtraktoru JD-1110 un harvesteru JD-1270.

Sagatavoto kokmateriālu (sortimentu) pievešanā kopš XX gadsimta 70-gadiem plaši izmanto pievedējtraktorus (forvarderus), kuru ietekmi uz meža vidi regulāri vērtē meža izglītības un pētniecības iestādes, meža mašīnas ražojošās firmas, mežsaimnieciskās ražošanas uzņēmumi. Līdz šim veiktajā pētniecībā pārsvarā izmantota iedarbības seku analīze uz grunti konkrētāja vietā. Šīs problemātikas pētījumos ir radusies sistēmiskas pieejas nepieciešamība. Tādu pētījumu gaitā būtu iespējams nonākt pie rezultātiem, kas ļauj labāk izprast problēmu kopumā, un reizē izvēlēties piemērotāko paņēmieni atsevišķas problēmas risināšanai konkrētos apstākļos.

Pētījuma mērķis: rekomendāciju izstrādāšana darba apstākļiem un plānotajam pievedamo kokmateriālu apjomam atbilstošas tehnikas izvēlei, lai tādējādi samazinātu izmaksas un ietekmi uz vidi apaļo kokmateriālu pievešanā galvenās cirtes cirmās uz gruntīm ar mazu nestspēju.

Pētījumā novērtēti meža augsnes raksturojoši rādītāji: augsnes vērpes pretestība, augsnes penetrācijas pretestība, pievešanas ceļā iekļājamo zaru apjoma kontrole, forvardera iespiestu risu dziļums, degvielas patēriņa izmaiņas. Pētījuma rezultātā iegūtā informācija apkopota vairākās rekomendācijās.

Secināts, ka, forvarderam pārvietojoties pa tehnoloģisko brauktuvi bez zaru klājuma, pārvietošanās ir apgrūtināta, atsevišķās vietās pārvietošanās nav iespējama pat vienu reizi (augšnes penetrācijas pretestība 0.17 – 0.35 kPa, teorētiski noteiktais forvardera īpatnējais spiediens uz atbalsta virsmu 0.24 kPa).

Ražošanas apstākļos rekomendēts apaļo kokmateriālu pievešanas iespējamību novērtēt, nosakot vērpes pretestību, jo pētījumā uzrādīta cieša korelācija starp šo rādītāju un risu dziļumu.

Pētījums veikts Latvijas Valsts mežzinātnes institūtā "Silava" (LVMI Silava) sadarbībā ar Latvijas Lauksaimniecības universitāti. Empīriskos datus ieguvi, analīzi un pārskata sagatavošanu nodrošināja LVMI Silava un Latvijas Lauksaimniecības universitātes darbinieki Ziedonis Sarmulis, Aleksandrs Saveljevs, Linards Sisenis, Georgijs Saveljevs, Edžus Romāns.

SUMMARY

The project developed in the main felling area site, *Myrtillosa* turf. mel., of the forest fund (MPS "Kalsnava"), October – November, 2019. Before the experimental tests, the logging at the site was completed using traditional logging methods: the JD-1110 forwarder and the JD-1270 harvester.

Forwarders, which impact on the forest environment has been regularly evaluated by forest education and research institutions, forest machine manufacturing companies and forestry production companies, have been widely used in the primary transport of prepared timber (assortments) since the 1970s. Analysis of the impact of timber forwarding on forest soil at a particular site has been used mainly in the research conducted so far. Research on these issues has led to the need for a systemic approach. Such research could lead to results that allow a better understanding of the problem as a whole, and at the same time, it could be the most appropriate way to solve a particular problem in specific circumstances.

Objective of the study: to develop recommendations for choosing the right machinery for the working conditions and volume of timber to be transported, to reduce costs and environmental impact of timber forwarding on low-load-bearing soils in main felling areas.

The study evaluates forest soil characteristics: soil shear resistance, soil penetration resistance, control of the amount of logging residues used as mat of strip-road; depth of the ruts pressed by the forwarder; changes in fuel consumption. The information obtained from the study is summarized in several recommendations.

It has been concluded that forwarding along the technological strip-road, uncovered with logging residues mat on it, is difficult; sometimes, on the particular sectors of the route, it is completely impossible to make a single pass (soil penetration resistance 0.17-0.45 kPa, the theoretically determined specific pressure of the forwarder on the support surface 0.43 kPa).

It is recommended for production conditions to evaluate the possibility of timber forwarding by determining the shear resistance, as the research shows a close correlation between this index and depth of the ruts.

Saturs

Kopsavilkums.....	3
Summary.....	4
Ievads.....	7
Pārskats par publikācijām, saistītām ar mašīnu ietekmi uz meža augsni.....	10
Augsnes nestspējas analīze meža apstākļos.....	12
Meža mašīnu ritošās daļas radītu risu veidošanās.....	14
Mežizstrādes laikā sagatavoto kokmateriālu pievešana uz zemas nestspējas augsnēm.....	14
Pētījuma metodika.....	16
Pētnieciskā objekta atlase un sagatavošana eksperimentāliem pētījumiem.....	16
Augsnes nestspējas noteikšanas eksperimentālais posms.....	21
Eksperimentu veikšanas gaita.....	22
Risu dziļuma mērīšanas instruments.....	22
Risu dziļuma mērīšanas skala.....	22
Zaru svēršanas apraksts.....	23
Egļu zaru biomasa.....	24
Biomosas apjoma prognozēšana.....	24
Iekļājamo zaru skaita noteikšana.....	24
Vērpes pretestība.....	25
Degvielas patēriņš.....	27
Augsnes penetrācija.....	27
Lietkoksnes svēršana.....	28
Laika apstākļi izmēģinājumu laikā.....	28
Datu apstrāde.....	30
Pētījuma rezultāti.....	31
Iekļājamā materiāla apjoms.....	31
Vērpes pretestība.....	32
Penetrācijas pretestība.....	34
Iespieduma dziļums uz tehnoloģiskās brauktuves.....	38
Degvielas patēriņa izmaiņas.....	40
Uz pētījuma rezultātiem balstītas rekomendācijas.....	43
Secinājumi un priekšlikumi praksei.....	47
Literatūra.....	48

Attēli

Att. 1: Cirtsmas shēma.....	17
Att. 2: Cirtsmas iedalījums slejās: 1 – meliorācijas grāvis; 2 – kokmateriālu pievešanas ceļš; 3 – kvartālstīga; I ... V sleju izstrādes secība.....	18
Att. 3: Cirtsmas shēma pēc mežizstrādes tehnoloģiskā procesa noslēgšanas:.....	19
Att. 4: Cirtsmas fragments, kur notika forvardera eksperimentālā pārvietošanās ar kravu.....	20
Att. 5: Cirtsmas pēc mašīnizētas mežizstrādes.....	21
Att. 6: Risu dziļuma mērīšanas shēma.....	23
Att. 7: Dinamometriskās atslēgas informācija.....	25
Att. 8: Vērpes pretestības mērītāja shēma.....	26
Att. 9: Augsnes penetrācijas pretestības mērīšana.....	28
Att. 10: Nokrišņu apjoms laikā no cirtsmas izstrādes līdz projekta beigām.....	29
Att. 11: Vidējā gaisa temperatūra projekta izpildes laikā.....	29
Att. 12: Zaru masas sadalījums.....	32
Att. 13: Vērpes pretestība sadalījumā pa risu grupām.....	33

Kravu lieluma un skaita ietekme uz risu veidošanos galvenās cirtes cirmās ar organiskām augsnēm

Att. 14: Vērpes pretestība atkarībā no tehnoloģiskās brauktuves seguma.....	34
Att. 15: Penetrācijas pretestības mērījumi ar pilnu kravu.....	35
Att. 16: Penetrācijas pretestība ar pilnu kravu dažādos dziļumos.....	35
Att. 17: Penetrācijas pretestības mērījumi ar 6900 kg kravu.....	36
Att. 18: Penetrācijas pretestība ar uzkrautiem 6900 kg dažādos dziļumos.....	37
Att. 19: Penetrācijas pretestības izmaiņu raksturs.....	38
Att. 20: Penetrācijas pretestība.....	38
Att. 21: Risu dziļums sadalījumā pa parauglaukumiem to garuma virzienā.....	39
Att. 22: Risu dziļuma svārstības parauglaukuma garuma virzienā.....	40
Att. 23: Forvardera pārvietošanās pētījuma objektā.....	41
Att. 24: Sakarības starp degvielas patēriņu un pārvietošanās ātrumu.....	42
Att. 25: Degvielas patēriņa analīze, izmantojot programmu QGIS.....	43
Att. 26: Vērpes pretestība mērījumu sadalījumā par risu grupām.....	44
Att. 27: Augsnes penetrācijas un vērpes pretestības sakarības.....	45
Att. 28: Penetrācijas pretestība pētījuma objektā.....	46

Tabulas

Tab. 1: Kūdras saturošas grunts fizikālās īpašības.....	12
Tab. 2: Risu dziļuma mērīšanas intervāli.....	22
Tab. 3: Pārrēķinu koeficienti.....	26
Tab. 4: Nepieciešamā zaru materiāla apjoma sadalījums.....	32

IEVADS

Var uzskatīt, ka meža augsnē iespiestu risu problēma pastāv jau kopš tā laika, kad meža darbu vieglākai un ātrākai izpildei ir sāкта mašīnu izmantošana – tām ir jānokļūst līdz konkrētās tehnoloģiskās darbības vietai, jāpārvietojas darba laikā attiecīgajā teritorijā, no turienes jātiek projām. Sevišķi daudz mašīnu pārvietošanās notiek mašinizētā mežizstrādē un visvairāk kokmateriālu pirmējā transportā no cirtmas līdz krautuvei pie autotransportam piemērota ceļa. Šo darbu laikā radušos meža augsnes bojājumu raksturs un apmērs starp dažādiem gadījumiem atšķiras atkarībā no mašīnas raksturojuma, kokmateriālu pārvietošanas veida, augsnes (arī dziļāku grunts slāņu) īpašībām un ļoti lielā mērā no mitruma satura visā pārvietojošos mašīnu noslogojuma ietekmētajā slānī. Neapšaubāmi, ka lielāka negatīvā ietekme (dziļi un ļoti dziļi iespaidumi) sagaidāma tad, ja slogojošais spēks (mašīnas un pilnībā uz tās uzkrauto kokmateriālu kopējais svars) iedarbojas uz mazu atbalsta virsmas laukumu, t.i., ir liels spiediens uz atbalsta virsmu. Tikko minētais kā grūti risināma problēma izpaužas arī kokmateriālu pievešanā ar forvarderu tajos gadījumos, kad grunts noturība cirmā neatbilst šīs mašīnas attīstītajam spiedienam uz atbalsta virsmu, un arī pieejamais mežizstrādes atlieku daudzums nav pietiekams, lai izvairītos no nepieļaujami (AS Latvijas valsts mežs, 2015) dziļu risu iespiešanas augsnē. Lai pievešana nebūtu jāpārtrauc, ikdienas ražošanas apstākļos pievešanas ceļa uzlabošanai mēdz upurēt daļu no mazvērtīgākiem cirmā sagatavotiem kokmateriāliem. Tad nākas samierināties ar ekonomiska rakstura zaudējumiem, kuri tomēr ir mazāki nekā tie, kas rastos, ja uz nenoteiktu laiku (gaidot sausāka laika apstākļus, ziemas salu, meklējot cita veida paņēmienus pirmējā kokmateriālu transporta izpildei u.tml.) uz krautuvi nepievesti tiktu atstāti visi cirmā sagatavotie kokmateriāli.

Mūsdienu mežsaimnieciskajā ražošanā pastāvošās kompleksa rakstura loģistikas nodrošināšanai nav pieļaujamas situācijas, ka informācija par iesaistītajiem objektiem, piemēram, grunts apstākļiem mežizstrādei paredzētajās cirmās varētu būt tik nepietiekama, ka tas varētu apdraudēt sagatavoto kokmateriālu pievešanu iepriekš plānotajos termiņos. Ideālā gadījumā no piemērotības viedokļa attiecībā uz darbu ar forvarderu vajadzētu būt zināmam ar pietiekamu ticamību, cik liela ir sagaidāmā grunts pretošanās spēja to ietekmējošo apstākļu dažādās kombinācijās par visām izstrādei plānotajām cirmām, kuras nav neapšaubāmi attiecināmas uz tām, kur kokmateriālu pievešana ir iespējama jebkuros meteoroloģisku un īslaicīga rakstura klimatisku svārstību apstākļos, piemēram, sila, mētrāja, lāna vai damakšņa meža tipos (AS Latvijas valsts mežs, 2015). Pastāvot tāda veida informācijas pieejamībai, jau loģistikas plānošanas stadijā varētu noteikt pamatotu cirtsmu izstrādes secību ar pietiekami augstu varbūtību, ka kokmateriālu pievešana jebkurā no tām notiks atbilstoši pastāvošajām tehnoloģiskajām un apkārtējās vides aizsardzības prasībām. No

praktiskā viedokļa labi saprotams un salīdzinoši viegli nosakāms rādītājs grunts pretošanās spējas raksturošanai ir mašīnas riepu iespiesto risu dziļums.

Latvijā forvarderi ir pazīstami jau no iepriekšējā gadsimta septiņdesmito gadu otrās puses, bet citur pasaulē – nedaudz vairāk nekā desmit gadus pirms tam. Reizē ar šo mašīnu pielietojuma paplašināšanos arvien biežāka ir kļuvusi nepieļaujami dziļi iebrauktu risu sastopamība, un tas ir rosinājis nozares pētniekus iegūt zinātniski pamatotu informāciju par to kā par sākotnēji vairāk praktiski svarīgu, bet vēlāk arī, kā no izziņas viedokļa nozīmīgu objektu. Daudzu šīs jomas pētījumu mērķi un uzdevumi ir savstarpēji atšķirīgi, ir liela iegūto rezultātu daudzveidība, bet vēl arvien nav tādu, kuri atbilstu iepriekšējā rindkopā aprakstītajam, no praktiskā viedokļa ideālajam gadījumam.

Teiktajam kā objektīvs pamats ir lielā daudzveidība, kas izpaužas kā, pirmkārt, meža grunti raksturojošo īpašību dažādība, otrkārt, to apstākļu īpašību savstarpējo kombināciju daudzskaitlīgums, kas izraisa grunti raksturojošo īpašību variācijas plašā diapazonā, treškārt, cilvēka radīto tehnisko risinājumu plašais klāsts, kas ir radies kā pastāvīgi pielikto pūļu rezultāts, lai, nesamazinot mašīnas ražīgumu, tajā pašā laikā atstātu iespējami minimālu negatīvo ietekmi uz meža grunti. Šādas atziņas virza uz secinājumu, ka līdz šim veiktajā pētniecībā pārsvarā izmantota iedarbības seku analīze, konkrētam forvarderam iedarbojoties uz konkrētajā vietā esošo grunti. Tikko aprakstītā savstarpēji iedarbojošos iesaistīto objektu variāciju daudzveidība dod pamatu konstatēt, ka šīs problemātikas pētījumos ir radusies sistēmiskas pieejas nepieciešamība. Tādu pētījumu gaitā būtu iespējams nonākt pie rezultātiem, kas dod iespēju labāk izprast problēmu kopumā un reizē izvēlēties piemērotāko paņēmieni atsevišķas problēmas risināšanai konkrētos apstākļos.

Šobrīd nav iespējams pievērsties šajā pētnieciskā darba atskaitē izklāstītajam saturam no sistēmu analīzes viedokļa aiz tā vienkāršā iemesla, ka, pirmkārt, pašlaik Latvijā dotās tematikas jomā neviens valsts mēroga zinātniskās pētniecības projekts netiek realizēts (sistēmisku pieeju parasti izmanto plaša mēroga pētījumos), otrkārt, šim projektam pieejamā finansējuma ietvaros empīrisku datu ievākšana ir īstenojama tikai vienā cirmā. No tā jāsecina, ka jau pirms lauka mērījumu datu ievākšanas ir jāapzinās, ka šajā gadījumā datu apstrādē iegūtos rezultātus nevar attiecināt uz plašāku ģenerālkopu.

Pētījuma mērķis ir rekomendāciju izstrādāšana darba apstākļiem un plānotajam pievedamo kokmateriālu apjomam atbilstošas tehnikas izvēlei, lai tādējādi samazinātu izmaksas un ietekmi uz vidi apaļo kokmateriālu pievešanā galvenās cirtes cirmās uz gruntīm ar mazu nestspēju.

Mērķa sasniegšanai izvirzīti 4 pētnieciskie uzdevumi:

Kravu lieluma un skaita ietekme uz risu veidošanos galvenās cirtes cismās ar organiskām augsnēm

1. Izmēģinājumu objektu atlase un marķēšana vismaz 1,2 ha platībā, mežaudzē ar līdzīgiem augsnes nestspējas rādītājiem un kūdras slāņa biezumu visā tās platībā, ierīkojot sešus vismaz 70 m garus pievešanas ceļus.
2. Zaru seguma ierīkošanas kvalitātes kontrole (zaru segumu ierīko 30 m garos posmos 2 variantos: 1) ieklājot ceļos visas atliekas ($40\text{-}50\text{ kg m}^{-2}$); 2) ceļos ieklājot pusi no mežizstrādes atliekām (20 kg m^{-2}).
3. Lauka izmēģinājumi (risu mērījumi pēc katras kravas, augsnes penetrācijas un griezes pretestības mērījumi pirms un pēc pievešanas).
4. Iznestās grunts daudzuma modelēšana, balstoties uz risu mērījuma rezultātiem.

PĀRSKATS PAR PUBLIKĀCIJĀM, SAISTĪTĀM AR MAŠĪNU IETEKMI UZ MEŽA AUGSNI

Pētījuma izpildes laikā, iepazīstoties ar dažādu autoru publikācijām par šā projekta mērķim un uzdevumiem atbilstošas tematikas jautājumiem, ir konstatēts, ka vairāk nekā puse no izskatīto publikāciju skaita attiecas uz abu parasti sastopamo veidu, risu un augsnes sablīvēšanās, bojājumiem:

- mašīnu iespiestas rises 35%;
- augsnes sablīvējums zem risēm 22%;
- mašīnu pārvietošanās ceļa nostiprinājums ar mežizstrādes atliekām 14%;
- radušos augsnes bojājumu ietekme 14%;
- paņēmienu bojājumu samazināšanai 8%;
- bojājumu rašanos nosakoši apstākļi 7%.

Katrā no uzskaitītajiem tematiskajiem virzieniem izdalās šaurāki novirzieni, nonākot līdz kādam konkrētam tematam, arī ciešāk savstarpēji saistītu tematu grupai.

Attiecībā uz mašīnu iespiestām risēm kā atsevišķi novirzieni izdalāmi šādi tematiski līdzīgi pētījumi:

- risu veidošanos nosakoši faktori;
- risu veidošanās kā process;
- rises kūdrā;
- rises minerālaugsnēs;
- risu forma;
- risu dziļums;
- risu dziļuma mērījumi;
- inovatīvi paņēmienu risu parametru noteikšanai;
- risu sastopamības apmērs;
- matemātiski modeļi risu prognozēšanai.

Risu veidošanos nosakoši faktori minēti vairākās publikācijās (Han, Page-Dumroese, Han, & Tirocke, 2006; Mohtashami, Eliasson, Jansson, & Sonesson, 2017).

Trijos pētījumos (Martina Cambi, Certini, Neri, & Marchi, 2015; Edlund, Sveriges lantbruksuniversitet, & Institutionen för skoglig resurshushållning, 2012; Ismoilov, Sellgren, Andersson, & Löfgren, 2015) iegūta risu veidošanās procesa tuvākā izpētē noskaidrota informācija. Atsevišķi izpētes darbi veltīti risēm, kas iespiestas augsnē virs

kūdras slāņa (Uusitalo, Salomäki, & Ala-Ilomäki, 2015), vai minerālaugsnē (Eliasson & Wästerlund, 2007; Sirén u.c., 2019).

Risu veidošanos ietekmē liels skaits atšķirīgu apstākļu, un tas ir cēlonis lielai risu profila formu daudzveidībai (Labelle & Jaeger, 2012; Labelle, Jaeger, & Poltorak, 2015; Poltorak, Labelle, & Jaeger, 2018).

Vērtējot meža mašīnu ietekmi uz meža augsni, kā nepārprotama bojājumu apliecinoša pazīme ir mašīnas riteņu iespiestās rises dziļums (Bygdén, Eliasson, & Wästerlund, 2003; Cvetkova & Noviks, 2016; Lazdiņš u.c., 2017; Lazdiņš & Zimelis, 2015a; Pužuls, Štāls, Zimelis, & Lazdiņš, 2018; Saarilahti & Anttila, 1999) un tā mērījumi (Martina Cambi u.c., 2015; Poikela, 2011). Mūsdienās arvien biežāk risu parametru noteikšanā mēģina izmantot inovatīvus paņēmienus (Poršinsky, Pentek, Bosner, & Stankić, 2012; "Wheel rut measurements by forest machine-mounted LiDAR sensors – accuracy and potential for operational applications?: International Journal of Forest Engineering: Vol 29, No 1", b.g.).

Nevēlamu risu negatīvas ietekmes kopapjoms ir saistīts ar to sastopamību (Kalēja, Lazdiņš, & Zimelis, 2014; Lazdiņš & Zimelis, 2015b; *Operations Protocol for Eco-efficient Wood Harvesting on Sensitive Sites*, 2012). Risu prognozēšanai tiek izmantotas arī matemātiskās modelēšanas metodes (Palander & Karha, b.g.; Ronnqvist, Westerlund, & Carlsson, 1999).

Par augsnes sablīvējumu zem risēm informācija atrodama vairākos pētījumos (Ampoorter, Van Nevel, De Vos, Hermy, & Verheyen, 2010; M Cambi u.c., 2018; Martina Cambi u.c., 2015; Gerasimov & Katarov, 2010; Matangaran, 2012; Munteanu & Apăfăian, 2015; Prindulis, Kaleja, & Lazdins, 2016; Sakai, Nordfjell, Suadiciani, Talbot, & Bøllehuus, 2008).

Pārvietošanās ceļu nostiprinājums ar mežizstrādes atliekām ir parasti mežizstrādes ikdienas praksē lietots paņemiens mašīnu pārvietošanās negatīvās ietekmes ierobežošanai (Hakkila, 1989; Labelle & Jaeger, 2012; T. P. McDonald & Fulton, 2005; T. McDonald, Way, Lofgren, Seixas, & Landstrom, 1996; Poltorak u.c., 2018).

Radušos augsnes bojājumu ietekme izpaužas dažādos veidos (M Cambi u.c., 2018; Martina Cambi u.c., 2015; Hytönen, 2003; Lazdāns u.c., 2004; G. Murphy, Firth, & Skinner, 2004; P. N. C. Murphy, Ogilvie, & Arp, 2009; Rozītis, Zimelis, & Lazdiņš, 2017; Solgi & Najafi, 2014; Toivio u.c., 2017). Daļā no izskatītajām publikācijām var iegūt atziņas, pamatotas bojājumu samazināšanas dažādu paņēmienu pētījumos (Ala-Ilomäki, Högnäs, Lamminen, & Sirén, 2011; AS "Latvijas valsts meži", 2012; Lazdāns u.c., 2004; LVMI Silava, 2017; Sirén u.c., 2019). Vairākas publikācijas pārsvarā attiecas uz bojājumu rašanos nosakošiem apstākļiem (AS Latvijas valsts mež, 2015; Eliasson & Wästerlund, 2007; Tiernan u.c., 2004).

Saskaņā ar projekta temata saturu un izvirzīto darba mērķi līdz šim zināmās informācijas apskats veikts trijos virzienos:

- augsnes nestspēja un dažādas grunts mehāniskā izturība kokmateriālu pievešanas ceļos „ar” un „bez” nostiprinoša papildus seguma;
- meža mašīnu ritošās daļas radītu risu veidošanās meža apstākļos dažādos gadalaikos;
- mežizstrādes laikā sagatavoto kokmateriālu pievešana sarežģītos apstākļos, kas rodas no meža augsnes nestspējas īpatnībām.

Augsnes nestspējas analīze meža apstākļos

Kopš mežizstrādē tika ieviests mehanizētais kokmateriālu pirmējais transports pielietojot traktortehniku, ir kļuvis aktuāls jautājums par šīs tehnikas caurgājāmību dažādās meža augsnēs. Viens no pirmajiem pētījumiem par augsnes nestspēju bija publicēts jau 1959.g. (Babkov, Birulja, & Sedenko, 1959).

Pirmā kārtā tika analizētas meža grunts fizikālās īpašības, un jau 1961.g. bija publicēti dažādas meža gruntis raksturojoši lielumi.

Daļa no meža gruntis raksturojošiem lielumiem sasaistē ar projekta tematu atspoguļota Tab. 1 (projektā paredzēts analizēt tikai kūdras augšņu grupai piederošās meža augsnes).

Tab. 1: Kūdras saturošas grunts fizikālās īpašības

Parametrs	Īpatnējais svars dabiskos apstākļos, kg m ⁻³	Kūdras mitrums dabiskos apstākļos, %	Kūdras sadalīšanās pakāpe, %
Tīra kūdra	600	-	-
Kūdra ar koku saknēm (līdz 30 mm)	1100	-	-
Zemo purvu kūdra	-	88	52
Sfagnu kūdra	-	93	19
Sūnu – kosu kūdra	-	89	25

Augsnes un grunts mehānisko īpašību raksturošanai noteikti rādītāji:

- grunts spiedes pretestība;
- grunts deformācijas pretestība;
- grunts bīdes (vērpes) pretestība.

Visu uzskaitīto pretestības rādītāju skaitliskie lielumi ir atkarīgi no slodzes rakstura, to iedalot pa iedarbības veidiem:

- statiska slodze;
- dinamiska slodze;
- vibrāciju slodze.

Ārējā slodze, kuru veido, piemēram, mežizstrādes mašīnas ritenis, augsnē rada gan tās saspiešanu, gan sānisku izspiešanu gar riteņa sānu malām, gan elastīgu izliekšanos.

Par grunts mehāniskām īpašībām literatūrā (Шаров & Легенькая, 2005) atzīmēts, ka, jo lielāks ir summārais riepju kontaktu laukums, jo grunts dziļākos slāņos slodzes epīra tiek mazāk ietekmēta.

Karēlijas universitātē veiktos 2010. līdz 2015.g. pētījumos noteikts, ka, lai uzlabotu pievešanas ceļu nestspēju, uz kūdras augsnēm nepieciešams ieklāt ciršanas atliekas $0,02 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \div 0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$, un tā nodrošināt mežizstrādes mašīnu ritošās daļas pietiekamu saurgājamību (Галактионов & Кузнецов, 2012).

Lai pastiprinātu meža augsnes nestspēju, var izmantot ciršanas atliekas, kuru apjoms uz katru sagatavoto apaļo kokmateriālu m^3 egļu audzēs ir $50 \div 70 \text{ kg}$, priežu audzēs – $80 \div 100 \text{ kg}$, bērzu audzēs – $90 \div 110 \text{ kg}$, apšu audzēs – $110 \div 140 \text{ kg}$. Atkarībā no gadalaika, darbu tehnoloģijas un citiem apstākļiem, var uzskatīt, ka reāli iegūstami ir $50 \div 70\%$ no tikko minētajiem daudzumiem (Ieviņš & Špalte, 1982).

Meža mašīnu izmantošanas rezultātā risu veidošanās tematika plaši atspoguļota Sanktpēterburgas mežtehnikas universitātes pētnieciskajā programmā. Rezultātā 2014. gadā un 2013. gadā aizstāvētas divas disertācijas (Лисов & Язов, 2014), saistītas ar pētījumiem par risu veidošanu kāpurķēžu traktoriem meža augsnēs. Atzīmēts, ka vēsturiski liela uzmanība pētījumos veltīta grunts nestspējai, bet no jauna tiek analizēts nestspējas rādītājs meža augsnēm. Galvenā uzmanība augšminētajos darbos veltīta meža augsnes nestspējai uz minerālām augsnēm ar dažādu mitruma %. Meža augsnes fizikāli – mehāniskās īpašības izmaiņas ritošās daļas rises zonā un šo izmaiņu matemātiskie modeļi analizēti un salīdzināti ar praksē iegūtiem penetrācijas rādītājiem.

Tomēr šajos pētījumos nav izvērtēta risu veidošanās dinamika un fizikāli mehāniskās īpašības meža augsnēm ar kūdras virskārtu. Kiseļovs D.S apskata savā darbā fizikāli mehānisko īpašību izmaiņas plastiskām meža augsnēm risu zonā bez ciršanas atliekām (Базаров, Григорьев, Киселев, Никифорова, & Иванов, 2012). Darbos piedāvātas aprēķinu formulas augsnes deformācijām, ko attīsta riteņu ritošā daļa un riteņu – kāpurķēžu tandēms uz minerālām augsnēm.

Baltkrievijas valsts tehnoloģiskā universitātē A.S. Fedorenčiks u. c. rakstā (Семенович, Степанович, & Александрович, 2002) 2002. gadā piedāvāja matemātisko modeli, kā analizēt risu veidošanos mežizstrādes pievešanas ceļos, stiprinātus ar ciršanas atliekām. Šā modeļa izmantošana ļauj noteikt slodžu ietekmi, ko rada riteņu un riteņu – kāpurķēžu ritošā daļa uz meža augsni. Ņemot vērā meža augsnes plastiskumu un nestspēju, var noteikt rises dziļuma palielinājumu ar ciršanas atliekām stiprinātiem pievešanas ceļiem pēc katra mežizstrādes traktora brauciena. Rakstā tomēr nav informācijas par kūdras augšņu reakciju uz ritošās daļas ietekmi, un ir atzīmēts, ka uz kūdras augsnēm šī metodika nav adoptēta.

Meža mašīnu ritošās daļas radītu risu veidošanās

Pirmajā pētnieciskās pieejas etapā lielākā uzmanība veltīta meža riteņtraktoru iespiestu risu veidošanai sniega apstākļos. Galvenā uzmanība pievērsta darba ražīguma izmaiņu un traktoru kustības ātruma izmaiņu analīzei dziļā sniega apstākļos (Ieviņš & Špalte, 1982).

Atzīmēts, ka sniega apstākļos risu dziļums sākumā ievērojami samazina darba ražīgumu visiem riteņtraktoriem, bet risu nostabilizēšanās stāvoklī risu dziļums samazinās un reizē palielinās traktoru kustības ātrums, līdz ar to dodot iespēju palielināt darba ražīgumu. ZRA „SILAVA” 1982.g. veiktos pētījumos konstatēts, ka augsnes sablīvēšana traktoru risēs atkarīga no meža mašīnu ritošās daļas īpatnējā spiediena uz augsni un no pārbraucienų skaita, kā arī no augsnes nestspējas izmaiņām atkarībā no mitruma pakāpes. MPS „Kalsnava” konstatēts, ka, ja meža traktora dzinēja jauda un uzkrāvums palielinās 4 reizes, tad arī bojājumu apmērs pieaug aptuveni 4 reizes (Ieviņš & Špalte, 1982).

Reālas ražošanas pieredzes apkopojums Latvijas apstākļos pirmo reizi publicēts 1987.g. kā uzkrātās atziņas ražošanā Jūrmalas MRS (Grugulis, 1987). Šajā rakstā aprakstītas pielietotās mežizstrādes tehnoloģiskās shēmas, paredzot tehnoloģisko koridoru stiprināšanu ar ciršanas atliekām (zariem, galotnēm, nelikvīdu stumbru koksni). Risu veidošanos ļauj minimizēt ar rokām sakrautu zaru klājums ap 25cm augstumā.

Mežizstrādes laikā sagatavoto kokmateriālu pievešana uz zemas nestspējas augsnēm

Kopš 2000. gada pētnieciskajā tematikā parādās rezultāti par meža traktortehnikas caurgājamību atkarībā no meža vides parametriem. Sevišķi lielu uzmanību pētnieki veltījuši mežizstrādes darbiem uz zemās nestspējas meža augsnēm.

Jauns rādītājs – tehnoloģiskās caurgājamības koeficients (1. formula) literatūrā ir parādījies 2012. gadā (Галактионов & Кузнецов, 2012).

$$K_{tc} = \frac{Rr * gr}{Ri * gi}; kur \quad (1)$$

K_{tc} – tehnoloģiskās caurgājamības koeficients;

Rr – maiņas ražīgums reālos cirmsas apstākļos, m^3 ;

Ri – maiņas ražīgums ideālos ražošanas apstākļos, m^3 ;

gr – degvielas patēriņš cirmsas reālos apstākļos, $l m^{-3}$;

gi – degvielas patēriņš ideālos ražošanas apstākļos, $l m^{-3}$.

Augšminētā koeficienta izmantošana ļauj salīdzināt un analizēt dažādu marku piededējtraktoru izmantošanas efektivitāti atkarībā no meža augsnes nestspējas īpatnībām. Izmantojot augšminēto koeficientu, var vērtēt ieklāto ciršanas atlieku apjoma ietekmi uz caurgājamību dažādos meža apstākļos.

Rezultātā autori (Галактионов & Кузнецов, 2012) konstatēja, ka, lai kūdras augsnēs veiktu 10 pievešanas mašīnas braucienus, ir nepieciešams nodrošināt ciršanas atlieku daudzumu $0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$.

Ražošanas pieredze Komi republikā (Krievija), cirmās uz kūdras augsnēm ievēro valstiski atzītu rekomendāciju: izmantot traktortehniku ar īpatnējo spiedienu uz grunti (atbalsta virsmu) vairāk nekā $0,5 \text{ kg cm}^{-2}$ nav pieļaujams (Засухин, Серый, & Минин, 2004).

Vesela nodaļa Somijas meža pētīšanas institūta „Metla” pārskatā par mežizstrādi un loģistiku Krievijas apstākļos 2012. gadā veltīta mežizstrādei uz pārmitrām meža augsnēm (Герасимов & Катаров, 2012).

Liela uzmanība par riepu ietekmi uz meža vidi veltīta "Croatian journal of forestry engineering" zinātnisko rakstu referātu krājumos. Cudzik, Brennenstul, Białczyk, & Czarnecki (2018) analizē, kā riepas protektors ietekmē augsnes virskārtu meža apstākļos. Modelējot slodžu reakciju riepām (400/55-22,5), to salīdzina ar populāro meža riepu (95-24) un konstatē, kā riepa (400/55-22,5) mazāk deformē un nobīda augsnes virskārtu. Marusiak, Neruda, & Astrup (2018) analizē slodžu ietekmi uz meža traktortehnikas riepām, tajās mainot gaisa spiedienu. Wijekoon, Sellgren, Pirnazarov, & Löfgren (2012) apskata pētījumus, pielietojot penetrācijas metodi meža augsnes pretestības spējas noteikšanai dažādos dziļumos augsnes profilā risē zem noslogotas riepas. Izmēģinājumos analizēts dažāds gaisa spiediens meža riepās forvardera tipa meža mašīnās. Eliasson (2005) analizē riepu gaisa spiediena ietekmi uz forvardera kravnesību, caurgājāmību un augsnes mitruma izmaiņām risēs zonā dažādos dziļumos.

PĒTĪJUMA METODIKA

Lai izpildītu līgumā paredzēto darba plānu, metodoloģiski divos posmos sagatavots pētnieciskais objekts un pētījuma norises gaita.

Pirmajā posmā darbs veltīts pētnieciskās cirtes teritorijas atlasei un sagatavošanai pētnieciskajam eksperimentam.

Otrajā posmā darbs veltīts pētniecisko datu ieguvei, lai nonāktu pie atziņām par augsnes nestspējas novērtējumu atkarībā no mežizstrādē sagaidāmās slodzes kokmateriālu pirmējā transportā.

Pētnieciskā objekta atlase un sagatavošana eksperimentāliem pētījumiem

Objekta atrašanās vieta bija norādīta jau līguma pieteikumā – konkrēti MPS “Kalsnava” Pļaviņu apgaitas 178. kvartāla 3. nogabalā. Mežaudzes sugu sastāvs 6E4B82, II bonitāte, taksācijas rādītāji (2006. g.):

- audzes šķērslaukums (G) – $26 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$;
- vidējais koku augstums – 22 m;
- krāja – $317 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Cirtes dati:

- platība – 2,75 ha;
- meža tips – Ks (šaurlapju kūdrenis);
- sugu sastāvs – 6E4B82;
- koka vidējais augstums – 22 m;
- vidējais krūšaugstuma caurmērs – 26 m;
- ciršanas laikā konstatētā krāja – $175 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Pameža raksturojums cirmā:

- kociņu skaits – $15\,000 \text{ gab. ha}^{-1}$;
- kociņu vidējais augstums – 3,5 m;
- kociņu vidējais caurmērs griezuma vietā – 3,0 m.

Pameža kociņu sugu sastāvs:

- lazdas;
- krūklī;
- pīlādži;

Kravu lieluma un skaita ietekme uz risu veidošanos galvenās cirsmās ar organiskām augsnēm

- kārkli;
- saimnieciski mazvērtīga egles paauga.

Pameža kociņu izvietojums cirsmas teritorijā ir vienmērīgs.

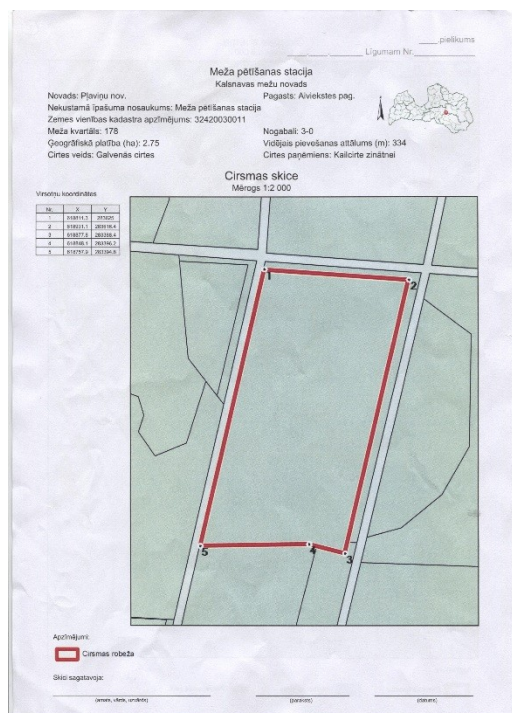
Zemsedzes augu sugas:

- mellenes;
- zaķskābenes;
- papardes;
- nātres.

Zemsedzes augu izvietojums ir blīvs.

Kūdras slāņa biezums – 50 cm.

Cirsmas forma maz atšķiras no taisnstūra, pieslien kvartālu stīgai (Att. 1).

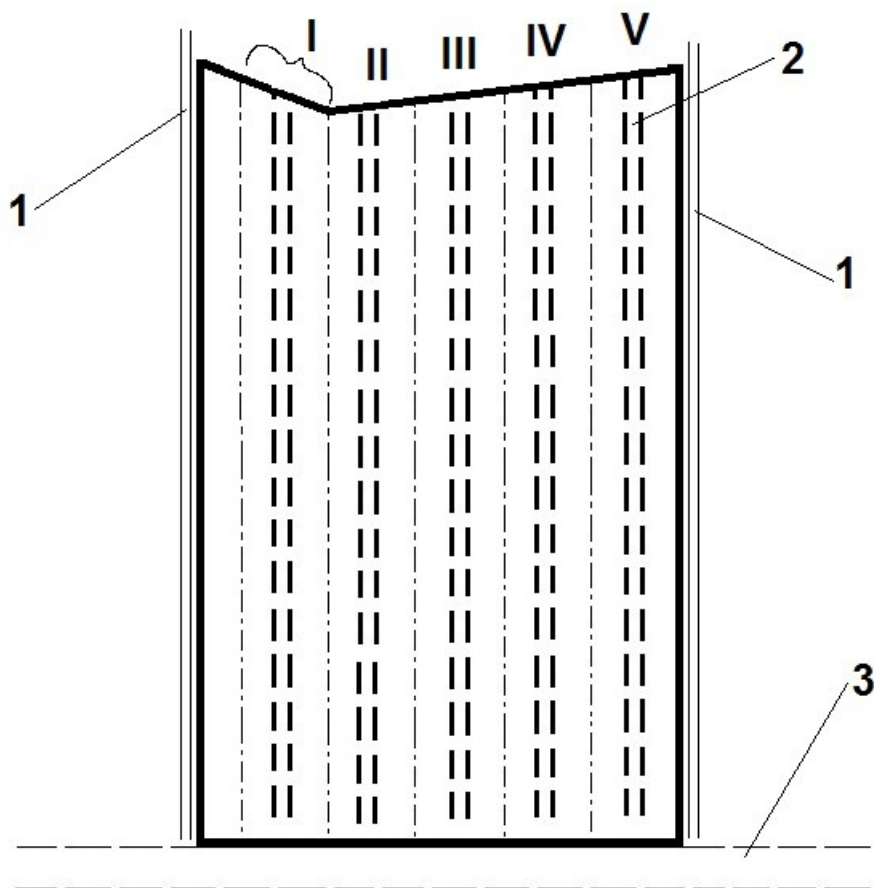


Att. 1: Cirsmas shēma.

Cirsmas ierīkošanas laikā veicot cērtamo koku individuālu uzskaiti un uzmērīšanu, konstatētā krāja ($147 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) atšķiras no taksācijas aprakstā dotās ($317 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

Izvēlētajā teritorijā veikta mežizstrādes tehnoloģiskā sagatavošana, iezīmējot tehnoloģisko brauktuvju virzienus un asu līnijas (vizūras), kur notiks sagatavoto kokmateriālu pirmējais transports (pievešana). Cirsmā ierīkotas piecas tehnoloģiskās brauktuves (Att. 2).

Veicot mežizstrādes procesu ① un ② slejās, tehnoloģiskajā brauktuvē tiek ieklāti visu nocirsto koku zari, galotnes un citas ciršanas atliekas (Att. 2). Sleju ③, ④ un ⑤ tehnoloģiskajās brauktuvēs ir ieklātas ciršanas atliekas no visām koku sugām, izņemot egli. Egles zari un galotnes, sākot ar brauktuves ③ labo pusi, ir sakrautas kaudzēs – pusslejās blakus pievešanas ceļam. Kaudzes krautas 2 m÷3 m platā joslā, izmantojot 3 līdz 7 brauktuves tuvumā nogrieztu egles koku zarus un galotnes. Kaudžu augstums ir 1,0-2,0 m, attālums starp tām – 10÷20 m.



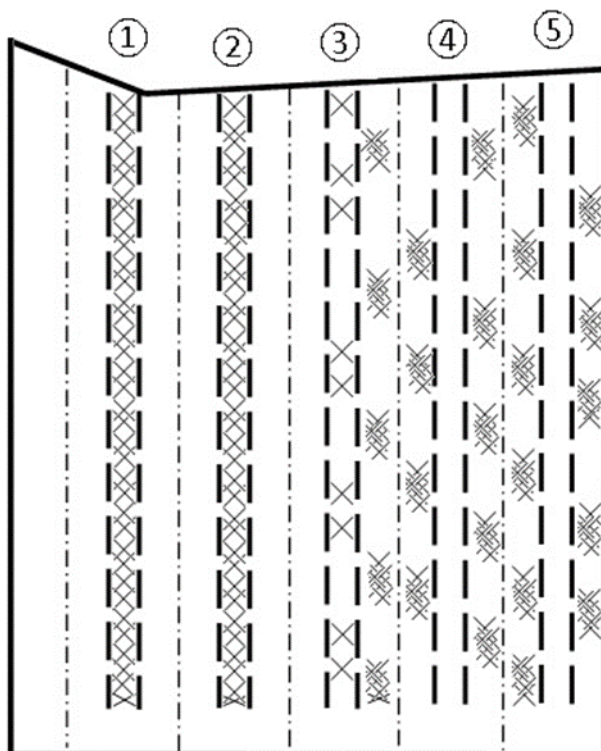
Att. 2: Cirtmas iedalījums slejās: 1 – meliorācijas grāvis; 2 – kokmateriālu pievešanas ceļš; 3 – kvartālstīga; I ... V sleju izstrādes secība.

Ciršanas atlieku izmantošana ①, ② un ③ slejās pilnā apjomā atļāva pievešanas darbu cirtmas slapjākā daļā veikt bez negatīvām sekām attiecībā uz apkārtējo vidi. Pievešanas apstākļi slejās ④ un ⑤ augsnes mitruma dēļ vizuāli izskatījās labāki nekā trīs pārējās. Praktiski pierādījās, ka arī šajās slejās pievešanas darbu varēja izpildīt sekmīgi, tikai dažās vietās pievešanas ceļa stiprināšanai izmantojot malkas koksnī. Dziļo risu dēļ radušies lielāki augsnes bojājumi novērojami maģistrālajā pievešanas ceļā, kurš atradās kvartālstīgas joslā. Cirmā pēc mežizstrādes palikuši lietkoksnis sortimenti nav konstatējami.

Krāvu lieluma un skaita ietekme uz risu veidošanos galvenās cirtes cirmās ar organiskām augsnēm

Pirmajā, otrajā un trešajā slejā tehnoloģisko brauktuvju nostiprināšanai izmantotas visas pieejamās mežizstrādes atliekas. Ceturtajā un piektajā slejā visi egles zari sakrauti kaudzēs, brauktuvju nostiprināšanai izmantojot tikai mežizstrādes atliekas no pārējiem cirtmas kokiem.

Mežizstrāde cirmā veikta atbilstoši pētījuma nepieciešamībai, proti, zarus kraujot kaudzē. Metodes nepieciešamība izriet no plāna ciršanas atliekas ieklāt tehnoloģiskajās brauktuvēs, bet kontroles parauglaukumus no zariem atbrīvojot pilnībā. Līdz ar to par piemērotāku izvēlēta tieši iepriekš minētā metode.



Att. 3: Cirtmas shēma pēc mežizstrādes tehnoloģiskā procesa noslēgšanas:

Apzīmējumi:

②

slejas numurs;



tehnoloģiskā brauktuve ar ciršanas atlieku segumu;



tehnoloģiskā brauktuve bez egles zariem un galotnēm tās segumā;

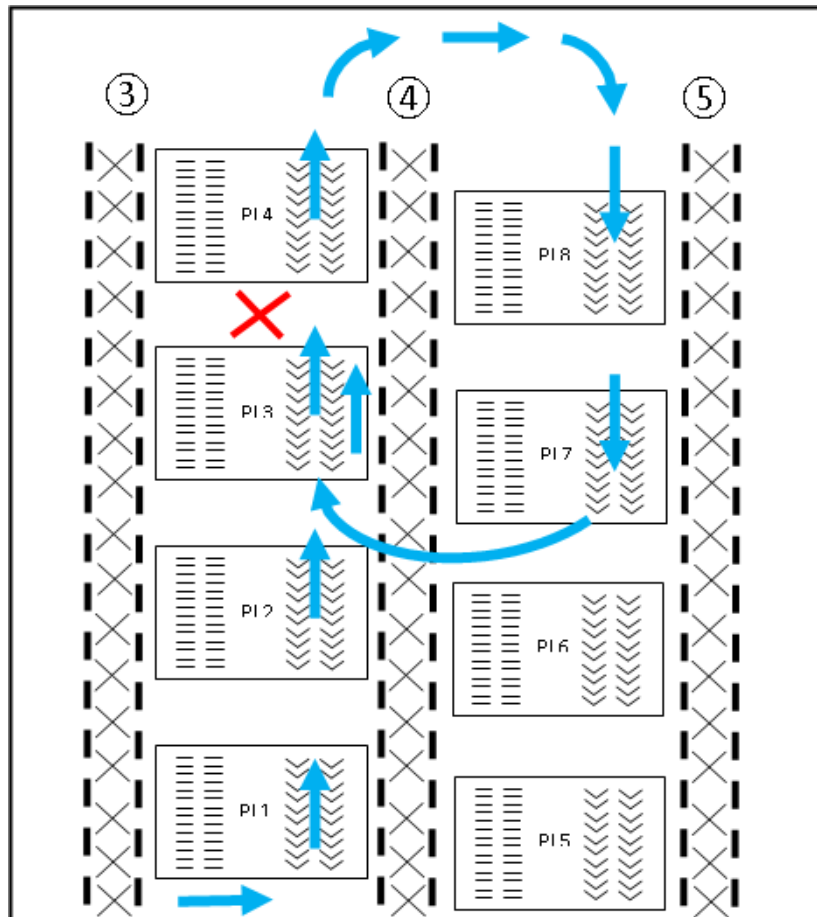


egles zaru un galotņu kaudzes.

Kravu lieluma un skaita ietekme uz risu veidošanos galvenās cirtes cismās ar organiskām augsnēm







Cirsmā izstrādāta un kokmateriāli pievesti augšgala krautuvē līdz 07.10.2019. Pētnieciskā posma eksperimentu vajadzībām krautuvē atstāti apm. 15 m³ egles papirmalkas.

Parauglaukumi forvardera eksperimentālo braucienu maršrutā (Att. 4) izvietoti pusslejās starp 3. un 4. pievešanas ceļu, un starp 4. un 5. pievešanas ceļu.



Att. 4: Cirsmas fragments, kur notika forvardera eksperimentālā pārvietošanās ar kravu.

Apzīmējumi:

-  - mežizstrādes tehnoloģiskās brauktuves;
-  - parauglaukuma robežas ar secības numuru;
-  - risu vieta ar zaru klājumu 20-30 kg uz m⁻² (apz. 0,5);
-  - risu vieta ar zaru klājumu 40-50 kg uz m⁻² (apz. 1,0);
-  - forvardera braukšanas maršruts;
-  iestrēgšanas vieta.

Cirsmas izskats pēc mežizstrādes (Att. 5) dod pamatu secinājumam, ka sausajā periodā, brauktuvju nostiprināšanai uz kokmateriālu savākšanas ceļiem izmantojot visas mežizstrādes atliekas, forvardera darbs pievešanā ir bijis apgrūtināts tikai pārvietošanās laikā pa maģistrālo pievešanas ceļu. Kritiski dziļas (>20 cm) rises novērotas arī forvardera braucienos tieši gar kvartāla stigu.



Att. 5: Cirsma pēc mašinizētas mežizstrādes.

Augsnes nestspējas noteikšanas eksperimentālais posms

Pētījumam paredzētajā cismā starp 3., 4. un 5. tehnoloģisko brauktuvi iekārtoti 8 parauglaukumi. Katra parauglaukuma garums ir 30 m, parauglaukumu izvietojams parādīts Att. 4). Parauglaukumos manuāli izveidotas speciālas brauktuves, tās nostiprinot ar egles zariem (Att. 4).

Starp ierīkotajiem parauglaukumiem atstāti apm. 20 m gari pārtraukumi bez zaru klājuma, paredzēti kontroles salīdzinājumiem. Brauktuvju vietas parauglaukumos izvēlētas tā, lai tajās nebūtu celmu, kritalu u.tml. šķēršļu, kas varētu ierobežot netraucētu forvardera pārvietošanos.

Eksperimentu veikšanas gaita

Risu dziļuma mērīšanas instruments

Lai veiktu forvardera ritošās daļas radīto risu dziļuma mērījumus, ir izgatavots mērīšanas instruments, izstrādāta mērījumu skala un mērījumu ievākšanas gaita. Instruments sastāv no nesoša rāmja (Att. 6), kura atbalsta kāja savienota ar horizontālu plati, veidojot 90° leņķi. Kājas savienojums ar plati ir pietiekami stingrs, lai, rīkojoties ar to cirtsmas apstākļos, instruments netiktu sabojāts. Uz horizontālās plātes nostiprināts limeņrādis, nodrošinot plātnes horizontālu stāvokli risas dziļuma mērīšanas brīdī. Plātnē ir izgriezts apaļš caurums, caur kuru uz vienu un otru pusi var pārbīdīt graduētu stieni. Nulles atzīme stieņa graduējumā atrodas atbalsta kājas augstumā. Mērstieņa graduējuma iedaļa ir vienlīdzīga 5cm, kas atbilst risu dziļuma mērīšanā pieņemtajam intervālam (Tab. 2).

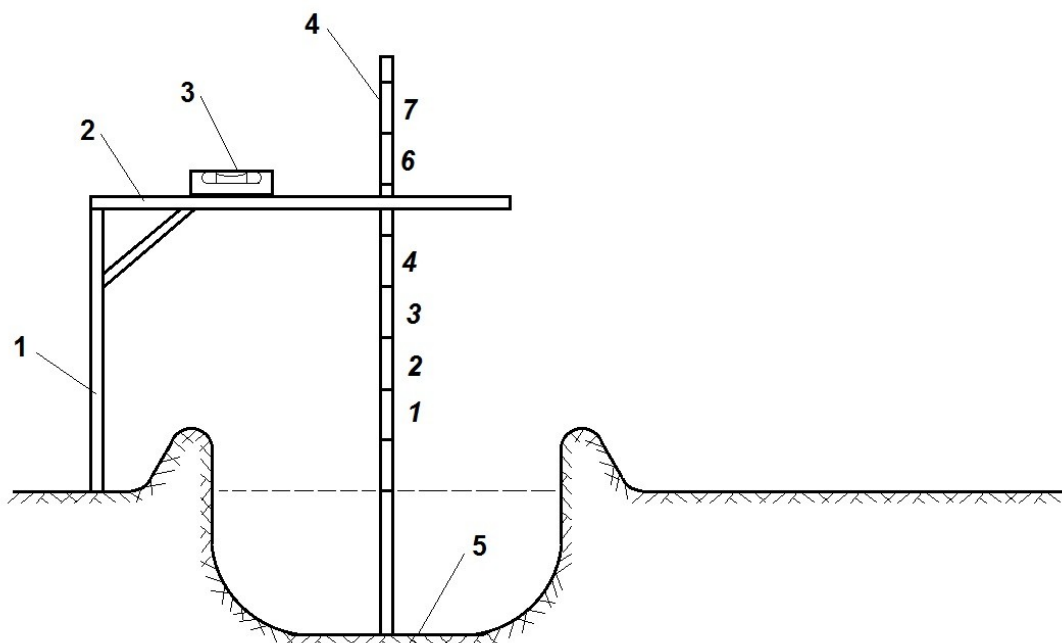
Tab. 2: Risu dziļuma mērīšanas intervāli

	Risu dziļums, cm						
	0 - 5	5,1 - 10	10,1 - 15	•••	•••	50,1 - 55	55,1 - 60
Intervāls	0	1	2	•••	•••	9	10

Mērstieņa apakšējā gala atdures laukums ir 5 cm². Tas ļauj mērīšanas brīdī atdurei atbalstīties pret risas pamatni, tajā neiespiežoties dziļāk.

Risu dziļuma mērīšanas skala

Meža cirmā uz pievešanas ceļiem iespiesto risu pamatnēs ir ne tikai grunts, bet koku saknes, atlūzas, zari u.c. ciršanas atliekas, un tas traucē katrā konkrētā risas dziļuma mērīšanas punktā iegūt nepārprotamu precīzu skaitlisko lielumu, atbilstošu lineāro parametru mērīšanas fizikālajiem principiem un SI sistēmas mērvienībām (Att. 6).



Att. 6: Risu dziļuma mērīšanas shēma¹.

Cenšanās noteikt risas dziļumu ar precizitāti līdz 1 mm nevar uzlabot priekšstatu par risu veidošanās patieso procesu, tāpēc risu dziļuma mērījumi izdarāmi pa 5 cm intervāla grupām (Att. 6). Minētais intervāla lielums nodrošina pietiekamu mērīšanas precizitāti, turklāt, atkārtotu mērījumu gadījumos pa vieniem un tiem pašiem punktiem iespējams iegūt vienāda lieluma rezultātus.

Risas dziļuma atbilstību noteiktam intervālam nosaka ar mērījumiem, izmantojot augstāk aprakstīto instrumentu. Mērījumu punktus izvēlas cirmā iezīmētajā parauglaukumā, sākot ar risas pirmā metra viduspunktu un turpinot tālāk ik pa 1,0 m. Mērījuma brīdī mērinstrumenta plātnei jābūt horizontālā stāvoklī. Par to var pārlicināties pēc līmeņrāža rādījuma. Nolasīto intervāla numuru ieraksta datu reģistrācijas žurnālā.

Zaru svēršanas apraksts

Zaru svēršanai izmantoti svāri Kern&Sohu HC50k20 ar mērījumu diapazonu 0 ... 50 kg un $\pm 0,1$ kg svēršanas precizitātes rādītāju. Svāri ir aprīkoti ar piekares skavu un āķi sveramo priekšmetu piekabināšanai svēršanas brīdī. Sveramo zaru saiņa piekabināšanai izmantota elektroiekārtu piedziņas dzensiksna, kuras garums ir 800mm un masa 0,12 kg. Svāri ir jāiekarina zem pietiekami augsta trijkāja tādā augstumā, lai svēršanas brīdī sveramo zaru sainis būtu tā pieāķēts svāriem, ka nepieskartos ne svaru korpusam, ne kādai no trijkāja sastāvdaļām. No metāla izgatavots standarta trijkājis, kura augstums ir 1,5 m, zaru svēršanai nav ērti izmantojams, jo pieāķēšana notiek lēni.

¹ Apzīmējumi : 1 – risu dziļuma mērinstrumenta atbalsta kāja; 2 – mērinstrumenta plātne; 3 – līmeņrādis; 4 – mērstienis; 5 – risas pamatne; 1 ... 7 risas dziļuma intervālu iedaļas.

Tāpēc pētījuma vajadzībām izgatavots koka trijkājis ar vienu garāku atbalsta kāju, pateicoties kurai svarus zem trijkāja iespējams nostiprināt 1,8 m augstumā no zemes un reizē ar to panākt daudz brīvāku sveramā saiņa pieāķēšanu.

Katrs sveramo zaru sains pirms svēršanas ir cieši jāapņem ar augstāk minēto, piekabināšanai paredzēto, piedziņas dzensiksnu. Izveidotā zarus apžņaudzošā cilpa uz sveramā saiņa jācenšas novietot iespējami tuvu attiecībā pret saiņa smaguma centru. Tādējādi tiek panākts, ka svariem pieāķētais sains atrodas brīvi iekarīnātā stāvoklī un svēršanā iegūtais rezultāts ir ticams.

Svēršanā iegūto rādījumu nolasa no svaru displeja, no tā atskaita saini aptverošā žņauga masu (0,12 kg) un iegūto rezultātu ieraksta reģistrācijas žurnālā.

Egļu zaru biomasa

Biomosas apjoma prognozēšana

Potenciāli iegūstamā koksnes biomosas apjoma noteikšanai, lai prognozētu kopēji pieejamo egles zaru biomasu, pielietoti aprēķini, izmantojot J. Liepiņa izstrādāto vienādojumu. Biomosas aprēķiniem kā izejas dati tiek izmantoti iegūtās lietkoksnes apjoms sadalījumā pa sortimentu veidiem, balstoties uz hārvestera sagatavoto kokmateriālu specifiku. Pēc cirmas izstrādes kontraktors iesniedz sagatavoto egles lietkoksnes apjomu un papildus kalibrēšanas failu (ktr), lai varētu uzzināt uzmērīšanas kļūdu. Balstoties uz iepriekš minēto informāciju, teorētiski pieejamā zaru biomasa aprēķināta, izmantojot 2. vienādojumu (Liepiņš, Lazdiņš, & Liepiņš, 2017).

$$B = a \times V^b \text{ kur :} \quad (2)$$

B – iegūstamā koksnes biomasa, kg saunas ;

V – koksnes krāja, $m^3 ha^{-1}$;

a – koeficients(3,785) ;

b – koeficients(0,429).

Ieklājamo zaru skaita noteikšana

Tehnoloģiskajā brauktuvē ieklājamā zaru apjoma noteikšanai izmantota masas metode, kurā nepieciešams zināt viena ieklājamā zara masu. Masu atrod, izmantojot uz trijkāja uzstādāmus svarus, pie kuriem piestiprināts āķis, lai būtu iespējams nosvērt vienu atsevišķu zaru. Zara caurmērs mērīts tā griešanas vietā jeb zara resgaļa daļā, t.i., savienošanās vietā ar koka stumbru. Zari sadalīti 5 grupās atkarībā no to caurmēra, kur 1. grupā ir zari ar caurmēru līdz 2 cm, 2. grupā – no 2,1 līdz 3,0 cm, 3. grupā – >3 cm, 4. grupā ir galotnes, kuru caurmērs ir mazāks nekā 3 cm un 5. grupā – galotnes ar caurmēru virs 3 cm. Zara garumam noteikts minimālais ierobežojums, vienlīdzīgs forvardera riepas platumam (40 cm).

$$Z_{sk.} = \frac{PL \times A}{Z_m} \text{ kur :} \quad (3)$$

$Z_{sk.}$ – zaru skaits, gab ;

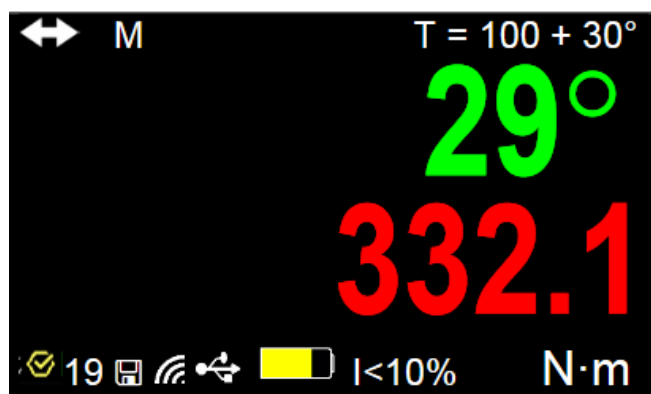
PL – parauglaukumā noklājamā platība, m^2 ;

A – tehnoloģiskajā brauktuvē ieklājamais zaru apjoms, $kg\ m^{-2}$;

Z_m – viena zara masa, kg.

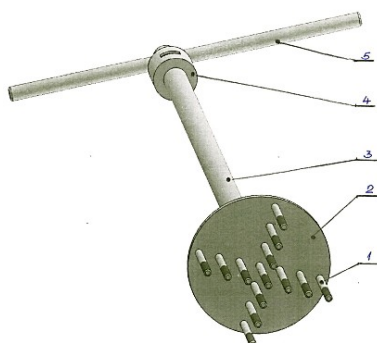
Vērpes pretestība

Mērījuma ierīcei izmanto NORBAR TORQUE (modelis: NorTronic 330) dinamometrisko atslēgu, kura nodrošina mērījuma precizitāti $\pm 3\%$, atbilstoši rūpnīcas sertifikātam (ISO 6789-2:2017). Mērījuma diapazons ir līdz 400 N m. Pirms mērījumu veikšanas ierīcei nepieciešams veikt paškalibrēšanu, kura aizņem līdz 20 s. Tālākā procesā ierīces iestatījumos jāuzstāda darbības sākuma vērtība 30 Nm, kā arī pagrieziena leņķis, pie kura tiek fiksēts mērījums (Att. 7). Leņķi iestata vienlīdzīgu 45 ($T=30 +45$).



Att. 7: Dinamometriskās atslēgas informācija.

Vērpes pretestības mērīšanas ierīce (Att. 8) sastāv no stieņiem (1), kuri ieskrūvēti plāksnē (2). Plāksnes centrā ieskrūvēts viens no stieņiem, pārējie stieņi izvietoti savstarpēji perpendikulāros virzienos caur centru. Caurule (3), kuras otrā galā piestiprināta dinamometriskā atslēga (4), plāksni savieno ar ierīces griešanas rokturi (5).



Att. 8: Vērpes pretestības mērītāja shēma.

Lauku darbi, strādājot ar vērpes pretestības mērītāju (Att. 8):

- augsnes griezes pretestības mērītāja tapas (1) tiek pilnībā iedurtas augsnē tehnoloģiskajā brauktuvē;
- kad tapas ir pilnībā iedurtas līdz nesošās pamatnes plāksnei (2), tiek iestatīts dinamometriskās atslēgas sākuma stāvoklis (4);
- roktura griešanas procesa sākumā jāsaņem signāls (pikstiens), kurš norāda, ka instruments ir gatavs darbam. Pēc signāla atskanēšanas ir jāturpina griezt līdz brīdim, kad tiek sasniegts 45° pagrieziena leņķis (ja nepieciešamo pagrieziena leņķi nav iespējams sasniegt, mērījums ir jāatkārto);
- pēc mērījuma sekmīgas iegūšanas dati jāsaņem ierīces atmiņā.

Mērījumus veic uz tehnoloģiskajām brauktuvēm ar zaru klājumu un kontroles mērījumiem paredzētajās vietās bez zaru klājuma, tādējādi iegūstot datus, lai novērtētu zaru seguma ietekmi uz augsnes nestspēju.

Lai aprēķinātu augsnes griezes pretestību, izmanto pārrēķina koeficientu, kurš raksturo mērījumos izmantoto stieņu skaitu un to izvietojumu uz ierīces (Tab. 3). Griezes pretestību aprēķina pēc 4. vienādojuma. Koeficients k_{0-3} dots Tab. 3.

$$q = k_{0-3} \times Nm, \text{ kur} \quad (4)$$

q – griezes pretestība, kPa;
 k_{0-3} – pārrēķina koeficients.

Tab. 3: Pārrēķinu koeficienti

Nr.p.k.	Stieniņu skaits, gab.	Izņemta stieņu rinda	Koeficients
1	13	Nav	0,496
2	9	Iekšējā	0,595

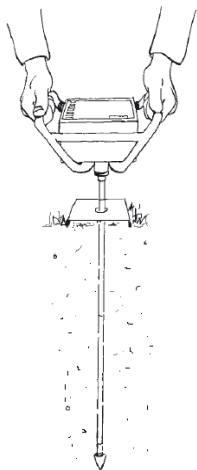
Nr.p.k.	Stieniņu skaits, gab.	Izņemta stieņu rinda	Koeficients
3	9	Vidējā	0,744
4	9	ārējā	0,992

Degvielas patēriņš

Patērētās dīzeļdegvielas apjoma noteikšanai sadalījumā pa ierīkoti parauglaukumiem izmantota automatizēta degvielas uzskaites sistēma AIC-904 VERITA, kura montāžas laikā tiek uzstādīta dzinēja telpā aiz degvielas filtra. Tā uzskaita padoto degvielu, kura tālākā procesā nonāk līdz sprauslām. Iekārtas patstāvīgas darbības nodrošināšanai tiek uzstādīts atsevišķs filtrs, lai izvairītos no svešķermeņiem degvielā un arī no gaisa burbuļiem. Degvielas skaitītāja darbības pamatā ir impulsu uzskaitē, kura notiek ar noteiktu intervālu, lai pētījuma ietvaros no impulsu skaita varētu aprēķināt patērēto degvielas apjomu: 200 impulsi ir ekvivalenti 1 litram patērētās dīzeļdegvielas. Lai degvielas patēriņu ierīkotajos parauglaukumos būtu iespējams noteikt precīzi, kā papildus aprīkojumu uzstāda automatizētu datu uzkrājēju savienojumā ar globālās navigācijas satelītu sistēmu (GNSS). To atbalsta ASV pavadoņu sistēma GPS un Eiropas pavadoņu sistēma GLONASS, tādējādi nodrošinot nepieciešamo precizitāti.

Augsnes penetrācija

Lai lauka darbos noskaidrotu augsnes pretestības mērījumus, kā mērinstruments izmantots Eijkelkamp penetrometrs. Iekārtas izmantošanai lauku apstākļos nepieciešamais aprīkojums sastāv no: penetrolōgera iekārtas, 5 mm² zondēšanas uzgaļa, divdaļīga zondēšanas stieņa ar kopējo garumu 97 cm (tādējādi iegūst 80 cm maksimālo mērījuma dziļumu), dziļuma atskaites plāksnes, kā arī nepieciešamā programmnodrošinājuma. Penetrolōgera dators mērījumus veic ar gradāciju 1 cm, nodrošinot ievākto datu precizitāti ar kļūdu ± 1 N. Iekārtas darbības diapazons ir robežās no 1 N līdz 1000 N. Mērījumu veikšanā iekārta par atskaites punktu pieņem atskaites plāksnes līmeni (Att. 9).



Att. 9: Augsnes penetrācijas pretestības mērīšana.

Mērījumu veikšana lauka apstākļos sākas ar dziļuma plāksnes nostiprināšanu horizontālā līmenī (plāksne aprīkota ar līmeņrādi), panākot, ka plāksnei jāsakrīt ar zemes virsmas plakni. Tālāk tiek veikts mērījums, spiežot penetrologerī augsnē ar ātrumu, kurš norādīts iekārtā (iekārta automātiski informē par nepieciešamību palielināt vai samazināt duršanas ātrumu). Pēc iekārtas pilnīgas ieduršanas augsnē nepieciešams veikt mitruma mērījumus, izmantojot ražotāja piedāvāto mitruma zondi, kuru nepieciešams iedurt 10 cm rādiusā ap mērījuma veikšanas punktu. Pēc mērījuma pabeigšanas jāsauglabā ieraksts.

Lietkoksnes svēršana

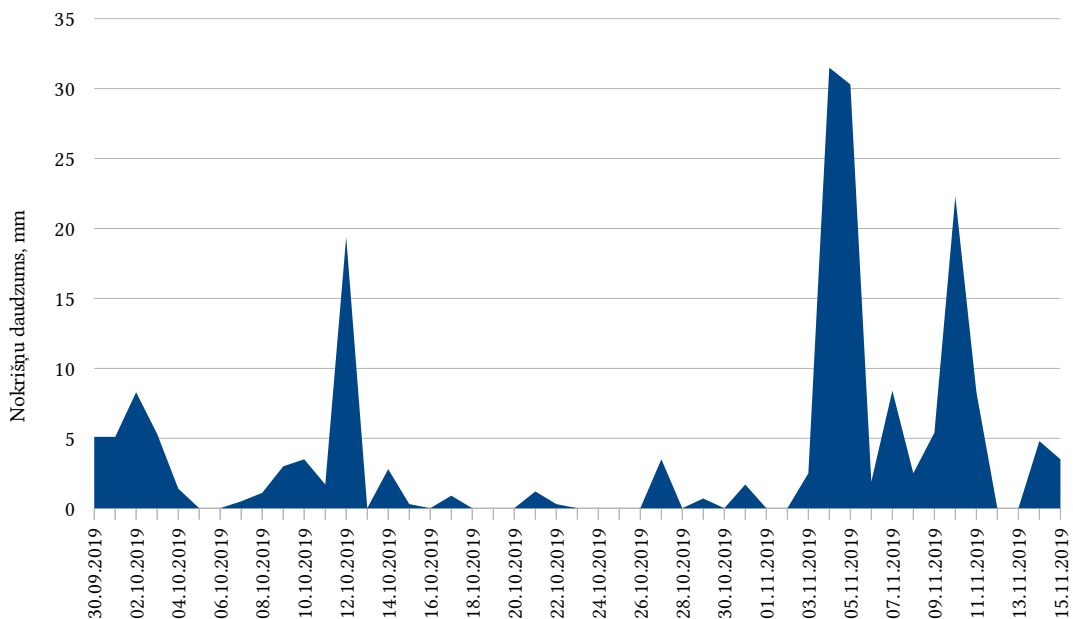
Pētījumam nepieciešamā forvardera noslodzei atbilstoši izstrādātajai metodikai vajag izmantot augstas precizitātes svarus. Pētījumam par atbilstošiem uzskatīti Intermercato ražotāja svāri XW 50 PS. Tenzometriskie svāri ir precīzākie tirgū pieejamie, jo tie nodrošina pietiekami augstu precizitāti (līdz 2%). Svaru sistēma tiek uzstādīta starp forvardera manipulatora rotatoru un greifera satvērēju, tādējādi neiejaucoties tehnikas pārvados vai mezgļos. Svaru sistēmai tiek uzstādīta pusautomātiskā svēršana, kas nozīmē, ka operatoram svāri jāaktivizē ikreiz, kad lietkoksne tiek pacelta vai izcelta.

Laika apstākli izmēģinājumu laikā

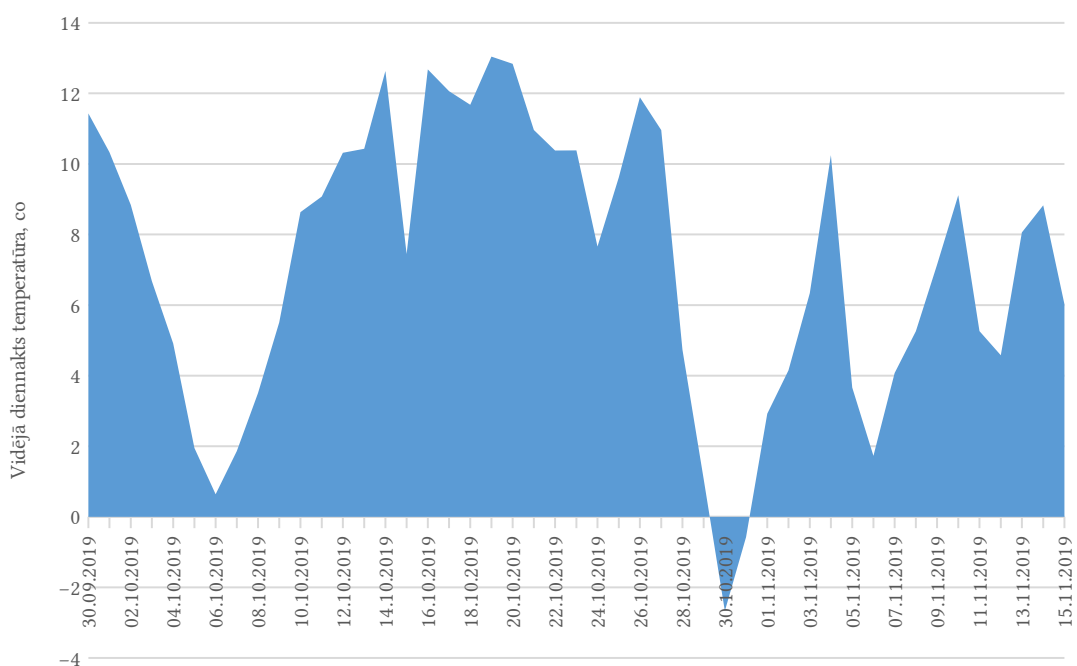
Izmēģinājumi uzsākti, septembra beigās ierodoties mežizstrādes tehnikai un uzsākot izstrādes darbus. Pēc pilnīgas mašīnizētās mežizstrādes darbu pabeigšanas līdz pētījuma uzsākšanai novembra sākumā ir bijis iepriekš neparedzēts gandrīz mēnesi ilgs pārtraukums. Pētījumā sākotnēji bija paredzēts ar dažādām metodēm konstatēt forvardera ietekmi uz augsni atkarībā no kravas piepildījuma un ceļa pastiprināšanai ieklāto ciršanas atlieku apjoma. Lielais nokrišņu daudzums (Att. 10) ilgstoši pirms augsnes nestspējas pētījuma uzsākšanas būtiski ietekmēja tehnikas pārgājāmību, un tā

Kravu lieluma un skaita ietekme uz risu veidošanos galvenās cirtes cirmās ar organiskām augsnēm

rezultātā atsevišķi izmēģinājumi bija jāpārskata. Pietiekami augsta nebija arī diennakts vidējā temperatūra (Att. 11), kas būtu varējis veicināt straujāku mitruma iztvaikošanu.



Att. 10: Nokrišņu apjoms laikā no cirtas izstrādes līdz projekta beigām.



Att. 11: Vidējā gaisa temperatūra projekta izpildes laikā.

Datu apstrāde

Datu apstrāde veikta programmas RStudio vidē, paraugkopas atbilstība normālajam sadalījumam noteikta ar Shapiro-Wilk Normality testu. Lai noskaidrotu, vai vērpes pretestība būtiski atšķiras atkarībā no tehnoloģiskajā brauktuvē ieklāto zaru apjoma, pielietota vienfaktora dispersijas analīze ANOVA.

PĒTĪJUMA REZULTĀTI

Nodaļā aprakstīti iegūtie rezultāti, kuri balstīti uz lauku darbos ievākto informāciju un atspoguļoti sadalījumā pa veiktajām darbībām.

Iekļājamā materiāla apjoms

Tehnoloģisko brauktuvju pastiprināšanā atbilstoši plānotajai shēmai zaru iekļāšana veikta manuāli. Atbilstoši iepriekš aprakstītajai metodikai, lai noteiktu zaru individuālu masu, iekļāšanas procesā ievērots masas aprēķinā atrastais nepieciešamais zaru skaits.

Svēršanas procesā kopumā nosvērts 221 zars, kuri sadalās 5 grupās. 1. grupā ir 25% no kopējā apjoma, savukārt 2. grupā – 41%, 3. grupā – 25%, 4. grupā – 5%, bet 5. grupā – 4%. Iegūtais procentuālais sadalījums ir atbilstošs noteiktas grupas kopējam apjomam. Piemēram, 4. un 5. grupā ir koku galotnes, kuru īpatsvars kopējā apjomā ir mazs, jo tas ir tieši saistīts ar audzes kopējo koku skaitu. Nosvērtā zaru masa sadalījumā pa grupām atspoguļota, izmantojot Kvartiles metodi (Att. 12). Uzmērītā paraugkopa sadalīta atbilstoši pa grupām, analizējot katru grupu atsevišķi un to sadalot 4 daļās:

1. grupa

- Vieglākais zars – 0.5 kg;
- 25% no nosvērtajiem zariem ir ar masu 1.37 kg;
- 50% - līdz 1.7 kg;
- 75% - līdz 2.02 kg;
- Smagākie zari – 3.7 kg

3. grupa

- Vieglākie zari – 2.6 kg
- 25% līdz 3.1 kg;
- 50% līdz 3.8 kg;
- 75% līdz 4.2 kg
- Smagākie zari – 6.2 kg

5. grupa

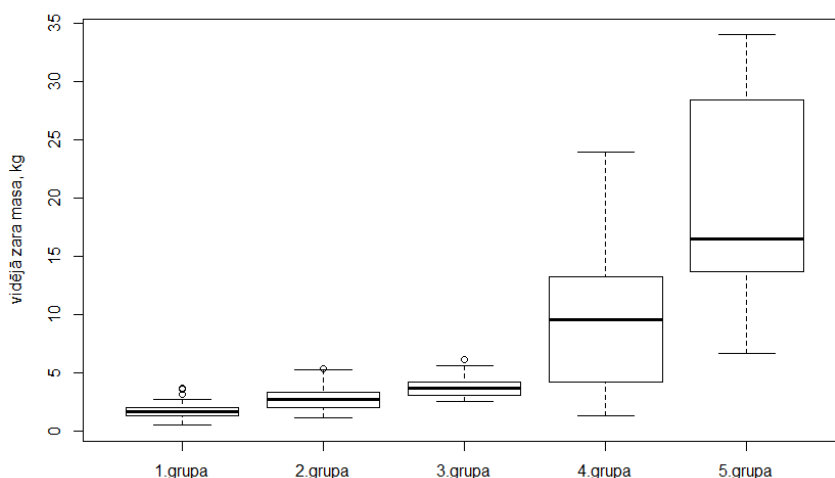
- Vieglākā galotne – 6.7 kg;
- 25% līdz 13.7 kg;
- 50% līdz 16.5 kg;
- 75% līdz 28.4 kg;
- Smagākās galotnes 34.0 kg

2. grupa

- Vieglākie zari – 1.2 kg
- 25% no zariem ar masu – 2.1 kg;
- 50% līdz 2.7 kg
- 75% līdz 3.3 kg
- Smagākie zari – 5.4 kg

4. grupa

- Vieglākās galotnes - 1.4 kg
- 25% līdz 4.3 kg;
- 50% līdz 9.6 kg;
- 75% līdz 13.2 kg;
- Smagākās galotnes – 24 kg



Att. 12: Zaru masas sadalījums.

Balstoties uz iegūtajiem rezultātiem par vidējā zara masu, kā atbilstošākais risinājums ir pieņemta dažādu zaru caurmēru kombinācija, lai nodrošinātu projektā paredzēto brauktuves noturību: pirmajā variantā tie ir 40-50 kg m⁻², bet otrajā – 20 kg m⁻². Kopējais ar vienu metodi noklājamais laukums ir 960 m². Atkarībā no plānotā zaru apjoma uz 1 m², kopējā laukuma noklāšanai nepieciešami no 1012 līdz 21 792 gab. (Tab. 4).

Tab. 4: Nepieciešamā zaru materiāla apjoma sadalījums

Nepieciešamā masa, kg m ⁻²	Nepieciešamais zaru skaits metodē, gab.				
	1.grupa	2.grupa	3.grupa	4.grupa	5.grupa
40	21 792	13 755	10 085	3952	2023
50	27 240	17 193	12 606	4940	2529
20	10 896	6877	5042	1976	1012

Vidējā zara masa 1. grupā ir 1,8 ±0,1 kg, 2. grupā – 2,8 ±0,1 kg, 3.grupā – 3,8 ±0,1 kg, 4. grupā – 9,7 ±2,1 kg, bet 5. grupā – 18,9 ±3,3 kg. Lai ieklāšanas process būtu precīzs, proti, nav papildus augsnes sablīvējuma no mežizstrādes tehnikas, plānotais zaru ieklāšanas darbs jāveic manuāli. Tehnoloģisko brauktuviu nostiprināšanai kopējais patērētais laiks ir 160 cilvēkstundas.

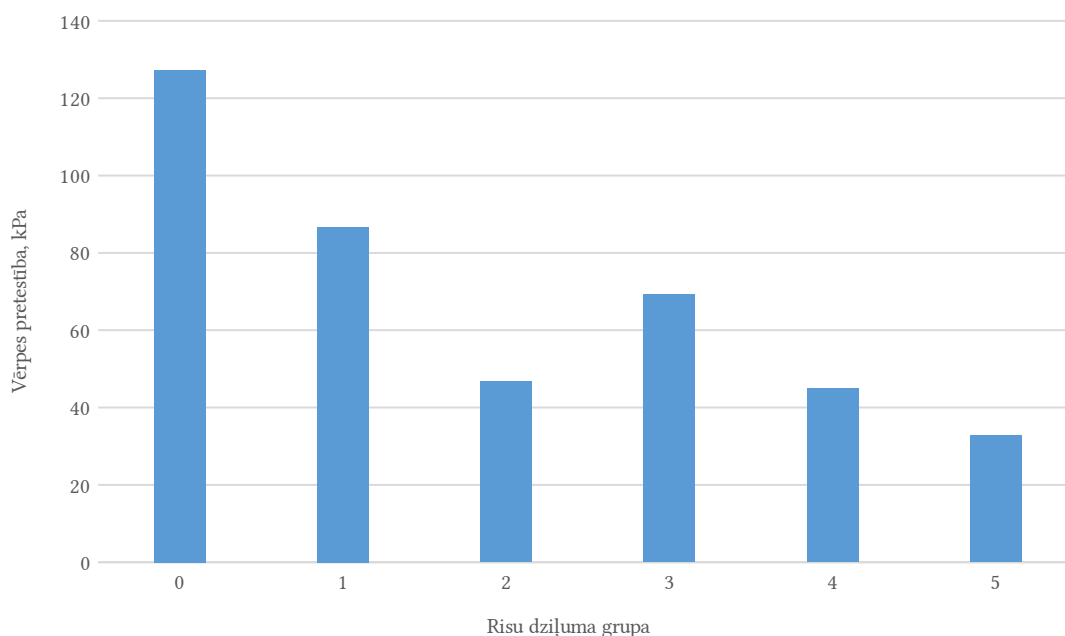
Vērpes pretestība

Vērpes pretestības mērījumi meža nozarē tiek pielietoti, lai raksturotu dažādus pievešanas apstākļus, pamatojot to klasifikāciju, kā arī, izstrādājot rekomendācijas par atbilstošākās mežizstrādes tehnikas izvēli pielietošanai mašīnizētā mežizstrādē. Kopumā vērpes pretestība jāanalizē kompleksi, jo iegūtos datus ietekmē gan augsne

esošās koku saknes (to tīkls), ciršanas atliekas, atstātais pamežs pēc tā nozāģēšanas, un tas kopumā ietekmē kopējo noturību pret tehnikas radīto spiedienu uz augsni (Eliasson & Wästerlund, 2007).

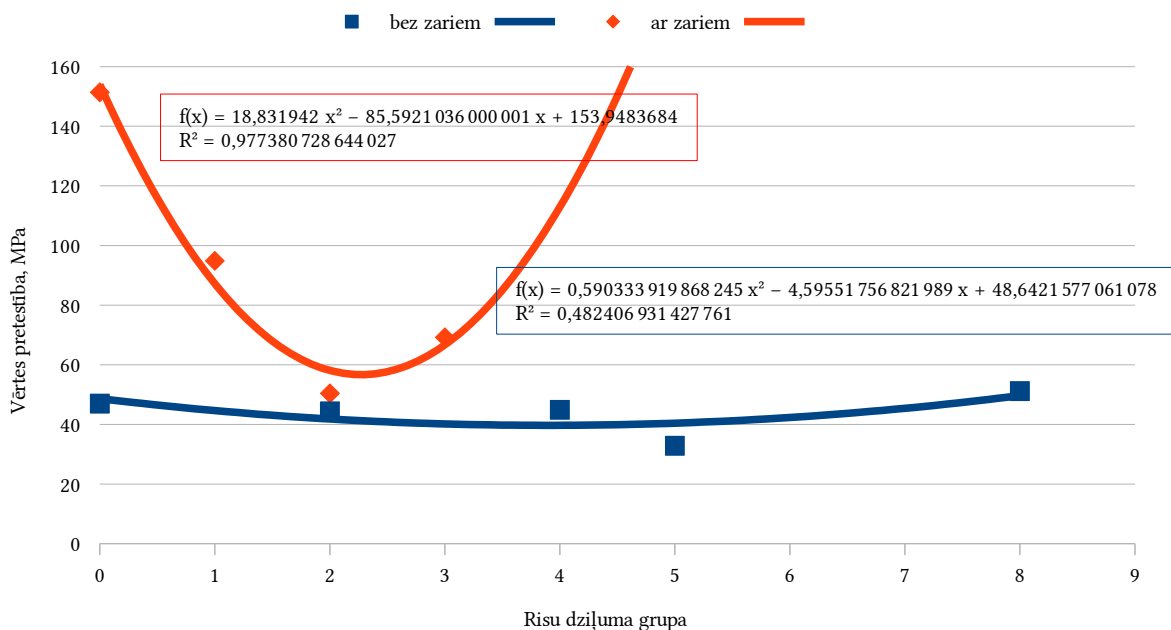
Vērpes pretestības mērījumos iegūto datu pārbaudei pēc atbilstības normālajam sadalījumam ir noskaidrots, ka tehnoloģiskajā brauktuvē, kur zari ir ieklāti, $p=0,32$, savukārt brauktuvē bez zaru klājuma – $p=0,86$. Tas apliecina datu paraugkopas atbilstību normālajam sadalījumam, jo p vērtība abos gadījumos skaitliski ir lielāka nekā $0,05$.

Pētījumā veiktajos mērījumos augstākā vērpes pretestība konstatēta tajās brauktuvēs, kurās nav izveidojušās risas. “0” grupā (risu nav) vērpes pretestības rādītājs ir 127 ± 55 kPa. Savukārt, atbilstoši šī brīža normatīvajai bāzei, kur par risu tiek uzskatīts par 20 cm dziļāks iespiedums augsnē (pētījumā tā ir 4. grupa), ir jāuzskata, ka risas sāk veidoties, vērpes pretestībai augsnē skaitliski samazinoties zem 45 ± 10 kPa (Att. 13).



Att. 13: Vērpes pretestība sadalījumā pa risu grupām.

Salīdzinot vērpes pretestības rādītājus uz tehnoloģiskajām brauktuvēm var konstatēt, ka zaru segumam ir statistiski būtiska ietekme uz tehnikas pārgājāmību ($p=0,01$). Pētījumā konstatēts, ka, izmantojot pareizi veidotu zaru segumu, plānotos apaļos kokmateriālus iespējams pievest sekmīgi, jo tehnikas radītais spiediens uz augsni ir mazāks nekā augsnes noturība, ko šajā gadījumā raksturo ar iepriekš minēto vērpes pretestības rādītāju (Att. 14).



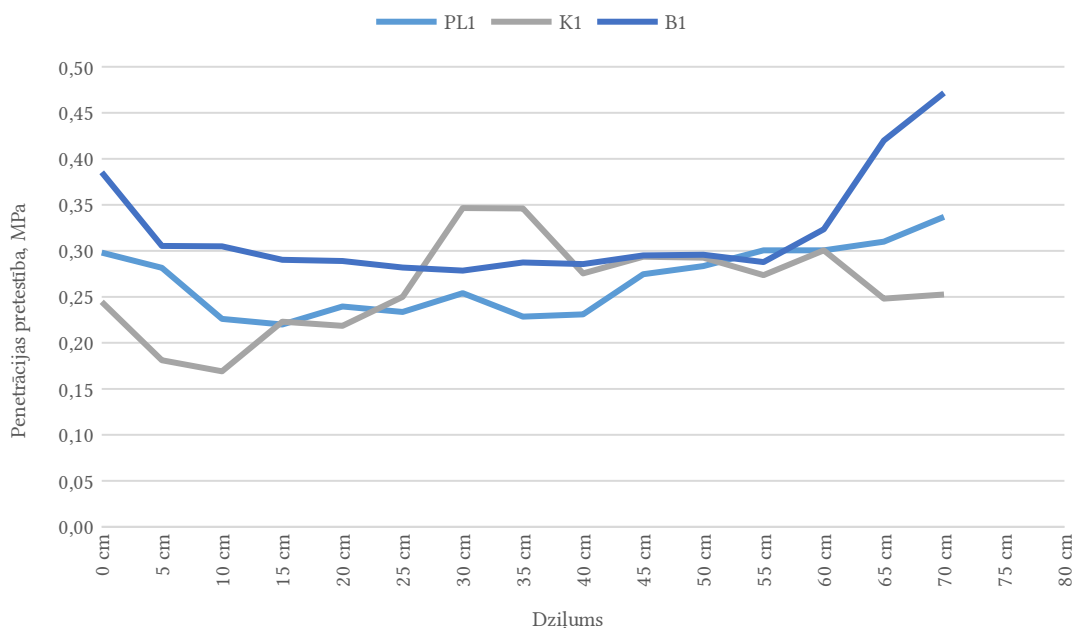
Att. 14: Vērpes pretestība atkarībā no tehnoloģiskās brauktuves seguma.

Penetrācijas pretestība

Penetrācijas pretestības mērījumi apkopoti un atspoguļoti pie dažāda kravas piepildījuma. Sākumā kravā iekrauti 8900 kg lietkoksnis, un tehnika pārvietojās virzienā no krautuves, šķērsojot ierīkoto 1. parauglaukumu un daļu no kontroles laukuma (ierīkots starp 1. un 2. parauglaukumu). Tā kā kontroles parauglaukuma beigās tika sasniegts maksimāli pieļaujama iegrimes dziļums, uzkratais apjoms samazināts par 20%, tādējādi sagādājot iespēju turpināt eksperimentālos izmēģinājumus. Pētījumā sasniegtais augsnes pretestības rādītājs ir robežās no 0,25 līdz 0,3 MPa ar tiešajiem (Att. 15) mērījumiem kontrolētā parauglaukumā. Savukārt kontroles mērījuma (B1) rādītājs ārpus parauglaukumiem nav būtiski labāks. Sākuma daļā, kur uz tehnoloģiskās brauktuves ir zaru klājums, pretestība ir lielāka salīdzinājumā ar brauktuves daļu bez zaru seguma. Kopumā atzīts, ka savstarpēji salīdzināmi ir parauglaukumos PL1 un K1 iegūtie rādītāji. To skaitliskās vērtības nav pietiekamas, lai plānotu pievešanas darbus gadījumos, ja ir liels pievedamo kokmateriālu apjoms. Līdzīgos pētījumos Latvijā atrastie šāda veida rādītāji ir būtiski lielāki, un īpaši tas izpaužas tajos gadījumos, ja pretestība ir analizēta virzienā uz leju, nonākot līdz pat 2,5 MPa (LVMI Silava, 2018).

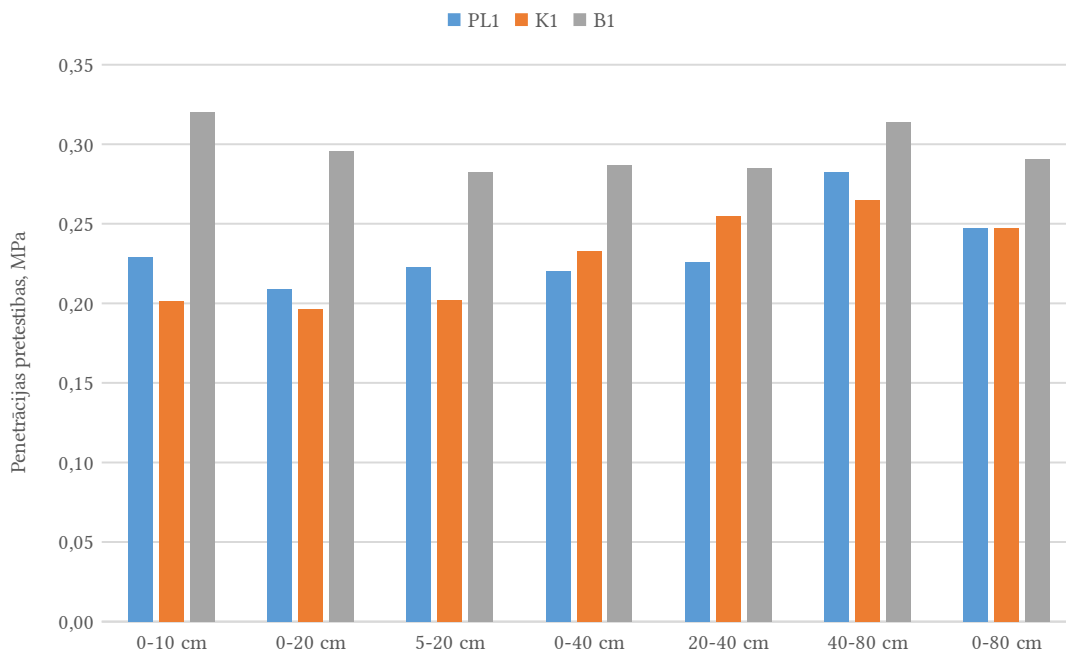
Priekšstatu salīdzinājumam starp PL1, PL2 un vidējās kontroles (K1) rādītājiem var iegūt diagrammā (Att. 15).

Krāvu lieluma un skaita ietekme uz risu veidošanos galvenās cirtes cirmās ar organiskām augsnēm



Att. 15: Penetrācijas pretestības mērījumi ar pilnu krāvu

Analizējot iegūtos datus atkarībā no dziļuma (Att. 16), nav konstatētas statistiski būtiskas atšķirības ($p=0,00$), kas nozīmē, ka, pārvietojoties ar pilnu krāvu vienu reizi, būtisks augsnes sablīvējums nav radies.

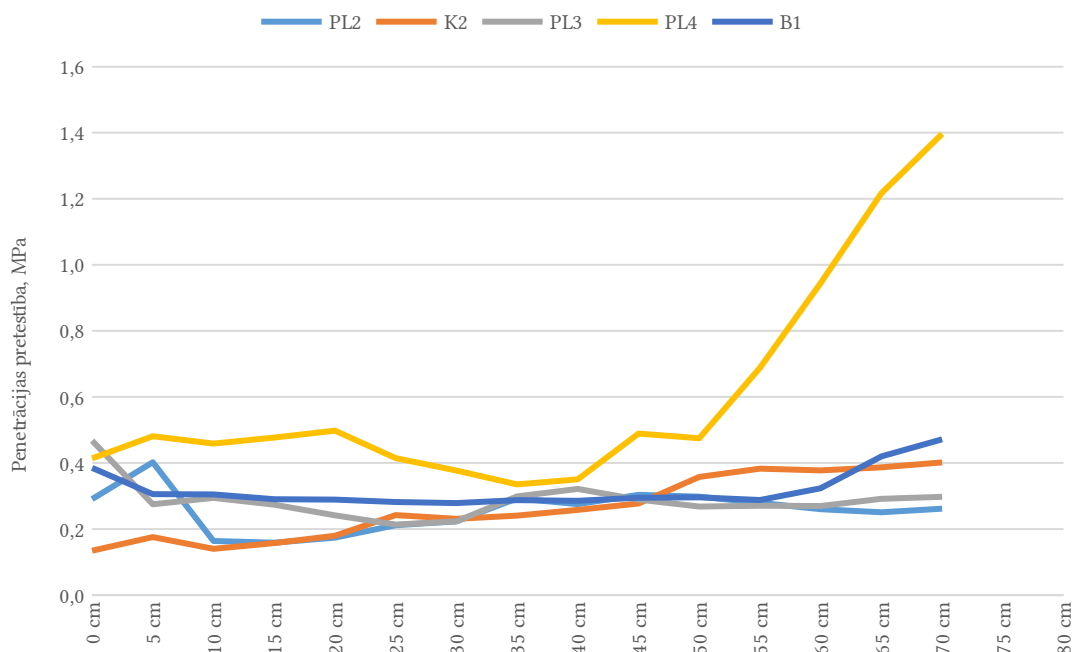


Att. 16: Penetrācijas pretestība ar pilnu krāvu dažādos dziļumos.

Pārvietojoties forvarderam ar 6900 kg, tika šķērsoti visi parauglaukumi, kuri ierīkoti uz tehnoloģiskās brauktuves. Līdzīgi kā iepriekšējā parauglaukumā (PL1), augsnes

Kravu lieluma un skaita ietekme uz risu veidošanos galvenās cirtes cismās ar organiskām augsnēm

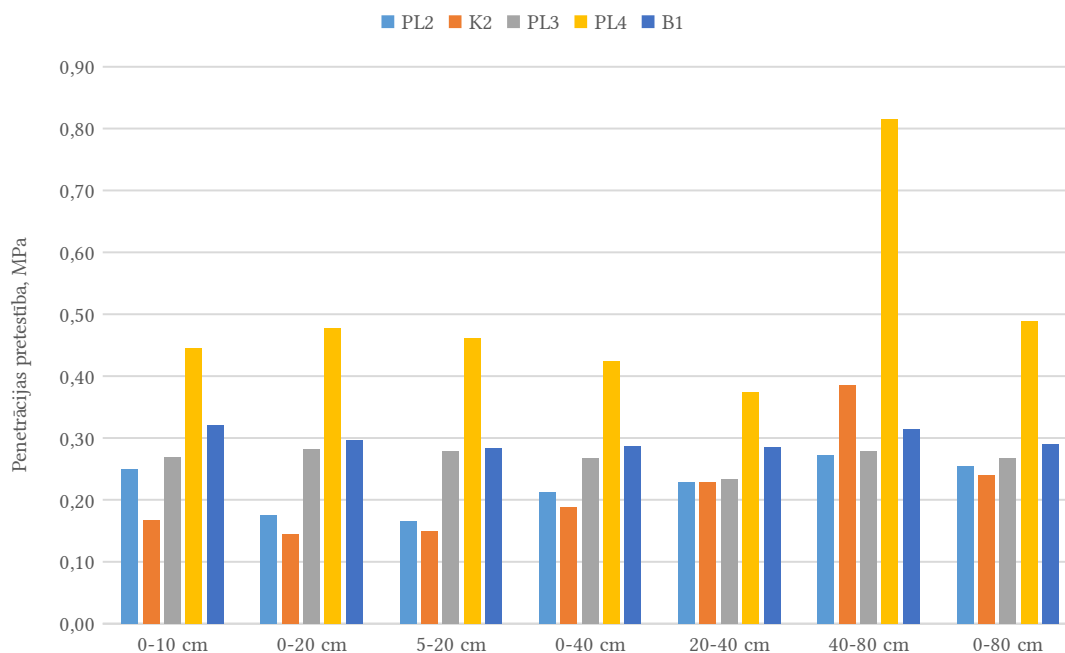
sablīvšanās nav novērota, tostarp, arī 4. parauglaukumā (PL4). Tur audzes tālākais gals atradās vairāk uz minerālaugšnes, kas konstatējama jau 50 cm dziļumā (Att. 17). Lietkokšnes pievešanā mežizstrādes uzņēmums to izmantoja kā priekšrocību no labākas pārgājāmības viedokļa: pievešanai izmantoja cirtsmas tālāko galu, tādējādi ievērojami palielinot kopējo forvardera nobraukumu – par 50%.



Att. 17: Penetrācijas pretestības mērījumi ar 6900 kg kravu.

Salīdzinot augsnes penetrācijas rādītājus sadalījumā pa dziļumiem (Att. 18), būtiska atšķirība ($p=0,06$) ir novērojama dziļuma grupā 40-80 cm, kur 4. parauglaukumā uzrādās augstāka pretestība, kam cēlonis ir augsnes tipa maiņa. Balstoties uz veiktajiem mērījumiem attiecīgajos parauglaukumos, kopumā var apgalvot, ka būtisks augsnes sablīvējums nav konstatēts.

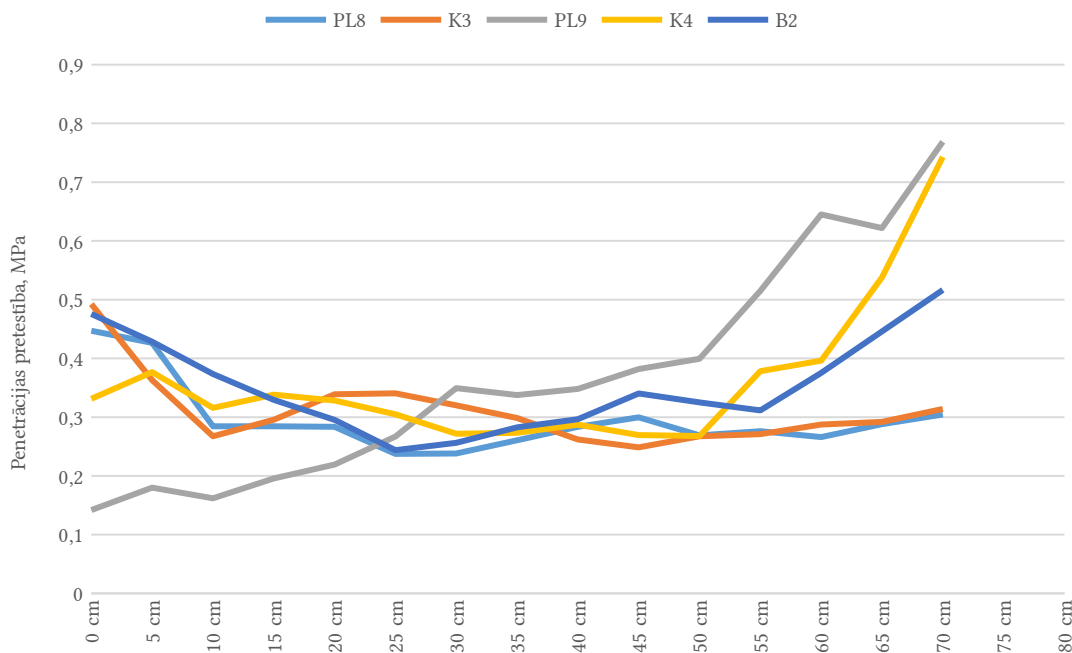
Kravu lieluma un skaita ietekme uz risu veidošanos galvenās cirtes cismās ar organiskām augsnēm



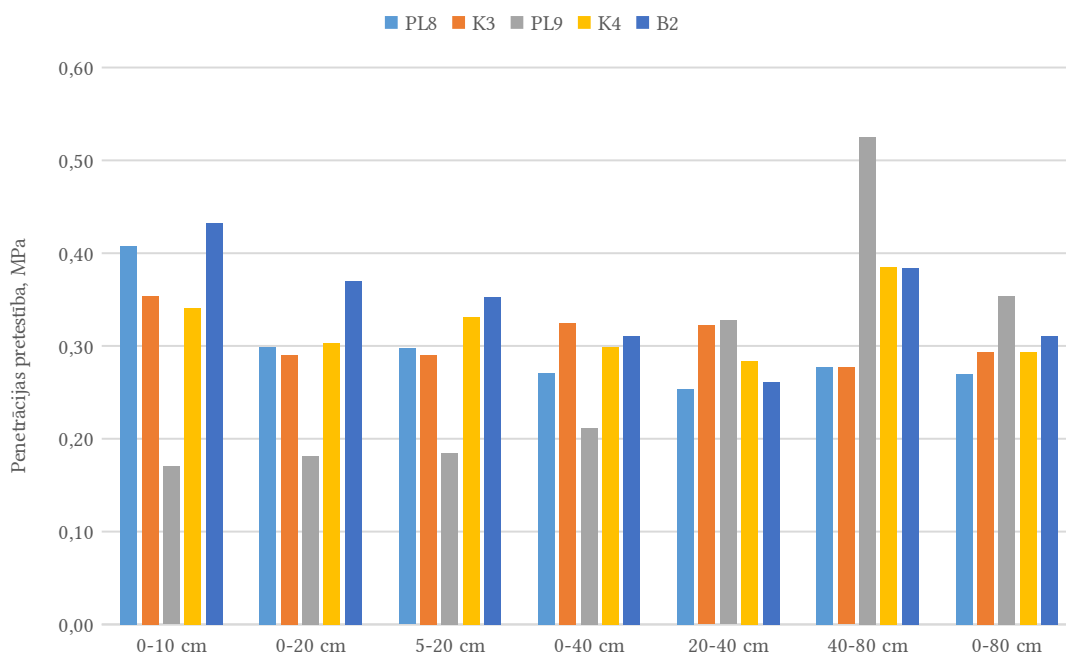
Att. 18: Penetrācijas pretestība ar uzkratiem 6900 kg dažādos dziļumos.

Salīdzinot augsnes penetrācijas rādījumus, pētījuma objekta beigās var novērot, ka, sākot no 50 cm dziļuma, penetrācijas pretestība strauji palielinās, kas skaidrojams ar kūdras slāņa biezuma izmaiņām. Analizējot cirtmas pievešanu ražošanas apstākļos, pakalpojuma sniedzējs var izmantot šīs zināšanas, lai nodrošinātu sagatavoto kokmateriālu pievešanu līdz AGK. Kopumā augsnes sablīvēšanās salīdzinājumā ar kontroles mērījumiem nav būtiska (Att. 19 un 20).

Kravu lieluma un skaita ietekme uz risu veidošanos galvenās cirtes cirmās ar organiskām augsnēm



Att. 19: Penetrācijas pretestības izmaiņu raksturs.



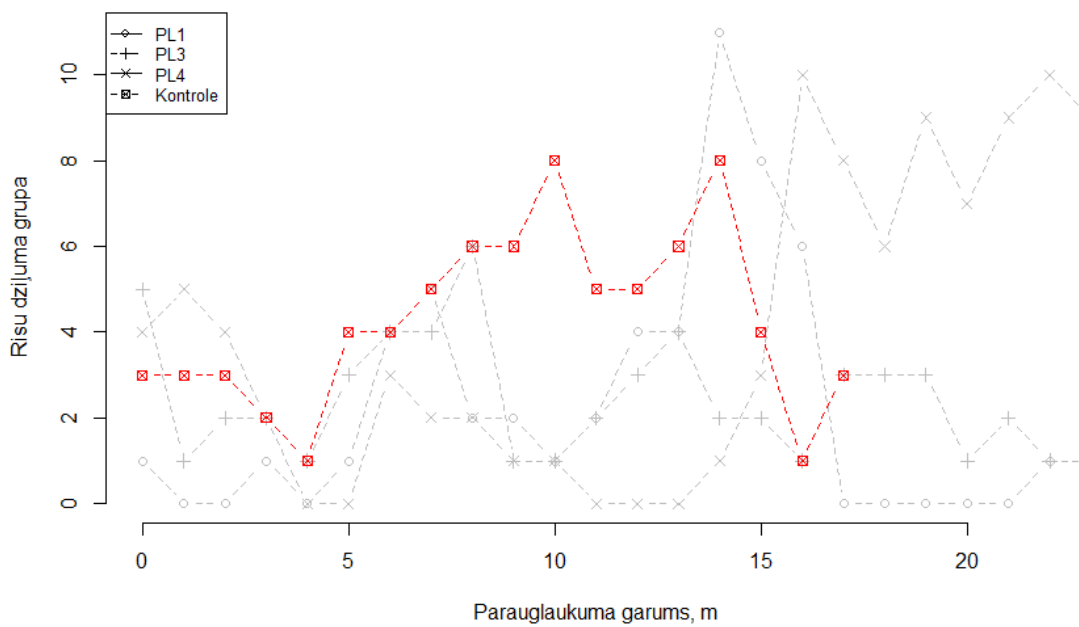
Att. 20: Penetrācijas pretestība.

Iespieduma dziļums uz tehnoloģiskās brauktuves

Pētījumā veiktajā izmēģinājuma braucienā forvarders ar plānoto uzkrāvēnu virzījās uz pirmo parauglaukumu (PL1), kurā bija plānots sākt pētījumu. Pirmie 14 m nobraukti veiksmīgi (Att. 21), bet pēc šiem 14 m augsnes nestspēja ir būtiski mazāka,

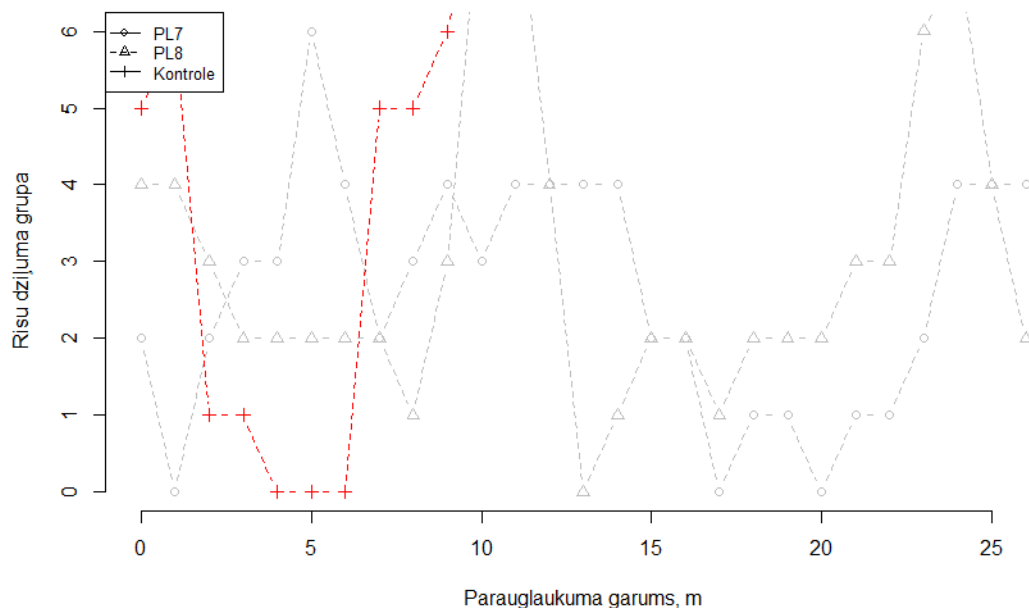
Kravu lieluma un skaita ietekme uz risu veidošanos galvenās cirtes cirmās ar organiskām augsnēm

un tāpēc bija nepieciešams daļu no kravas izkraut. Tas saistīts ar projektā definēto maksimāli pieļaujamo forvardera iegrimi, kura ir vienāda ar maksimālo klirensa skaitlisko lielumu. Lai varētu turpināt plānotos braucienus, tālākajā izmēģinājumu procesā kravas masas lielums ir par 30% mazāks nekā iepriekš.



Att. 21: Risu dziļums sadalījumā pa parauglaukumiem to garuma virzienā.

Risu veidošanās cirtas tālākajā galā ir nevienmērīga, kas skaidrojams ar atsevišķu posmu nenoturību pret tehnikas radīto spiedienu uz augsni. Parauglaukumā, kurā nebija ieklātas ciršanas atliekas, pievešanas process bija vietām apgrūtināts, kas skaidrojams ar augsnes izmaiņām, proti, objekta daļā, kurā ir izteiktāka minerālaugsne, pēc 15 m attāluma no parauglaukuma sākuma punkta risu dziļums ir mazāks (Att. 22).

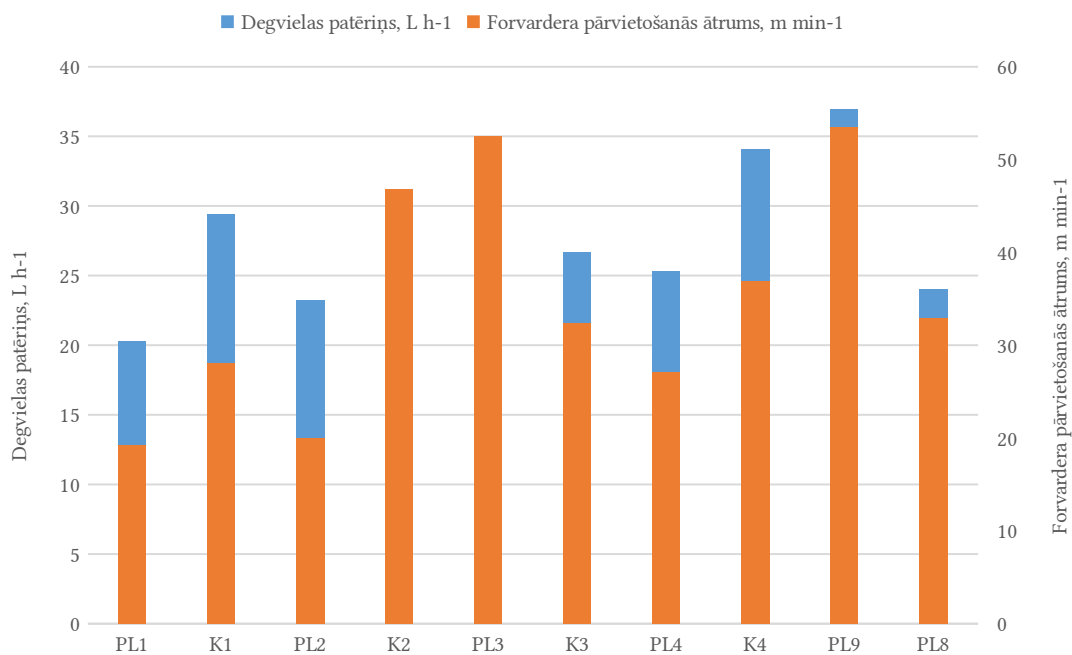


Att. 22: Risu dziļuma svārstības parauglaukuma garuma virzienā.

Degvielas patēriņa izmaiņas

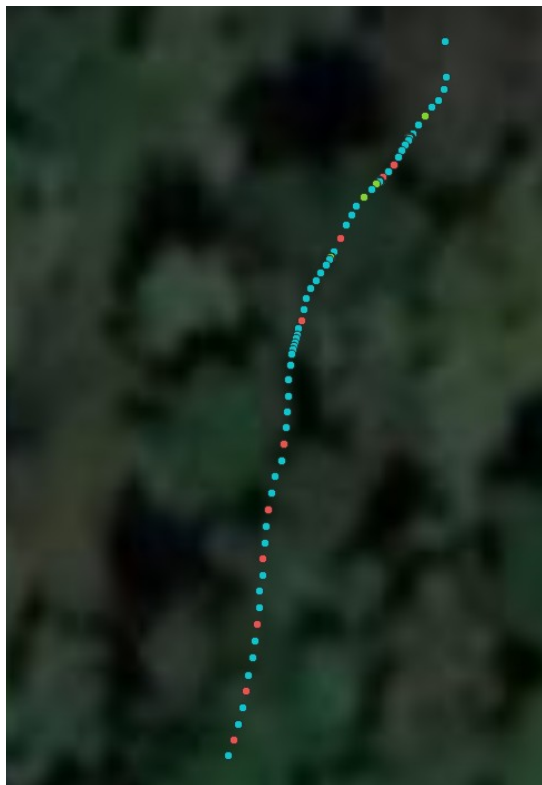
Degvielas patēriņa analīzei sadalījumā pa parauglaukumiem kopējā datu kopa sastāv no 18455 mērījumiem, kuru skaits atkarīgs no parauglaukuma lieluma un pārvietošanās ātruma (Att. 23). Atbilstoši izstrādātajai metodikai mērījumu intervāls ir 1 sekunde. Kopējais izmantoto mērījumu apjoms sastāda 3,2%, kas skaidrojams ar tehnikas nogrimšanu un veicamajām papildus darbībām, lai būtu iespēja turpināt pārvietošanos pa pētījumā ierīkotajiem parauglaukumiem. Līdzīgas datu analīzes metodes izmantotas arī citos pētījumos, tostarp, Latvijā (Zimelis u.c., 2018).

Krāvu lieluma un skaita ietekme uz risu veidošanos galvenās cirtes cismās ar organiskām augsnēm



Att. 24: Sakarības starp degvielas patēriņu un pārvietošanās ātrumu.

Analizējot degvielas patēriņa izmaiņas, balstoties uz telemetriskās datu uzskaites sistēmu, iespējams noteikt reljefa, risu vai citu faktoru ietekmi, lai nākotnē varētu patēriņu samazināt, un reizē pozitīvi izmainīt ar izplūdes gāzēm saistīto CO2 daudzumu (Att. 25).



Att. 25: Degvielas patēriņa analīze, izmantojot programmu QGIS.

Uz pētījuma rezultātiem balstītas rekomendācijas

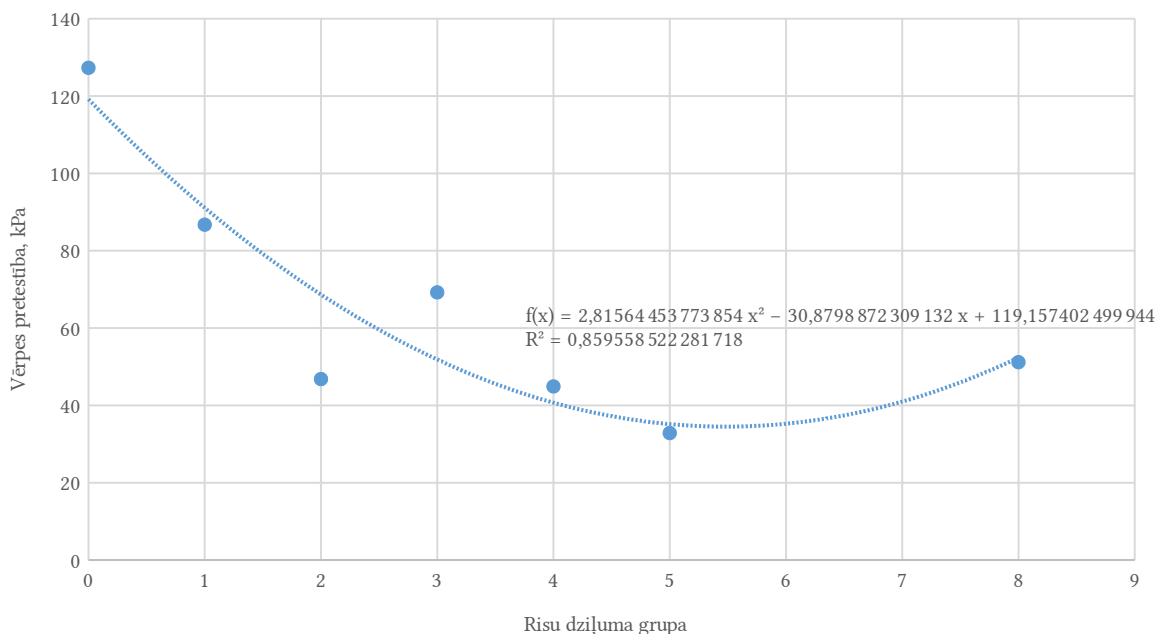
Latvijas klimatiskajos apstākļos gada nokrišņu daudzums pēc Latvijas vides, ģeoloģijas un metroloģijas centra (LVĢMC) datiem sastāda 692 mm, kur ar nokrišņiem bagātais laiks ir vasaras mēneši, īpaši jūlijs un augusts. Oktobra un novembra mēnešos projekta realizācijai izvēlētajā laika periodā prognozēti 62-73 mm nokrišņu ((LVĢMC) dati). Reālais nokrišņu daudzums pirms izmēģinājumu uzsākšanas bija 187 mm, kas ir apm. 27% no gada kopējo nokrišņu daudzuma. Tā rezultātā augsne pētījuma objektā bija pārāk slapja, tāpēc daļā no objekta veikt pētījumus nebija lietderīgi. Šo daļu veido ar ciršanas atliekām daļēji ($20-30 \text{ kg m}^{-2}$) ieklātā tehnoloģiskā brauktuve.

Pētījuma objektā, kur tehnoloģiskā brauktuvē ieklātais ciršanas atlieku apjoms ir 50 kg m^{-2} , forvardera pārvietošanās bija iespējama, un to apliecina iegūtie augsnes pretestības un risu dziļuma mērījumi. Ar ieklāto zaru apjomu skaidrojamie tehnikas caurgājāmības uzlabojumi vidēji dod augsnes pretestības palielinājumu 67% apmērā salīdzinājumā ar to platības daļu, kurā zari nav ieklāti (kontroles platības). Pētījumā izmantotajai tehnikai ar pilnu krāvu spiediens uz augsni ir 0,35 MPa, savukārt ar daļēji uzkrātu – 33 MPa. Analizējot iegūtos datus, novērota cieša sakarība starp augsnes noturību un tehnikas slodzi uz augsni. Latvijā ir maz līdzīgu, ar augsnes noturību saistītu, pētījumu, kuros par izejas datiem tiek izmantoti vērpes pretestības mērījumi. Savukārt pasaules mērogā tādu pētījumu salīdzinoši vairāk ir Zviedrijā. Kopumā

Kravu lieluma un skaita ietekme uz risu veidošanos galvenās cirtes cirmās ar organiskām augsnēm

secināms, ka pievešanas apstākļu raksturošanai šādus rādītājus iespējams pielietot praksē un tādējādi izvairīties no tehnikas dikstāves tās nogrimšanas gadījumos. Pētījumā iegūtais vienādojums (Att. 26) noder potenciālā risu dziļuma noteikšanai.

$$y = 2.8156x^2 - 30.88x + 119.16 \quad (5)$$

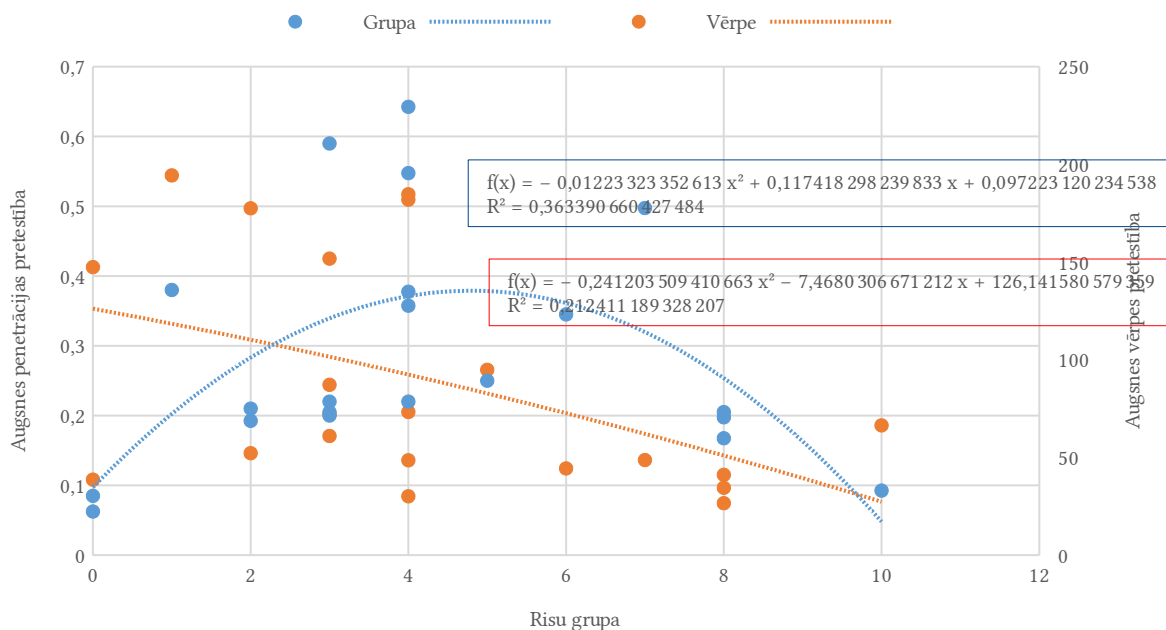


Att. 26: Vērpes pretestība mērījumu sadalījumā par risu grupām.

Lai pārbaudītu izstrādātā vienādojuma atbilstību izmantošanai līdzīgos MAAT, pētījumam šajā virzienā nepieciešams turpinājums.

Sakarībai starp vērpes pretestības mērījumiem un penetrācijas dziļumu cieša korelācija neparādās, bet tomēr ir novērojams, ka, palielinoties abiem rādītājiem, tehnikas caurgājamība uzlabojas (Att. 27).

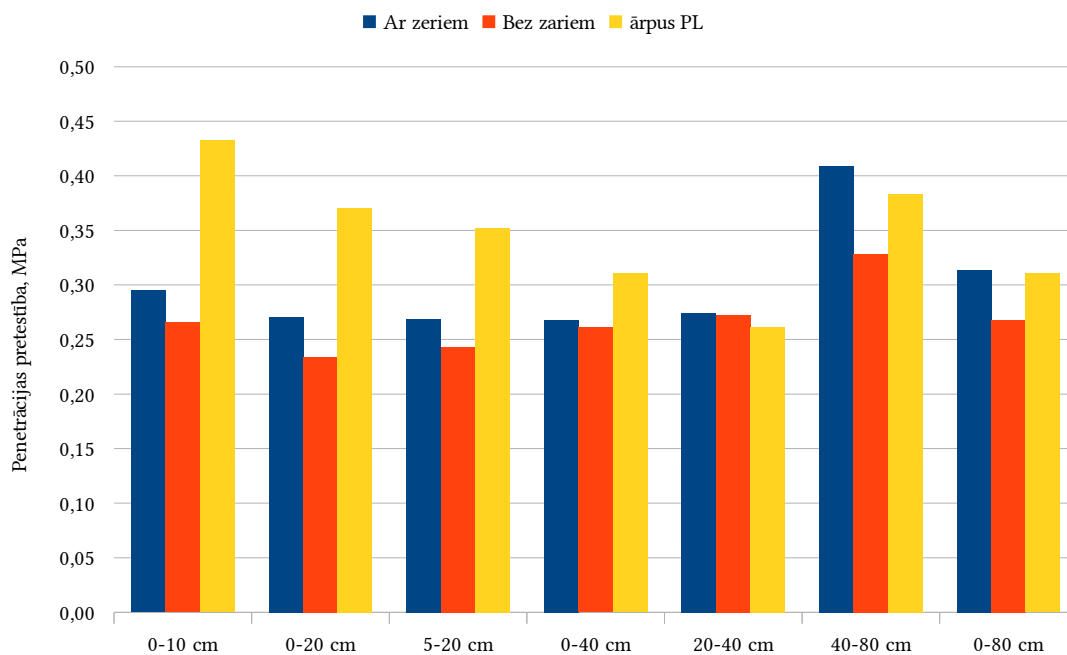
Kravu lieluma un skaita ietekme uz risu veidošanos galvenās cirtsmās ar organiskām augsnēm



Att. 27: Augsnes penetrācijas un vērpes pretestības sakarības.

Kopumā penetrācijas pretestības mērījumu rezultātos, salīdzinot tehnoloģisko brauktuvi, kurā ir ieklāti zari ar to daļu, kurā tas nav veikts, būtisku atšķirību nav. Savukārt, salīdzinot ar kontroles mērījumiem (izmēģinājumos cirtsmā ierīkoti tās labajā pusē, 3 m attālumā no pēdējās tehnoloģiskās brauktuves), uzrāda labākus rādītājus (Att. 28).

Kravu lieluma un skaita ietekme uz risu veidošanos galvenās cirtes cīsmās ar organiskām augsnēm



Att. 28: Penetrācijas pretestība pētījuma objektā.

Salīdzinot ar līdzīgiem pētījumiem, Latvijā tehnoloģiskās brauktuves papildus nostiprināšana un tehnikas aprīkošana ar atbalsta ķēdēm dod būtisku uzlabojumu pārgājāmībā (Kalēja u.c., 2017; Lazdiņš u.c., 2017). Tas skaidrojams ar atbalsta virsmas lakuma palielināšanos salīdzinājumā pret forvarderu bez ķēdēm.

SECINĀJUMI UN PRIEKŠLIKUMI PRAKSEI

1. Pievedējtraktoram pārvietojoties pa tehnoloģisko brauktuvi bez zaru klājuma, pārvietošanās ir apgrūtināta, un tas nozīmē, ka atsevišķās vietās pārvietošanās nav iespējama pat vienu reizi.
2. Izmantojot forvardera aprīkojumā atbalsta ķēdes uz visiem tandēmiem un papildus nostiprinot tehnoloģisko brauktuvi ar zaru klājumu, iespējams nodrošināt cismā esošo materiālu pievešanu ar forvarderu.
3. Pētījumā konstatētās atšķirības degvielas patēriņā atkarībā no tehnoloģiskās brauktuves stiprināšanas nav būtiskas.
4. Lai prognozētu apaļo kokmateriālu pievešanas iespējamību ražošanas apstākļos, nepieciešams novērtēt vērpes pretestību, jo pētījumā starp šo rādītāju un risu dziļumu konstatēta cieša korelācija.
5. Penetrācijas pretestības rādītājus pielietojot praksē, iespējams prognozēt maksimālo risu iespēšanās dziļumu, jo tas ir cieši saistīts ar tehnikas spiedienu uz augsni.

LITERATŪRA

1. Ala-Ilomäki, J., Högnäs, T., Lamminen, S., & Sirén, M. (2011). Equipping a Conventional Wheeled Forwarder for Peatland Operations. *International Journal of Forest Engineering*, 22(1), 7–13. <https://doi.org/10.1080/14942119.2011.10702599>
2. Ampoorter, E., Van Nevel, L., De Vos, B., Hermy, M., & Verheyen, K. (2010). Assessing the effects of initial soil characteristics, machine mass and traffic intensity on forest soil compaction. *Forest Ecology and Management*, 260(10), 1664–1676. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.08.002>
3. AS Latvijas valsts mež. (2015). *Vadlinijas pievešanas apstākļu noteikšanai, Versija: 03*. Iegūts no https://www.lvm.lv/images/lvm/Profesionaiem/Me%C5%BEizstr%C4%81de/Pielikumi/Pievesanas_apstaklu_noteikšanas_vadlinijas_v.03.pdf
4. AS "Latvijas valsts meži". (2012). *Ieteikumi, kā samazināt smagās mežizstrādes tehnikas ietekmi uz meža augsni*. Iegūts no <http://dom.lndb.lv/data/obj/55990>
5. Babkov, V. F., Birulja, A. K., & Sedenko, V. M. (1959). *Prochodimost' kolesnych mašin po gruntu*. Naučno-Techn. idz. Ministerstvo Avtomob. Transporta i šoss. dorog RSFSR.
6. 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. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2003.12.001>
7. Cambi, M., Giannetti, F., Botalico, F., Travaglini, D., Nordfjell, T., Chirici, G., & Marchi, E. (2018). Estimating machine impact on strip roads via close-range photogrammetry and soil parameters: A case study in central Italy. *IForest - Biogeosciences and Forestry*, 11(1), 148–154. <https://doi.org/10.3832/ifor2590-010>
8. Cambi, Martina, Certini, G., Neri, F., & Marchi, E. (2015). The impact of heavy traffic on forest soils: A review. *Forest Ecology and Management*, 338, 124–138. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.11.022>
9. Cudzik, A., Brennenstul, M., Białczyk, W., & Czarnecki, J. (2018). Tractive Performance of Tyres in Forest Conditions – Impact Assessment of Ground and Tyres Parameters. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 39(1), 85–96.
10. Cvetkova, R., & Noviks, G. (2016). Meža izstrādes procesu ietekmes uz meža ekosistēmu izpēte un optimālas tehnoloģijas pamatojums. 20. starptautiskā studentu zinātniski praktiskā konference. *Cilvēks. Vide. Tehnoloģijas*. Iesniegts Rēzekne. Rēzekne: Rēzeknes tehnoloģiju akadēmija.
11. Edlund, J., Sveriges lantbruksuniversitet, & Institutionen för skoglig resurshushållning. (2012). *Harvesting in the boreal forest on soft ground ways to reduce ground damage*. Iegūts no <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-e-682>
12. Eliasson, L. (2005). Effects of forwarder tyre pressure on rut formation and soil compaction. *Silva Fennica*. Iegūts no <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FI2006063378>
13. 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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.037>
14. Gerasimov, Y., & Katarov, V. (2010). Effect of Bogie Track and Slash Reinforcement on Sinkage and Soil Compaction in Soft Terrains. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 39(4), 549–557.
15. Grugulis, I. (1987). Pievedējtraktoru lietošanas tehnoloģiskie varianti Jūrmalas MRS mežizstrādē. *Referātu krājums*, 6, 28–37.
16. Hakkila, D. P. (1989). Recovery of Residual Forest Biomass. No *Springer Series in Wood Science. Utilization of Residual Forest Biomass* (lpp. 204–260). Iegūts no

- http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-74072-5_4
17. Han, H.-S., Page-Dumroese, D., Han, S.-K., & Tirocke, J. (2006). Effects of Slash, Machine Passes, and Soil Moisture on Penetration Resistance in a Cut-to-length Harvesting. *International Journal of Forest Engineering*, 17(2), 11–24. <https://doi.org/10.1080/14942119.2006.10702532>
 18. Hytönen, J. (2003). Effects of wood, peat and coal ash fertilization on Scots pine foliar nutrient concentrations and growth on afforested former agricultural peat soils. *Silva Fennica*, 37(2), 219–234.
 19. Ieviņš, I., & Špalte, A. (1982). Mūsdienų mežizstrāde un mežaudžu mehāniskie bojājumi, to cēloņi, bīstamība un samazināšanas iespējas. *Referātu krājums*, 6, 24–28.
 20. Ismoilov, A., Sellgren, U., Andersson, K., & Löfgren, B. (2015). A comparison of novel chassis suspended machines for sustainable forestry. *Journal of Terramechanics*, 58, 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2015.01.002>
 21. Kalēja, S., Lazdiņš, A., & Zimelis, A. (2014). *Plastmasas ķēžu pielietošanas izmēģinājumi kokmateriālu pievešanā krājas kopšanā* (Nr. 2014–10; lpp. 37). Salaspils.
 22. Kalēja, S., Zimelis, A., Spalva, G., Saule, G., Okmanis, M., Polmanis, K., ... Lazdiņš, A. (2017). *Pievedējtraktora Kranman Bison 10 000 6WD izmēģinājumi kopšanas cirtēs Latvijā uz augsnēm ar mazu nestspēju* (lpp. 57). Salaspils: LVMI Silava.
 23. Labelle, E. R., & Jaeger, D. (2012). Quantifying the Use of Brush Mats in Redicting Forwarder Peak Loads and Surface Contact Pressures. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 33(2), 249–274.
 24. Labelle, E. R., Jeager, D., & Poltorak, B. R. (2015). Assessing the Ability of Hardwood and Softwood Brush Mats to Distribute Applied Loads. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 36(2), 227–242.
 25. Lazdāns, V., Epalts, A., Kāposts, V., Kariņš, Z., Liepa, J., Blija, T., ... Lazdiņa, D. (2004). *Meža apsaimniekošanas tehnikas un tehnoloģiju ietekme uz mežu augsni. LVM līgumdarba 05-2004-122c atskaite* (Nr. 05-2004–122c; lpp. 59). Iegūts no https://www.lvm.lv/images/lvm/Tehnikas_ietekme_uz_augsni.pdf
 26. Lazdiņš, A., Kalēja, S., Zimelis, A., Spalva, G., Saule, G., Okmanis, M., ... Petaja, G. (2017). *Pievedējtraktora Logbear F4000 izmēģinājumi uz augsnēm ar mazu nestspēju* (Nr. 2016–06; lpp. 43). Salaspils: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava".
 27. Lazdiņš, A., & Zimelis, A. (2015a). *Kāpurķēžu ar palielinātu virsmas laukumu izmēģinājumi kokmateriālu pievešanā no krājas kopšanas cirtēm uz augsnēm ar mazu nestspēju* (Nr. 2015/11; lpp. 66). Salaspils.
 28. Lazdiņš, A., & Zimelis, A. (2015b). *ProSilva 15-4ST pievedējtraktora degvielas patēriņa un kravnesības novērtējums krājas kopšanas cirtēs* (Nr. 2015–18; lpp. 3). Salaspils.
 29. Liepiņš, J., Lazdiņš, A., & Liepiņš, K. (2017). Equations for estimating above- and belowground biomass of Norway spruce, Scots pine, birch spp. And European aspen in Latvia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1–43. <https://doi.org/10.1080/02827581.2017.1337923>
 30. LVMI Silava. (2017). *Kas būtu jāzina par mežizstrādes organizēšanu* (Nr. 28; lpp. 11). Iegūts no LVMI Silava website: http://www.silava.lv/userfiles/file/2017_Erasmus_rokasgramata/2017_07_Erasmus_manual_28.pdf
 31. LVMI Silava. (2018). *Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma* (Nr. 5-5.9.003v-101.16.47; lpp. 72). Iegūts no LVMI Silava website: https://www.lvm.lv/images/lvm/LVM_petijumi_un_publicijas/2018.03.07/meza-mehanizacija-2017.pdf
 32. Marusiak, M., & Neruda, J. (2018). Dynamic Soil Pressures Caused by Travelling Forest Machines. *Croatian Journal of Forest Engineering : Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 39(2), 233–245.
 33. Matangaran, J. R. (2012). Soil Compaction by Valmet Forwarder Operation at Soil Surface with and without Slash. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 18(1), 52–59. <https://doi.org/10.7226/jtfm.18.1.52>
 34. McDonald, T. P., & Fulton, J. P. (2005). Automated time study of skidders using global positioning

- system data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 48(1), 19–37.
<https://doi.org/16/j.compag.2005.01.004>
35. McDonald, T., Way, T., Lofgren, B., Seixas, F., & Landstrom, M. (1996). Load and inflation pressure effects on soil compaction of forwarder tires. *Canadian Pulp and Paper Association: 67-70*. Iegūts no <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/258>
36. Mohtashami, sima, Eliasson, L., Jansson, G., & Sonesson, J. (2017). Influence of soil type, cartographic depth-to-water, road reinforcement and traffic intensity on rut formation in logging operations: A survey study in Sweden. *Silva Fennica*, 51(5). <https://doi.org/10.14214/sf.2018>
37. Munteanu, H., & Apăfăian, A. (2015). Rewieving the Soil Compaction for Cable Skidders and Animal Traction Equipment: Implications for the Romanian Forest Operations. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 2, 129–135. Iegūts no http://www.procedia-esem.eu/pdf/issues/2015/no2/4_4_Munteanu_15.pdf
38. Murphy, G., Firth, J., & Skinner, M. (2004). Long-term impacts of forest harvesting related soil disturbance on log product yields and economic potential in a New Zealand forest. *Silva Fennica*, 38(3). <https://doi.org/10.14214/sf.416>
39. Murphy, P. N. C., Ogilvie, J., & Arp, P. (2009). Topographic modelling of soil moisture conditions: A comparison and verification of two models. *European Journal of Soil Science*, 60(1), 94–109. <https://doi.org/10/cp5f9k>
40. Owende, P. M. O., Lyons, J., & Ward, S. M. (Kr. Red.). (2012). *Operations Protocol for Eco-efficient Wood Harvesting on Sensitive Sites* (Nr. QLK5-1999–00 991; lpp. 74). Iegūts no <http://www.ucd.ie/foresteng/html/ecowood/op.pdf>
41. Palander, T., & Karha, K. (b.g.). Development of Computational Model to Predict Rut Formation using GIS for Planning of Wood Harvesting on Drained Peat lands. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, 2(12). Iegūts no <https://ijaems.com/detail/development-of-computational-model-to-predict-rut-formation-using-gis-for-planning-of-wood-harvesting-on-drained-peat-lands/>
42. Poikela, A. (2011, novembrī). *Harvesting Wood from Spruce Swamp Stand During Summer*. Iesniegts Soil / machine workshop, Hyytiälä, Finland. Iegūts no http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/03/Seminaari_2011_02_f_Asko_Poikela_Harvesting_wood_from_spruce_swamp_stand.pdf
43. Poltorak, B. J., Labelle, E. R., & Jaeger, D. (2018). Soil displacement during ground-based mechanized forest operations using mixed-wood brush mats. *Soil and Tillage Research*, 179, 96–104. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.02.005>
44. Poršinsky, T., Pentek, T., Bosner, A., & Stankić, I. (2012). Ecoefficient Timber Forwarding on Lowland Soft Soils. *Global Perspectives on Sustainable Forest Management*. <https://doi.org/10.5772/34687>
45. Prindulis, U., Kaleja, S., & Lazdins, A. (2016). Soil compaction in young stands during mechanized logging of biofuel and roundwood assortments. *Research for Rural Development. International Scientific Conference Proceedings*, 2, 67–76. Iegūts no http://llu.lv/conference/Research-for-Rural-Development/2016/LatviaResRuralDev_22nd_vol2-69-76.pdf
46. Pužuls, K., Štāls, T., Zimelis, A., & Lazdiņš, A. (2018). *Preliminary conclusions on application of ultrasonic sensors in evaluation of distribution and depth of ruts in forest thinning*. <https://doi.org/10.15159/AR.18.051>
47. Ronnqvist, M., Westerlund, A., & Carlsson, D. (1999). Extraction of logs in forestry using operations research and geographical information systems. *Proceedings of the 32nd Annual Hawaii International Conference on Systems Sciences. 1999. HICSS-32. Abstracts and CD-ROM of Full Papers*, 10.

- <https://doi.org/10.1109/HICSS.1999.772610>
48. Rozītis, G., Zimelis, A., & Lazdiņš, A. (2017). Evaluation of productivity and impact on soil of tracked ProSilva F2/2 forwarder in forest thinning. *Research for Rural Development*, 1, 94–100. <https://doi.org/10.22616/rrd.23.2017.014>
49. Saarilahti, M., & Anttila, T. (1999). Rut depth model for timber transport on moraine soils. *Proceedings of the 9th International Conference of International Society for Terrain-Vehicle Systems*, 14. Iegūts no <https://helda.helsinki.fi/handle/1975/8068>
50. Sakai, H., Nordfjell, T., Suadicani, K., Talbot, B., & Bøllehuus. (2008). Soil Compaction on Forest Soils from Different Kinds of Tires and tracks and Possibility of Accurate Estimate. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 29(1), 15–27.
51. Sirén, M., Salmivaara, A., Ala-Ilomäki, J., Launiainen, S., Lindeman, H., Uusitalo, J., ... Hänninen, P. (2019). Predicting forwarder rut formation on fine-grained mineral soils. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 34(2), 145–154. <https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1562567>
52. Solgi, A., & Najafi, A. (2014). The impacts of ground-based logging equipment on forest soil. *Journal of Forest Science*, 60(No. 1), 28–34. <https://doi.org/10.17221/76/2013-JFS>
53. Tiernan, D., Zeleke, G., Owende, P. M. O., Kanali, C. L., Lyons, J., & Ward, S. M. (2004). Effect of Working Conditions on Forwarder Productivity in Cut-to-length Timber Harvesting on Sensitive Forest Sites in Ireland. *Biosystems Engineering*, 87(2), 167–177. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2003.11.009>
54. Toivio, J., Helmisaari, H.-S., Palviainen, M., Lindeman, H., Ala-Ilomäki, J., Sirén, M., & Uusitalo, J. (2017). Impacts of timber forwarding on physical properties of forest soils in southern Finland. *Forest Ecology and Management*, 405, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.09.022>
55. Uusitalo, J., Salomäki, M., & Ala-Ilomäki, J. (2015). The Effect of Wider Logging Trails on Rut Formations in the Harvesting of Peatland Forests. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 36(1), 125–130.
56. Wheel rut measurements by forest machine-mounted LiDAR sensors – accuracy and potential for operational applications?: *International Journal of Forest Engineering: Vol 29, No 1. (b.g.). Iegūts 2019. gada 30. decembrī, no <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14942119.2018.1419677>*
57. Wijekoon, M., Sellgren, U., Pirnazarov, A., & Löfgren, B. (2012). Machine Tire-Soil Interaction. *Forest Engineering - Concerns, Knowledge and Accountability in Today's Environment*, 14. Iegūts no https://www.formec.org/images/proceedings/2012/S_10_5.pdf
58. Zimelis, A., Kalēja, S., Pužuls, A., Lazdiņš, A., Spalva, G., Lupiķis, A., & Saule, G. (2018). *Risu veidošanās un zaru ceļu seguma noturības raksturošana mežaudzēs uz organiskām augsnēm* (Nr. 2018-18-2; lpp. 35). Salaspils: LVMI Silava.
59. Базаров, С. М., Григорьев, И. В., Киселев, Д. С., Никифорова, А. И., & Иванов, А. В. (2012). Влияние деформации движителей колесно-гусеничных машин на их проходимость по лесосеке. *Системы. Методы. Технологии*, 4(16), 36–40.
60. Галактионов, О. Н., & Кузнецов, А. В. (2012). *Исследование взаимосвязи технологической проходимости лесозаготовительных машин с параметрами лесной среды*. Iegūts no <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4t1y2012/1145>
61. Герасимов, Ю., & Катаров, В. (2012). *Влияние форвардеров на лесные почво-грунты* (lpp. 80–87). Iegūts no НИИ леса Финляндии Metla website: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp221.pdf>
62. Засухин, Д. П., Серый, В. С., & Минин, Н. С. (2004). *Рекомендации по защите лесных почв от повреждений при проведении лесозаготовительных работ в республике Коми* (lpp. 17). Iegūts no

Krāvu lieluma un skaita ietekme uz risu veidošanos galvenās cirtes cirmās ar organiskām augsnēm

- <https://studylib.ru/doc/2379211/rekomendacii-po-zashhite-lesnyh-pochv-ot-povrezhdeniya-pri>
63. Лисов, В. Ю., & Язов, В. Н. (2014). Экспериментальное определение водопроницаемости лесной почвы в зависимости от ее плотности. *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*, (5 (341)). Iegūts no <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnoe-opredelenie-vodopronitsaemosti-lesnoy-pochvy-v-zavisimosti-ot-ee-plotnosti>
64. Семенович, Ф. А., Степанович, М. С., & Александрович, П. П. (2002). Аналитическое исследование колееобразования на трелевочных волоках, укрепленных отходами лесозаготовок. *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*, (1). Iegūts no <https://cyberleninka.ru/article/n/analiticheskoe-issledovanie-koleeobrazovaniya-na-trelevochnyh-volovak-ukreplennyh-othodami-lesozagotovok>
65. Шаров, А. Ю., & Легенькая, Л. Г. (2005). *Дорожное грунтоведение и механика грунтов*. Iegūts no <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3431>