



PĀRSKATS

PAR PĒTĪJUMU PROGRAMMAS

MEŽA DARBU MECHANIZĀCIJAS UN MEŽA
BIOKURINĀMĀ PĒTĪJUMU PROGRAMMA

2016.-2020. GADA REZULTĀTIEM

Līguma Nr. 5-5.9_003v_101_16_47

Ziņojuma Nr. 2020_02.1

Ziņojuma veids Noslēguma pārskats

Izpildītājs Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava"

KOPSAVILKUMS

Pētījumu programmas mērķis ir izstrādāt, aprobēt un ieviest praksē inovatīvas tehnoloģijas un darbu plānošanas instrumentus meža tehnikas ietekmi uz vidi mazināšanai, jaunaudžu mašinizētas kopšanas ciršu un galvenās cirtes efektivitāti un darba ražīguma palielināšanai, kā arī koksnes resursu tehniskās un ekonomiskās pieejamības, kā arī meža vērtības palielināšanai.

Programmā ietvertās pētījumu jomas ir meža darbu mehanizācija uz augsnēm ar mazu nestspēju, mazā un nestandarta mežizstrādes tehnika kopšanas cirtēs un apauguma novākšanas cirtēs, biokurināmā un apaļo kokmateriālu sagatavošanas darba metodes kopšanas cirtēs, risinājumi degvielas patēriņa samazināšanai meža darbos, ieteikumi mežizstrādes tehnoloģisko karšu sagatavošanas pilnveidošanai, priekšlikumi meža mašīnu operatoru apmācības pilnveidošanai darbam kopšanas cirtēs un meža audžu augšanas gaitas monitorings 2012.-2015. gados izkoptajās I un II vecumklases audzēs.

Nozīmīgākie pētījuma rezultāti ir risinājumi konkurētspējīgai mežizstrādei mežos uz augsnēm ar mazu nestspēju, tajā skaitā augsnes mitruma režīma kartes, priekšlikumi kāpurķēžu ar palielinātu virsmu un kāpurķēžu tehnikas pielietošanai mežizstrādē; risinājumi mežizstrādes izmaksu un audzes bojājumu samazināšanai jaunaudžu kopšanas cirtēs un meža infrastruktūras objektu apauguma novākšanas cirtēs, tajā skaitā kompleksai kompaktklases tehnikas izmantošanai kopšanas cirtēs. Pētījumā vērtēti dažādi risinājumi degvielas patēriņa uzskaitē un samazināšanai mežizstrādē, tajā skaitā noskaidrots, ka kāpurķēžu izmantošana ne tikai nepalielina, bet var arī samazināt degvielas patēriņu, bez tam konstatētas nepilnības degvielas uzskaitē harvesteru produkcijas failos, kas ļauj mākslīgi samazināt degvielas patēriņu. Pētījumā būtiska uzmanība pievērsta ieteikumu sagatavošanai meža apsaimniekošanas darbu plānošanai, t.sk. mežizstrādes tehnoloģisko karšu sagatavošanas uzlabošanai, ievalku plānošanai un caurteku dešifrēšanai. Pētījumos iesaistījām SIA "Meža un koksnes produktu izpētes un attīstības institūta" instruktorus, kas apmācīja meža mašīnu operatorus un iegūtās zināšanas izmantoja meža mašīnu operatoru apmācības procesā. Pētījumā sagatavoti priekšlikumi jaunaudžu kopšanas ciršu vadlīniju pilnveidošanai, izmantojot kompaktklases tehniku, kā arī vidējās klases mežizstrādes tehniku, kas aprīkota ar Bracke C.16 darba galvu. Pētījuma ietvaros organizēti semināri AS "Latvijas valsts meži" darbiniekiem un pakalpojumu sniedzējiem par pētījumu rezultātiem un atziņām.

Pētījums tiek veikts pēc AS "Latvijas valsts meži" pasūtījuma, kuru īsteno Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava". Empīrisku datu iegūvi, analīzi un pārskata sagatavošanu nodrošināja LVMI Silava darbinieki A. Zimelis, S. Kalēja, J. Ivanovs, R. Meļņiks, Ē. Strautiņš, G. Petaja, D. Lazdiņa, K. Polmanis, L.L. Krumšteds, J. Zalmanis, K. Viļčevskis, G. Saveljevs, A. Lazdiņš.

Pētījums veikts a/s "Latvijas valsts meži" un LVMI Silava
2011. gada 11. oktobra memoranda
"Par sadarbību zinātniskajā izpētē" ietvaros



SUMMARY

The aim of the research program is to develop, test and implement innovative technologies and planning tools to reduce the impact of forest machinery on the environment, increase the efficiency and productivity of commercial thinning and regenerative felling, as well as increase the technical and economic availability of wood resources and forest value.

Areas of research included in the program are mechanization of forest works on soils with low bearing capacity, small and non-standard logging techniques in commercial thinning and regenerative felling, biofuel and roundwood production methods in thinnings, solutions for reducing fuel consumption in forest works, proposals for the improvement of training of forest machine operators for more efficient operation in thinnings, and monitoring of forest growth in young stands thinned in 2012-2015.

The most significant results of the research are solutions for efficient logging in forests on soils with low bearing capacity, including soil moisture regime maps, proposals for the use of tracks with increased surface area and tracked forwarders in logging operations; solutions for the reduction of logging costs and stand damage in commercial thinning of young stands and felling of forest infrastructure objects, including complex use of compact class forest machines in thinning. The study evaluates various solutions for accounting and reduction of fuel consumption in logging, including that the use of tracks not only does not increase, but can also reduce fuel consumption; in addition, shortcomings in fuel accounting in harvester production files have been identified, which allows artificial reduction of fuel consumption. The study paid significant attention to the preparation of recommendations for the planning of forest management works, including improvement of the preparation of logging technological maps, the planning of crossing of ditch-sides and the decoding of culverts. We involved instructors of SIA "Forest and Wood Products Research and Development Institute" who trained forest machine operators and used the acquired knowledge in the training process of forest machine operators. The study has prepared proposals for the improvement of guidelines for the pre-commercial thinning using compact class forest machines, as well as middle-class forestry equipment equipped with a Bracke C.16 felling head. Within the framework of the project, seminars were organized for the employees and service providers of JSC "Latvijas valsts meži" to disseminate the research results.

Research is being conducted by Latvian State Forest Research Institute "Silava" (LSFRI Silava) in cooperation with contractors of the Joint stock company "Latvia state forests". Empirical data collection, analysis and preparation of the interim report were provided by LSFRI Silava employees A. Zimelis, S. Kalēja, J. Ivanovs, R. Meļņiks, Ē. Strautiņš, G. Petaja, D. Lazdiņa, K. Polmanis, L.L. Krumšteds, J. Zalmanis, K. Viļčevskis, G. Saveljevs, A. Lazdiņš.

Pētījums veikts a/s "Latvijas valsts meži" un LVMI Silava
2011. gada 11. oktobra memoranda
"Par sadarbību zinātniskajā izpētē" ietvaros



Saturs

Kopsavilkums	2
Summary	3
Meža darbu mehanizācija uz augsnēm ar mazu nestspēju	8
Aprīkojuma prototipa izgatavošana ietekmes uz augsni un citu harvesteru un forvardera telemetriju mērīšanai tiešsaistes režīmā, 2016.-2017. gads	8
Empīrisku datu ieguve risu veidošanās un zaru ceļa noturības raksturošanai, 2017.-2018. gads	12
Augsnes sablīvējuma ietekmes uz gruntsūdeņu plūsmas ātrumu un augšanas apstākļiem ietekmes izpēte, 2017.-2018. gads	14
Grāvju atbērtņu sablīvēšanās ietekmes uz augsnes ūdens plūsmu novērtējums, 2017.-2018. gads	17
Atbalsta ķēžu pētījums, 2017. gads	20
Pievešanas apstākļu klasificēšanas pētījumi, 2020. gads	22
Metodikas aprobācija ģeoradara, augsnes virskārtas mitruma mērījumu, griezes pretestības mērierīces un penetrolģera pielietošanai augsnes nestspēju raksturojošu datu ieguvei un augsnes nestspējas prognozēšanas tabulu izstrādāšanai, 2019.-2020. gads	24
Automatizēta atbērtnes šķērsošanas vietas izvēles algoritma izstrāde un aprobēšana ievalku izvietojuma plānošanai virszemes ūdens noteces nodrošināšanai, 2019.-2020. gads	25
Mazā un nestandarta mežizstrādes tehnika kopšanas cirtēs un apauguma novākšanā	29
Forvardera Kranman Bison 10000 6WD izmēģinājumi kopšanas cirtēs Latvijā uz augsnēm ar mazu nestspēju, 2016.-2017. gads	29
Jaunā ProSilva forvardera prototipa izmēģinājumi kopšanas cirtēs Somijā uz augsnēm ar mazu nestspēju, 2016. gads	32
Forvardera Logbear F4000 izmēģinājumi uz augsnēm ar mazu nestspēju, 2016.-2017. gads	34
Harvestera Vimek 404 T6 izmēģinājumi kopšanas cirtēs Latvijā, 2016.-2017. gads	38
Paceļamā un standarta greifera salīdzinājums kokmateriālu pievešanā kopšanas cirtē, 2017. gads	44
Dubultgreifera un standarta greifera salīdzinājums kokmateriālu pievešanā kopšanas cirtē, 2017. gads	47
Jaunaudžu (koku augstums 2-4 m) kopšanas tehnoloģiskie risinājumi, 2018.-2020. gads	50
Dažādu mašīnizētas pameža zāģēšanas metožu un mehānismu salīdzināšana galvenajā un kopšanas cirtē, 2018.-2020. gads	51
Biokurināmā un apaļo kokmateriālu sagatavošanas metodes kopšanas cirtēs	54
Kravu lieluma ietekme uz pievešanas darba ražīgumu un augsnes bojājumiem kopšanas cirtēs, 2016.-2017. gads	54
Padeves veltņu ietekme uz darba ražīgumu, 2016.-2017. gads	57
Pašizmaksas modeļa izstrādāšana harvesteram ar Bracke C.16 darba galvu, 2018.-2019. gads	62
Biokurināmā sagatavošana krājas kopšanas cirtēs no mežizstrādes atliekām Sl, Mr, Mrs, Ln un Dm meža tipos, 2018.-2020. gads	68
Metodikas aprobācija mitruma satura izmaiņu izpētei mežizstrādes atliekās un daļēji atzarotā sīkkoksne, un biokurināmā uzglabāšanas ietekmes uz siltumspēju un citiem kvalitātes rādītājiem likumsakarību raksturošana, 2019.-2020. gads	72
Masas zuduma, kā arī cietā biokurināmā siltumspējas un mitruma satura izmaiņas atkarībā no uzglabāšanas ilguma un citiem faktoriem	75
Šķeldu kravu piepildījuma izmaiņu monitorings un vienādojumu izstrādāšana kravu piepildījuma samazināšanās prognozēšanai, 2019.-2020. gads	75
Risinājumi degvielas patēriņa samazināšanai meža darbos	80
Automatizētās degvielas patēriņa uzskaites sistēmu monitorings 3 tehnikas komplektiem, 2016. gads	80
Degvielas patēriņa samazināšanas iespēju analīze mežizstrādē, 2018.-2020. gads	82
Ieteikumi mežizstrādes tehnoloģisko karšu sagatavošanas pilnveidošanai	94
Audžu atlasē kritēriju izvērtēšana mašīnizētai jaunaudžu kopšanai, 2016. gads	94

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Augsnes sagatavošanas darba metodes un paliekošo koku bojājumu kopsakarību analīze, 2016.-2018. gads	94
Metodikas aprobācija pārmitro platību identificēšanai izmantojot aero lāzerskenēšanas datus, 2016.-2020. gads	99
LiDAR datu izmantošana koku augstuma novērtēšanai, 2017.-2018. gads	104
Meža grāvju dešifrēšanas metode, 2019.-2020. gads	106
Caurteku dešifrēšanas metodes izveidošana un aprobēšana, 2019.-2020. gads	108
Mašīnmācības metožu pielietošanas iespēju izpēte apaļo kokmateriālu iznākuma prognozēšanai, izmantojot harvesteru produkcijas failos pieejamos datus un citas datu kopas	111
Harvesteru produkcijas datu (StanForD 2010 standarts) izmantošanai meža inventarizācijā	116
Mežaudžu augšanas gaitas monitorings 2012.-2015. gados izkoptajās I un II vecumklases audzēs	120
Priekšlikumi operatoru apmācības pilnveidošanai darbam kopšanas cirtēs	128
Iepazīstināt LVM darbiniekus un pakalpojumu sniedzējus ar pētījumu rezultātiem un atziņām	129
Pētījuma rezultātu prezentēšana AS “Latvijas valsts meži” darbiniekiem un citiem interesentiem populārzinātniskās konferencēs	129
Pētījuma ietvaros sagatavotās publikācijas	129
Pētījuma rezultātu prezentēšana starptautiskās zinātniskās konferencēs	132
Izmantotā literatūra	135

Attēli

Att. 1: Sensoru un vadības bloka 1. prototips.	8
Att. 2: Ierīce griezes pretestības mērīšanai (Andis Lazdiņš u.c., b.g.).	9
Att. 3: Ar risu uzmērīšanas sistēmu aprīkots forvarders.	10
Att. 4: Mērījumu punktu pārveidošana par cirsma poligonu.	11
Att. 5: Cirsma poligonu sadalījums segmentos.	11
Att. 6: Iespiedumu dziļumu aprēķināšanas shematiskais attēlojums.	13
Att. 7: Risu mērīšana.	13
Att. 8: Pētījuma teritorija.	15
Att. 9: Augsnes sablīvēšanās uz smilšainiem nogulumiem.	15
Att. 10: Augsnes sablīvēšanās uz morēnas nogulumiem.	16
Att. 11: Gruntsūdens līmeņa svārstības.	16
Att. 12: Pētījuma teritorija.	18
Att. 13: Parauglaukumu shēma.	18
Att. 14: Gruntsūdens līmeņa svārstības parauglaukumā un kontroles laukumā.	19
Att. 15: Ponsse Buffalo forvarders ar ekskavatora tipa ķēdēm uz aizmugurējā tandēma.	21
Att. 16: Risu veidošanās salīdzinājums.	21
Att. 17: Pētījuma teritorija.	25
Att. 18: Ievalku modelēšanas aprobācijas teritorija.	26
Att. 19: Ievalku izvietojums modeļa aprobācijas teritorijā.	27
Att. 20: Kranman Bison 10000 forvarders.	29
Att. 21: Kranman Bison 10000 6WD forvarders ar vidēju (2,2 tonnas) kravas piepildījumu.	30
Att. 22: Pašizmaksas jutīguma analīze ar ķēdes motorzāģi sagatavotajiem kokmateriāliem.	31
Att. 23: Tehnikas fotogrāfija raksturīgos apstākļos.	32
Att. 24: Forvardera ProSilva spiedienu uz augsni sadalījumā pa asīm P1=P2 un P3=P4.	32
Att. 25: Jutīguma analīze krājas kopšanas cirtē.	33
Att. 26: Logbear F4000 forvarders.	35
Att. 27: Riteņtraktora risēs iegrimis Logbear F4000 forvarders.	36
Att. 28: Jutīguma analīze ar ķēdes motorzāģi sagatavotajiem kokmateriāliem.	36
Att. 29: Starpkrautuves ietekmes uz kokmateriālu pievešanas pašizmaksu novērtējums.	37
Att. 30: Vimek 404T5 harvesters.	38
Att. 31: Vimek 404 T5 harvestera darba galva.	39
Att. 32: Vidējie ražīguma rādītāji egļu audzēs pavasara un vasaras izmēģinājumos.	40
Att. 33: Ražīgums atkarībā no pameža stāvokļa sadalījumā pa caurmēra pakāpēm vasaras izmēģinājumos.	40
Att. 34: Ražīgums atkarībā no brauktuvju izvietojuma sadalījumā pa caurmēra pakāpēm pavasara izmēģinājumos.	41
Att. 35: Jutīguma analīze – harvestera noslodzes ietekme uz kokmateriālu izmaksām.	42
Att. 36: Ar Vimek un John Deere 810 sagatavoto kokmateriālu izmaksu un ieņēmumu attiecība.	43
Att. 37: John Deere 810 D forvarders ar greiferi ar pacelšanas mehānismu.	44
Att. 38: Greifers ar <i>BioTassu</i> pacelšanas mehānismu.	45
Att. 39: Darba elementu sadalījums 1 m ³ kokmateriālu pievešanā atkarībā no darba metodes.	46
Att. 40: John Deere 1110D ECO III forvarders.	47
Att. 41: Dala-Gripen DG 029 kauss ar <i>Sortimentsgripper</i> moduli.	48
Att. 42: Produktīvā laika darba elementu sadalījums 1 m ³ kokmateriālu pievešanā atkarībā no darba metodes.	49
Att. 43: Krūmgriezis MenSe RT7.	52
Att. 44: Iekraušanai un izkraušanai patērētais laiks, atkarībā no kravas lieluma, pārrēķināts uz min. m ⁻³	55
Att. 45: Penetrācijas pretestības izmaiņas 0-10 cm dziļumā, atkarībā no pievesto kokmateriālu apjoma un darba metodes.	55
Att. 46: Pievešanas attāluma ietekme uz pievešanas pašizmaksu.	56
Att. 47: Padeves veltņu darbības laiks uz koku sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.	58
Att. 48: Ietekmes uz lietkoksnas darba cilindra tilpumu aprēķinu shematiskais attēlojums.	60
Att. 49: Jaunaudžu kopšanā izmantotās darba metodes shematiskais attēlojums.	63
Att. 50: Grāvju trašu apauguma novākšanā izmantotās darba metodes shematiskais attēlojums.	64
Att. 51: Kokmateriālu sagatavošanas vidējo ražīguma rādītāju salīdzinājums dažādiem ciršu veidiem sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.	65
Att. 52: Modelēto vidējo kokmateriālu sagatavošanas ražīguma rādītāju un vidējā nozāģētā koka caurmēra krūšu augstumā sakarība dažādiem cirtes veidiem.	66
Att. 53: Darba metožu grafiskais attēlojums.	70
Att. 54: forvarders Komatsu 855.	71
Att. 55: Iekārta mitruma saturs izmaiņu, biogēno elementu izskalošanās un biomasas mineralizācijas novērtēšanai.	73
Att. 56: Svēršanas platformas ar mežizstrādes atliekām.	74
Att. 57: Apauguma masas izmaiņas.	75
Att. 58: Kokmateriālu kaudzītes izmēģinājumu poligonā.	76

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Att. 60: Šķeldu kravas telpiskais modelis pēc datu apstrādes.....	78
Att. 61: Neveiksmīgs šķeldu kravas telpiskais modelis pēc datu apstrādes.....	78
Att. 62: Šķeldu sablīvēšanās – starprezultāts.....	79
Att. 63: Degvielas uzskaites sistēma AIC-904 Veritas.....	80
Att. 64: Degvielas patēriņa izmaiņas krājas kopšanas cirtē, atkarībā no vidējā nozāģētā koka tilpuma.....	83
Att. 65: Degvielas patēriņa izmaiņas galvenajā cirtē, atkarībā no vidējā nozāģētā koka tilpuma.....	83
Att. 66: Degvielas patēriņa izmaiņas sadalījumā pa sezonām galvenajā cirtē.....	85
Att. 67: Degvielas patēriņa izmaiņas sadalījumā pa sezonām krājas kopšanas cirtē.....	85
Att. 68: Degvielas patēriņa izmaiņas sadalījumā pa mežu mašīnu operatoriem galvenajā cirtē.....	86
Att. 69: Ražīguma rādītāji pirms un pēc apmācībām, zāģējot vienādu dimensiju kokus.....	87
Att. 70: Degvielas patēriņš, atkarībā no sagatavojamo kokmateriālu veidu skaita.....	88
Att. 71: Pētījuma objekts (25,12931; 56,69734).....	89
Att. 72: Degvielas patēriņš Ponsse Wisent pie maksimālās kravas piepildījuma (100%).....	90
Att. 73: Degvielas patēriņš Ponsse Wisent pie 50% kravas piepildījuma.....	90
Att. 74: Degvielas patēriņš Ponsse Bufallo ar maksimālo kravas piepildījumu.....	91
Att. 75: Degvielas patēriņš Ponsse Bufallo ar 50% kravas piepildījumu.....	91
Att. 76: Sākotnējie augsnes apstrādes kustības plānošanas ieteikumi.....	96
Att. 77: Bojājumu skaits manevrēšanas joslās, salīdzinot ar pārējo audzes daļu, atkarībā no valdošās sugas un koridoru savienojuma.....	97
Att. 78: Bojāto koku skaits un īpatsvars no atstājamiem kokiem priežu audzēs, atkarībā no tehnoloģiskā koridora garuma.....	97
Att. 79: Bojāto koku skaits un īpatsvars no atstājamiem kokiem egļu audzēs, atkarībā no tehnoloģiskā koridora garuma.....	98
Att. 80: Parametri krājas kopšanas ciršu rādītāju aprēķinos.....	98
Att. 81: Pētījuma parauglaukumu izvietojums.....	100
Att. 82: Gruntsūdens līmeņa monitoringa parauglaukuma shēma.....	100
Att. 83: Augsnes mitruma prognožu karte Ogres iecirknim.....	101
Att. 84: Kūdras sastopamība atkarībā no augsnes mitruma prognozes.....	102
Att. 85: Glejošanās horizonta sastopamība atkarībā no augsnes mitruma prognozes.....	102
Att. 86: Pētījuma parauglaukumu izvietojums.....	105
Att. 87: DEM interpolācijas metožu piemēri. a) – <i>Binning</i> ; b) – <i>Bilinear</i> ; c) – <i>Bicubic</i>	107
Att. 88: Iespējamo caurteku atrašanās vietu identificēšanas piemērs.....	109
Att. 89: Koriģētu DEM piemēri izmantojot <i>Breach Depressions</i> algoritmu.....	110
Att. 90: Nozāģēto koku tipu datu struktūra hpr failos.....	113
Att. 91: Kokmateriālu veidu saraksts.....	114
Att. 92: Ekrāndrūka no programmas QGIS ar atspoguļotiem koku augstumiem.....	116
Att. 93: Izkopta audze pēc krājas kopšanas cirtes.....	117
Att. 94: Augstuma izkliedes rādītāji.....	118
Att. 95: Vidējā caurmēra izkliedes rādītāji.....	118
Att. 96: Krājas pieauguma palielinājuma pēc kopšanas cirtes un attāluma starp tuvākajiem kokiem sakarība.....	122
Att. 97: Sakarība starp <u>bērza</u> krājas pieauguma izmaiņām pēc kopšanas cirtes un attālumu starp kokiem, atkarībā no koka caurmēra.....	123
Att. 98: Sakarība starp <u>egles</u> krājas pieauguma izmaiņām pēc kopšanas cirtes un attālu starp kokiem, atkarībā no koka caurmēra.....	124
Att. 99: Sakarība starp <u>priedes</u> krājas pieauguma izmaiņām pēc kopšanas cirtes un attālu starp kokiem, atkarībā no koka caurmēra.....	124
Att. 100: Vidējie rādītāji, kas raksturo bērza, egles un priedes krājas pieauguma izmaiņas pēc kopšanas cirtes un koku caurmēru.....	125
Att. 101: Sakarība starp koku caurmēru un attālumu starp tuvākajiem kokiem.....	126

Tabulas

Tab. 1: Cirtes veidam raksturīgie regresijas vienādojumi.....	64
Tab. 2: Modelētie cirtes veidam raksturīgi regresijas vienādojumi.....	65
Tab. 3: Materiālu sadalījums pa sezonām (darba uzdevumā plānotais).....	76
Tab. 4: Masas un tilpuma izmaiņas.....	76
Tab. 6: Apaļo kokmateriālu dabiski mitras koksnes blīvuma izmaiņas.....	77
Tab. 7: Rādītāju izmaiņas atkarībā no cirtes veida un sezonas.....	84
Tab. 8: Vilkmes režīmu sadalījums.....	89

MEŽA DARBU MECHANIZĀCIJA UZ AUGSNĒM AR MAZU NESTSPĒJU

Aprīkojuma prototipa izgatavošana ietekmes uz augsni un citu harvesteru un forvardera telemetrijas mērīšanai tiešsaistes režīmā, 2016.-2017. gads

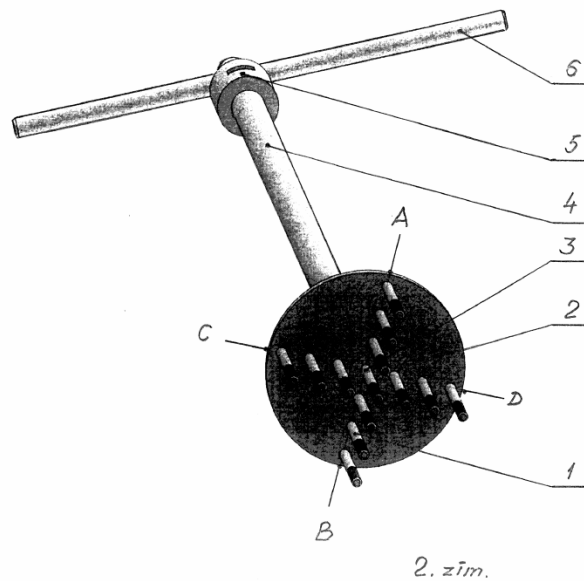
Pētījuma uzdevums 2016. gadā bija izstrādāt mežizstrādes mašīnu ietekmi uz augsni mērīšanas un monitoringa iekārtas, tajā skaitā ultraskaņas sensoru sistēmas prototipu, kas mēra attālumu starp sensoru un zemi, parādot risu veidošanās dinamiku telpā un laikā (Att. 1); un griezes pretestības noteikšanas iekārtu (Att. 55), papildinot to ar dinamometrisko atslēgu, kas mēra ne tikai spēku, bet arī pagrieziena leņķi. Izstrādātās iekārtas pārbaudītas praksē izmēģinājumu platībās, nosakot risu veidošanās gaitu, kā arī augsnes vērpes un penetrācijas pretestību, ka arī augsnes mitrumu un risu dziļumu pēc kokmateriālu pievešanas. Telemetrisko datu uzkrāšanai izstrādātā programmatūra publiskota pētījuma interneta vietnē¹.



Att. 1: Sensoru un vadības bloka 1. prototips².

¹ <https://drive.google.com/drive/folders/1QJr18TFa8lInl4GHFwQSLFId7iplnZGt?usp=sharing>

² Foto – A. Zimelis.



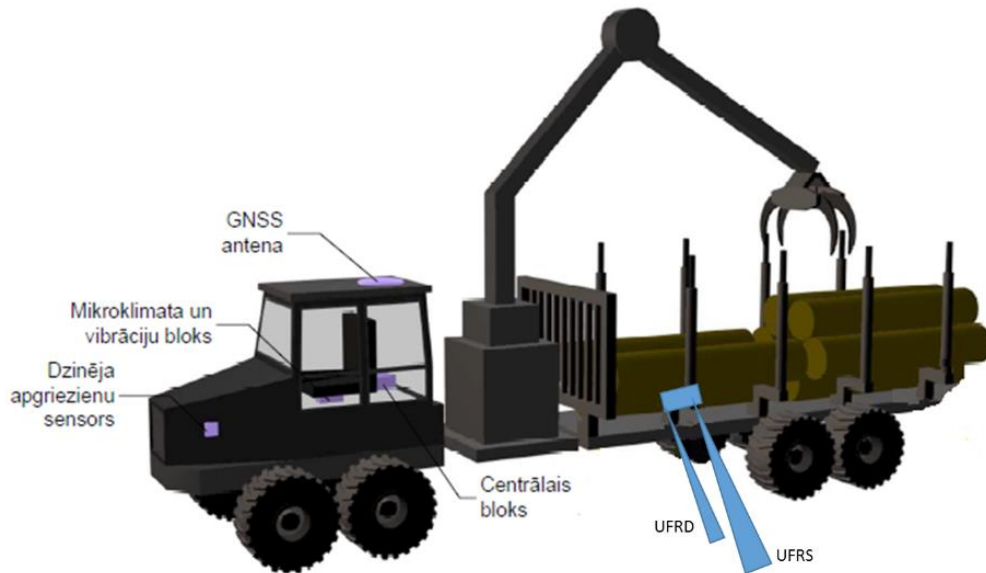
Att. 2: Ierīce griezes pretestības mērīšanai (Andis Lazdiņš u.c., b.g.).

Griezes pretestības mērīšanas ierīce (Att. 55) sastāv no augsnē ievadāmiem 20-30 cm gariem 1 cm caurmēra stieņiem (1), kuri no apakšējās puses ieskrūvēti ierīces 1 cm biežajā plāksnē (2), viens no stieņiem ieskrūvēts centrā (3), pārējie stieņi izvietoti divos savstarpēji perpendikulāros virzienos (AB, CD) caur centru (3), pie plāksnes (2) augšpusē centra piestiprināts pamatstobrs (4), kura augšējās daļas iekšpusē atrados elektroniskā griezes momenta mērierīce (5) un tā savienota ar divpusējiem ierīces griešanas rokturiem (6). Pārskats par griezes pretestības mērīšanas iekārtu un izmantojamajiem aprēķinu vienādojumiem pieejams pētījuma interneta vietnē³.

2017. gadā risu mērīšanas iekārta pilnveidota atbilstoši 2016. gada izmēģinājumu rezultātiem, tajā skaitā ultraskaņas sensoru blokiem nodrošināta bezvadu datu pārraide, izstrādāts vadības modulis tehnikas telemetrijas datu ievākšanai, tajā skaitā risu dziļuma mērījumu datu uzkrāšanai, un izstrādāta aprēķinu metode risu raksturošanai. Izveidotais prototips paredzēts forvardera degvielas patēriņa, vibrācijas un mikroklimate kabīnē, kā radīto risu mērījumu nolasišanai un uzkrāšanai, vadoties pēc GPS koordinātēm, un izmantots turpmākajos pētījumu programmas ietvaros organizētajos izmēģinājumos.

Centrālās sistēmas bloku uzstāda forvardera kabīnē pie aizmugurējā stikla vai zem aizsarga aiz kabīnes (kā izmēģinājumos 2018. gadā), tam ir jābūt viegli pieejamam, kā arī nodrošinātam ar nepārtrauktu strāvas padevi. Centrālā bloka novietošana zem kabīnes aiz aizsarga uzlabo signāla kvalitāti. GNSS antena piestiprināta uz forvardera kabīnes. Forvardera labajā un kreisajā pusē uz priekšējiem (2017. gada izmēģinājumos – uz aizmugurējiem) kuleņiem iekšpusē vienādās pozīcijās (vērsti uz ārpusi) ar skavām pievienoti ultraskaņas sensori (Att. 3). Sensoru blokam jābūt piestiprinātam tā, lai uz leju vērtais ultraskaņas vilnis pret zemes virsmu atstarotos slīpi $\sim 45^{\circ}$ leņķī.

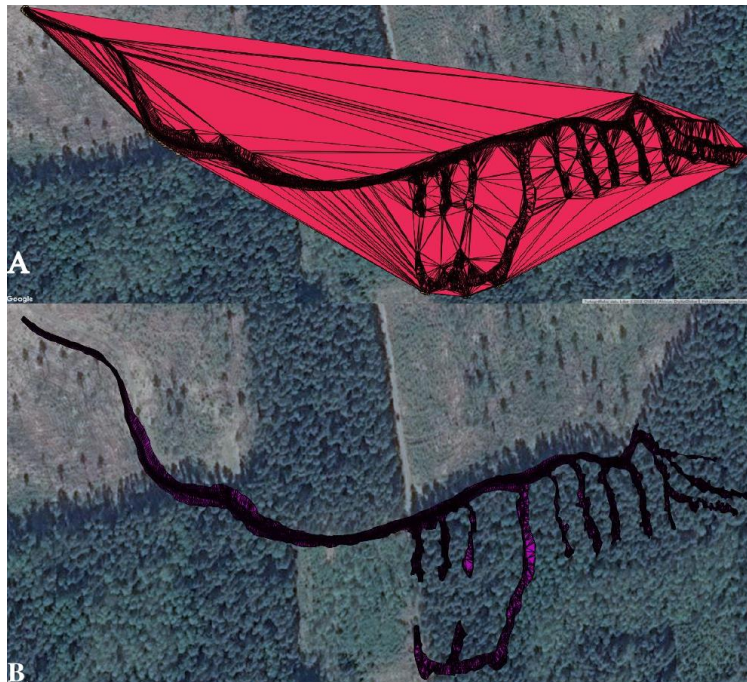
³ https://drive.google.com/file/d/1QbkXdYYFY2tKfKmvk7dndOGnLMLWWG_z/view?usp=sharing



Att. 3: Ar risu uzmērīšanas sistēmu aprīkots forvarders.

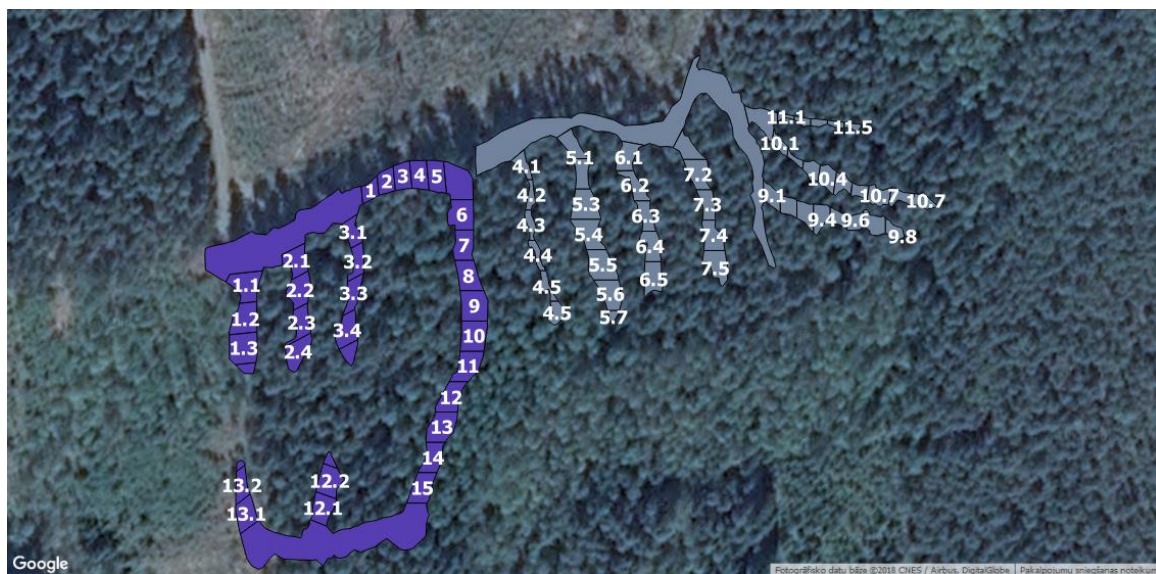
Datu analīze notiek QGIS vidē, kur sākotnēji notiek iegūto datu (ultraskaņas sensoru mērījumu) filtrācija, lai atlasītu mērījumus (robežās no 300 līdz 5000 mm), kas piemēroti tālākai to apstrādei. Mērījumi katram ultraskaņas sensoru blokam analizēti atsevišķi.

Tālāk veikta telpisko datu apstrāde. Iegūtie dati par noteiktiem mērījuma punktiem apstrādāti QGIS vidē, iegūstot attiecīgo koordinātu laukus, kas ļauj noteikt forvardera atrašanās vietu un raksturot tā pārvietošanos cirmsmā. Lai iegūtu cirsma shēmu no GPS datiem un izveidotu datu apstrādes sistēmu, iegūtos mērījumu punktus nepieciešams pārveidot par poligonu. Punktu pārveidošana poligonā veikta izmantojot Delonē triangulācijas funkciju. Delonē triangulācija ir algoritms, kas no esošiem punktiem izveido trijstūrus. Par trijstūru virsotnēm izmanto esošos punktus, bet neviens no punktiem neatrodas trijstūru iekšpusē. Trijstūru izveidošanai izmantoti 3 tuvākie punkti. Triangulācijas rezultātā rodas objekts, kuram savienoti ne tikai tuvāk esošie punkti, bet arī relatīvi tālāk esošie punkti, tādēļ pēc triangulācijas veikšanas manuāli izdzēsti liekie trijstūri. Trijstūru atlases laikā ņemts vērā punktu izvietojums, izdzēšot tos trijstūrus, kuri atrodas ārpus pievešanas ceļa (Att. 4).



Att. 4: Mērījumu punktu pārveidošana par cirsma poligonu.

Pēc trijstūru atlasas tie apvienoti poligonā, izmantojot sapludināšanas funkciju (*Dissolve*). Iegūto cirsma poligonu var dalīt atsevišķos segmentos (Att. 5), piešķirot tiem nosaukumu, kas ļauj iegūt detaļu informāciju par kādu konkrētu vietu vai apgabalu.



Att. 5: Cirsma poligonu sadalījums segmentos.

Secinājumi: izmantojot datu telemetrisko uzskaites sistēmu, var precīzi aprēķināt kopējo nobraukto attālumu cirsma, kā arī pievešanas ceļa garumu vai arī attālumu katram atsevišķam braucienam. Izmantojot šādu uzskaites sistēmu, nav nepieciešams attāluma mērījumus veikt manuāli. Balstoties uz iegūtajiem datiem, var precīzi noteikt forvardera pārvietošanās trajektoriju, kas parāda pārvietošanos ārpus tehnoloģiskajā kartē plānotajiem koridoriem. Izmantojot telemetrisko datu uzmērīšanas iekārtā uzkrātos datus, kas ietver sasvēršanās sensora mērījumus, var veikt detalizētu analīzi par

risu veidošanās dinamiku pievešanas laikā. Datu analīzes iespējas pielietojot sistēmu ir plašas, taču nepieciešamas pilnveidot iekārtas automatizētu datu apstrādi. Galvenās atziņas, kas iegūtas, izstrādājot un testējot risu dziļuma un griezes pretestības mērīšanas iekārtas, iekļautas pētījuma starpziņojumos un etapa pārskatos⁴.

Turpmākajos pētījumos izstrādātās risu mērīšanas iekārtas prototips jāpielāgo sērijveida izgatavošanai un izmantošanai mežizstrādē, lai samazinātu kopšanas ciršu kvalitātes kontroles izmaksas un uzkrātu informāciju par tehnoloģisko koridoru un pievešanas ceļu izvietojumu, kā arī jāizstrādā rīki datu automatizētai uzkrāšanai un analīzei.

Empīrisku datu ieguve risu veidošanās un zaru ceļa noturības raksturošanai, 2017.-2018. gads

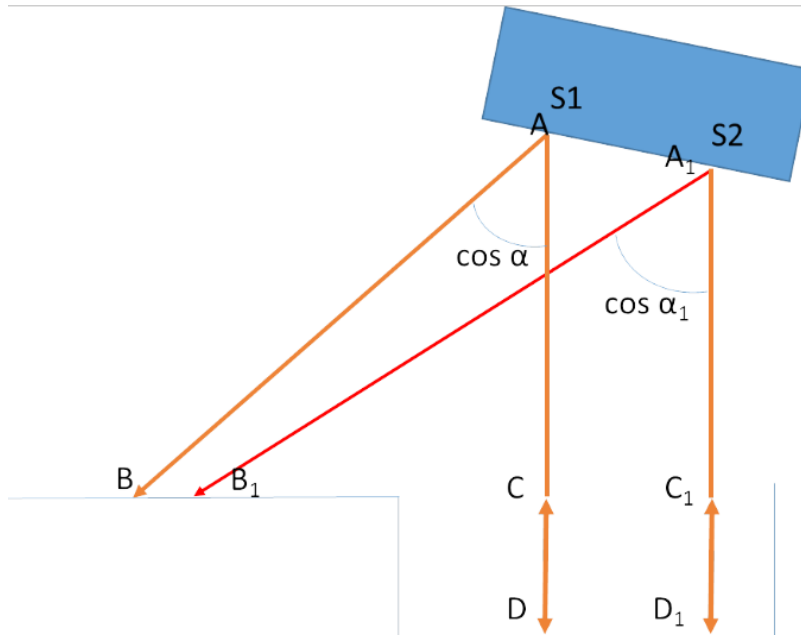
Pētījuma mērķis ir iegūt empīriskus datus risu veidošanās un zaru ceļu seguma noturības raksturošanai organiskās augsnēs, atkarībā no laika apstākļiem pievešanas laikā, valdošās sugas un pārvesto kokmateriālu apjoma, izmantojot 2017. gadā izgatavoto risu veidošanās monitoru. Pētījums veikts ražošanas apstākļos, uzstādot forvarderam datu logeri, kas uzkrāj GPS un risu mērījumu datus ietekmes uz augsni, izvesto kravu un citu parametru raksturošanai.

Pētījuma ietvaros noteikts, cik dziļi augsnes iespaidumi izveidojušies konkrētā tehnoloģiskā koridora sektorā. Ultraskaņas sensoru mērījumu datu apstrāde veikta, izmantojot 2 paņēmienus. Abos paņēmienos datu apstrādes metodika neatšķīrās, bet mainīti izmantotie mērījumu dati.

Pirmajā metodē ultraskaņas sensoru bloki izvietoti uz aizmugurējiem kūleņiem to iekšpusē, iespaidumu dziļums augsnē noteikts pēc uz sānu vērsta sensora (nogrieznis AD, Att. 6) ievākto datu salīdzināšanas ar sensora (uz leju vērta – nogrieznis AB) attālumu līdz augsnes virskārtai. Izmantojot iegūtos leņķa lielumus, katram mērījumam attiecīgi veikta trigonometriskā korekcija. Pēc korekcijas viena sensoru bloka ievāktie dati (2 mērījumi) savā starpā salīdzināti un iegūti augsnes iespaidumi.

Otrajā metodē iespaidumu dziļums augsnē noteikts pēc uz sānu vērsta sensora (slīpi pret augsnes virskārtu 50 cm attālumā no rises malas neiegrimušam forvarderam – nogrieznis AB un A_1B_1 (Att. 6). Risu dziļums aprēķināts, vadoties pēc braucienu skaita. Iebraukšana koridorā uzskatīta par atskaites punktu, no kura atņemti mērījumi par iespaidumiem, kas veidojušies izbraukšanas laikā. Lai aprēķinātu risu dziļumu, koridors sadalīts segmentos, kurā piekatetes garums AD aprēķināts, izmantojot taisnleņķa trijstūra $\cos \alpha$ nogrieznim AD un nogrieznim A_1D_1 jābūt vienādiem.

⁴ https://drive.google.com/file/d/1whdJxSdIP2LTY0ILOw_wzsdM59gtlQrv/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/1qwGKb9QJpqwIYh2NS6oBU_6qKY9ZX4FN/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/14fZOkkW4oGS995ihyZxDsaJmSfNy_o0l/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/1W_q8CtJx4jC-J2qGfewGyNnEYAplc57I/view?usp=sharing.



Att. 6: Iespiedumu dziļumu aprēķināšanas shematisks attēlojums.

Manuāla risu mērīšana veikta, ja risu dziļums pārsniedz 5 cm. Risu mērīšanai izmantots speciāls lineāls (Att. 7). Atbalsta garums (H_1) ir nemainīgs 50 cm, tam uzasināts viens gals, lai veiktu mērījumus precīzi no zemes virsmas, tādējādi izslēdzot zālaugu ietekmi uz risu mērījumiem. Par atbalsta virsmu uzskatīta brauktuves labā puse, 50 cm attālumā no risu sānu malas. Risu uzmērīšanai pielietota mērlente, ar kuras palīdzību noteikts attālums no risu centra līdz koka konstrukcijai (H).



Att. 7: Risu mērīšana.

Salīdzinot automātiski un manuāli iegūtos datus, konstatēts, ka dati, kas iegūti ar telemetrisko datu uzkrāšanas sistēmas, ļauj aprēķināt pievešanas darbos izveidoto risu dziļumu un tehnoloģisko koridoru izvietojumu, kā arī ļauj raksturot kopējo nobraukto attālumu un pārbraucienu skaitu katrā koridorā. Izmantojot kokmateriālu izkraušanas ražīguma rādītājus, var novērtēt arī summāro slodzi uz tehnoloģiskā koridora virsmas.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Pirmās mērīšanas metodes (4 sensoru pāri) pielietošanas gadījumā rezultātiem bija raksturīga liela nenoteiktība, tajā skaitā, pateicoties ūdens ieplūšanai risēs un papildus nenoteiktībai, ko radīja 90° leņķī pret zemi vērstie sensori, tāpēc mērīšanas metode vienkāršota, atstājot tikai 2 sensorus, kas vērsti prom no tehnoloģiskā koridora, aptuveni 45° leņķī pret zemi. Šajā gadījumā sensoru bloki izvietoti pirmā kūleņu iekšpusē. Pret zemi vērsto sensoru aizstāj fiksēts sensoru bloka uzstādīšanas augstums, izslēdzot no aprēķiniem 2 no 4 sensoru pāru sistēmā konstatētajām lielajām nenoteiktībām – ūdens risēs un sensora mērījumu kļūda. Pētījuma rezultāti iekļauti 2018. gadā sagatavotajā pārskatā⁵, kā arī, kopsavilkumu veidā, 2017. un 2018. gada starpziņojumos un etapa pārskatos⁶.

Secinājumi: pētījumā secināts, ka risu mērītāja uzkrātie dati sniedz informāciju par operatora veiktajām darbībām (iebraukšana, pārvietošanās cismā un izbraukšana) pievešanas darbos un parāda operatora ieradumus. Datu analīze parāda, ka operatori ne vienmēr izmanto piemērotākās darba metodes, kā rezultātā palielinās nobrauktais attālums un veiktās darbības var radīt papildus augsnes bojājumus.

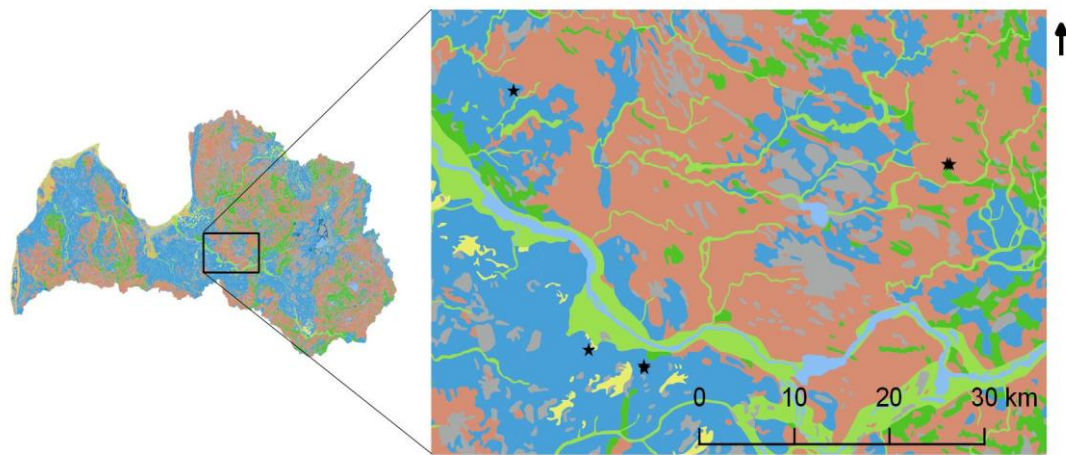
Rekomendācijas: praktiskai pielietošanai ieteicama sensoru sistēma, kas sastāv no 2 ultraskaņas sensoriem, kas atstarojas no augsnes virsmas ārpus tehnoloģiskā koridora (45° leņķī), izmantojot sensoru bloka stiprināšanas augstumu, kā vienu no katetēm, rises dziļuma aprēķināšanai. Izstrādāto sistēmu nepieciešamas aprobēt ražošanas apstākļos uzstādot uz vismaz divām tehnikas vienībām, kuras pievešanas darbus nodrošina krājas kopšanas cirtēs. Ir jāattīsta datu uzkrāšanas un analīzes automatizācijas risinājumi, lai palielinātu iekārtas izmantošanas pievienoto vērtību kvalitātes kontroles sistēmā un turpmāko mežsaimniecības darbu plānošanā.

Augsnes sablīvējuma ietekmes uz gruntsūdeņu plūsmas ātrumu un augšanas apstākļiem ietekmes izpēte, 2017.-2018. gads

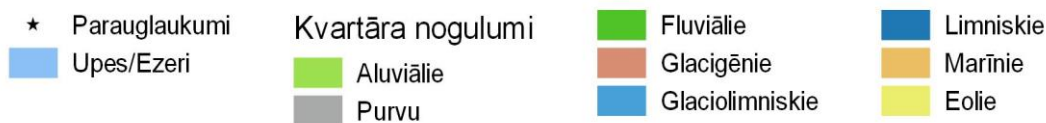
Pētījuma mērķis ir novērtēt mežizstrādes tehnikas radītās augsnes sablīvēšanās uz tehnoloģiskajiem koridoriem ietekmi uz ūdens apriti mežaudzē. Pētījums veikts sešos pētījumu objektos uz smilšainiem un morēnas mālsmits nogulumiem Jaunjelgavas, Ogresgala un Vecbebru apkārtnē (Att. 8). Katrs pētījuma parauglaukums aizņem 400 m² plašu teritoriju un iekļauj tehnoloģisko koridoru 20 m garumā un tam pieguļošās teritorijas. Izvēlētajos parauglaukumos 2016. gadā notikusi kopšanas cirte un tehnoloģiskie koridori ierīkoti perpendikulāri nogāzes kritumam.

⁵ <https://drive.google.com/file/d/1vZYa55nZd2GAiZka916WC31bhnSphfdY/view?usp=sharing>.

⁶ https://drive.google.com/file/d/14fZOkkW4oGS995ihyZxDsaJmSfNy_o0l/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/14fZOkkW4oGS995ihyZxDsaJmSfNy_o0l/view?usp=sharing;
<https://drive.google.com/file/d/17wO11xDP9qU-lmBChiD6Cq4kgP2KL-EN/view?usp=sharing>;
<https://drive.google.com/file/d/1FUU-IHuR3fZPLjJKIEW3xbWaoTGHAVH/view?usp=sharing>.

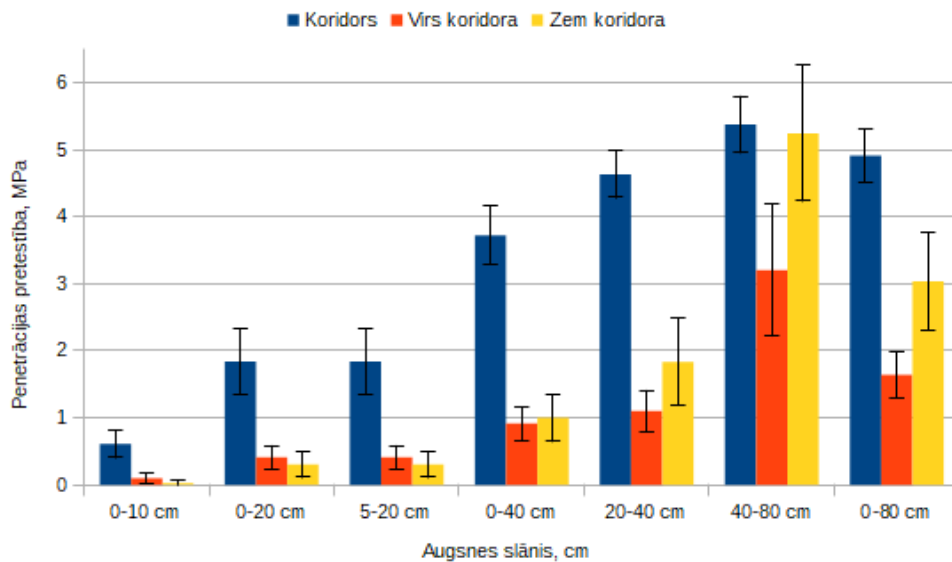


Apzīmējumi

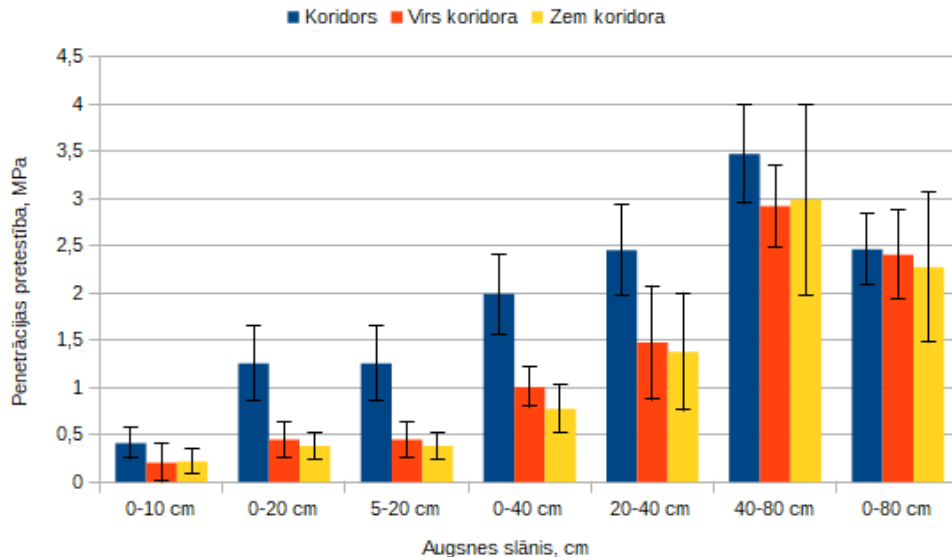


Att. 8: Pētījuma teritorija.

Lauka darbos ievākti dati par augsnes penetrācijas pretestību, veikts gruntsūdens līmeņa monitorings, kā arī ievākti augsnes paraugi laboratoriskajām analīzēm. Augsnes penetrācijas pretestības mērījumi norādīja ka mežizstrādes ietekmē ir novērojamas augsnes sablīvējuma pazīmes tehnoloģisko koridoru vietā. Parauglaukumos uz smilšainiem nogulumiem lielākā sablīvēšanās ietekme novērojama slānī no 20-80 cm (Att. 9), kamēr morēnas mālsmits nogulumos slānī līdz 20 cm dziļumam.

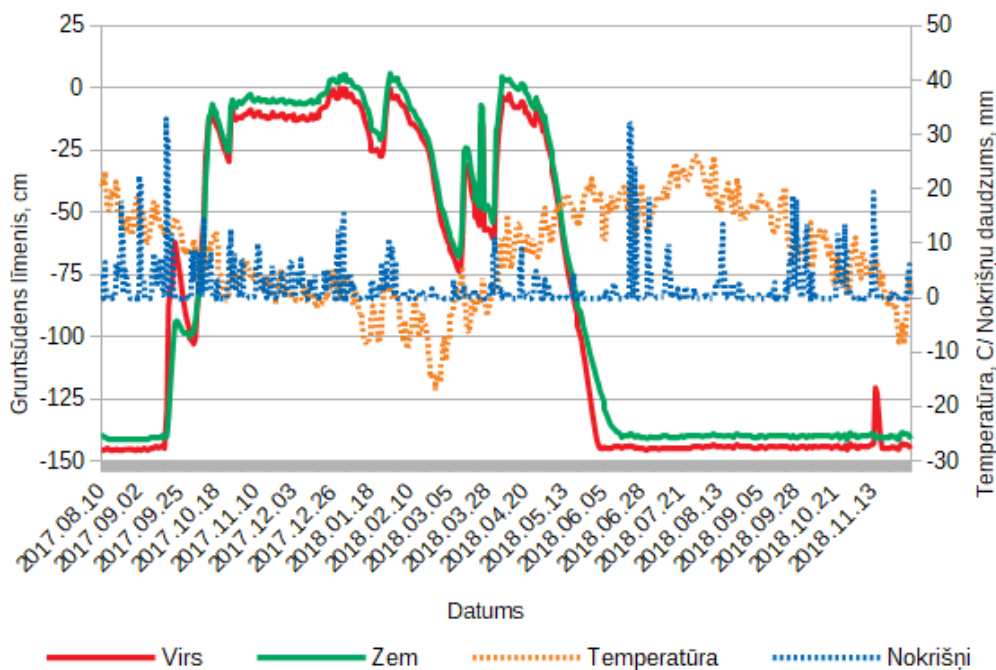


Att. 9: Augsnes sablīvēšanās uz smilšainiem nogulumiem.



Att. 10: Augsnes sablīvēšanās uz morēnas nogulumiem.

Gruntsūdens līmeņa izmaiņas augsnes sablīvējuma rezultātā nav novērotas un tas, iespējams, saistīts ar netipiski sausajiem laika apstākļiem. Gruntsūdens līmeņa līknes visos pētījuma objektos uz nokrišņu un sausuma periodiem gan virs, gan zem tehnoloģiskā koridora reaģēja līdzīgi (Att. 87).



Att. 11: Gruntsūdens līmeņa svārstības.

Pētījuma rezultāti iekļauti 2018. gadā sagatavotajā pārskatā⁷, kā arī, kopsavilkumu veidā, 2017. un 2018. gada starpziņojumos un etapa pārskatos⁸.

⁷ https://drive.google.com/file/d/1ct51WbQNRU_-TVWgeTfAjBeF18m3V9k/view?usp=sharing.

⁸ https://drive.google.com/file/d/14fZOkkW4oGS995ihyZxDsaJmSfNy_o0l/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/14fZOkkW4oGS995ihyZxDsaJmSfNy_o0l/view?usp=sharing;
<https://drive.google.com/file/d/17wO11xDP9qU-lmBChID6Cq4kgP2KL-EN/view?usp=sharing>;
<https://drive.google.com/file/d/1FUU-IHuR3fZPLjJKIEW3xbWaoTGHAVH/view?usp=sharing>.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Secinājumi: pētījumā secināts, ka mežizstrādes tehnikas ietekmē tehnoloģiskajos koridoros notiek augsnes sablīvēšanās. Tam apstiprinājumu sniedz gan augsnes penetrācijas pretestības mērījumi, gan augsnes blīvuma izmaiņas.

Smilšainos nogulumos lielākā augsnes sablīvēšanās ietekme novērojama dziļākajos slāņos (sākot no 20-30 cm), kur augsnes penetrācijas pretestība var pieaugt pat trīskārši, bet augsnes blīvums var palielināties par 18-54%. Palielinoties māla daļiņu īpatsvaram augsnē, lielākā sablīvēšanās ietekme novērojama virsējos augsnes slāņos (līdz 20 cm dziļumam). Augsnes penetrācijas pretestība šajos slāņos var pieaugt līdz 2,5 reizēm, savukārt augsnes blīvums par 16-63%.

No tehnoloģiskajiem koridoriem ņemtajos augsnes paraugos novērojama arī ūdens filtrācijas ātruma samazināšanās. Iegūtie rezultāti gan nenorāda uz būtiskām sakarībām un nepieciešama plašāka empīrisku datu kopa, lai izdarītu vispārināmus secinājumus.

Gruntsūdens līmeņa mērījumi abpus tehnoloģiskajiem koridoriem nenorāda uz būtiskām atšķirībām līmeņu starpībās abpus tehnoloģiskajam koridoram. Te gan jāmin, ka gruntsūdens monitoringa akās ūdens stabs tika novērots tikai no vēla rudens 2017. gadā līdz agram pavasarim 2018. gadā. Pārējā novērojumu periodā gruntsūdens līmeņa monitoringa akas netipiski sauso laika apstākļu dēļ bija sausas un gruntsūdens līmenis pētījuma objektos bija dziļāks par 1,5 m.

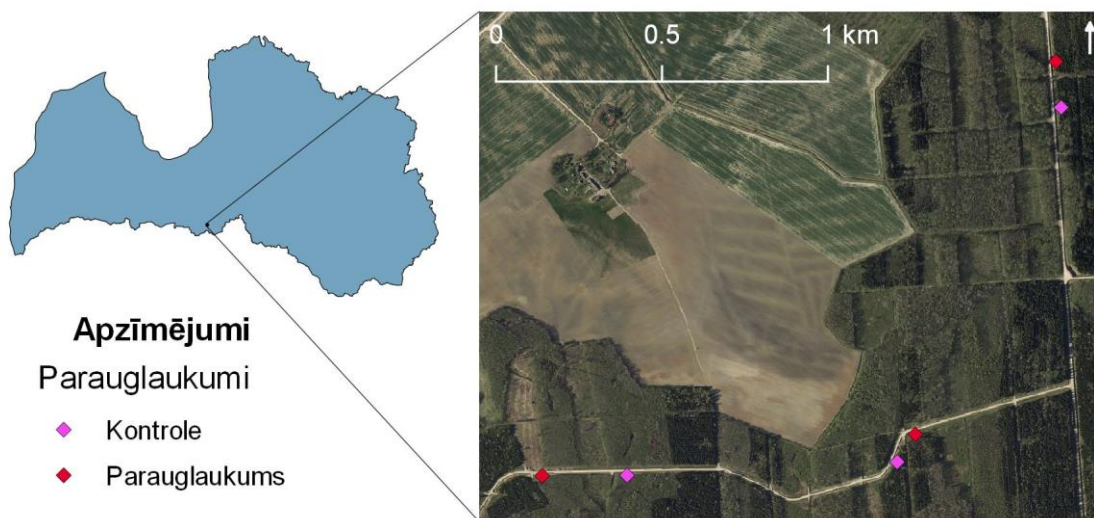
Rekomendācijas: Augsnes filtrācijas spēju pasliktināšanās risks jāņem vērā, plānojot mežsaimnieciskās darbības, tajā skaitā galvenās izmantošanas cirtē, novēršot risu veidošanās un augsnes sablīvēšanās risku.

Pētījums parāda, ka mežizstrādes tehnika var būtiski ietekmēt augsnes ūdens caurlaidību, taču modelēšanu apgrūtina empīrisku datu trūkums par dažādu augsnes horizontu ūdens caurlaidību. Turpmākajos pētījumos lietderīgi apkopot ģeoloģiskās izpētes datus pieejamo informāciju par ūdens filtrācijas ātrumu, kā arī iegūt empīriskus datus par augsnes virsējo horizontu īpašībām, lai izveidotu modelēšanas instrumentus pārpurvošanās risku identificēšanai, izmantojot augšņu kartes, kvartāra nogulumu kartes un citus materiālus. Ņemot vērā ūdens filtrācijas ātruma noteikšanas metožu sarežģītību, izmaksu samazināšanai lietderīgi izstrādāt alternatīvu, piemēram, spektrometrijas metodi šī rādītāja vienkāršākai noteikšanai.

Lēmuma pieņemšanas atbalsta instrumenti, kas spēj modelēt augsnes ūdens filtrācijas pasliktināšanās un pārpurvošanās risku, ir nepieciešami arī koksnes biokurināmā sagatavošanai piemēroto vietu identificēšanai, kā arī metāna un metil-dzīvsudraba izmešu pieauguma riska novēršanai.

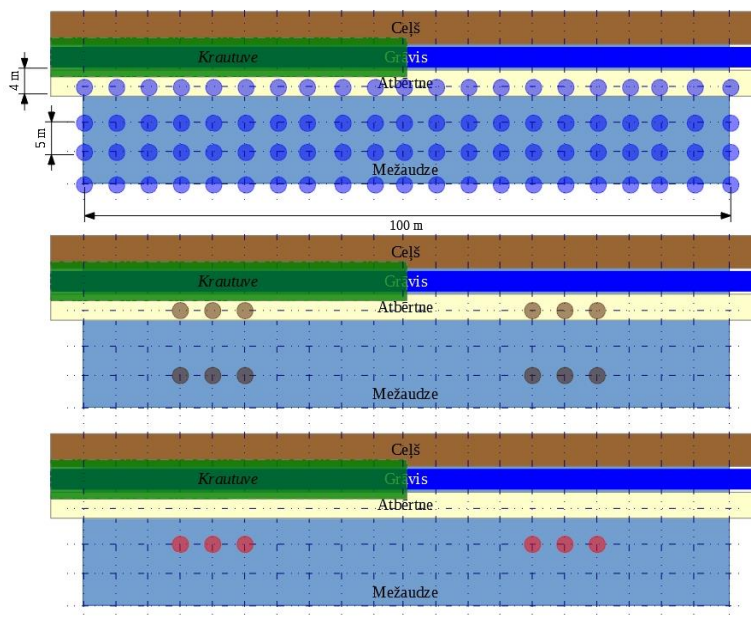
Grāvju atbērtnu sablīvēšanās ietekmes uz augsnes ūdens plūsmu novērtējums, 2017.-2018. gads

Pētījuma mērķis ir novērtēt mežizstrādes tehnikas radītās augsnes sablīvēšanās uz grāvju atbērtņēm ietekmi uz ūdens apmaiņu starp mežaudzi un notekgrāvi. Pētījums veikts Ceraukstes pagastā (. 88).



Att. 12: Pētījuma teritorija.

Izvēlēti 3 pētījuma objekti, kas reprezentē grāvju atbērtnes pie jaunizbūvētiem meža ceļiem. Katrs parauglaukums un kontroles laukums aizņem 750 m² (15*50 m) lielu teritoriju iekļaujot atbērtni un 10 m platu joslu blakus pieguļošajā mežā. Shēmā parauglaukums atainots kā krautuves josla, savukārt kontroles laukums ir bez krautuves. Gan parauglaukumā, gan kontroles laukumā 2017. gada vasarā ar *Eijkelkamp* penetrologgeri⁹ ir veikti augsnes penetrācijas pretestības mērījumi (zilie punkti shēmā). Augsnes mitruma mērījumi netika veikti, tomēr meteoroloģiskie novērojumi Bauskas meteoroloģisko novērojumu stacijā liecina, ka 10 dienu periodā pirms mērījumu veikšanas bijuši periodiski nokrišņi un kopā nolijuši 34,5 mm lietus ūdens. (Att. 13).



Att. 13: Parauglaukumu shēma.

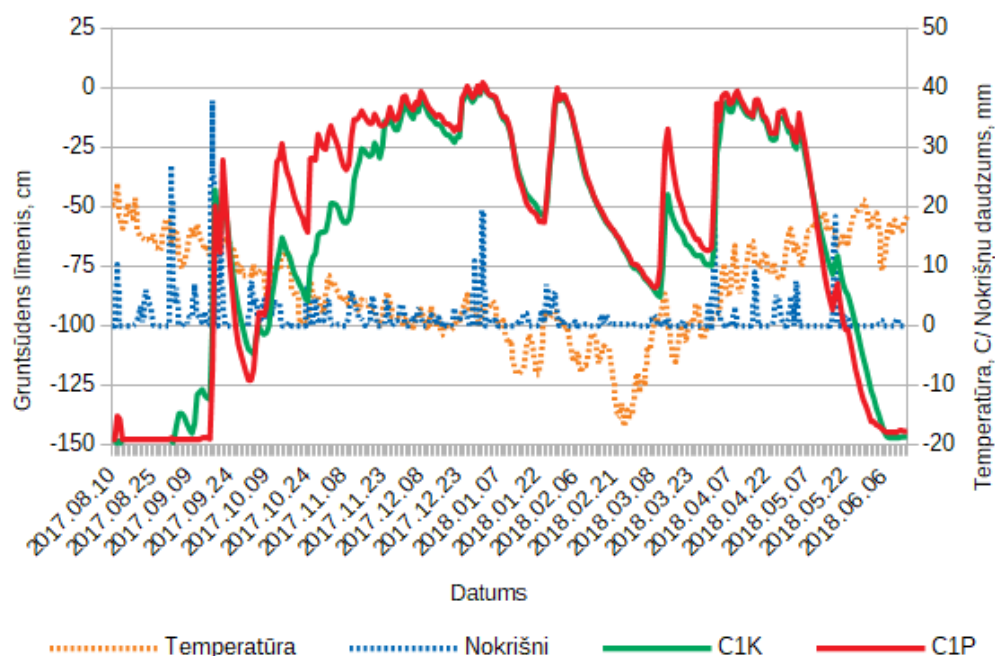
⁹ <https://en.eijkelkamp.com/products/field-measurement-equipment/penetrologger-set-a.html>

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Lauka darbos ievākti dati par augsnes penetrācijas pretestību, veikts gruntsūdens līmeņa monitorings, kā arī ievākti augsnes paraugi ūdens filtrācijas ātruma noteikšanai. Augsnes penetrācijas pretestības rezultāti, granulometriskā sastāva dati, ūdens caurlaidības rādītāji un gruntsūdens līmeņa monitoringa mērījumi analizēti pa pāriem, salīdzinot tos starp kontroles laukumiem un parauglaukumiem. Augsnes penetrācijas pretestības rezultāti analizēti tos skatot dažādos dziļumos un dažādās dziļuma klasēs. Augsnes nestspēja sākuma un beigu stāvoklī tiešā veidā nav salīdzinātas, jo mērījumi veikti dažādos augsnes mitruma apstākļos. Pie tam, dati salīdzināti tikai pirmajā un otrajā pētījuma objektā, jo tālākajā augsnes penetrācijas pretestības uzmērīšanas gaitā pārstāja darboties mērītājs un tam bija nepieciešams remonts, kurš līdz pētījuma beigām nav pabeigts. Nokrišņu un temperatūras dati ņemti no Latvijas Vides, Ģeoloģijas un Meteoroloģijas centra mājaslapas. Meteoroloģiskie dati iegūti ar stundas intervālu un no tiem attiecīgi iegūtas diennakts summas un vidējās vērtības. Ievākto augsnes paraugu filtrācijas īpašības noteiktas Latvijas Lauksaimniecības Universitātes (LLU) laboratorijā un sadarbībā ar LLU speciālistiem veikta arī gruntsūdens līmeņa monitoringa datu analīze.

Augsnes penetrācijas pretestības mērījumu rezultāti liecina, ka lielākais augsnes sablīvēšanās efekts mežizstrādes ietekmē ir novērojams augsnes slānī dziļumā no 20-60 cm. Grāvja atbērtnes virsējie slāņi pēc risu aizlīdzināšanas nav sablīvēti, jo risas aizpildītas ar irdeni augsnes slāni.

Gruntsūdens līmeņa svārstības liecina, ka grāvju atbērtņu sablīvēšanās atstāj ietekmi uz gruntsūdens līmeņa paaugstināšanos mežaudzē, tomēr sablīvēšanās ietekme nav viennozīmīga un augsnes sasalšanas un atkuššanas ietekmē tā var mazināties (Att. 14).



Att. 14: Gruntsūdens līmeņa svārstības parauglaukumā un kontroles laukumā.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Pētījuma rezultāti iekļauti 2018. gadā sagatavotajā pārskatā¹⁰, kā arī, kopsavilkumu veidā, 2017. un 2018. gada starpziņojumos un etapa pārskatos¹¹.

Secinājumi: pētījumā secināts, ka augsnes sablīvēšanas efekts uz atbērtņēm pārsvarā novērojams 20-60 cm dziļumā. Augsnes virskārtā sablīvējums nav novērojams tāpēc, ka augsne šajā dziļumā ir piebērtā klāt, lai aizpildītu rīses, savukārt dziļākie slāņi nav bijuši pakļauti tik lielam spiedienam, lai tajos notiktu izmaiņas. Gruntsūdens līmeņa mērījumi liecina, ka grāvju atbērtņu sablīvējums ietekmē ūdens filtrācijas ātrumu. Visos parauglaukumos salīdzinot ar kontroles laukumiem ir novērojami laika periodi ar straujāku gruntsūdens līmeņa celšanos un ilgāku krišanos. Rezultātos ir novērojama tendence, ka sala un atkušņu periodiem ir ietekme uz augsnes filtrācijas īpašību uzlabošanas pēc tam, kad tā ir bijusi sablīvēta. Vienā no pētījumu objektiem līdz ar ziemas iestāšanos ūdens staba augstums parauglaukumos un kontroles laukumos ierīkotajās gruntsūdens līmeņa monitoringa akās izlīdzinājās. Iestājoties pavasarim būtiskas atšķirības starp ūdens līmeņiem šajā pētījuma objektā novērotas nav. Pārējos pētījuma objektos ar vienu ziemu bijis par maz un ūdens līmeņu starpības novērotas līdz pat gruntsūdens līmeņa monitoringa beigām.

Lai novērtētu sablīvētās augsnes ūdens filtrācijas īpašību atjaunošanos, šāda veida pētījums būtu jāveic ilgākā laika periodā. Atkārtoti augsnes penetrācijas pretestības mērījumi un gruntsūdens līmeņa monitoringa dati dotu iespaidu par augsnes stāvokļa relatīvajām izmaiņām parauglaukumu un kontroles laukumu kontekstā.

Atbalsta ķēžu pētījums, 2017. gads

Pētījuma mērķis ir salīdzināt izplatītāko atbalsta ķēdes ar nestandarta risinājumiem (smagākas, bet šaurākas ķēdes ar blīvu posmu izvietojumu) kokmateriālu pievešanā uz organiskajām augsnēm ar smagiem pievešanas apstākļiem. Darbā izmantotas ECO-Tracks Baltic ķēdes uz abiem vai aizmugurējā tandēma un ekskavatora tipa ķēdes ar lielāku virsmas laukumu un blīvāku posmu izvietojumu (Tab. 7) uz abiem vai aizmugurējā tandēma.

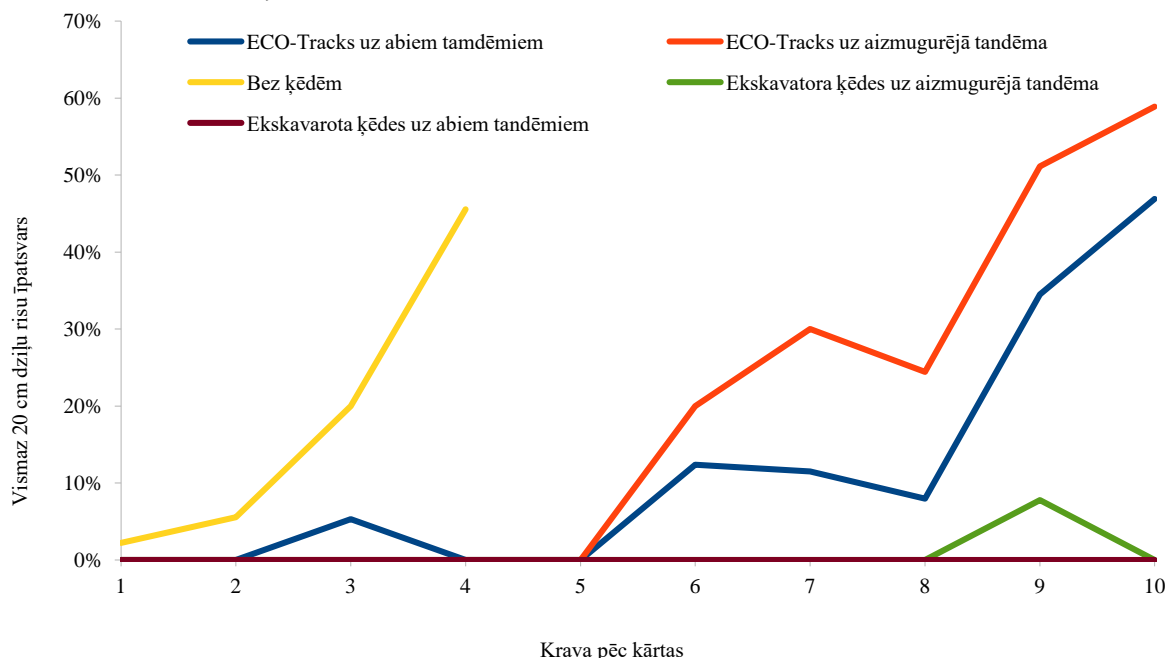
¹⁰ https://drive.google.com/file/d/1t4kC94LM_C2-An8q59sjzAdEpYO5o0S6/view?usp=sharing.

¹¹ https://drive.google.com/file/d/14fZOkkW4oGS995ihyZxDsaJmSfNy_o0l/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/14fZOkkW4oGS995ihyZxDsaJmSfNy_o0l/view?usp=sharing;
<https://drive.google.com/file/d/17wO11xDP9qU-lmBChID6Cq4kgP2KL-EN/view?usp=sharing>;
<https://drive.google.com/file/d/1FUU-IHuR3fZPLjJKIEW3xbWaoTGHAVH/view?usp=sharing>.



Att. 15: Ponsse Buffalo forvarders ar ekskavatora tipa ķēdēm uz aizmugurējā tandēma¹².

Pētījuma rezultātā noskaidrots, ka, izmantojot forvarderu, kurš nav aprīkots ar atbalsta ķēdēm, strauja risu padziļināšanas novērojams, sākot ar 4. braucienu, kad risu dziļums sasniedza < 40 cm. Izmantojot forvarderu, kas aprīkots ar ECO-Tracks Baltic ķēdēm uz viena vai abiem tandēmiem, par 20 cm dziļākas risas veidojas, sākot ar 6. braucienu un pārsniedz 30 cm dziļumu 10. braucienā. Pētījumā nav konstatētas būtiskas risu dziļuma atšķirības pēc 10. brauciena, atkarībā no tā, vai viens vai abi tandēmi aprīkoti ar ekskavatora ķēdēm (Att. 16).



Att. 16: Risu veidošanās salīdzinājums.

Pētījuma rezultāti iekļauti 2017. gadā sagatavotajā pārskatā¹³, kā arī, kopsavilkumu veidā, 2017. un 2018. gada starpziņojumos un etapa pārskatos¹⁴.

¹² Foto: A. Zimelis.

Secinājumi: izmantojot ķēdes ar palielinātu virsmas laukumu un blīvāku posmu izvietojumu vismaz uz aizmugurējā tandēma, 20 cm dziļas rises veidojas tikai 10. braucienā, bet, uzstādot šādas ķēdes uz abiem tandēmiem, par 15 cm dziļākas rises neveidojas arī pēc 10. brauciena, neskatoties uz to, ka augsnes penetrācijas pretestība platībā, kur veikti izmēģinājumi ar šīm ķēdēm uz abiem tandēmiem sākotnēji bija mazāka, nekā citos variantos

Dažāda tipa ķēžu izmantošana izmēģinājuma apstākļos būtiski neietekmēja degvielas patēriņu, taču izmēģinājumu apjoms ir salīdzinoši neliels un slēdzienu par ietekmi uz degvielas patēriņu varēs izdarīt tikai pēc ilgstoša monitoringa ražošanas apstākļos.

Rekomendācijas: pētījuma rezultāti apstiprina, ka ķēdēm ar palielinātu virsmas laukumu un blīvāku posmu izvietojumu ir būtiskas priekšrocības smagos un ekstremālos pievešanas apstākļos kūdreņos un purvainos pat tādā gadījumā, ja šīs ķēdes uzstādītas tikai uz aizmugurējā tandēma. Šādu ķēžu izmantošana rekomendējama mežizstrādē, aizstājot šobrīd izmantojamās ķēdes. Šī procesa veicināšanai var izmantot piemaksu sistēmu par vidi saudzējošu mežizstrādi, vienlaicīgi pilnveidojot kvalitātes kontroles mehānismus, papildinot tos ar netieši nosakāmiem ietekmes uz augsni (sablīvējums, metil-dzīvsudraba veidošanās, metāna emisijas u.c.) kritērijiem.

Ņemot vērā ķēžu ar palielinātu virsmas laukumu jeb “ekskavatora” ķēžu priekšrocības, salīdzinot ar tradicionāli mežizstrādē izmantotajām kāpurķēdēm, ir jāveicina pēc iespējas plašāka šādu ķēžu izmantošana, vienlaicīgi veicot ietekmes uz augsni, ražīgumu un kokmateriālu izmaksām monitoringu ražošanas apstākļos. Monitoringa rezultāti sniegs informāciju gan mežizstrādes vadlīniju pilnveidošanai, gan uzņēmuma snieguma mežsaimniecisko darbību ietekmes uz vidi mazināšanas demonstrēšanai.

Pievešanas apstākļu klasificēšanas pētījumi, 2020. gads

Darba uzdevuma mērķis ir veikt risu veidošanās monitoringu ražošanas apstākļos, izmantojot 2017. gadā izgatavoto risu veidošanās monitoru, kā arī izstrādāt vienādojumus degvielas patēriņa raksturošanai, balstoties uz risu veidošanās monitoringa un telemetrijas datiem. Darbi veikti 2017.-2020. gadā, tajā skaitā 2020. gadā veikts iekārtas monitorings ražošanas apstākļos. Ņemot vērā, ka risu veidošanās monitoringu nevarēja veikt atbilstošā apjomā, vienādojumi degvielas patēriņa raksturošanai netika izstrādāti.

Risu monitoringa sistēmai 2018.-2019. gadā veikti uzlabojumi, kas saistīti ar uzstādīšanu un nostiprināšanu uz forvardera kravas telpas režģa, kā arī uzlabota datu logera GPS precizitāte.

Pēc veiktajiem uzlabojumiem iekārta uzstādīta uz John Deere 1110E, kas veica kokmateriālu pievešanu zinātniskās izpētes mežos galvenās izmantošanas cirtēs. Vienā iekārtas blokā uzstādīti 2 ultraskaņas sensori, kuri vērsti 45 un 80 grādu leņķī pret zemes virsmu. Mērījumu biežums nav izmainīts, bet dati uzskaitīti ar sekundes

¹³ <https://drive.google.com/file/d/1MfUsFh4Zt3SIjmbhOV3ZUdtZ-Q3FBAOx/view?usp=sharing>.

¹⁴ https://drive.google.com/file/d/14fZOkkW4oGS995ihyZxDsaJmSfNy_o0l/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/1W_q8CtJx4jC-J2qGfewGyNnEYApIc57I/view?usp=sharing.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

intervālu. Izmēģinājumos galvenajā cirtē jau 1. kravas pievešanas laikā sāka veidoties rīses, tāpēc ceļa nostiprināšana ar mežizstrādes atliekām notika, sākot ar 2. kravas pievešanu. Rezultātā, pateicoties atlieku iekļāšanai ceļos, risu dziļums nepārsniedza noteiktās normas. Tas konstatēts, gan uzmērot rīses manuāli, gan ar ultraskaņas sensoriem, kas uzstādīti uz forvardera.

Sākotnējie rezultāti pierāda, ka, sekojot risu veidošanās dinamikai, var identificēt faktiskos pievešanas apstākļus cirmā un uz maģistrālajiem ceļiem, kā arī novērtēt ne tikai paliekošos bojājumus, bet arī dziļākās rīses pievešanas laikā, kas pēc tam aizpildītas ar mežizstrādes atliekām un mazvērtīgajiem kokmateriāliem.

Datu logeri kopā ar sensoru blokiem no oktobra līdz decembrim bija uzstādīti Ponsse Buffalo forvarderam, kas strādā galvenās izmantošanas cirtē (pakalpojuma sniedzējs ir AS “Latvijas valsts meži” kontraktors, kurš brīvprātīgi piekrita piedalīties izmēģinājumos). Forvarderā uzstādīti arī manipulatora svāri, kas darbojās automātiskā režīmā, lai novērtētu kravas piepildījumu dažādos darba etapos.

Izmēģinājumos iesaistītais forvarders darbojās galvenajā cirtē, nodrošinot iespēju sasaistīt augsnes iespaidumu datus ar pievesto kravu skaitu un piepildījumu, kā arī tehnoloģisko koridoru aizņemto platību. Datu ieguve pārtraukta 2021. gada janvārī, nodrošinot papildus informāciju par ultraskaņas sensoru darbību uz apsnigušas augsnes. Iegūto datu apstrāde vēl turpinās sakarā ar izmēģinājumu praktiskās daļas ievilkšanos.

Secinājumi: Izmēģinājumu sākotnējie dati norāda uz nepieciešamību pilnveidot sensoru bloka stiprinājumu tehnisko izpildījumu, mazinot sensoru izkustēšanās iespējas. Vadības programma jāpapildina ar kļūdu paziņojumu sistēmu, kas ļautu operatoram patstāvīgi identificēt un novērst raksturīgākās kļūdas, piemēram, sensoru bloka vai pašu sensoru izkustēšanās, netīrumu vai citu traucējumu nokļūšana uz sensoriem, kas rezultējas kļūdainās vērtībās, bateriju izlādēšanās u.c. Sensoru bloks jāaprīko ar iekšējās pārbaudes sistēmu, ko darbināt pirms darba uzsākšanas un periodiski darba laikā. Tas pats attiecas uz manipulatoru svāriem. Pielietojot risu dziļuma mērīšanas sistēmu ražošanas apstākļos, ir jānodrošina, ka operators turpina darbu tikai tad, kad sistēma funkcionē, atrunājot nosacījumus kvalitātes kontrolei, ja sistēmas funkcionalitāte nav ātri atjaunojama. Būtiski nodrošināt arī laika zīmoga sinhronizāciju visās datorsistēmās, kuras izmanto risu dziļuma aprēķinos.

Rekomendācijas iekārtas pilnveidošanai un izmantošanai praksē iekļautas iepriekšējās nodaļās ([‘Aprīkojuma prototipa izgatavošana ietekmes uz augsni un citu harvesteru un forvardera telemetriju mērīšanai tiešsaistes režīmā, 2016.-2017. gads’](#) un [‘Empīrisku datu ieguve risu veidošanās un zaru ceļa noturības raksturošanai, 2017.-2018. gads’](#)).

Metodikas aprobācija ģeoradara, augsnes virskārtas mitruma mērījumu, griezes pretestības mērierīces un penetrolōgera pielietošanai augsnes nestspēju raksturojošu datu ieguvei un augsnes nestspējas prognozēšanas tabulu izstrādāšanai, 2019.-2020. gads

Pētījuma mērķis ir aprobēt ģeoradara, griezes pretestības mērierīces un penetrolōgera pielietošanas iespējas lielu datu kopu ieguvei augsnes nestspējas raksturošanai, atkarībā no augsnes mitruma, sezonas un nogulumiežu tipa. Pētījuma 1. etapā 2019. gadā aprobēta metodika sakņu tīkla raksturošanai, izmantojot ģeoradaru, kā arī uzsākta metodikas izstrādāšana augsnes blīvuma un mitruma režīma raksturošanai, izmantojot ģeoradaru.

Pētījumā nav konstatēta ģeoradara iezīmētā sakņu tīkla korelācija ar griezes pretestības rādītājiem. Iespējamie datu nesakritības cēloņi ir ģeoradara programmatūras ietekme datu pirmapstrādē, kā arī traucējumi, ko rada augsnes virskārtā esošais sakņu tīkls. Veicot pārbaudi lauka apstākļos (augsnē ieraksti koksnes nogriežņi, kas imitē sakņu sistēmu, konstatēts, ka ģeoradars, neatkarīgi no uzstādījumiem, var atpazīt lielas, svaigas saknes tikai sausās augsnēs. Mitrās un kūdras augsnēs signāla kropļojumi neļauj iegūt korektu sakņu sistēmas zīmējumu.

Pētījuma rezultāti iekļauti 2019. un 2020. gada starpziņojumos un etapa pārskatos¹⁵.

Secinājumi: ģeoradars ir piemērots pārmitru un sausu teritoriju nodalīšanai, taču bez papildus kalibrēšanas mērījumu datiem nevar noteikt gruntsūdens dziļumu, kūdras slāņa biezuma un augsnes blīvumu, kas nosaka augsnes penetrācijas. Sakņu sistēmas analīzes programma izmantojama tikai atsevišķu koku sakņu sistēmas raksturošanai, piemēram, parkos, bet nav pielietojama mežā. Radara tehnoloģija pagaidām nav izmantojama ražošanas apstākļos pievešanas apstākļu klasificēšanai, taču telpiskās projekcijas un datu apstrādes programmatūras pilnveidošana un vienkāršas references datu ieguves metodes izstrādāšana nodrošinātu ļautu izmantot ģeoradaru izpētē un augšanas gaitas modeļu

Rekomendācijas: lai arī ģeoradars nav piemērots pievešanas apstākļu prognozēšanai, pētījumā konstatēts, ka ar šo iekārtu var ātri un pietiekoši precīzi identificēt stubra trupes bojājumus, piemēram, nosakot, vai koks ir piemērots stabu un taml. nestandarta kokmateriālu veidu sagatavošanai, t.i. vēl pirms zāģēšanas nosakot, vai koku stumbros nav trupes bojājumu. Ģeoradaru var izmantot arī lielu augošu koku veselības stāvokļa novērtēšanai, piemēram, dabas aizsardzības teritorijās, pieņemot lēmumu par saglabājamiem ekoloģiskajiem kokiem.

Turpmākā ģeoradara izmantošana grunts nestspējas raksturošanai pētījuma ietvaros nav lietderīga, jo pieejamais tehniskais risinājums un programmnodrošinājums neatbilst pētījuma vajadzībām. Lai uzlabotu iekārtas veiktspēju un nodrošinātu grunts nestspējas

¹⁵ <https://drive.google.com/file/d/10JD-CR3ulUeU8Up3zHneRc-x5G92febO/view?usp=sharing>;
https://drive.google.com/file/d/1I8Y90Boe7GWeuD7DW44K_lzWaux01JdH/view?usp=sharing;
<https://drive.google.com/file/d/10eww7N94g61yagcBW2qHhaFKNNZrTsNK/view?usp=sharing>.

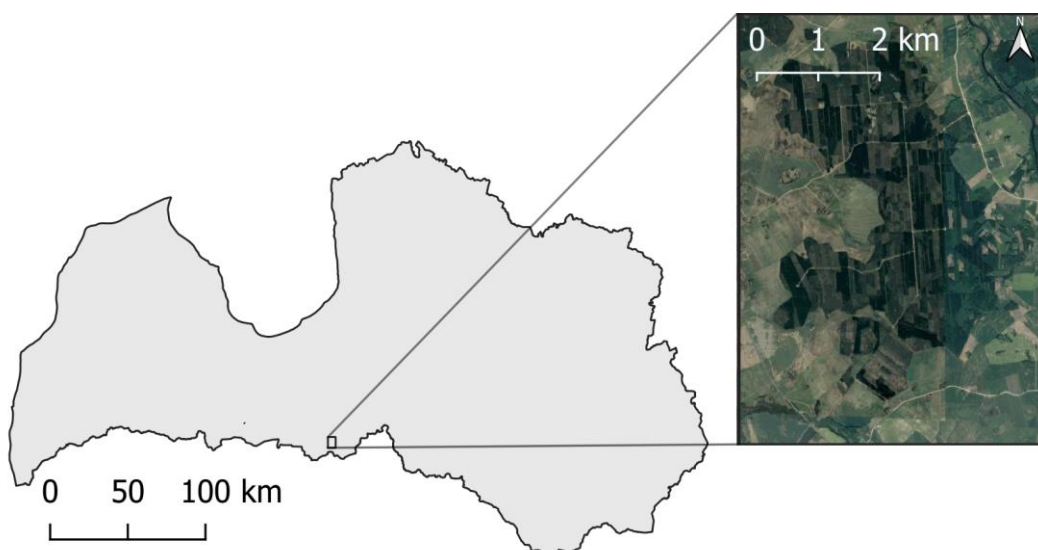
raksturošanai piemērotu datu ieguvei, ir jāizstrādā programmatūra zemes radara jēlētu ielasīšanai un pirmapstrādei, lai aizstātu *Tree Radar Unit* slēgtā koda programmatūru, kuras datu pirmapstrādes algoritma parametri nav regulējami, tāpēc programmu nevar pielāgot mitrām augsnēm.

Lai nodrošinātu ģeoradara tehnoloģijas izmantošanu grunts nestspējas raksturošanai, ir jāpārstrādā zemes radara atrašanās vietas noteikšanas algoritms, izmantojot ģeogrāfiskās pozicionēšanās sistēmas datus mehāniskas attāluma mērīšanas vietā. Ir jāizstrādā arī atbilstošs programmnodrošinājums. Korektai augsnes slāņu biezuma interpretēšanai ir jāizstrādā ekonomiska un ātra metode references datu ieguvei.

Automatizēta atbērtnes šķērsošanas vietas izvēles algoritma izstrāde un aprobēšana ievalku izvietojuma plānošanai virszemes ūdens noteces nodrošināšanai, 2019.-2020. gads

Atbērtnes veido grāvju malās, un tās ir paredzētas tehnoloģiskiem mērķiem, kā arī mehānisku barjeru veidošanai, piemēram, norobežojot īpaši aizsargājamas dabas teritorijas (ĪADT) purvainos vai slapjainos no meliorētiem mežiem. Tomēr vairumā gadījumu mehānisku barjeru ietekme ir nevēlama. Augsnēs ar smalku granulometrisku sastāvu ūdens filtrācija caur atbērtnēm ir ierobežota, un tas var veicināt mitruma uzkrāšanos, kas, savukārt, sekmē anaerobu apstākļu veidošanos augsnē un mežaudzes augšanas gaitas pasliktināšanos. Lai novērstu ūdens uzkrāšanos mežaudzē, atbērtnes šķērso ar dziļvagām (ievalkām), kas novada lieko ūdeni un uzlabo augsnes aerāciju.

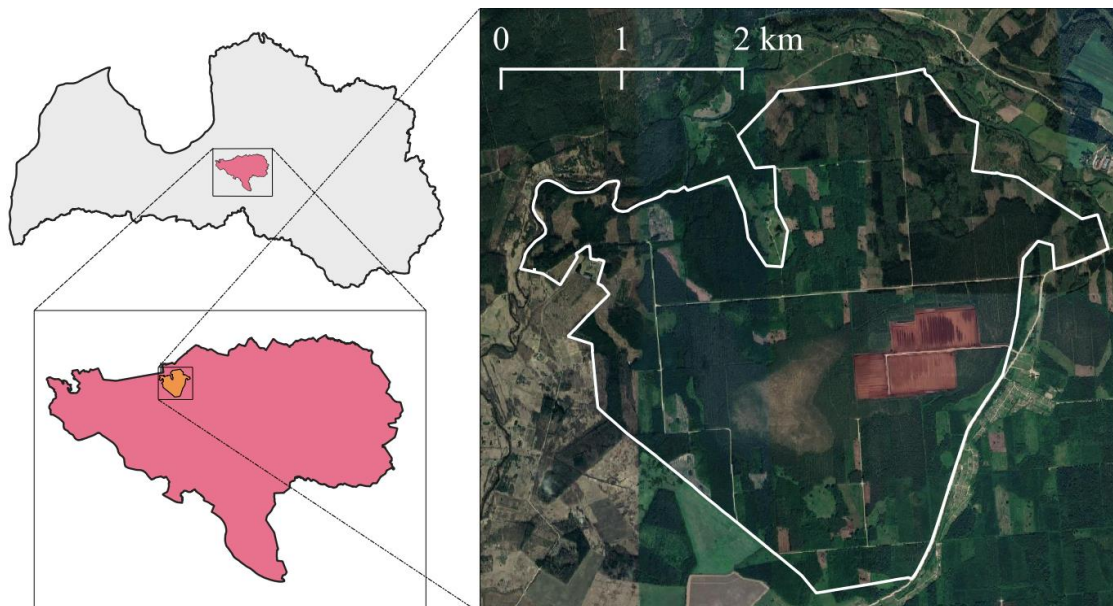
Atbērtņu šķērsojumu modelis izstrādāts par pamatu ņemot paraugteritoriju Ceraukstes pagastā (Att. 17) 25 km² platībā. Pētījuma teritorijā dominējošais kvartāra nogulumu tips ir aleirītisks māls un mālais aleirīts (Meirons, 2002). Teritorijā izveidota plaša meliorācijas sistēma un drenētas ir gan minerālaugsnes, gan kūdras augsnes. Dominējošais meža tips ir šaurlapju kūdrēns, platlapju ārenis, šaurlapju ārenis un gārša.



Att. 17: Pētījuma teritorija.

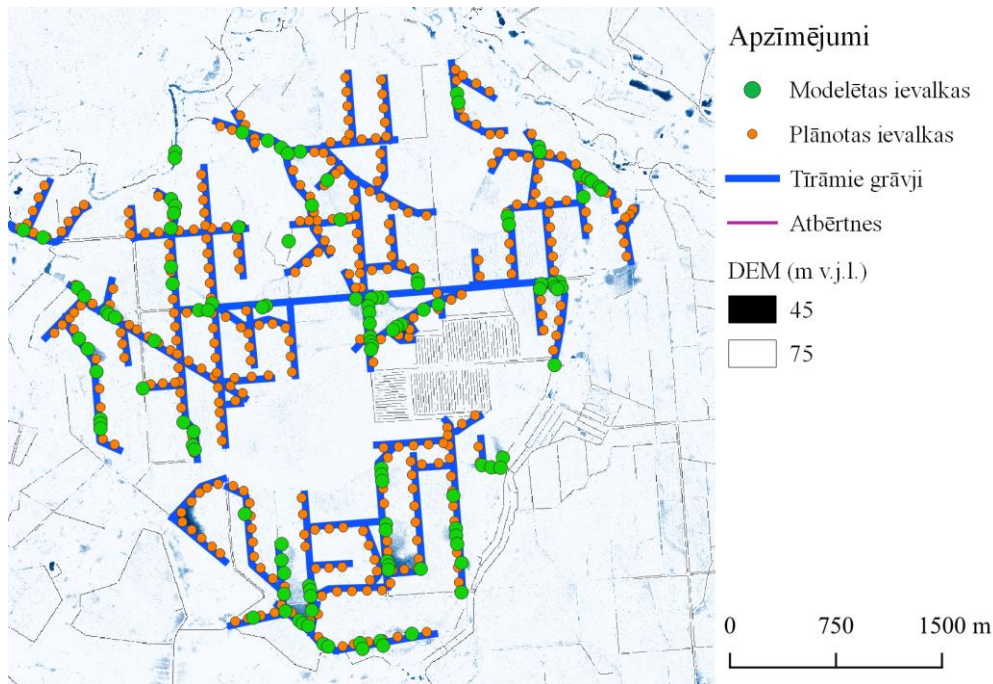
Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Pētījuma pirmajā posmā izstrādāts automātisks rīks, kurš gala rezultātā norāda vēlamās ievalku atrašanās vietas un aprēķina to relatīvo efektivitāti ieplaku drenēšanā. 2020. gadā metodika papildināta ar iespēju ievalku plānošanu veikt arī nākotnē izbūvējamām atbērtņēm. Kā ievades dati šim rīkam ir nepieciešami – Digitālais reljefa modelis, grāvju līniju vektordati un plānoto atbērtņu līniju vektordati. 2020. gadā kā modeļa aprobācijas teritorija izvēlēta teritorija Ogres meža iecirknī (Att. 18).



Att. 18: Ievalku modelēšanas aprobācijas teritorija.

Ieteicamais ievalku izvietojums balstoties uz izstrādāto metodiku atainots (Att. 19). Pētījuma teritorijā kopumā vēlams izveidot 120 atbērtnes šķērsojošas ievalkas. Salīdzinot ar ievalku skaitu, kuras plānotas balstoties uz kopējo grāvju garumu samazinājums ir par vairāk kā 68%. Dotajā teritorijā ir novērojami grāvju fragmenti, pie kuriem ievalku modelēšanas rīks norāda, ka šajās vietās ievalkas nav nepieciešamas, kā iemeslus šim var minēt reljefa virsmas kritumu virzienā prom no grāvja, vai arī šiem grāvjiem tuvumā nav konstatēta neviena pietiekami liela ieplaka, kuru būtu nepieciešams drenēt.



Att. 19: Ievalku izvietojums modeļa aprobācijas teritorijā.

Pētījuma rezultāti iekļauti 2019. gadā sagatavotajā pētījuma pārskatā¹⁶, kā arī 2019. un 2020. gada starpziņojumos un etapa pārskatos¹⁷.

Secinājumi: modelēto ievalku efektivitāte ir uzskatāma par ļoti augstu, jo vairāk kā 25% no ieplakām pētījuma teritorijā drenētas pilnībā un ir izzudušas, savukārt to kopējā platība samazinājusies par vairāk kā 90%.

Pētījumā secināts, ka izstrādātais ievalku plānošanas rīks nodrošina pie atbērtnēm esošo ieplaku platību samazinājumu pat vairāk kā 90%. Izstrādātais rīks izmantojams kā atbalsta mehānisms ievalku plānošanai norādot uz vietām, kur ievalkas ir vai nav nepieciešamas. Meliorācijas speciālistam ir gala vārds par konkrēta objekta specifiku un ievalku izvietojumu.

Izstrādātais modelis norāda arī uz vēlamajām ievalku vietām, kuras paredzētas dabisko straumju notecei uz grāvjiem, tomēr ir papildināms ar iespēju modelēt ievalkas seklu meliorācijas grāvju izveides gadījumā, lai drenētu tālāk mežā esošās mitrās vietas. Rīka funkcionalitāte ir papildināta ar iespēju ievalkas modelēt arī attīstāmiem meliorācijas projektiem. Šajā gadījumā ir norādāms nākotnē paredzētais atbērtņu tīkls līniju veidā.

Rekomendācijas: Izstrādātais modelis izmantojams vietās ar vājām augsnes filtrācijas īpašībām (māls, morēna), lai noteiktu optimālo atbērtņu šķērsojuma izvietojumu un novērtētu to iespējamo ietekmi. Ņemot vērā ievades datu (LiDAR dati, augsnes pamatmateriāls, projekta izpildes atbilstība) nenoteiktību, šķērsojuma vietu plānojums jāizvērtē arī speciālistam uz vietas. Augsnēs ar labām filtrācijas īpašībām izveidotās atbērtnes neveido šķēršļus ūdens plūsmai.

¹⁶ https://drive.google.com/file/d/1tRGmWuhmXbSQ_AkfAK9HO63H0IdHwXHv/view?usp=sharing.

¹⁷ <https://drive.google.com/file/d/10JD-CR3ulUeU8Up3zHneRc-x5G92febO/view?usp=sharing>;
https://drive.google.com/file/d/1I8Y90Boe7GWeuD7DW44K_lzWaux01JdH/view?usp=sharing;
<https://drive.google.com/file/d/10eww7N94g61yagcBW2qHhaFKNNZrTsNK/view?usp=sharing>.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Ievalku izvietojuma plānošanas metodes ieviešanai praksē ir jāturpina praktiski izmēģinājumi, kas ļaus identificēt iespējamus kļūdu cēloņus un pilnveidot ievalku izvietojuma plānošanas metodi, kā arī jāizstrādā risinājumi potenciāli novecojušu datu, piemēram, LiDAR aktualizēšanai izmantojot tiešu vai netiešu mērījumu metodes.

MAZĀ UN NESTANDARTA MEŽIZSTRĀDES TEHNIKA KOPŠANAS CIRTĒS UN APAUGUMA NOVĀKŠANĀ

Forvardera Kranman Bison 10000 6WD izmēģinājumi kopšanas cirtēs Latvijā uz augsnēm ar mazu nestspēju, 2016.-2017. gads

Pētījuma mērķis ir noskaidrot Kranman Bison 10000 6WD forvardera (Att. 20) pielietošanas iespējas kopšanas cirtēs mežaudzēs ar normāliem un sarežģītiem pievešanas apstākļiem, vienlaicīgi nosakot ražīgumu, forvardera vidējo kravas lielumu, kustības ātrumu, kā arī kokmateriālu pievešanas izmaksas.

Kranman Bison 10000 6WD, atšķirībā no mazākajiem Kranman forvardera modeļiem, ir kabīne, dzinēja jauda 24 zirgspēki, forvardera pašmasa 1 520 kg, maksimālā krava 2 500 kg, cena 40000-50000 €, atkarībā no komplektācijas.

Visiem Kranman forvarderiem ir 6 riteņi, paredzot iespēju piedzīt aizmugurējo tandēmu ar veltņi, kas iespējams starp riteņiem. Veltņa piedziņa ir ar kardānu. Stabilitātes nodrošināšanai visi modeļi izbīdāmi ar hidrauliski izbīdāmām pekām. Papildus stabilitāti var nodrošināt ar ķēdēm uz aizmugurējā tandēma.



Att. 20: Kranman Bison 10000 forvarders¹⁸.

Pētījumā salīdzināti dati, kas iegūti, pievedot ar ķēdes motorzāģi un Vimek harvesteru sagatavotus apaļos kokmateriālus, kā arī dati, kas iegūti, pievešanas darbus veicot normālos un sarežģītos apstākļos. Kranman forvardera darba ražīguma salīdzināšanai ar vidējās klases forvarderu normālos pievešanas apstākļos izmantots John Deere 810 forvarders.

¹⁸ Foto – G. Saule.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Kranman Bison 10000 forvarders 2016. gada izmēģinājumos nostrādāja 697 stundas, tajā skaitā Meža pētīšanas stacijas mežos ap 250 stundām. Kopumā pētījuma ietvaros pievestas 230 kravas apaļo kokmateriālu, tajā skaitā 63 kravas no platībām, kas koptas ar ķēdes motorzāģi un 167 kravas no platībām, kas izkoptas ar Vimek harvesteru. Vidējā pētījuma ietvaros pievestā krava ir $2,0 \text{ m}^3$ (maksimāli pieļaujamais kravas apjoms ir $2,5 \text{ m}^3$, attiecīgi, vidējais kravas piepildījums ir 80%, Att. 21). Vidēji vienas apaļo kokmateriālu kravas pievešanai patērētas 33 min. produktīvā darba laika (produktīvā darba laika īpatsvars ir 94% no traktora motorstundām). Vidējais pievešanas ceļa garums izmēģinājumā iekļautajās platībās bija 286 m. Vidēji 1 m^3 apaļo kokmateriālu pievešanā patērētas 16 min. produktīvā laika. Sarežģītos pievešanas apstākļos 1 m^3 apaļo kokmateriālu pievešanai patērētais produktīvais laiks ir par 15% lielāks, nekā normālos pievešanas apstākļos. Degvielas patēriņš Kranman forvarderam ir būtiski mazāks - $0,8 \text{ L m}^{-3}$, bet John Deere 810 forvarderam, attiecīgi, $1,6 \text{ L m}^{-3}$.

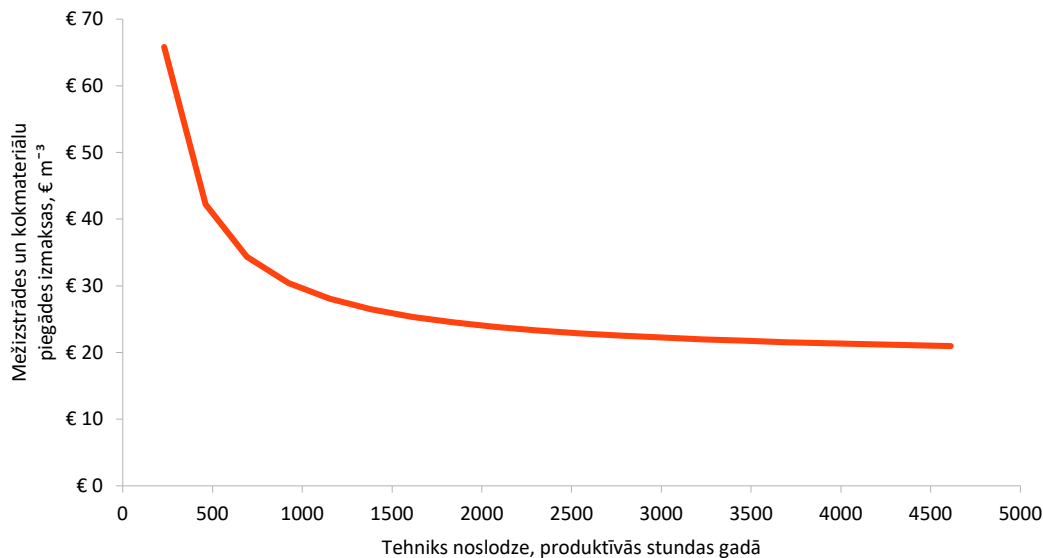


Att. 21: Kranman Bison10000 6WD forvarders ar vidēju (2,2 tonnas) kravas piepildījumu¹⁹.

Kranman Bison 10000 darba stundas pašizmaksa ar 5% peļņas likmi ir 20 € (produktīvās stundas pašizmaksa ir 24 €). Apaļo kokmateriālu pievešanas pašizmaksa, nostrādājot gadā 1172 produktīvās stundas, ir $7,14 \text{ € m}^{-3}$. Pievešanas pašizmaksu būtiski ietekmē pievešanas ceļa garums un tehnikas noslodze (gada laikā nostrādātās stundas). Pievešanas pašizmaksa būtiski pieaug, ja traktors gadā nostrādā mazāk par 1000 stundām (Att. 22).

Kopšanas cirtēs, kas izmēģinājumu gaitā pievestas ar Kranman forvarderu, nav konstatēti pievešanā radīti paliekošo koku bojājumi, bet vidējais mehāniski bojāto atstājamo koku skaits ar ķēdes zāģiem izstrādātajās cismās bija vidēji 1% (maks. 1,8%) un ar Vimek harvesteru izstrādātās cismās – 2% (maks. 3,4%).

¹⁹ Foto: Guntis Saule.



Att. 22: Pašizmaksas jutīguma analīze ar ķēdes motorzāģi sagatavotajiem kokmateriāliem.

Pētījuma rezultāti iekļauti 2017. gadā sagatavotajā pētījuma pārskatā²⁰, kā arī, kopsavilkumu veidā, 2016. un 2017. gada starpziņojumos un etapa pārskatos²¹.

Rekomendācijas: Saskaņā ar pētījuma rezultātiem Kranman Bison 10000 forvarders var būt pietiekoši efektīvs un konkurētspējīgs risinājums nelielās cirsmās vai atsevišķu koku pievešanā, veicot mežizstrādi ar ķēdes motorzāģiem. Forvarders var strādāt uz augsnēm ar mazu nestspēju, taču darbu var būtiski apgrūtināt celmi un rises. Kranman forvarders var iecelt kravā līdz 400 kg smagus (0,5 m³) baļķus, taču, ja krautuve ir ierīkota pie plata grāvja, šādu baļķu izcelšana un novietošana pāri grāvim var būt problemātiska, jo traktoram jāstrādā ar lielu slodzi pie pilnas izlices. Izmantojot Kranman cirsmās, kur iespējama smagu (300 kg un vairāk) baļķu sagatavošana, ir iepriekš jāpārlicinās, vai krautuve ir piemērota Kranman forvardera darbam.

Turpmākie pētījumi par Kranman forvarderu un citu līdzīgu forvarderu izmantošanu kokmateriālu pievešanā nav nepieciešami, taču ir lietderīgi novērtēt šo mašīnu izmantošanas iespējas agrotehniskajā kopšanā un jaunaudžu kopšanas cirtēs, tajā skaitā veicot mašīnu uzlabojumus, piemēram, aprīkojot ar maināma garuma rāmi, kā arī pielāgot šīs mašīnas attālās izpētes datu ieguvei un izmantošanai, attīstot mežsaimniecības automatizācijas un robotizācijas risinājumus. Šāda pievienotā vērtība var palielināt mazu mežizstrādes mašīnu konkurētspēju agrīnajos meža apsaimniekošanas etapos.

²⁰ https://drive.google.com/file/d/17wIogUi_N2nvkEWrt0GuQHem4LiZYZm6/view?usp=sharing.

²¹ https://drive.google.com/file/d/1whdJxSdIP2LTYOILow_wzsdM59gtlQrv/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/1qwGKb9QJpqiYh2NS6oBU_6qKY9ZX4FN/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/14fZOkkW4oGS995ihyZxDsaJmSfNy_o0l/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/1W_q8CtJx4jC-J2qGfewGyNnEYAplc57I/view?usp=sharing.

Jaunā ProSilva forvardera prototipa izmēģinājumi kopšanas cirtēs Somijā uz augsnēm ar mazu nestspēju, 2016. gads

Pētījuma mērķis bija novērtēt vidējās klases ProSilva forvardera prototipu, kura priekšējās kāpurķēdes aizstātas ar lielām riepām, ražīgumu un pievešanas izmaksas, balstoties uz mežizstrādātāju un mašīnu ražotāju sniegto informāciju par iegādes un uzturēšanas izmaksām. Izmēģinājumi veikti Somijā, 5 dienas, paralēli fiksējot augsnes nestspēju un bojājumus, lai iegūtie dati būtu salīdzināmi ar Latvijā veikto pētījumu rezultātiem.



Att. 23: Tehnikas fotogrāfija raksturīgos apstākļos²².

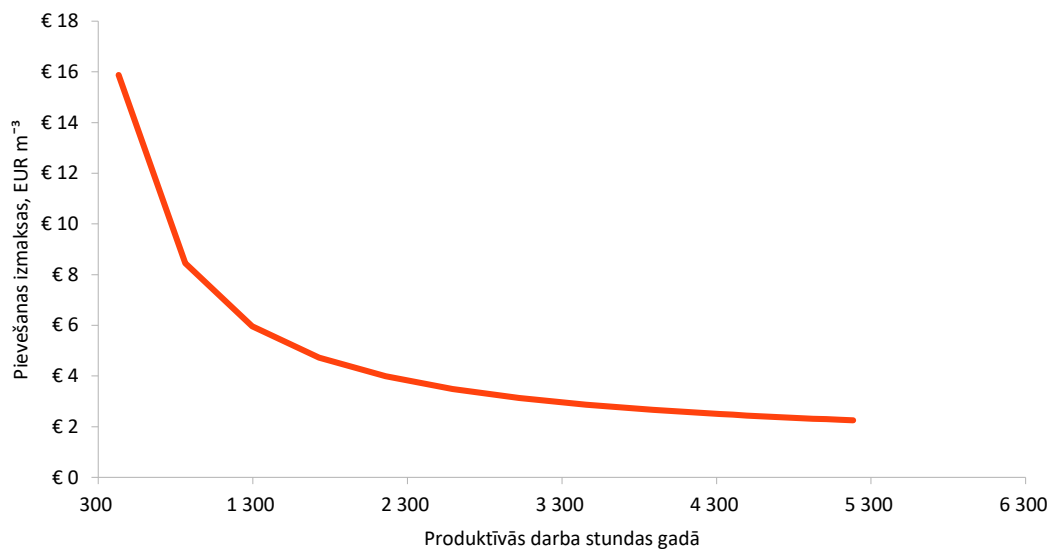


Att. 24: Forvardera ProSilva spiediens uz augsni sadalījums pa asīm P1=P2 un P3=P4.

²² Foto: Jukka-Pekka Syvälahti.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Pētījumā konstatēts, ka ProSilva forvardera prototips, kura priekšējā ass aprīkota ar lielām riepām, ir piemērots kokmateriālu pievešanai ekstremālos apstākļos uz kūdras augsnēm. Vidējais darba ražīgums kūdrē ir 16 m³ stundā (pievešanas ceļa garums 200 m, braukšanas ātrums 2,8 km h⁻¹, vidējā krava 9,7 m³). Darba ražīgumu var palielināt, pareizi veidojot (fraktējot) kravas un izmantojot motivējošāku operatoru darba apmaksas sistēmu. Darba ražīgumu var palielināt, arī aprīkojot kausu ar *tilt* funkciju, kas būtiski atvieglo kokmateriālu izcelšanu no audzes, kā arī samazinātu paliekošos audzes bojājumus. Risu garums kūdrē, neskatoties uz smagiem pievešanas apstākļiem, nepārsniedz Latvijā noteiktos ierobežojumus. Taču risu garumu un paliekošo koku bojājumu apjomu var samazināt vēl vairāk, mainot operatoru darba stilu (braucot tikai pa tehnoloģiskajiem koridoriem un savlaicīgi pakojot pagrieziena vietas). Forvardera darba stundas pašizmaksas aprēķini ir jāprecizē pēc tam, kad ProSilva forvarderi ar riepām uz priekšējām asīm parādīsies pārdošanā un ražotājam vai servisa kompānijām būs pieejami faktiskie apkopes izmaksu dati. Pievešanas pašizmaksu ietekmē forvardera noslodze, kravas lielums un pievešanas attālums. Plānojot šādas tehnikas izmantošanu Latvijā, ir jāizvērtē tās izmantošanas dažādošanas iespējas, veidojot kompleksus iepirkumus par tehnikas pakalpojumiem, piemēram, pievešana un koksnes pelnu izkļiedēšana, nodrošinot vismaz 4000 stundu noslodzi gadā. Latvijā ieteicams izmantot ProSilva forvarderus ar pagarinātu rāmi (5 m), kuros var iekraut 2 līdz 3 m garu kokmateriālu rindas, lai maksimāli efektīvi izmantotu mašīnas iespējas gan kopšanas, gan galvenajā cirtē. Izmēģinājumos testētais forvardera prototips rada priekšrocības tehnikas izmantošanai visu gadu.



Att. 25: Jūtīguma analīze krājas kopšanas cirtē.

Pētījuma rezultāti iekļauti 2016. gadā sagatavotajā pētījuma pārskatā²³, kā arī, kopsavilkumu veidā, 2016. gada starpziņojumā un etapa pārskatā²⁴.

²³ https://drive.google.com/file/d/1hkRYHdFA_MGqV4bynZCui9Dz3Wpgof0Z/view?usp=sharing.

²⁴ https://drive.google.com/file/d/1whdJxSdIP2LTY0ILOw_wzsdM59gtlQrv/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/1qwGKb9QJpqwIYh2NS6oBU_6qKY9ZX4FN/view?usp=sharing.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Secinājumi: Somijā veikto izmēģinājumu rezultāti apstiprina ProSilva forvardera prototipa piemērotību un konkurētspēju ekstremālos pievešanas apstākļos, taču pagaidām pietrūkst informācijas par šī forvardera darba stundas izmaksām un tehnisko gatavību.

Pievešanas pašizmaksu visvairāk ietekmē forvardera noslodze, tāpēc, plānojot šādas tehnikas izmantošanu Latvijā, ir jāizvērtē dažādas tās izmantošanas iespējas, veidojot kompleksus iepirkumus par tehnikas pakalpojumiem, piemēram, pievešana no kopšanas cirtēm smagos apstākļos, koksnes pelnu izkliešana un pievešana no galvenās cirtes, kas kopā nodrošinātu vismaz 4000 stundu noslodzi gadā. Garantēta tehnikas izmantošana pozitīvi ietekmētu arī pakalpojuma piedāvājumu, pietuvinot pakalpojuma cenu tā pašizmaksai optimālos apstākļos.

ProSilva izmaksas būtiski ietekmē arī kravas lielums, tāpēc Latvijā lietderīgi izmantot forvarderus ar pagarinātu rāmi (5 m), kuros var iekraut 2 līdz 3 m garu kokmateriālu rindas. Pagarinātais rāmis ļautu efektīvāk izmantot forvardera kravnesību kopšanas cirtēs.

Darba metožu pilnveidošanai un trūkstozo datu (darba ražīgums atkarībā no kravas lieluma, rāmja pagarināšanas ietekme) iegūšanai lietderīgi veikt izmēģinājumus Latvijā, imitējot kopšanas cirtes apstākļus galvenajā cirtē purvaiņu un kūdreņu meža tipos.

Forvardera Logbear F4000 izmēģinājumi uz augsnēm ar mazu nestspēju, 2016.-2017. gads

Pētījuma mērķis ir noskaidrot ar kāpurķēdēm aprīkotu mazās klases forvarderu pielietojamas iespējas kopšanas cirtēs mežaudzēs ar sliktiem un ekstremāliem pievešanas apstākļiem (Kūdreņu, purvaiņu, slapjainu un āreņu meža tipi), tajā skaitā noteikt ražīgumu, degvielas patēriņu, vidējo kravu, kustības ātrumu, kā arī ražošanas izmaksas, balstoties uz mežizstrādātāju un mašīnu ražotāju sniegtajai informācijai par izmaksām. Izmēģinājumi veikti ar Logbear F4000 forvarderu (Att. 26), kas ir viens no mazās klases pilnpiedziņas kāpurķēžu traktoriem, ko ražo Somijas uzņēmums Logbear Oy. Mašīnas izmērs un kravnesība pielāgota 1. krājas kopšanas cirtei. Forvarders paredzēts līdz 4,5 m garu kokmateriālu pārvadāšanai, kravas lielums ir līdz 5,5-5,8 m³ (Logbear F4000 ajokone - Riuttolehto Oy, b.g.).



Att. 26: Logbear F4000 forvarders²⁵.

Izmēģinājumi veikti 2016. un 2017. gadā, veicot apaļo kokmateriālu pievešanu ar harvesteru un ķēdes zāģiem izstrādātās kopšanas cirtēs.

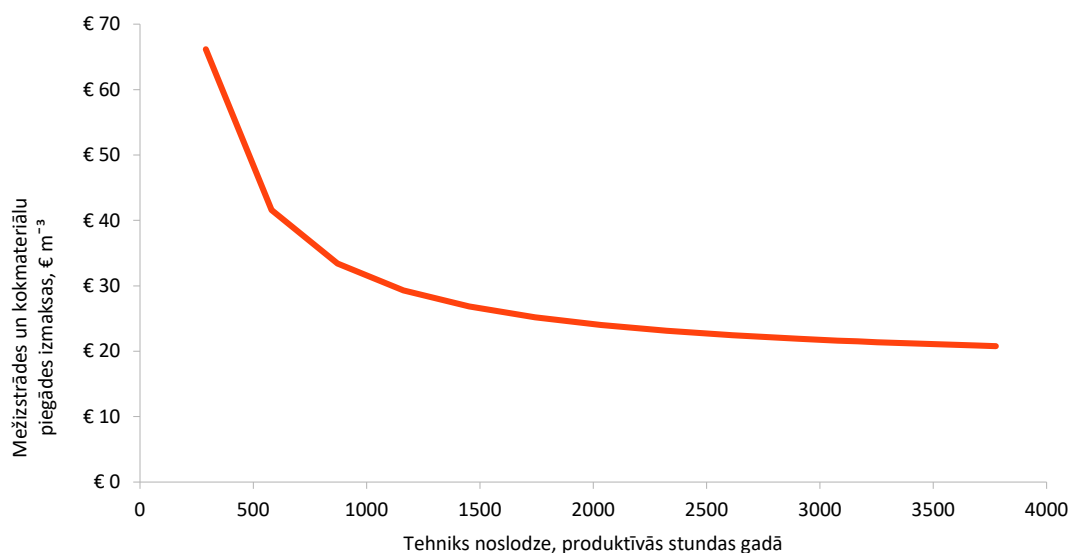
Pētījumā konstatēts, ka Logbear F4000 forvarders piemērots darbam ekstremālos un sliktos pievešanas apstākļos jaunaudzū un krājas kopšanas cirtēs, taču to var izmantot arī sanitārajās cirtēs un, nepieciešamības gadījumā, arī galvenajā cirtē, zāģējot zemākas bonitātes audzes. Optimālai darba organizācijai izmantojams tehnikas komplekts – ķēdes motorzāģis (4 strādnieki) vai augsnēm ar mazu nestspēju piemērots harvesteris (piemēram, Vimek 404 T5) un Logbear F4000 forvarders. Logbear F4000 jāizmanto platībās ar organiskām augsnēm, savlaicīgi ieplānojot pievešanu ar kāpurķēžu traktoru un izvairoties no braukšanas pa minerālaugsnēm un lielāku forvarderu iebrauktām risēm. Mežizstrādes atlieku ieklāšana ceļos var būtiski palielināt ķēžu un pārējo ritošās daļas elementu kalpošanas laiku. Taču empīriskai šīs hipotēzes pierādīšanai nepieciešami ilgstoši dažādos apstākļos ekspluatētas tehnikas novērojumi. Ir jāizvairās no Logbear F4000 forvardera izmantošanas cismās, kur pirms tam bijuši nesekmīgi mēģinājumi veikt pievešanu ar riteņtraktoru un ir jau izveidojušās dziļas rises pievešanas ceļos vai tehnoloģiskajos koridoros (Att. 27).

²⁵ Foto: Guntis Saule, Per Olof Johansson.



Att. 27: Riteņtraktora risēs iegrimis Logbear F4000 forvarders.

Logbear F4000 gada laikā var pievest 16,9 tūkst. m³ apaļo kokmateriālu. Kokmateriālu pievešanas sistēmas analīzē pieņemts, ka gada laikā forvarders nostrādā 2905 produktīvā laika stundas un pieved kokmateriālus vidēji 270 m attālumā. Forvardera ražīgumu būtiski ietekmē kokmateriālu pievešanas attāluma pieaugums un nostrādāto stundu skaits (Att. 28). Pētījumā nav konstatēta būtiska pievešanas ražīguma atšķirība, veicot mežizstrādi ar ķēdes motorzāģi vai harvesteru. Vidēji kravas veidošanai patērētas 15,5 min. produktīvā darba laika, izkraušanai – 4,7 min. produktīvā darba laika. Vidējā krava izmēģinājumos bija 3,6 m³, braukšanas ātrums – 45 m min.⁻¹. Logbear F4000 degvielas patēriņš ir vidēji 4,9 L stundā (0,7 L m⁻³). Kokmateriālu pievešanas pašizmaksa ir 6,8 € m⁻³.

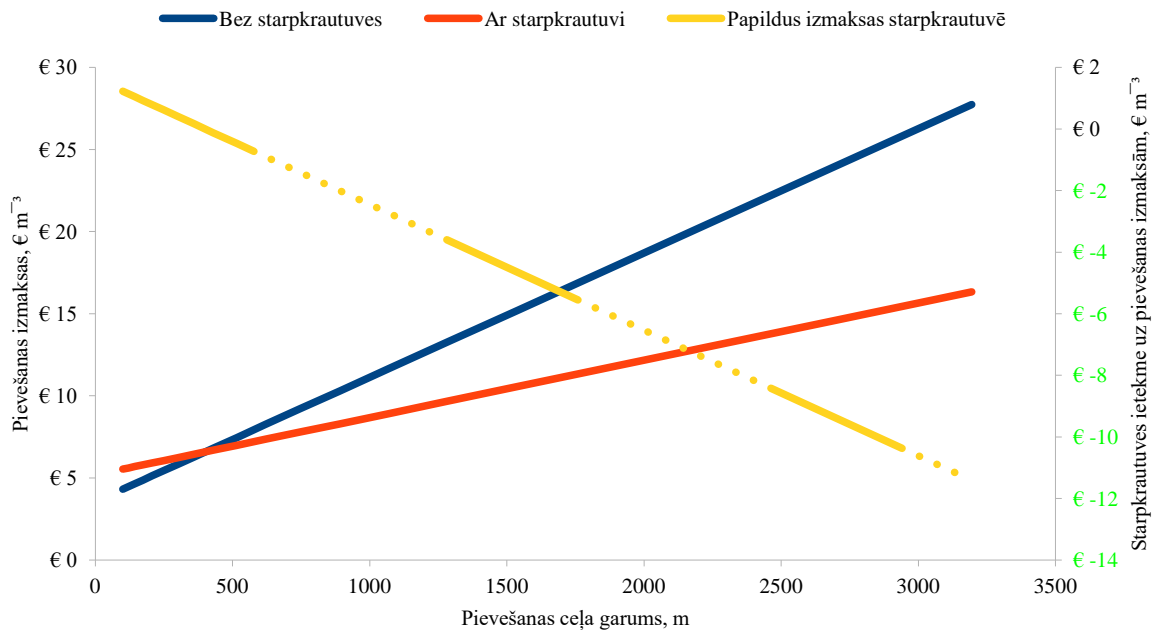


Att. 28: Jutīguma analīze ar ķēdes motorzāģi sagatavotajiem kokmateriāliem.

Alternatīvs risinājums izmaksu samazināšanai, pieaugot pievešanas attālumam, ir starpkrautuvju ierīkošana un lielāku forvarderu pielietošana kokmateriālu pievešanai uz

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

augšgala krautuvi (Loren D., 1976; Magagnotti u.c., 2012; Magagnotti & Spinelli, 2011). Minimālais pievešanas attālums, kad lietderīgi ierīkot starpkrautuvi, ir 500 m (Att. 29), taču šo rādītāju ietekmē forvardera ietilpība, pievešanas apstākļi un operatora pieredze. Jāņem vērā, ka sliktos pievešanas apstākļos šāds risinājums var nedarboties, jo lielāks forvarders var nenodrošināt pietiekoši lielu ražīgumu, lai starpkrautuves izmantošana atmaksātos. Papildus grūtības var radīt kokmateriālu izvietojums starpkrautuvē, kā arī nepietiekošs kokmateriālu daudzums, lai atmaksātos tehnikas pārvietošana.



Att. 29: Starpkrautuves ietekmes uz kokmateriālu pievešanas pašizmaksu novērtējums.

Pētījuma rezultāti iekļauti 2016. un 2018. gadā sagatavotajos pētījuma pārskatos par mežizstrādes darbu rezultātiem ziemā un vasarā²⁶, kā arī, kopsavilkumu veidā, 2016. un 2017. gada starpziņojumos un etapa pārskatos²⁷.

Secinājumi: šobrīd ražošanas praksē Logbear F4000, tāpat kā citus kāpurķēžu forvarderus, vairāk izmanto sliktos un ekstremālos pievešanas apstākļos, darbu plānošanai jāpievērš lielāka uzmanība, nekā, veicot kokmateriālu pievešanu ar tehniku, kas pārsvarā strādā vidējos vai labos apstākļos. Logbear F4000 nav piemērots “avārijas situāciju” novēršanai, bet gan plānveidīgam darbam cirmsās, kur jau iepriekš paredzēta pievešana ar kāpurķēžu traktoru. Forvardera tehniskās gatavības rādītāji nav pietiekoši izmantošanai ražošanas apstākļos, taču tehnikas sniegumu Latvijā, iespējams, būtiski pasliktina regulāra nepieciešamība to izmantot ekstremālos apstākļos. Plānošanas uzlabošana, savlaicīgi identificējot cirmsas, kurās lietderīgi izmantot kāpurķēžu forvarderu, ļautu uzlabot gan ražīguma rādītājus, gan samazināt izmaksas remontiem un dīkstāves periodus.

²⁶ <https://drive.google.com/file/d/1-SPuVGu6LAmiycPn02hUh1JlirPkmbx2/view?usp=sharing>;
https://drive.google.com/file/d/1hJa2VjG4YfZ2qRhZN_a9PpFYzVGTXekw/view?usp=sharing.

²⁷ https://drive.google.com/file/d/1whdJxSdIP2LTY0ILOw_wzsdM59gtlQrv/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/1qwGKb9QJpqwIYh2NS6oBU_6qKY9ZX4FN/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/14fZOkkW4oGS995ihyZxDsaJmSfNy_o0l/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/1W_q8CtJx4jC-J2qGfewGyNnEYApIc57I/view?usp=sharing.

Lai arī Logbear F4000 uzrādīja teicamus ražības un caurgājamības rādītājus kopšanas cirtēs, mašīnas tehniskā gatavība ir būtiski jāuzlabo, lai samazinātu dīkstāves remontu laikā. Šobrīd galvenais faktors, kas palielina ražošanas izmaksas, ir nepieciešamība regulāri veikt remontus, tajā skaitā ritošās daļas elementu nomaiņu. Ir jāturpina pētījumi par šāda veida tehnikas ražīgumu, īpašu uzmanību pievēršot mašīnu tehniskajai gatavībai, kā arī darba metožu pilnveidošanai, piemēram, izmantojot starpkrautuves, palielinoties kokmateriālu pievešanas attālumam. Pētījumā nav vērtēta kompaktklases kāpurķēžu tehnikas ilgtermiņa ietekme uz augsni, taču arī šis rādītājs var būtiski ietekmēt mežizstrādes tehnikas izvēli.

Harvestera Vimek 404 T6 izmēģinājumi kopšanas cirtēs Latvijā, 2016.-2017. gads

Pētījuma mērķis ir novērtēt Vimek 404 harvestera (Att. 30 un 31) ražīgumu kopšanas cirtē, nosakot meža tipa, mežaudzes atjaunošanas veida, regulāru un neregulāru brauktuvju un sagatavoto apaļo kokmateriālu struktūras ietekmi uz ražīgumu. Pētījumā novērtēta arī mežizstrādes ietekme uz vidi, analizējot atstājamo koku bojājumus pēc mežizstrādes un pievešanas darbiem, izmantojot dažādus forvarderus.



Att. 30: Vimek 404T5 harvester²⁸.

²⁸ Foto: G. Spalva.



Att. 31: Vimek 404 T5 harvesteru darba galva²⁹.

Pētījumā salīdzināti dati, kas iegūti, izmantojot Vimek 404 harvesteru pavasarī, līdz maija sākumam, un vasarā. Pavasara kopšana veikta 6, bet vasaras kopšana – 7 mežaudzēs AS “Latvijas valsts meži” valdījumā esošās meža platībās Kandavas un Vanemas meža iecirkņos. Kopšanas darbi pavasarī veikti 16,8 ha platībā, bet vasarā – 9,6 ha platībā. Pavasarī izkoptajās platībās vidējā nozāģētā koka $D_{1,3}$ ir 10 cm, stumbra tilpums – 0,08 m³) bet vasarā izkoptajās platībās vidējā nozāģētā koka $D_{1,3}$ ir 9 cm, stumbra tilpums – 0,04 m³. Lielākā daļa no pētījuma ietvaros izkoptajām platībām ir skujkoku audzes. Mežizstrādes izmēģinājumos piedalījās pieredzējuši operatori.

Pavasari veiktajos izmēģinājumos 1 m³ apaļo kokmateriālu ar mizu sagatavošanai vidēji patērētas 9,2 minūtes, bet vasarā – 11,7 minūtes produktīvā darba laika. Pavasarī produktīvā darba laika īpatsvars no kopējā darba laikā bija par 14% mazāks nekā vasarā, kas saistīts ar griezējgalvas kalibrēšanai papildus patērējamo laiku; vasarā šī problēma tika atrisināta.

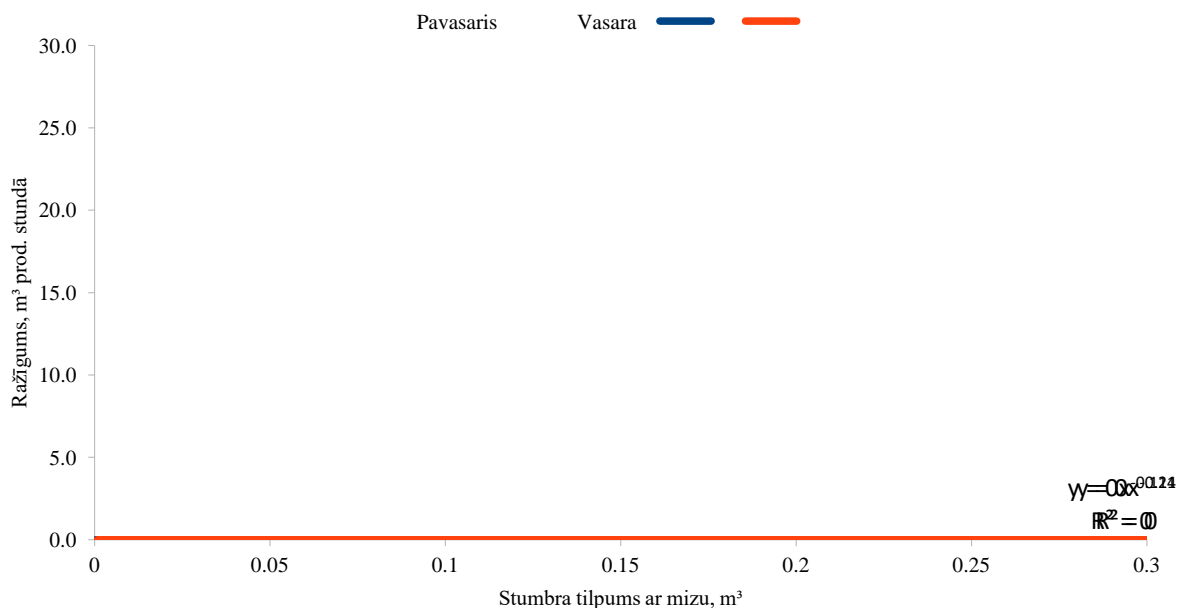
Pavasara izmēģinājumos vidēji produktīvajā stundā apstrādāti 82 koki un sagatavoti vidēji 6,5 m³ apaļo kokmateriālu. Produktīvajā darba stundā, kurā nav iekļauts laiks iebraukšanai un izbraukšanai no audzes, sagatavoti vidēji 6,9 m³ apaļo kokmateriālu. Vasaras izmēģinājumos produktīvajā stundā apstrādāti 118 koki un sagatavoti vidēji 5,1 m³ apaļo kokmateriālu. Produktīvajā darba stundā, kurā nav iekļauts laiks iebraukšanai un izbraukšanai no audzes, vasarā sagatavoti vidēji 5,4 m³ apaļo kokmateriālu.

Vimek ražīguma rādītājus, kas raksturo produktīvajā stundā sagatavoto apaļo kokmateriālu apjomu, atkarībā no zāģējamo koku dimensijām, var aprakstīt ar pakāpes vienādojumiem vienādojumu (Att. 32). Raksturīgs, ka, zāģējamā koka tilpumam

²⁹ Foto: G. Spalva.

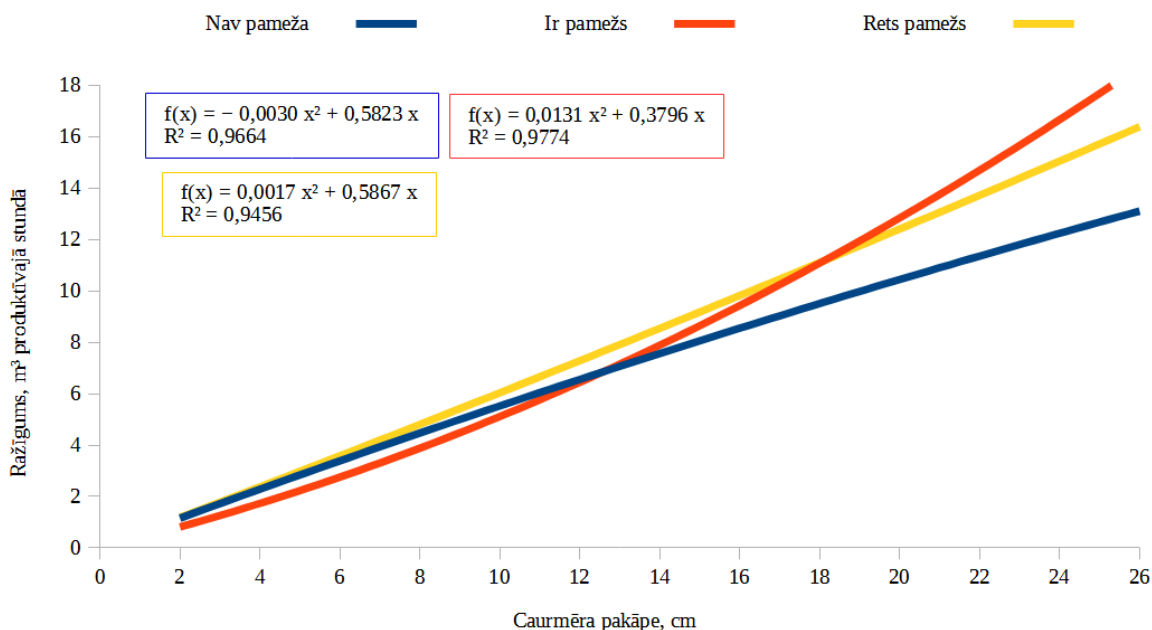
Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

sasniedzot 0,25-0,3 m³, vērojams ražīguma pieauguma samazinājums vai pat darba ražīguma kritums.



Att. 32: Vidējie ražīguma rādītāji egļu audzēs pavasara un vasaras izmēģinājumos.

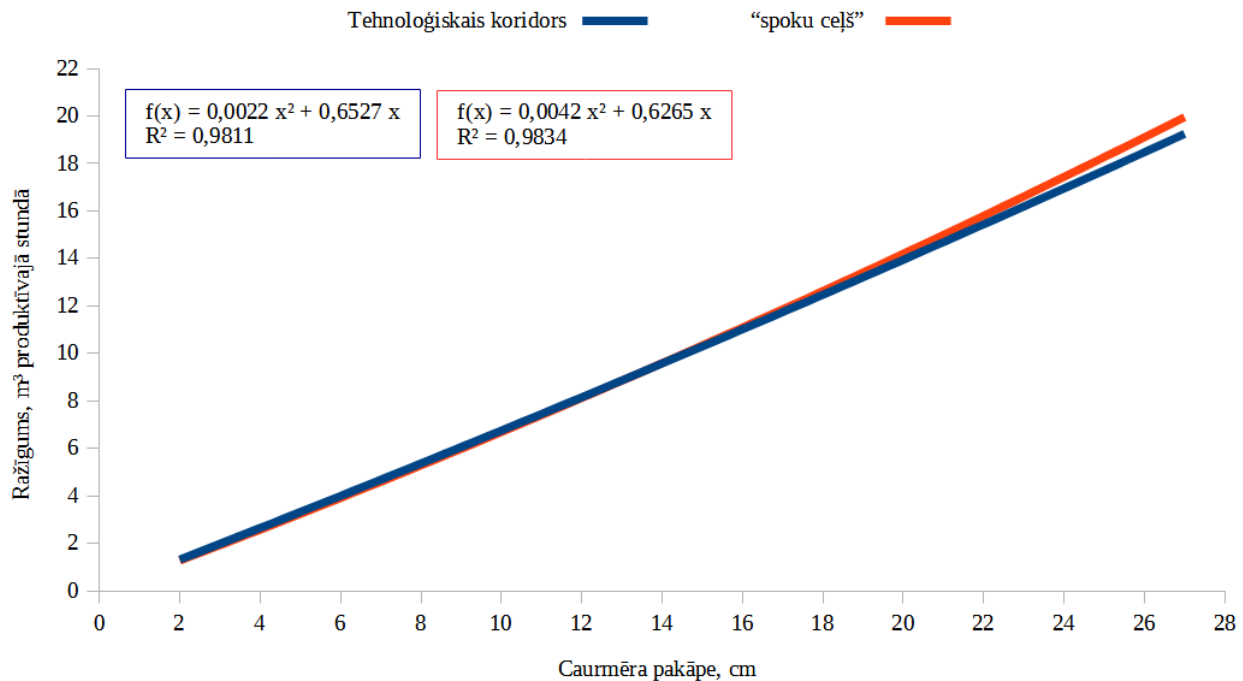
Pavasara izmēģinājumos mežizstrādes ražīguma rādītāji ir būtiski labāki platībās, kurās pamežs pirms mašinizētas kopšanas ir nozāģēts vai arī audzē nav pameža. Vismazākie ražīguma rādītāji iegūti platībās ar blīvu pamežu, kur ekonomiski izdevīgāk pirms kopšanas cirtes nozāģēt pameža kokus, izmantojot rokas motorinstrumentus. Vasaras izmēģinājumos skujkoku audzēs, turpretim, nav konstatēta būtiska atšķirības ražīguma rādītājos, atkarībā no pameža īpašībām (Att. 33). Iespējams, ka tas saistīts ar operatoru prasmju pieaugumu un darba metožu pilnveidošanu.



Att. 33: Ražīgums atkarībā no pameža stāvokļa sadalījumā pa caurmēra pakāpēm vasaras izmēģinājumos.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Vērtējot 1 vai 2 “spoku ceļu” ierīkošanas ietekmi, konstatēts, ka būtiski lielāki ražīguma rādītāji ir slejās, kurās ierīkots 1 “spoku ceļš”, t.i. harvesters strādā ar lielāku manipulatora izlīci, novietojot no “spoku ceļa” nozāģētos kokus pie tehnoloģiskajām brauktuvēm abpus harvesteram, nevis tikai vienā pusē, kā tas ir 2 “spoku ceļu” gadījumā. Harvestera ražīgums būtiski neatšķiras, strādājot no tehnoloģiskā koridora vai “spoku ceļa” (Att. 34).



Att. 34: Ražīgums atkarībā no brauktuvju izvietojuma sadalījumā pa caurmēra pakāpēm pavasara izmēģinājumos.

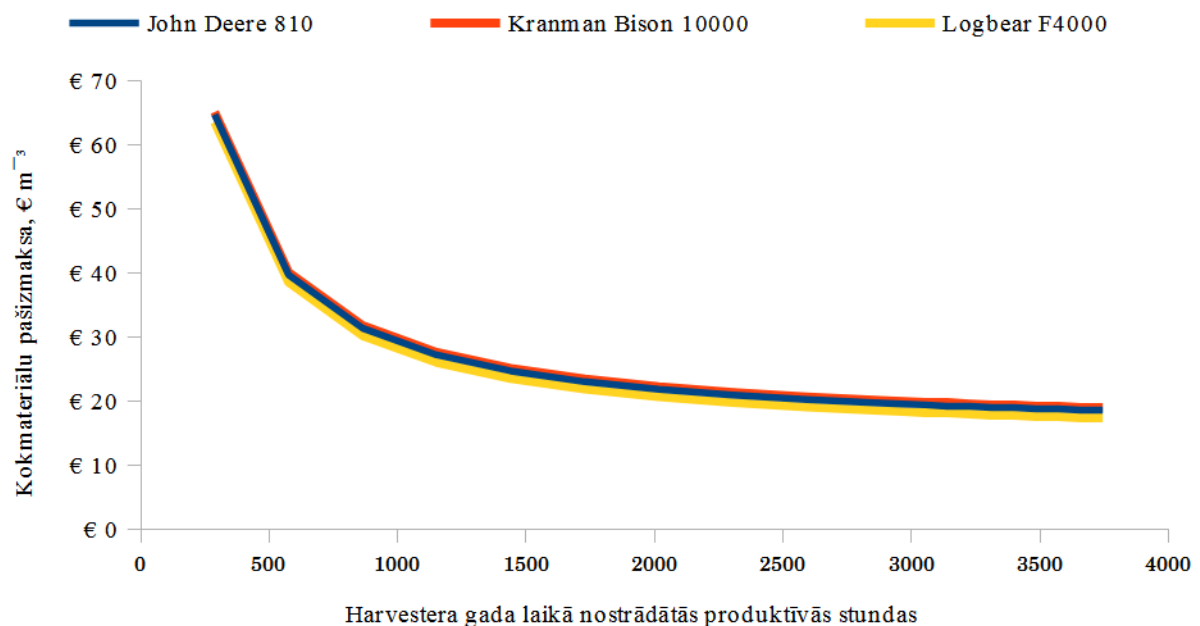
Pavasara izmēģinājumos, salīdzinot egles un lapkoku zāģēšanai patērēto laiku, konstatēts, ka, apstrādājot līdz 16 cm resnus kokus, ražīguma rādītāji neatšķiras, bet, pieaugot koku dimensijām, būtiski labāki ražīguma rādītāji iegūti, zāģējot lapkokus. Vasaras izmēģinājumos būtiski labāki ražīguma rādītāji, neatkarīgi no zāģējamo koku dimensijām, iegūti, zāģējot egli, nevis lapkokus. Veicot līdzīgu salīdzinājumu starp egli un priedi, konstatēts, ka, apstrādājot līdz 15 cm resnus kokus, labāki ražīguma rādītāji sasniegti, zāģējot priedi, bet, pieaugot zāģējamo koku dimensijām, būtiski labāki ražīguma rādītāji iegūti, zāģējot egli.

Pievešanā salīdzināti 3 dažādi forvarderi – Kranman Bison10000 6WD, John Deere 810 un Logbear F4000. Izmēģinājumu laikā pievesti 1089 m³ apaļo kokmateriālu, tajā skaitā 57% apaļo kokmateriālu pievesti ar Kranman Bison (vidējā krava 2,2 m³, pievestas 283 kravas), 35% ar John Deere 810 (vidējā krava 7,9 m³, pievestas 48 kravas) un 8% ar Logbear (vidējā krava 5,5 m³, pievestas 16 kravas). John Deere 810 un Logbear F4000 veidoja jauktas kravas, bet Kranman Bison10000 6WD vairumu gadījumā pieveda ne vairāk kā 2 kokmateriālu veidus vienlaicīgi. Vidējais produktīvais laiks 1 m³ apaļo kokmateriālu pievešanai bija no 6,1 min. m⁻³ (John Deere 810) līdz 13,9 min. m⁻³ (Kranman Bison 10000 6WD). Produktīvais darba laiks (atskaitot braukšanu) 1 m³ pievešanai John Deere 810 bija 5,5 min. m⁻³, Logbear F4000 - 5,9 min. m⁻³ un

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

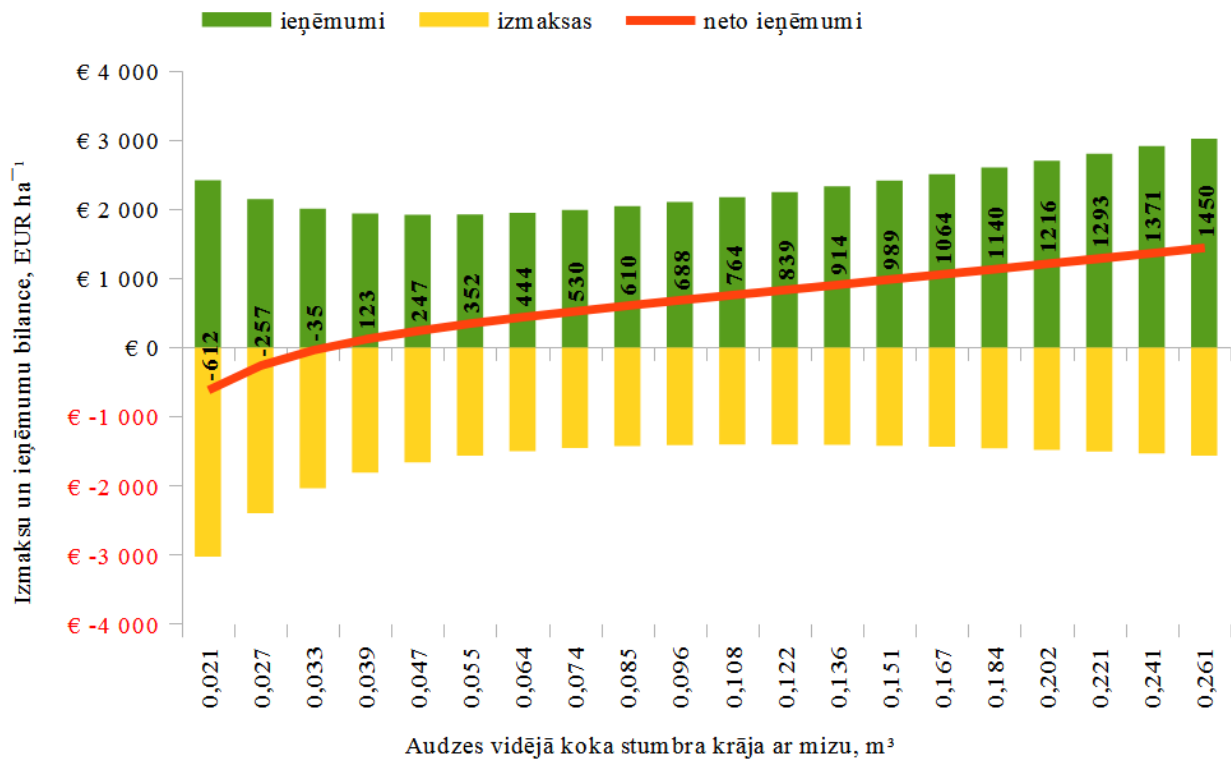
Kranman Bison 10000 4 WD – 11,8 min. m^{-3} . Forvarderu ražīgums ir robežas no 4,3 m^3 (Kranman Bison 10000) līdz 9,8 m^3 (John Deere 810) produktīvajā stundā.

Vimek 404 harvestera darba stundas pašizmaksa ar 5% peļņas likmi, atbilstoši pētījumā iegūtajiem datiem par uzturēšanas izmaksām un atalgojumu, bija 50 € (produktīvās stundas pašizmaksa ir 62 €). Mašīnu komplekta Vimek harvesters un Logbear F4000 forvarders darba stundas pašizmaksa ar 5% peļņas likmi ir 88 € (produktīvās stundas pašizmaksa ir 107 €), komplekta Vimek harvesters un Kranman Bison forvarders stundas pašizmaksa – 79 € (produktīvā stunda 96 €), bet komplekta Vimek harvesters un John Deere 810 forvarders – 97 € (produktīvās stundas pašizmaksa ir 118 €). Apaļo kokmateriālu ražošanas (sagatavošanas un piegādes) pašizmaksa, ir robežas no 22,9 € m^{-3} (ar Logbear F4000 forvarderu) līdz 26,7 € m^{-3} (ar Kranman Bison 10000 6WD); tajā skaitā mežizstrāde un pievešana izmaksas robežas no 17,3 € m^{-3} (ar Logbear F4000) līdz 18,91 € m^{-3} (ar Kranman Bison 10000 6WD). Vidēji 35% no ikgadējām Vimek harvestera izmaksām ir personāla izmaksas, forvarderiem, attiecīgi, tās ir robežas no 38% (John Deere 810) līdz 64% (Kranman Bison 10000 6WD). Pašizmaksas aprēķinu rezultātus būtiski ietekmē pieņēmumi par tehnikas noslodzi (gada laikā nostrādātās darba stundas, Att. 35) un uzturēšanas izmaksām, tāpēc izmaksu salīdzinājums ar citiem tehnikas veidiem jāveic, izmantojot līdzīgus pieņēmumus.



Att. 35: Jūtīguma analīze – harvestera noslodzes ietekme uz kokmateriālu izmaksām.

Pētījumā konstatēts, ka izdevumu un ieņēmumu starpība ir pozitīva, izmantojot Vimek 404 harvesteru un John Deere 810 forvarderu, ja kopjamās audzes vidējā koka tilpums ar mizu ir vismaz 0,04 m^3 (Att. 36), taču jāņem vērā dažādu faktoru, piemēram, tehnikas noslodzes, pievešanas attāluma un attāluma starp cirsēm ietekmi uz ražošanas izmaksām. Vimek 404 harvestera pielietošana būtiski palielina kopšanas ciršu rentabilitāti, zāģējot mazāku dimensiju kokus, neradot negatīvu ietekmi uz ražīguma rādītājiem un izmaksām ražošanas praksē izplatītāko krājas kopšanas ciršu grupā.



Att. 36: Ar Vimek un John Deere 810 sagatavoto kokmateriālu izmaksu un ieņēmumu attiecība.

Mehāniski bojāto koku skaits, neatkarīgi no cirtes veida, kokmateriālu pievešanai izmantotā forvardera un citiem faktoriem, nepārsniedza 0,5-1,5%, attiecīgi, būtiski mazāk, nekā vidēji kopšanas cirtēs valsts mežos (Agris Zimelis, Kalēja, u.c., 2019). Nevienā no audzēm, tajā skaitā kūdreņos un slapjainos, pēc izstrādes nav konstatētas rīses, kas pārsniegtu AS “Latvijas valsts meži” kvalitātes prasībās noteiktās robežvērtības.

Pētījuma rezultāti iekļauti 2016. gadā sagatavotajā pārskatā³⁰, kā arī, kopsavilkumu veidā, 2016. un 2017. gada starpziņojumos un etapa pārskatos³¹.

Secinājumi: Vimek 404 harvestera pielietošana būtiski palielina kopšanas cirtu rentabilitāti, zāģējot mazāku dimensiju kokus, neradot negatīvu ietekmi uz ražīguma rādītājiem un izmaksām ražošanas praksē izplatītāko krājas kopšanas cirtu grupā. Pētījumā nav konstatēti būtiski kompaktklases tehnikas trūkumi kopšanas cirtēs, izņemot ražības samazinājumu, zāģējot par 0,3 m³ lielākus kokus, kā arī mazāku komforta līmeni harvestera kabīnē. Visos pārējos vērtētajos rādītājos kompaktklases sniegums ir labāks vai vismaz tikpat labs, kā vidējās klases harvesteriem, ko izmanto kopšanas cirtēs.

Rekomendācijas: Vimek harvesters un tehnikas komplekts, kas sastāv Vimek vai ekvivalenta harvestera un forvardera, ir rekomendējams izmantošanai 1. kopšanas cirtē un citos cirtu veidos, kur jāzāģē, galvenokārt, nelielu (līdz 0,3 m³) izmēru koki. Ņemot

³⁰ <https://drive.google.com/file/d/1j8btojtVZts-VdCBiH4xLsduXzcjZGE8/view?usp=sharing>.

³¹ https://drive.google.com/file/d/1whdJxSdIP2LTYOILow_wzsdM59gtlQrv/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/1qwGKb9QJpqwIYh2NS6oBU_6qKY9ZX4FN/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/14fZOkkW4oGS995ihyZxDsaJmSfNy_o0l/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/1W_q8CtJx4jC-J2qGfewGyNnEYApIc57I/view?usp=sharing.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

vērā būtisko tehnikas noslodzes ietekmi, ir jāmeklē risinājumi Vimek harvestera izmantošanai citos mežsaimniecības darbos. Tehnika ir noturīga uz augsnēm ar mazu nestspēju, tāpēc pavasarī, kad daudzās jaunaudzēs noteikti mežizstrādes ierobežojumi, to var izmantot ievalku veidošanai meliorētās platībās, kā arī tīrīt nelielus piesērējušo grāvju posmus.

Turpmākajos pētījumos jāvērtē kompleksas Vimek harvestera izmantošanas iespējas meža apsaimniekošanā, kā arī jāizvērtē citu kompaktklases tehnikas paraugu sniegums, piemēram, Malwa harvesters ir nedaudz jaudīgāks un izmanto darba galvu ar apaļiem, nevis lentveida padeves veltņiem, attiecīgi, šai mašīnai var būt plašākas pielietošanas iespējas kopšanas cirtēs, taču tai ir nepieciešami arī plašāki tehnoloģiskie koridori nekā Vimek harvesteram.

Paceļamā un standarta greifera salīdzinājums kokmateriālu pievešanā kopšanas cirtē, 2017. gads

Pētījuma mērķis ir salīdzināt forvardera greiferi ar pacelšanas mehānismu (Att. 37 un 38) un standarta greiferi apaļo kokmateriālu pievešanā krājas kopšanas cirtē, nosakot dažādu greiferu izmantošanas ietekmi uz pievešanas darba ražīgumu un atstājamo koku bojājumiem.



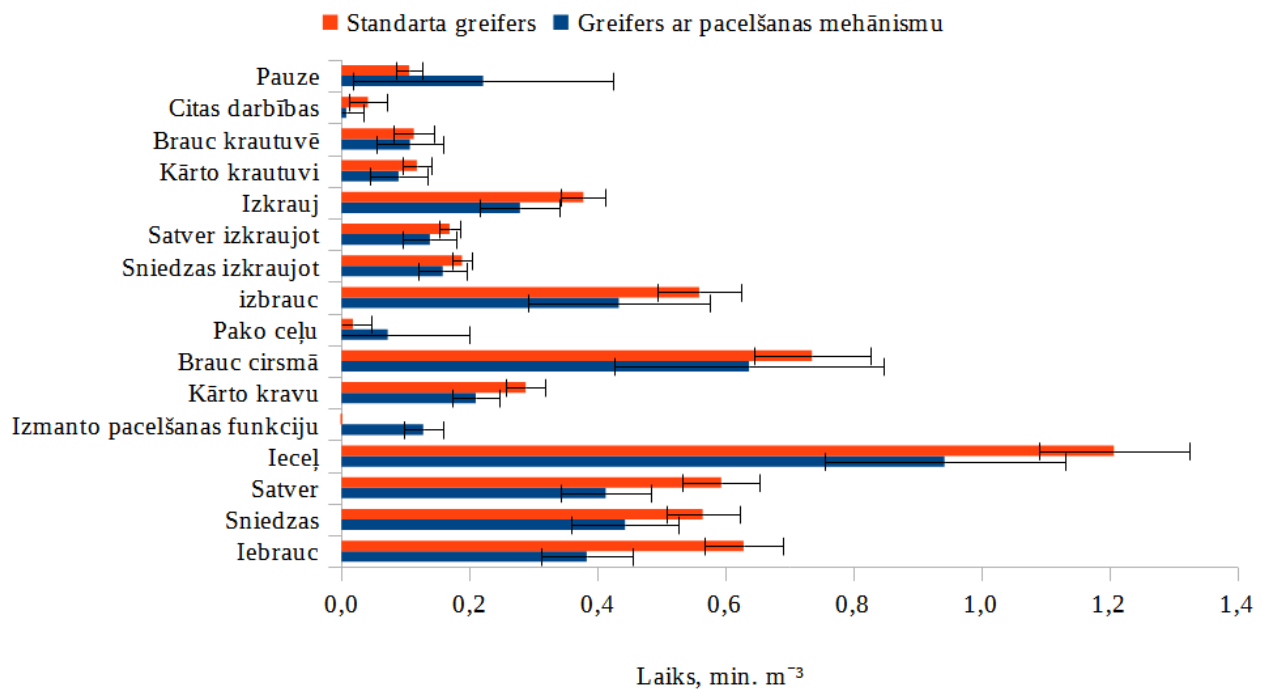
Att. 37: John Deere 810 D forvarders ar greiferi ar pacelšanas mehānismu.



Att. 38: Greifers ar *BioTassu* pacelšanas mehānismu.

Izmēģinājumi veikti četrās skujkoku audzēs Ziemeļkurzemes reģiona Rindas meža iecirknī Ances apkārtnē AS “Latvijas valsts meži” apsaimniekotajos mežos. Izmēģinājumos salīdzinātas 2 darba metodes. Strādājot ar 1. darba metodi, forvarders aprīkots ar greiferi ar pacelšanas funkciju, bet 2. darba metodē izmantots standarta greifers. Ar pacelšanas funkciju aprīkota greifera un standarta greifera izmēģinājumi veikti vienās un tajās pašās audzēs, izmantojot John Deere 810 D forvarderu. Pievešanas darbus veica 2 operatori ar līdzīgu darba pieredzi, strādājot secīgi ar greiferi ar pacelšanas funkciju un standarta greiferi. Izmēģinājuma ietvaros veikta darba laika uzskaite, pievestā apjoma novērtēšana un paliekošo koku bojājumu uzskaite.

Izmantojot greiferi ar pacelšanas funkciju (1. darba metode), 1 m³ pievešanai patērēts par 21% mazāk produktīvā laika, nekā strādājot ar standarta greiferi (2. darba metode). Greifera ar pacelšanas mehānismu priekšrocības parādījās gandrīz visos darba cikla elementos, taču statistiski būtiska atšķirība konstatēta tikai kokmateriālu satveršanai (Att. 39), kā arī kopējiem ražīguma rādītājiem. Operatoru ietekme uz vidējiem ražīguma rādītājiem nav statistiski būtiska. Uzsākot darbu, operatoriem bija nepieciešamas vairākas darba dienas, lai pielāgotos pacelšanas mehānisma pielietošanai, piemēram, lai satvertu kokmateriālus aiz forvarderam tuvāk esošā gala un uzreiz paceltu satvertos nogriežņus, nevis darītu to pēc tam, kad kokmateriālu iecelšana ar tradicionālo metodi izrādās apgrūtināta. Šī problēma konstatēta arī vēlākajos izmēģinājumos, piemēram, izmantojot pacelšanas mehānismu ar Bracke C.16 darba galvu izkoptās jaunaudzēs, kad pacelšanas mehānisms neuzrādīja ražības pieaugumu.



Att. 39: Darba elementu sadalījums 1 m³ kokmateriālu pievešanā atkarībā no darba metodes.

Pētījuma rezultāti iekļauti 2017. gadā sagatavotajā pārskatā³², kā arī, kopsavilkumu veidā, 2017. gada starpziņojumā un etapa pārskatā³³.

Secinājumi: saskaņā ar pētījuma rezultātiem, kokmateriālu pievešanas izmaksas, izmantojot John Deere 810 D forvarderu, kas aprīkots ar greiferi ar pacelšanas funkciju un standarta greiferi izmēģinājumiem raksturīgajos apstākļos un ar vienādiem pieņēmumiem par izmaksām būtiski neatšķiras, attiecīgi, 5,9 € m⁻³ un 7,4 € m⁻³.

Par 21% mazāki atstājamo koku bojājumi konstatēti platībās, kurās pievešanas darbi veikti, izmantojot greiferi ar pacelšanas funkciju. Abos variantos bojāto koku īpatsvars nepārsniedza LVM iekšējos normatīvos limitējošās vērtības.

Rekomendācijas: forvardera greifera pacelšanas mehānisms ir ieteicams izmantošanai ražošanas praksē kopšanas cirtēs, taču pēc iekārtas uzstādīšanas ir jāveic operatoru apmācība un regulāra kvalitātes kontrole, lai nodrošinātu šī mehānisma maksimāli efektīvu izmantošanu.

Turpmākajos pētījumos jāveic iekārtas pielietošanas monitorings ražošanas apstākļos, lai identificētu darba metodēs ieviešamos uzlabojumus, kā arī pilnveidotu operatoru apmācības procesu.

³² https://drive.google.com/file/d/1L5PUH8RIQDyGUVLZhgQesF_gshZGnyhh/view?usp=sharing.

³³ https://drive.google.com/file/d/14fZOkkW4oGS995ihyZxDsaJmSfNy_o0l/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/1W_q8CtJx4jC-J2qGfewGyNnEYApIc57I/view?usp=sharing.

Dubultgreifera un standarta greifera salīdzinājums kokmateriālu pievešanā kopšanas cirtē, 2017. gads

Pētījuma mērķis ir salīdzināt forvardera dubultgreifera (greifera, kas aprīkots ar papildus satveršanas mehānismu, Att. 40 un 41) un standarta greifera ietekmi uz ražīgumu kokmateriālu pievešanā kopšanas cirtēs.



Att. 40: John Deere 1110D ECO III forvarders.



Att. 41: Dala-Gripen DG 029 kauss ar *Sortimentsgripper* moduli.

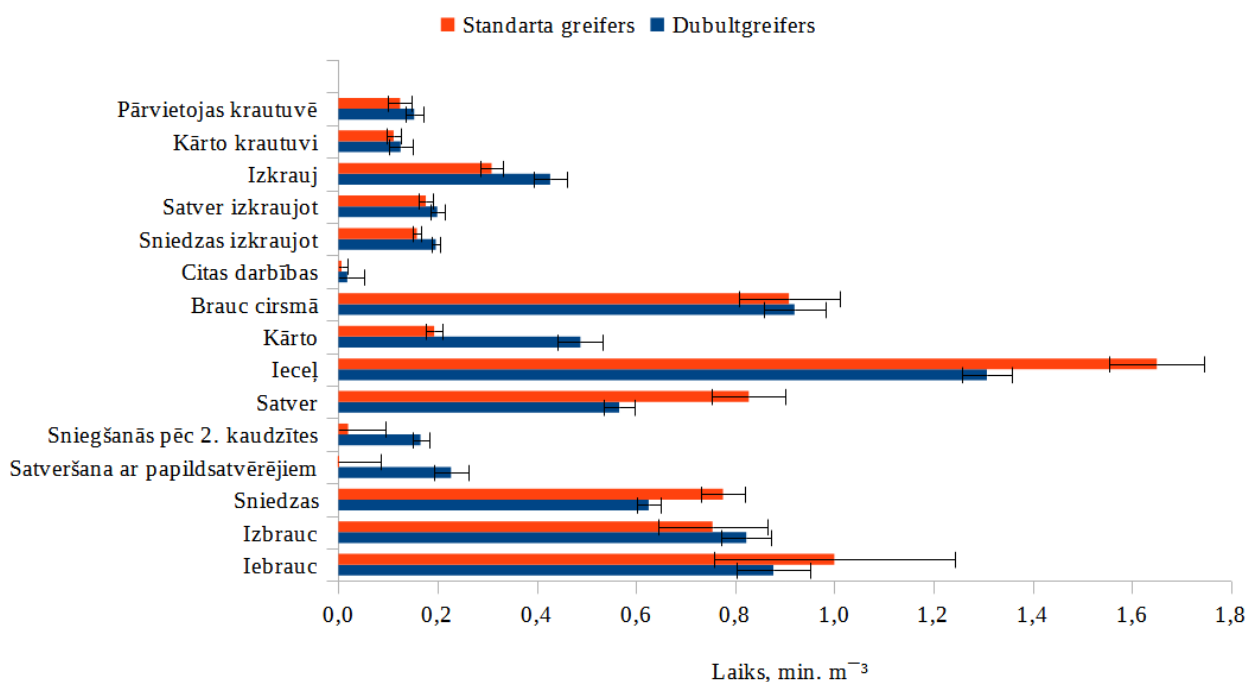
Izmēģinājumi veikti 15,2 ha platībā Ziemeļkurzemes reģiona Raķupes meža iecirknī Anūžu apkārtnē AS “Latvijas valsts meži” apsaimniekotajos mežos. Izmēģinājumā salīdzinātas 2 darba metodes – 1. metode paredz pievešanu ar John Deere 1110D ECO III forvarderu, kas aprīkots ar greiferi ar papildus satvērējiem; 2. darba metode paredz pievešanu veikt ar John Deere 1110D ECO III forvarderu, kas aprīkots ar standarta greiferi.

Kokmateriālu pievešanā izmantojot 2. darba metodi (ar standarta greiferi), 1 kravas un 1 m³ pievešanai tērēts, attiecīgi, par 2,3% un 1,4% mazāk produktīvā darba laika, nekā 1. darba metodes izmantošanas gadījumā. Atšķirība nav būtiska, tomēr pētījums neapstiprina arī greifera ar papildus satvērējiem priekšrocības kokmateriālu pievešanā.

Izmantojot papildus satvērējus, būtiski samazinās darba laika patēriņš kokmateriālu satveršanai un iecelšanai kravā, tomēr šis ieguvums neatsver darba laika patēriņu papildus satvērēju izmantošanai, manipulatora pārvietošanai pie nākamās kokmateriālu kaudzītes un papildus darba laika patēriņu kravas kārtošanai (Att. 42).

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Kokmateriālu pievešanas izmaksas, izmantojot John Deere 1110D ECO III forvarderu, kas aprīkots ar standarta greiferi un greiferi ar papildus satveršanas mehānismu, izmēģinājumiem raksturīgajos apstākļos, ir attiecīgi $9,4 \text{ € m}^{-3}$ un $9,5 \text{ € m}^{-3}$. Atšķirība nav būtiska.



Att. 42: Produktīvā laika darba elementu sadalījums 1 m^3 kokmateriālu pievešanā atkarībā no darba metodes.

Pētījuma rezultāti iekļauti 2017. gadā sagatavotajā pārskatā³⁴, kā arī, kopsavilkumu veidā, 2017. gada starpziņojumā un etapa pārskatā³⁵.

Secinājumi: pētījumā nav konstatēts ražības pieaugums, izmantojot dubultgreiferi, kas apstiprina pirms tam, ar iepriekšējo iekārtas prototipu Zviedrijā veiktos pētījumos iegūto rezultātu. Strādājot ar 1. darba metodi, paliekošo koku bojājumu īpatsvars ir par 0,1% mazāks, nekā, izmantojot ar 2. darba metodi, tomēr šis atšķirības nav statistiski būtiskas. Paliekošo koku skaits izmēģinājumu platībās bija 628-648 gab. ha⁻¹. Šādos apstākļos bojājumi parasti ir nenozīmīgi, it īpaši priežu audzēs uz mazauglīgām augsnēm.

Greifera ar papildus satvērējiem izmantošana kopšanas cirtē neietekmēja mehāniski bojāto atstājamo koku īpatsvaru, tomēr cīsmās ar lielāku kokmateriālu veidu skaitu un apjomu efektīva dubultgreifera izmantošana teorētiski ļauj samazināt bojāto koku īpatsvaru, jo samazinās manipulatora darba ciklu skaitu. Šis pieņēmums vēl ir jāpārbauda praksē.

Pētījuma rezultāti parāda, ka šobrīd vēl ir pārāgri rekomendēt greifera papildus satvērēju izmantošanu, tomēr šai tehnoloģijai iespējams plašs praktiskais pielietojums kopšanas un galvenajā cirtē. Tehnoloģijas pielietošanas iespējas, tajā skaitā ražīguma kāpināšanas risinājumi jāvērtē kompleksi, novērtējot darba metodes maiņas ietekmi arī mežizstrādes etapā un pievēršot lielāku uzmanību krautuvju plānojumam. Kaut arī uzrādīto ražīguma

³⁴ <https://drive.google.com/file/d/1VPMBY51worc443heZZlAPozoT46IlwSH/view?usp=sharing>.

³⁵ https://drive.google.com/file/d/14fZOkkW4oGS995ihyZxDsaJmSfNy_o0l/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/1W_q8CtJx4jC-J2qGfewGyNnEYApIc57I/view?usp=sharing.

rādītāju atšķirības nav būtiskas, izmēģinājumus ir jāturpina apstākļos, kuros papildus satvērēji izmantošanas priekšrocības var izpausties vislabāk, t.i. pievedamo kokmateriālu veidu skaits un apjoms ir ievērojami lielāks.

Jaunaudžu (koku augstums 2-4 m) kopšanas tehnoloģiskie risinājumi, 2018.-2020. gads

Jaunaudžu kopšanas tehnoloģiskie risinājumi vērtēti vairākos pētījumos, tomēr joprojām tiek meklētas ražīgākās metodes, darba paņēmieni un tehnoloģiskie risinājumi šo darbu veikšanai. Kopš 1950-jiem gadiem pētītas krūmgriežu izmantošanas efektivitātes un ražīguma palielināšanas iespējas Zviedrijā (Ligne u.c., 2005). Arī šobrīd priekšroka tiek dota rokas darba instrumentiem, kas lielākoties saistīts ar mazākām izmaksām un mašinizācijas risinājumu neefektivitāti. Latvijā mašinizētā jaunaudžu kopšana pētīta 2018. gadā, kad kopējā ar Bracke C.12 darba galvu izkoptā platība bija ap 2 ha. Šajā pētījumā vērtētas līdz 4 m augstu skujkoku audžu kopšanas izmaksas un ražīgums (Latvijas Valsts mežzinātnes institūta "Silava", 2018; Agris Zimelis, Kaleja, u.c., 2019; Agris Zimelis u.c., 2018). Pirms tam veikti pētījumi par kompaktklases harvesteru izmantošanu jaunaudžu kopšanas cirtēs, gatavojot biokurināmo, papīrmalku un citus apaļo kokmateriālu veidus mežaudzēs ar 6-14 m augstiem kokiem, kas atbilst jaunaudžu vecuma kritērijiem. Šie pētījumi apstiprināja kompaktklases tehnikas efektivitāti, gatavojot biokurināmo un apaļos kokmateriālus jaunaudžu kopšanas cirtēs, vienlaikus norādot uz problēmām, kas jārisina, izmantojot kompaktklases tehniku, piemēram, darba organizācijas pilnveidošana, operatoru, mežizstrādes meistarību un plānotāju apmācība (A. Lazdiņš u.c., 2016b; A. Zimelis, Lazdiņš, u.c., 2017b, 2017a; Agris Zimelis, Kalēja, u.c., 2017; Agris Zimelis, Lazdiņš, u.c., 2017).

Latvijā veiktajos izmēģinājumos ar Vimek C.12 un Cutlink darba galvu ar 3 asmeņiem (abos gadījumos bāzes mašīna Vimek 404 harvesters) jaunaudžu kopšanas darbos salīdzinātas 2 darba metodes, kuru izmantošanu nosaka attālums starp stādīto koku rindām un 2 atvasinātas darba metodes, lai noteiktu ražīguma izmaiņu tendences. Ja attālums starp stādīto koku rindām ir līdz 2,1 m, harvestera pārvietošanos plāno perpendikulāri stādītajām koku rindām (1. darba metode), savukārt koku rindu platumam pārsniedzot 2,1 m, harvestera pārvietošanos plāno starp koku rindām (2. darba metode). Strādājot atbilstoši 2. darba metodei, noteiktas ražīguma izmaiņu tendences, ja jaunaudžu kopšana plānota līdz minimālajam koku skaitam atbilstoši MK noteikumiem Nr. 935 (3. darba metode). Savukārt, lai atslogotu paliekošos audzes kokus no pārnadžu bojājumiem, kopjamajiem kokiem zāģējamais augstums 1,5 m no zemes (4. darba metode). Piektā darba metode paredz Cutlink darba galvas izmantošanu atbilstoši 2. darba metodei.

Lielākos ražīguma rādītājus izmēģinājumos nodrošina 5. darba metode. Arī strādājot ar Bracke C.12, lielāko ražīgumu nodrošina darba metode, kad harvesters pārvietojas paralēli koku rindām (2. darba metode).

Harvestera ražīgums ir par 30-40% lielāks, nekā rokas motorinstrumentu ražīgums līdzīgos apstākļos. Atšķirības rada, galvenokārt, laiks koku zāģēšanai un nogāšanai. Neatkarīgi no pielietotās darba metodes, paliekošo koku bojājumi ir nebūtiski.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Mašinizētās jaunaudžu kopšanas ražīgumu būtiski ietekmē atstājamo koku skaits – jo vairāk atstājamo koku, jo mazāks ražīgums, tāpēc jaunaudžu kopšanas cirtē nav jātiecas atstāt liels koku skaits. Arī augstu celmu atstāšana uzlabo ražīguma rādītājus, taču šīs metodes pielietošanas efektivitāte vēl jāpārbauda plašākos izmēģinājumos, tajā skaitā novērtējot pārnadžu bojājumus šādā veidā izkoptās audzēs.

Salīdzinot paliekošo koku bojājumus, labākus rezultātus uzrāda Bracke C.12 darba galva, tomēr nevienā no izmēģinājumu objektiem nav konstatēts par 5% lielāks bojāto koku īpatsvars.

Būtisku ražīguma palielinājumu var panākt, izmantojot ĢIS aplikāciju, kas monitorē nobraukto maršrutu un izkopto platību, taču šī paņēmiena efektivitāte vēl ir jāpārbauda praksē, izstrādājot un uzstādot atbilstošu aplikāciju.

Pētījuma rezultāti iekļauti 2018. gadā sagatavotajā pārskatā³⁶, kā arī, kopsavilkumu veidā, 2018. un 2019. gada starpziņojumos un etapa pārskatos³⁷.

Rekomendācijas: ieviešot jaunaudžu kopšanas mašinizācijas risinājumus praksē, ir jāpilnveido prasības kopšanas ciršu izpildei, lai darba uzdevuma formulēšanas un izkopto platības nodošanas brīdī nerastos domstarpības par kvalitātes prasību interpretāciju, piemēram, attiecībā uz celmu augstumu vai nozāģētajiem kokiem, kas atspiedušies pret atstājamo koku stumbriem. Būtiskākie nosacījumi, kas jāiekļauj vai jāmaina jaunaudžu kopšanas ciršu noteikumos:

1. nozāģējamo koku celmu augstums netiek ierobežots;
2. nozāģētie koki nedrīkst atspiesties pret paliekošajiem kokiem, ja tie pārsniedz 1/3 no paliekošā koka augstuma;
3. jaunaudžu kopšanas laikā nozāģētie koki nedrīkst atspiesties pret paliekošā koka stumbru;
4. veicot mašinizētu jaunaudžu kopšanu, neatkarīgi no koku sugas, zāģējamo koku izraušana ar saknēm (neatkarīgi no to caurmēra) nav pieļaujama.

Nepieciešamas papildus prasības tehnikas aprīkojumam, lai operators var kontrolēt audzes izkopšanas progresu, tādējādi nodrošinot, ka jaunaudze ir izkopta pilnībā, tajā pat laikā nobraucot vienā vietā vairākas reizes.

Veicot jaunaudžu kopšanu mašinizēti, ir jāizstrādā arī kvalitātes prasības, kas nosaka augsnes un paliekošo koku bojājumus.

Dažādu mašinizētas pameža zāģēšanas metožu un mehānismu salīdzināšana galvenajā un kopšanas cirtē, 2018.-2020. gads

Pētījumā vērtētas Bracke C.16 pielietošanas iespējas pameža zāģēšanā galvenajā un kopšanas cirtē. Galvenie rezultāti apkopoti kopsavilkumu veidā 2018. un 2019. gada

³⁶ https://drive.google.com/file/d/1P0GbrNd4OZ6_H4QErZCK14cmEx7O11g/view?usp=sharing.

³⁷ <https://drive.google.com/file/d/17wO11xDP9qU-lmBChiD6Cq4kgP2KL-EN/view?usp=sharing>;
<https://drive.google.com/file/d/1FUU-lHuR3fZPLjJKIEW3xbWaotGCHAVH/view?usp=sharing>;
<https://drive.google.com/file/d/10JD-CR3ulUeU8Up3zHneRc-x5G92febO/view?usp=sharing>;
https://drive.google.com/file/d/1I8Y90Boe7GWeuD7DW44K_lzWaux01JdH/view?usp=sharing.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

pētījuma starpziņojumos un etapa pārskatos³⁸, kā arī pārskatā³⁹ par Bracke C.16 pašizmaksas un ražības novērtējumu dažādos ciršu veidos. Pētījumā bija iecerēti arī kompaktklases harvesteru Vimek izmēģinājumi, taču pētījumam nepieciešamais tehniskais atbalsts netika nodrošināts, tāpēc izmēģinājumi ar kompaktklases tehniku nav veikti.

Viens no pētījuma mērķiem 2020. gadā bija novērtēt harvestera darba galvas papildmehānisma MenSe RT7 (Att. 43) pielietošanas iespējas pameža zāgēšanā un salīdzināt mežizstrādes ražīgumu un izmaksas pameža zāgēšanā, izmantojot MenSe RT7 un rokas motorinstrumentus. Sakarā ar ārkārtas stāvokļa izsludināšanu izmēģinājumus ar MenSe RT7 neizdevās organizēt. Tāpēc MenSe pielietošanas iespējas novērtētas, izmantojot literatūras analīzi, kurā apkopoti Somijā veikto pētījumu rezultātus.



Att. 43: Krūmgriezis MenSe RT7⁴⁰.

Pētījuma rezultāti, Mense krūmgrieža pielietošanas izzinātības apskats, iekļauti 2020. gadā sagatavotajā pārskatā⁴¹, kā arī, kopsavilkuma veidā, 2020. gada starpziņojumā un etapa pārskatā⁴².

Secinājumi: Balstoties uz literatūras analīzi, secināts, ka MenSe RT7 lietderīgi izmantot tad, ja pamežs ir vidēji biezs – zāgējamo koku skaits nepārsniedz 11000 gab. ha⁻¹, bet harvestera darba laika patēriņš nepārsniedz 25% no kopējā darba laika patēriņa. Optimālos apstākļos MenSe mehānisma pielietošana ļauj samazināt kopšanas cirtes izmaksas par 86-151 EUR ha⁻¹. Būtiskākās problēmas, pielietojot MenSe RT7 mehānismu, kas konstatētas līdzšinējos pētījumos, ir mežizstrādes ražīguma samazināšanās platībās ar lielu pameža koku skaitu, palielinātas darba galvas dimensijas, kas palielina mehāniski bojāto koku skaitu, kā arī zāgējamo koku iesprūšana, zāgējot par 5 cm resnākus kokus.

³⁸ <https://drive.google.com/file/d/17wO11xDP9qU-lmBChID6Cq4kgP2KL-EN/view?usp=sharing>;
<https://drive.google.com/file/d/1FUU-1HuR3fZPLjJKIEW3xbWaoTGCHAVH/view?usp=sharing>;
<https://drive.google.com/file/d/10JD-CR3ulUeU8Up3zHneRc-x5G92febO/view?usp=sharing>;
https://drive.google.com/file/d/1i8Y90Boe7GWeuD7DW44K_lzWaux01JdH/view?usp=sharing.

³⁹ https://drive.google.com/file/d/1sIH1w_QAIpuS_FgGP9K-4w-2eThQDK-S/view?usp=sharing.

⁴⁰ Attēlu avots: <https://en.mense.fi/product/293/rt7-clearing-blade-with-tilt>.

⁴¹ <https://drive.google.com/file/d/1hztasDdsuVfPPWbJh-fD52IYxtMwXnNW/view?usp=sharing>.

⁴² <https://drive.google.com/file/d/10eww7N94g61yagcBW2qHhaFKNNZrTsNK/view?usp=sharing>.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Rekomendācijas: Līdzšinējos pētījumos konstatētas vairākas būtiskas problēmas, izmantojot MenSe krūmgriezi pameža zāģēšanai. MenSe pielietošanai kopšanas cirtēs ir jāadaptē darba metode, jo operators var izvēlēties koku zāģēšanas secību tikai pēc pameža koku un krūmu nozāģēšana, kas palielina darba laika patēriņu, manipulatora kustību skaitu un paliekošo koku bojājumus. Izmēģinājumos konstatētas arī citas problēmas – izmaksu pieaugums, palielinoties pameža zāģēšanas darba laika īpatsvaram, palielināts mehāniski bojāto koku skaits, kas saistīts ar lielākām darba galvas dimensijām un sliktāku redzamību zāģēšanas laikā, un neliels zāģējamo koku caurmērs (līdz 5 cm celma augstumā). Ņemot vērā šos trūkumus, MenSe RT7 un citi līdzīgi mehānismi pagaidām nav ieteicami izmantošanai ražošanas praksē kopšanas cirtēs.

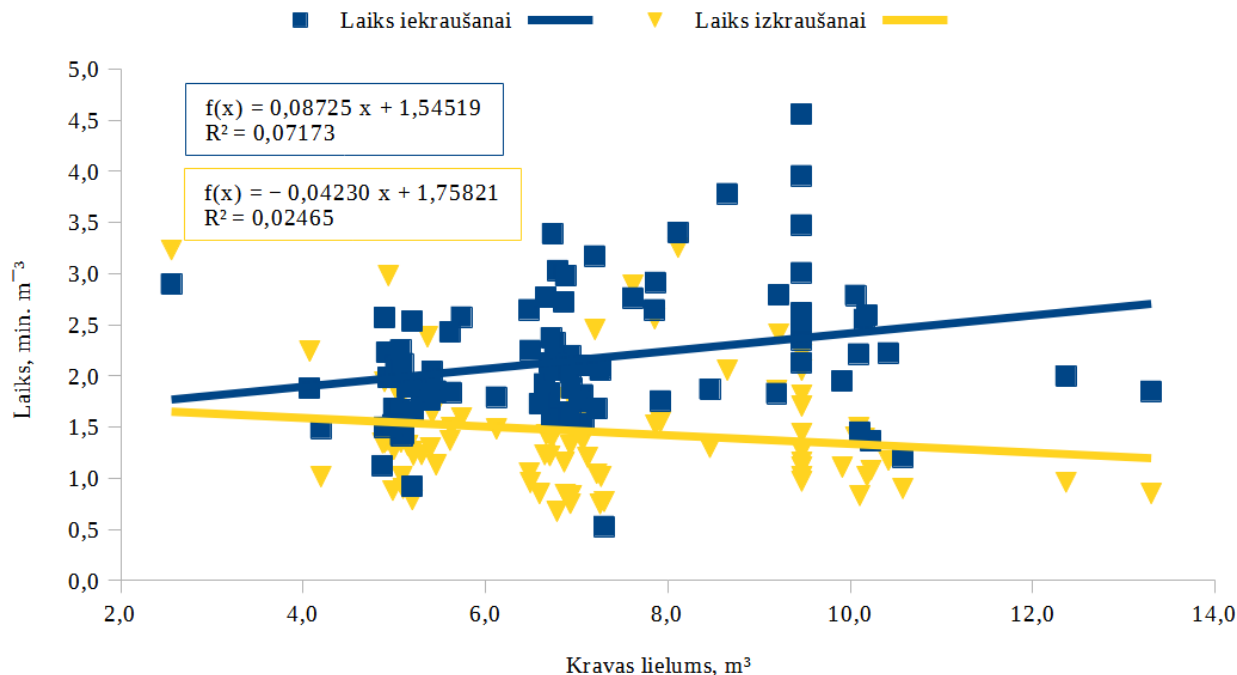
Literatūras analīze nedod atbildi, kāpēc MenSe RT7 pielietošana līdz šim nav pēfīta galvenajā cirtē, kur valdaudzes koku bojājumi būtiski neietekmē mežizstrādes kvalitāti, attiecīgi, operatora darbs saistīts ar mazāku stresa līmeni. Plānojot izmēģinājumus Latvijā, lietderīgi novērtēt iekārtas pielietošanas iespējas galvenajā cirtē, tajā skaitā veicot grāvju trašu apauguma novākšanu, kur mazu kociņu un krūmu zāģēšana aizņem lielāko daļu darba laika.

BIOKURINĀMĀ UN APAĻO KOKMATERIĀLU SAGATAVOŠANAS METODES KOPŠANAS CIRTĒS

Kravu lieluma ietekme uz pievešanas darba ražīgumu un augsnes bojājumiem kopšanas cirtēs, 2016.-2017. gads

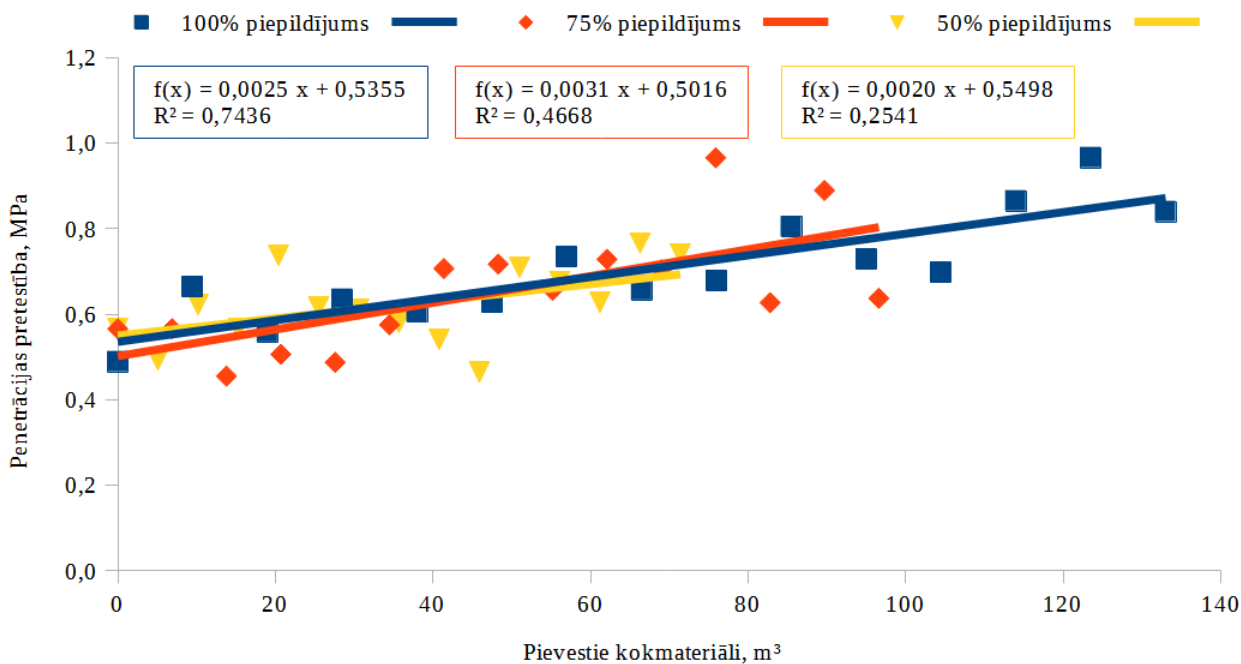
Pētījuma mērķis noskaidrot kravu lieluma ietekmi uz darba ražīgumu, tajā skaitā novērtēt darba ražīgumu, degvielas patēriņa izmaiņas atkarībā no kravas lieluma, kā arī iegūt sākotnējo informāciju par ietekmi uz augsni atkarībā no darba metodes. Izmēģinājumos salīdzinātas 3 darba metodes – maksimāli pieļaujamā forvardera noslodze (100 % masas aizpildījums pēc tehniskās dokumentācijas), konvencionālā darba metode (vidēji 75 % kravas aizpildījums) un samazinātās slodzes metode (50 % kravu aizpildījums). Izmēģinājumi veikti galvenajā cirtē, imitējot kopšanas cirtes tehnoloģisko koridoru izvietojumu (regulāri ik pēc 20 m).

Pētījumā konstatēts, ka degvielas patēriņš būtiski pieaug, palielinoties kravas piepildījumam – no 8,5 L stundā pie 50% piepildījuma līdz 10,1 L stundā pie 100% piepildījuma. Līdzīgi kravu piepildījums ietekmē braukšanas ātrumu – pie 50% kravu piepildījuma braukšanas ātrums ir 46 m min.⁻¹, bet, ja kravu piepildījums ir 75% vai 100%, braukšanas ātrums samazinās līdz 38 m min.⁻¹ (par 17%). Vērtējot pievešanas attāluma ietekmi uz kokmateriālu pašizmaksu, konstatēts, ka 100% kravu piepildījums ir ekonomiski izdevīgāks tad, ja pievešanas attālums ir vismaz 500 m, savukārt konvencionālā metode (75% kravu piepildījums) ir izdevīgāka par 50% piepildījumu, ja pievešanas attālums ir vismaz 600 m. Neliela kravu piepildījuma izdevīgumu, iespējams, lielā mērā nosaka darba metode, kas raksturojas ar tendenci veidot tīrkravas no vairāk pārstāvētajām kokmateriālu grupām un nepilnas kravas no mazāk gatavotajiem kokmateriālu veidiem. Šo pieņēmumu apstiprina tas, ka, ieaugot kravas piepildījumam, darba laika patēriņš kravas veidošanai, pārrēķinot uz 1 m³, palielinās, pārbraucot lielākus attālumus, lai savāktu attiecīgā veida kokmateriālus visā cirmsā, bet darba laika patēriņš kokmateriālu izkraušanai augšgala krautuvē – samazinās (Att. 44).



Att. 44: Iekraušanai un izkraušanai patērētais laiks, atkarībā no kravas lieluma, pārrēķināts uz min. m^{-3} .

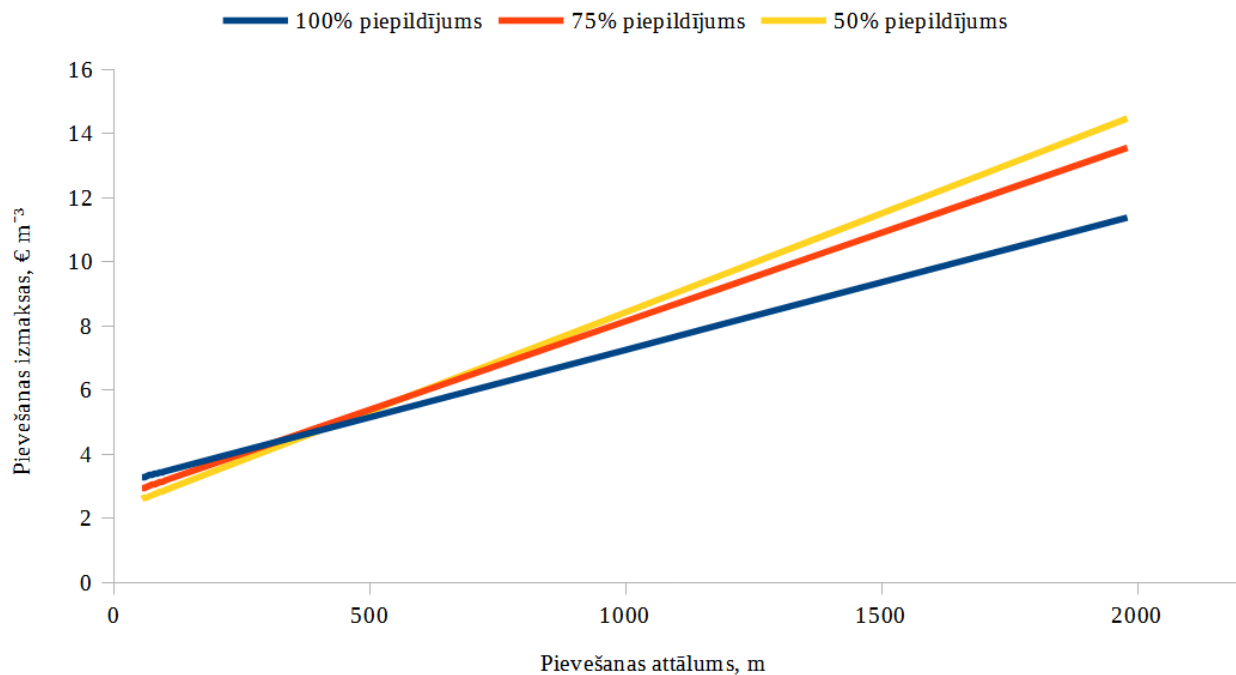
Pārrēķinot uz pievesto kokmateriālu apjomu, pētījuma hipotēze par to, ka kravu palielināšana ļauj samazināt summāro ietekmi uz augsni, apstiprinās 0-10 cm dziļumā (Att. 45), kur pie lielāka kravu piepildījuma vērojama lēnāka augsnes penetrācijas pretestības kāpuma tendence. Dziļākajos augsnes slāņos šī likumsakarība neapstiprinās. Pārrēķins uz pievesto kokmateriālu apjomu parāda ciešu korelāciju starp augsnes virskārtas sablīvējumu un pievesto kokmateriālu apjomu augsnes virskārtā.



Att. 45: Penetrācijas pretestības izmaiņas 0-10 cm dziļumā, atkarībā no pievesto kokmateriālu apjoma un darba metodes.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Pievešanas izmaksas izmēģinājumos pie 50% kravas piepildījuma bija 4,1 € m⁻³ un pie 100% piepildījuma – 4,9 € m⁻³, taču, kokmateriālu pievešanas attālumam pieaugot virs 500 m, pie 100% piepildījuma izmaksu kāpums ir lēnāks un rada būtisku ietekmi uz izmaksām (Att. 46).



Att. 46: Pievešanas attāluma ietekme uz pievešanas pašizmaksu.

Pētījuma rezultāti iekļauti 2016. gadā sagatavotajā pārskatā⁴³, kā arī, kopsavilkuma veidā, 2016. un 2017. gada starpziņojumā un etapa pārskatā⁴⁴.

Secinājumi: palielinoties pievesto kravu skaitam, augsnes sablīvēšanās visaktīvāk notiek 21-40 cm dziļumā. Pētījumā nav konstatēta būtiska sablīvējuma atšķirība, pievedot kokmateriālus ar 75% vai 100% kravas piepildījumu. Tāpat, nav apstiprinājusies hipotēze, ka lielāku kravu fraktēšana ļauj samazināt summāro slodzi uz augsni. Lielākas tehnikas izmantošanai kokmateriālu pievešanā ļautu samazināt izmaksas un ietekmi uz augsni tādā gadījumā, ja vienlaicīgi ar kravu palielināšanu pilnveidotu arī darba metodes.

Labāki ražīguma rādītāji, pievedot nelielas kravas īsā distancē, apstiprina iepriekš izmēģinājumos ar Vimek 610 un Logbear forvarderiem gūtās atziņas par šādas tehnikas (forvarderi ar kravnesību 4-6 m³) priekšrocībām kopšanas cirtēs (Prindulis u.c., 2017; Prindulis & Lazdiņš, 2016), tāpēc turpmākajos pētījumos lietderīgi izvērtēt mazās tehnikas, kā alternatīvas vidējās klases forvarderiem, izmantošanas iespējas krājas kopšanas cirtēs dažādos augšanas apstākļos.

Turpmākajos pētījumos lietderīgi pievērst lielāku uzmanību kravu fraktēšanas metožu pilnveidošanai, piemēram, izmantojot kravas šķirotajus un aktīvāk pielietojot krāsu

⁴³ https://drive.google.com/file/d/1vltjJr9gI7lho_EgPBOgVcwdvQAcK5Ei/view?usp=sharing.

⁴⁴ https://drive.google.com/file/d/1whdJxSdIP2LTY0ILOw_wzsdM59gtlQrv/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/1qwGKb9QJpqwIYh2NS6oBU_6qKY9ZX4FN/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/14fZOkkW4oGS995ihyZxDsaJmSfNy_o0l/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/1W_q8CtJx4jC-J2qGfewGyNnEYAplc57I/view?usp=sharing.

marķējumu mežizstrādē, lai atvieglotu kokmateriālu šķirošanu krautuvē. Viens no galvenajiem kritērijiem kravu fraktēšanas metožu piemērotības augsnēm ar mazu nestspēju raksturošanai ir 1 m^3 pievešanai nobrauktais attālums audzē – jo mazāks ir šis attālums, jo mazāka ietekme uz augsni ir sagaidāma.

Pētījumā uzsāktā izmēģinājumu sērija ir jāatkārto smagos pievešanas apstākļos, kur sagaidāma risu veidošanās (izmēģinājumu platībās nevienā koridorā nav konstatētas par 20 cm dziļākas risas), kā arī platībā ar labu augsnes nestspēju, kur būtiskākais apdraudējums ir augsnes sablīvēšanās, nosakot zaru seguma un kravas lieluma ietekmi uz augsnes sablīvējumu un atstājamo koku bojājumiem.

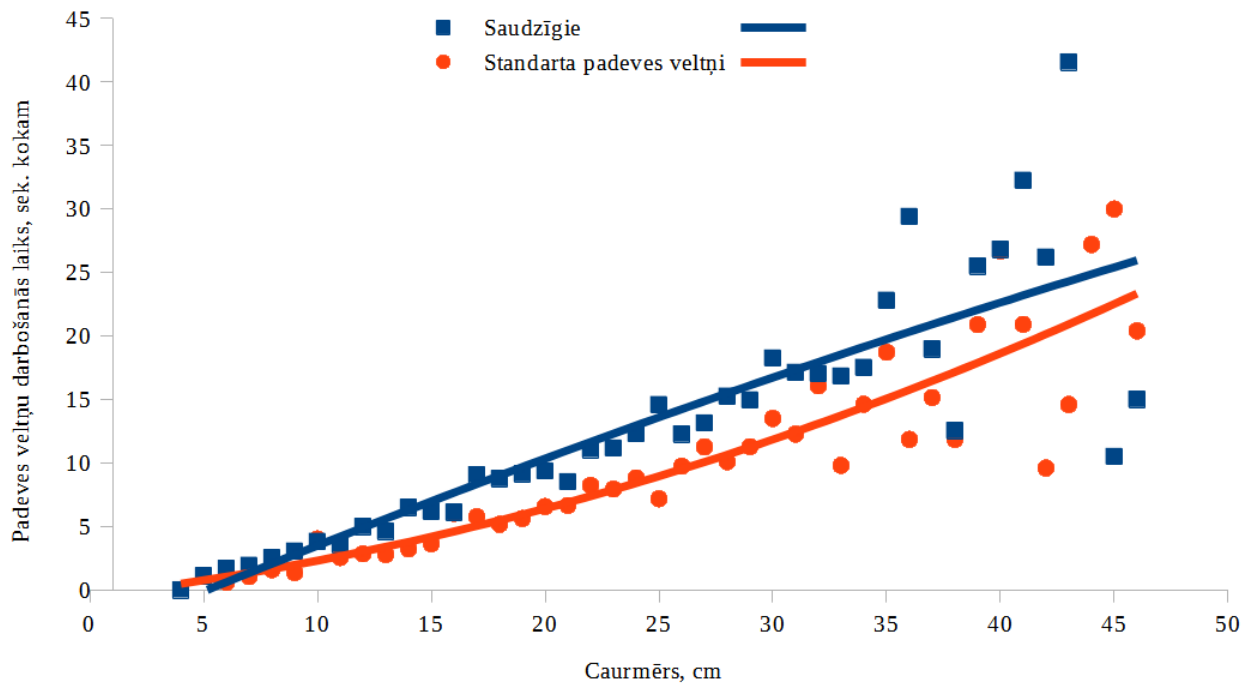
Padeves veltnu ietekme uz darba ražīgumu, 2016.-2017. gads

Pētījuma mērķis 2016. gadā bija novērtēt harvesteru darba galvas padeves veltnu tipa ietekmi uz degvielas patēriņu, darba ražīgumu un sagatavoto kokmateriālu (finierkluču, skuju koku zāģbaļķu un mietu) mehāniskajiem bojājumiem. Pētījumā salīdzināti padeves veltni ar kustīgām metāla plāksnēm uz gumijas amortizatoriem (*Moipu plate wheel rollers*, turpmāk tekstā – Moipu padeves veltni) un padeves veltni ar lielākām radzēm (turpmāk tekstā – standarta padeves veltni).

Degvielas patēriņš, izmantojot saudzīgos padeves veltnus, ir $18,0 \text{ L h}^{-1}$, savukārt ar parastajiem padeves veltniem degvielas patēriņš $16,8 \text{ L h}^{-1}$. Degvielas patēriņš rada būtisku ietekmi gan uz vidējām vērtībām ($t_{\text{Stat}}=2,6 > t_{\text{Crit}}=1,64$), gan arī uz datu izkliedi ($F=0,9 > F_{\text{Crit}}=0,8$). Aprēķini par degvielas patēriņu balstās uz harvesteru uzskaites sistēmu, kurā var saglabāt informāciju operatoru un meža mašīnas izmantošanas veidu griezumā.

Izmantojot saudzīgos padeves veltnus, ražīgums ir $27 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, savukārt ar standarta padeves veltniem – $33 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Atšķirība ir statistiski būtiska, ja zāģējamo koku caurmērs 1,3 m augstumā pārsniedz 20 cm. Tievāku koku apstrādē statistiski būtiskas atšķirības nav konstatētas Att. 47.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma



Att. 47: Padeves veltņu darbības laiks uz koku sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.

Atzarošanai un padeves veltņos patērētais laiks abiem padeves veltņu veidiem būtiski neatšķiras ($F=1,32 < F_{crit}=1,70$, $t_{Stat}=0,82 < t_{crit}=1,99$), tāpēc, iespējams, ka ražīguma atšķirības nosaka citi faktori, tajā skaitā mazāki harvestera tehniskās gatavības rādītāji.

Pētījumā secināts, ka padeves veltņi būtiski iespaido ražīgumu, zāģējot lielāko dimensiju kokus ($D_{1,3} > 20$ cm). Audžu vecuma un cirtes veida ietekmes raksturošanai nepieciešama papildus datu ieguve, salīdzinot Moipu un citu ražotāju padeves veltņus, kas paredzēti kopšanas cirtēm.

Ražošanas apstākļos, strādājot tikai ar saudzīgajiem padeves veltņiem, ražošanas izmaksas galvenajā cirtē izmēģinājos palielinās par $0,31 \text{ EUR m}^{-3}$, tomēr šim izmaksu samazinājumam var būt subjektīvi iemesli, kas saistīti ar harvestera tehnisko stāvokli.

Degvielas patēriņa izmaiņas, izmantojot Moipu padeves veltņus, ir būtiskas, tāpēc šī jautājuma izpētei papildus jāveic pētījumi laboratorijas apstākļos, mainot harvestera galvai spiedienu, lai atrastu optimālos iestatījumus, kas sniegtu iespēju samazināt patēriņu, nezaudējot ražīgumu.

Pētījuma mērķis 2017. gadā bija salīdzināt harvestera griezējgalvas standarta sānu padeves veltņus ar *Moipu Flex Standard* padeves veltņiem (turpmāk tekstā Moipu), novērtējot iespieduma dziļumu, atkarībā no cirtes veida, sugas un kokmateriālu veida. Pētījumā iegūti dati no krājas kopšanas cirtēm, kurās izstrāde veikta ar John Deere 1070E harvesteru, bet galvenajās cirtēs – ar John Deere 1270E harvesteru. Iespiedumu mērījumi veikti sekojošiem apaļo kokmateriālu veidiem – bērza lietkoksnei (FIB), kā arī priedes un egles lietkoksnei (10x14, 14x18 un 6x10). Izmēģinājumu objektu atlase veikta, izmantojot AS “Latvijas valsts meži” iesūtīto cirsma sarakstu sadalījumā pa mēnešiem, kuros plānots veikt mežizstrādi.

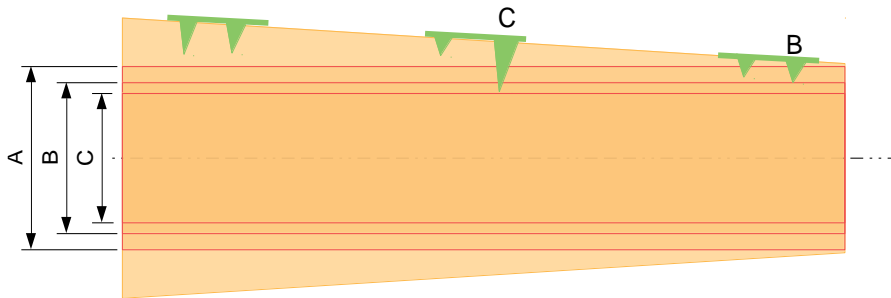
Pētījuma ietvaros veiktajos izmēģinājumos izmantoti *Moipu Flex Standard*⁴⁵ jeb Moipu padeves veltņi un standarta padeves veltņi. Kopšanas cirtē kokmateriālu nogriežņi sagatavoti izmantojot John Deere 1070E harvesteru (H412 darba galva), bet galvenajā cirtē - John Deere 1270E harvesteru (H480 darba galva). Uzmērīšanas darbi veikti priedes, egles un bērza apaļo kokmateriālu nogriežņiem, kas sagatavoti dažādās mežizstrādes sezonās. Saskaņā ar darba plānojumu, izmēģinājumā bija paredzēts uzmērīt 2400 kokmateriālu nogriežņus, kas sagatavoti ar Moipu padeves veltņiem (14 cirmsās), un 900 kokmateriālu nogriežņus, kas sagatavoti ar standarta padeves veltņiem (5 cirmsās), kopā uzmērot 3300 kokmateriālu nogriežņus (19 cirmsās). Apaļo kokmateriālu uzmērīšanu cirmsā veica LVMI Silava zinātniskais personāls. Dati iegūti Kurzemes reģionā. Izmēģinājumu objektu atlase veikta, izmantojot AS "Latvijas valsts meži" iesūtīto cirsmu sarakstu sadalījumā pa mēnešiem, kuros plānots veikt mežizstrādi. Cirsmu atlase veikta atbilstoši prognozējamiem kokmateriālu veidiem un to daudzumam, kā arī, vadoties no norādījumiem par harvestera aprīkojumu (izmantojamie padeves veltņi).

Parauglaukumi padeves veltņu iespaidumu uzmērīšanai vienmērīgi izvietoti gar tehnoloģisko koridoru vai pievešanas ceļu perpendikulāri, tā, lai visā garumā būtu iespējams ierīkot 10 parauglaukumus. Attālums no cirsmas malas līdz tuvākajam parauglaukumam ir 20 m. Parauglaukuma platums vienāds ar apaļo kokmateriālu lielāko garumu. Iespiedumu mērījumi veikti sekojošiem apaļo kokmateriālu veidiem – bērza lietkoksnei (FIB), kā arī priedes un egles lietkoksnei ((10x14), (14x18) un (6x10))

Pirms iespieduma dziļuma mērīšanas ar kalnu attīrīta mērījumu vieta, pāršķeļot bojājuma vietu uz pusēm un atsedzot vienu tās daļu. Iespiedumu mērījumus veica ar elektronisko bīdmēru. Pirms iespiedumu mērīšanas mērījuma vietā noņēma mizu, vienlaicīgi ar bīdmēru nosakot mizas biezumu katrā mērījuma vietā. Nogriežņu galos mērījumus veica 20 cm attālumā no gala plaknes.

Aprēķinu princips ir parādīts Att. 48, kur gaiši oranžā krāsā parādīts kokmateriālu nogrieznis ar zaļā krāsā iezīmētām iespiedumu mērījumu vietām un iespiedumiem, bet tumšāka oranžā krāsā parādīts lietkoksnes darba cilindrs, atkarībā no iespiedumu dziļuma. Nogrieznī bez iespiedumiem lietkoksnes darba cilindra diametrs pieņemts atbilstoši tievgaļa caurmēram (A variants); ja dziļākais iespiedums ir tievgalī, tad lietkoksnes darba cilindru aprēķina atbilstoši B variantam, bet, ja iespieduma dziļums attiecībā pret centru ir lielāks nogriežņa vidū vai resgalī, aprēķinu veic atbilstoši šim iespiedumam (C variants).

⁴⁵ <http://www.moipu.com/flex-standard1.html>



Att. 48: Ietekmes uz lietkoksnis darba cilindra tilpumu aprēķinu shematisks attēlojums.

Salīdzinot Moipu un standarta sānu padeves veltnus, galvenajā cirtē konstatētas būtiskas atšķirības gan pēc p -vērtības $p < 0,00$, gan arī pēc faktiskā Fišera vērtības $F = 9,85 > F_{crit} = 2,61$. Moipu padeves veltni mazāk ietekmē darba cilindru, tas skaidrojams ar sānu padeves veltna konstrukcijas atšķirībām, rezultātā tiek panākts lielāks atbalsta virsmas laukums, kas ļauj samazināt nepieciešamo spiedienu, ar kādu veltni piespiež pie koka stumbra.

Lai iegūtu vispārīgu priekšstatu par sānu un iekšējo padeves veltnu ietekmi uz iespiedumu dziļumu, datu kopa analizēta sadalījumā pa veltnu veidiem (saudzīgie un standarta). Salīdzinot saudzīgo padeves veltnu iespiedumus, konstatētas būtiskas atšķirības ($p = 0,03$) iekšējo un sānu padeves veltnu radīto iespiedumu dziļumā, 26% gadījumu konstatēts, ka iekšējie padeves veltni radījuši dziļākus iespiedumus nekā sānu padeves veltni. Salīdzinot standarta padeves veltnu radītos iespiedumus, būtiskas atšķirības ($p = 0,06$) starp iespiedumiem, ko radījuši iekšējie un sānu padeves veltni konstatētas netika, vien 13% gadījumu iekšējā padeves veltna radītie iespiedumi ir dziļāki par sānu padeves veltnu radītajiem iespiedumiem. Vērtējot visu velkošo padeves veltnu ietekmi, secināts, ka būtiski seklāki iespiedumi sagatavojamajos apaļajos kokmateriālos abos pētāmajos cirtes veidos ir variantā, kad izmantoti saudzīgie padeves veltni.

Būtisks rādītājs, kas raksturo padeves veltnu ietekmi, ir sagatavoto nogriežņu nomizotā laukuma īpatsvars. Galvenajā cirtē konstatēts, ka, strādājot ar Moipu padeves veltniem, mērījumu vietu skaitu ar ražošanas procesā norautu mizu ir par 1,7 reizēm mazāks.

Krājas kopšanas cirtē konstatēts, ka, strādājot ar Moipu padeves veltniem, mērījumu vietu skaits ar ražošanas procesā norautu mizu ir būtiski mazāks vasaras sezonā, bet rudenī iegūtajiem datiem ir pārāk liela nenoteiktība, lai raksturotu padeves veltnu ietekmi.

Salīdzinot mežizstrādes ražīguma rādītājus skujkoku galvenās cirtes cismās, strādājot ar standarta un Moipu padeves veltniem, apstiprinājās 2016. gada pētījumos gūtā atziņa, ka Moipu padeves veltnu izmantošana nedaudz samazina harvesteru ražīgumu. Vidējā nozāģētā koka caurmērs 1,3 cm augstumā izmēģinājumos bija 16 cm. Zāģējot šādus kokus ar harvesteru, kas aprīkots ar standarta padeves veltniem, ražīgums bija $20,3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, bet, strādājot ar Moipu padeves veltniem, $17,4 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Ražīguma atšķirības saglabājas, neatkarīgi no zāģējamo koku dimensijām. Jāņem vērā, ka pētījuma ietvaros veiktajos izmēģinājumos ražīguma rādītāji iegūti, veicot dažādu viena modeļa harvesteru darba laika uzskaiti, tāpēc šie rezultāti var raksturot arī operatoru prasmju un

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

mašīnu tehniskā stāvokļa atšķirības, ne tikai padeves veltnu ietekmi. Tomēr iegūtos datus apstiprina arī Zviedrijā veikto pētījumu rezultāti – tajos ražīguma atšķirība, izmantojot standarta un Moipu padeves veltnus, ir vidēji 2%.

Pētījuma rezultāti iekļauti 2016., 2018. un 2019. gadā sagatavotajos pārskatos⁴⁶, kā arī, kopsavilkuma veidā, 2016., 2018. un 2019. gada starpziņojumā un etapa pārskatā⁴⁷.

Secinājumi: ražojot bērza lietkoksnī (FIB) galvenajā cirtē, neatkarīgi no mežizstrādes sezonas, būtiski dziļākus iespaidumus rada standarta padeves veltni. Salīdzinot sānu un centrālā padeves veltna ietekmi, būtiskas atšķirības vērojamas ziemā, izmantojot standarta padeves veltnus, un vasarā, izmantojot Moipu padeves veltnus.

Ražojot egles lietkoksnī (14x18 un 10x14), būtiski seklākus iespaidumus Moipu padeves veltni rada vasarā. Salīdzinot centrālā padeves veltna ietekmi uz iespaidumu dziļumu, būtiska ietekme, izmantojot Moipu padeves veltnus, konstatēta visās sezonās, bet, izmantojot standarta padeves veltnus – vasarā.

Ražojot priedes lietkoksnī (14x18), būtiski seklākus iespaidumus Moipu padeves veltni rada gan vasarā, gan rudenī. Izmantojot Moipu padeves veltnus, centrālais padeves veltnis būtiski palielina iespaidumu dziļumu 14x18 nogriežņos rudenī; savukārt, ražojot 10x14 nogriežņus, centrālais padeves veltnis būtiski palielina iespaidumu dziļumu gan vasarā, gan rudenī.

Moipu padeves veltnu izmantošana rada mazāku ietekmi uz kokmateriālu darba cilindru, radot seklākus iespaidumus, tomēr Moipu padeves veltnu pielietošanas pozitīvos aspektus lielā mērā mazina iekšējo padeves veltnu radītie mehāniskie bojājumi (ziemā galvenajā cirtē – FIB, egles 14x18 un 10x14 nogriežņiem, kā arī priedes 14x18 nogriežņiem, bet vasarā krājas kopšanas un galvenajā cirtē egles 10x14 nogriežņiem), kas atsevišķiem kokmateriālu veidiem ir pat lielāki (par līdz pat 57%), nekā, izmantojot standarta padeves veltnus.

Rekomendācijas: saskaņā ar pētījuma rezultātiem Moipu padeves veltni var būtiski uzlabot kokmateriālu kvalitāti, tāpēc šādu padeves veltnu izmantošana ir rekomendējama mežsaimniecības praksē, vienlaicīgi nodrošinot operatoru apmācību, lai neatbilstošu darba galvas uzstādījumu izvēle netraucētu izmantot saudzīgo padeves veltnu priekšrocības. Izvērstas rekomendācijas iesniegtas ar pētījuma pārskatiem.

Lai pilnībā izmantotu ieguvumus, ko rada Moipu padeves veltni, ir jāizstrādā risinājumi iekšējā padeves veltna radīto bojājumu samazināšanai, tajā skaitā jānovērtē spiediena uzstādījumu koriģēšanas iespējas, atzarošanas ātruma izmaiņas, iekšējā padeves veltna darba virsmas faktūras un formas izmaiņas, dažāda tipa harvesteru griezējgalvu,

⁴⁶ <https://drive.google.com/file/d/1itdp4cakHanYZYixYjrVZoBV7B07070R/view?usp=sharing>;
<https://drive.google.com/file/d/1-Ffnyq42r8g9BHodvpsnkvTvePkLdShb/view?usp=sharing>;
<https://drive.google.com/file/d/1fVGi3jxU0SqpqIUuK715FjiJFVre6n1M/view?usp=sharing>.

⁴⁷ https://drive.google.com/file/d/1whdJxSdIP2LTY0ILOw_wzsdM59gtlQrv/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/1qwGKb9QJpqiYh2NS6oBU_6qKY9ZX4FN/view?usp=sharing;
<https://drive.google.com/file/d/17wO11xDP9qU-lmBChID6Cq4kgP2KL-EN/view?usp=sharing>;
<https://drive.google.com/file/d/1FUU-lHuR3fZPLjKIEW3xbWaotGCHAVH/view?usp=sharing>;
<https://drive.google.com/file/d/10JD-CR3ulUeU8Up3zHneRc-x5G92febO/view?usp=sharing>;
https://drive.google.com/file/d/1I8Y90Boe7GWeuD7DW44K_lzWaux01JdH/view?usp=sharing.

piemēram, ar lentveida padeves veltniem, pielietošana, padeves veltnu nolietojuma ietekme un citi faktori. Būtiskus zaudējumus var radīt slēptie bojājumi, ko rada padeves veltnu iespaidumi, tāpēc, paplašinot pētījumu programmu, ir jānovērtē dažādu padeves veltnu iespaidumu ietekme uz koksnes mehāniskajām īpašībām, testējot ražošanas apstākļos sagatavotus koksnes produktus. Vairāki mežizstrādes uzņēmumi Latvijā jau izmanto Moipu padeves veltnus, tāpēc ir lietderīgi veikt padziļinātu ražīguma, degvielas patēriņa un produkcijas kvalitātes monitoringu ražošanas apstākļos, izmantojot harvesteru uzskaites sistēmās uzkrātos datus. Analīzē būtiski iekļaut arī operatora pieredzes raksturojumu un padeves veltnu nolietojuma datus, jo, saskaņā ar Somijā veikto pētījumu rezultātiem, Moipu padeves veltnu sniegums strauji pasliktinās pēc 2000 darba stundām.

Pašizmaksas modeļa izstrādāšana harvesteram ar Bracke C.16 darba galvu, 2018.-2019. gads

Pētījuma mērķis ir izstrādāt pašizmaksas modeli harvesteram ar Bracke C 16 darba galvu (pameža zāgēšanai pirms galvenās izmantošanas cirtes – darba uzdevuma īstenošanai izmantojami pameža zāgēšanas darba uzdevumā iegūtie dati, grāvju trasēm un jaunaudžu kopšanas cirtēm), kā arī novērtēt mašinizētās jaunaudžu kopšanas ražīguma uzlabošanas un paliekošo koku bojājumu samazināšanas risinājumus (greiferi ar pacelšanas mehānismu).

Jaunaudžu kopšanas cirtē tehnoloģiskie koridori ierīkoti atbilstoši meža atjaunošanas veidam – ja audze atjaunojusies dabiski, koridori ierīkoti pa garāko malu. Mākslīgi atjaunotās audzēs, kur pirms atjaunošanas veikta augsnes sagatavošana, koridori ierīkoti perpendikulāri stādītajām rindām.

Kopšanas darbus harvesters sāk ar koku un krūmu, kas atrodas uz tehnoloģiskā koridora, nozāgēšanas 4 m platā joslā ar maksimālo strēles izlīci 5 m, novietojot nozāgēto koksni kokaudzes atvērumos perpendikulāri braukšanas virzienam (Att. 49).

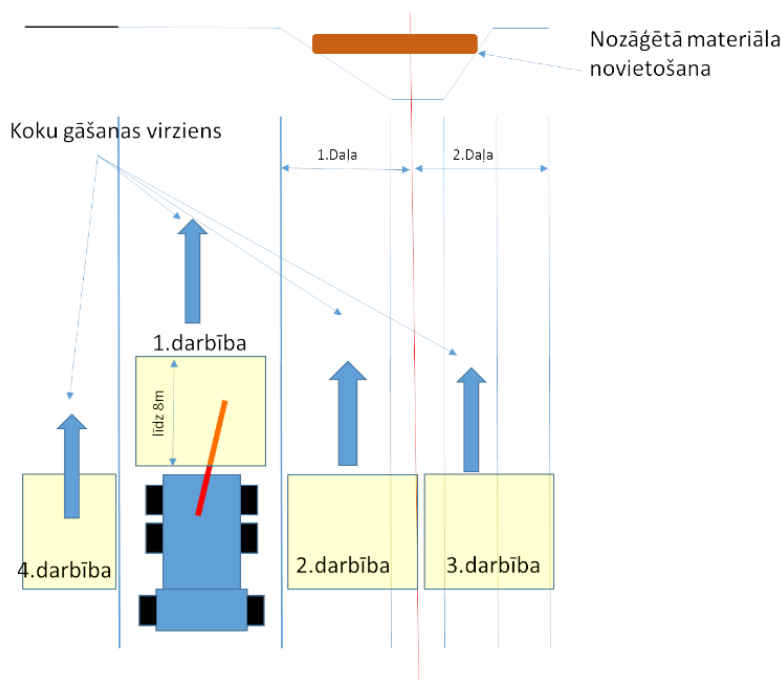
Pēc koridora izzāgēšanas harvesters sāk darbus 1. sektorā, kurš plānots perpendikulāri harvestera pārvietošanās virzienam un orientējoši atrodas starp kabīni un aizmugurējo riteni. Sektora platums atbilst harvestera darba galvas (Bracke C16.b) platumam.

Uzsākot zāgēšanu sektorā, to turpina līdz brīdim, kamēr nozāgētā sektora garums vienāds ar garāko nozāgēto koku vai maksimālo strēles izlīci (10 m). Sektora zāgēšanas laikā, sniedzoties izmanto vairāku koku satveršanas funkcija. Nozāgētos kokus novieto sektorā tā, lai resgaļi atrastos perpendikulāri harvestera pārvietošanās virzienam 1,5 m no riteņa. Ja ar pirmo sniegšanās reizi nav pietiekami izkopta sektora labā mala, lai kopšanu turpinātu, atkārtoti darba ciklu no vietas, kurā pabeigts iepriekšējais darba cikls. Darbs cikls noslēdzas, kad ir izkopta sektora labā mala, vai darba galva nespēj satvert vairāk kokus vienā darba ciklā (sākas stumbru izkrišana). Pēc sektora labās puses izkopšanas identiski atkārtoti darbības kreisajā pusē.

Pēc kopšanas darbu pabeigšanas sektorā vajadzības gadījumā, ja kokmateriālu garums pārsniedz 3-4 m, veic sagatavoto kokmateriālu pārzāgēšanu. Pēc pirmā sektora

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

perpendikulāri pārvietošanās virzienam, ja to pieļauj blakus esošā audze. Ja tas nav iespējams un koku gāšanas virziens sakrīt ar harvestera pārvietošanās virzienu, nozāģētais materiāls jāpārceļ grāvī perpendikulāri grāvja gultnei (Att. 50).



Att. 50: Grāvju trašu apauguma novākšanā izmantotās darba metodes shematisks attēlojums.

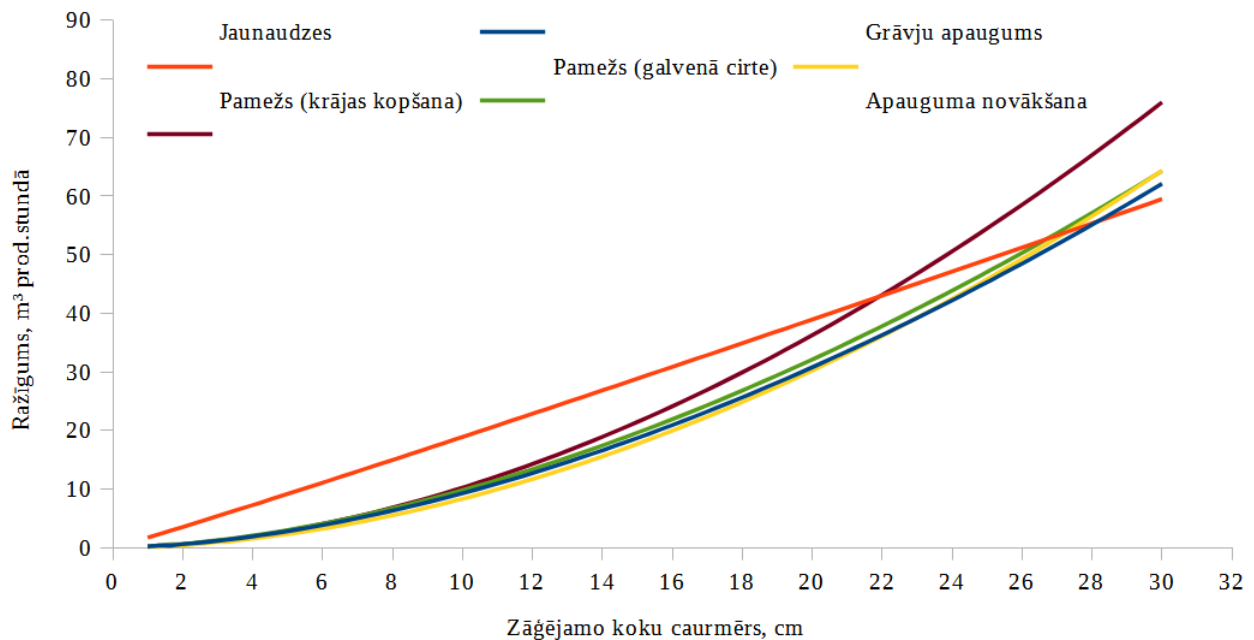
Kokmateriālu sagatavošanā labākie ražīguma rādītāji (vidēji 14,9 m³ produktīvajā stundā pie vidējā stumbra tilpuma 0,06 m³) konstatēti grāvju trašu apauguma novākšanā. Salīdzinoši sliktāki ražīguma rādītāji (1,4 m³ produktīvajā stundā pie vidējā stumbra tilpuma 0,003 m³) konstatēti, zāģējot pamežu pirms galvenās izmantošanas cirtes. Atšķirības ražīguma rādītājos skaidrojamas ar dažādām nozāģēto stumbru dimensijām – izmēģinājumos, kur sasniegti labākie ražīguma rādītāji, ir mazākais par 4 cm tievāko koku īpatsvars.

Pakāpes regresijas vienādojums (Tab. 1) var izskaidrot 98% (jaunaudžu kopšana), 95% (pameža zāģēšana pirms galvenās izmantošanas cirtes), 94% (pameža zāģēšana pirms galvenās izmantošanas cirtes), 84% (grāvju trašu apauguma novākšana) un 95% (apauguma novākšana) no ražīguma rādītāju izmaiņām dažādos ciršu veidos (Att. 51).

Tab. 1: Cirtes veidam raksturīgie regresijas vienādojumi

Nr.p.k.	Cirtes veids	Regresijas vienādojums	Determinācijas koeficients (R ²)
1.	Jaunaudžu kopšana	$f(x)=0,1716 x^{1,7320}$	0,9802
2.	Grāvju trašu apaugums	$f(x)=1,7014 x^{1,0449}$	0,8415
3.	Pameža zāģēšana (galvenās izmantošanas cirte)	$f(x)=0,1139 x^{1,8629}$	0,9539
4.	Pameža zāģēšana (krājas kopšanas cirte)	$f(x)=0,1895 x^{1,7130}$	0,9380
5.	Apauguma novākšana	$f(x)=0,1524 x^{1,8264}$	0,9496

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma



Att. 51: Kokmateriālu sagatavošanas vidējo ražīguma rādītāju salīdzinājums dažādiem ciršu veidiem sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.

Biomassas pievešanai jaunaudžu kopšanas cirtēs un grāvju trašu apauguma novākšanā izmantots forvarders John Deere 810, kas aprīkots ar standarta greiferi (1. darba metode) un greiferi ar pacelšanas mehānismu (2. darba metode). Vidēji 1 kokmateriālu kravas iekraušanai un izkraušanai tērētas, attiecīgi, 11,4 un 3,4 min., bet braukšanai – 8,4 min. Produktīvajā stundā vidēji pievestas 2,6 kravas (vidējā kravas 5,0 m³), vidējais pievešanas attālums 394 m, vidējais forvardera braukšanas ātrums 93,5 m min.⁻¹. Vidēji 1 m³ koksnes biokurināmā iekraušanai un izkraušanai tērētas, attiecīgi, 1,9 un 0,7 min., bet braukšanai – 1,7 min. Vidēji produktīvajā stundā pievesti 13 m³ koksnes.

Izmantojot standarta greiferi, iegūti labāki ražīguma rādītāji, nekā izmantojot greiferi ar pacelšanas mehānismu, tomēr šis rādītājs nav objektīvs, jo pacelšanas mehānisms nebija uzstādīts pareizi un vismaz pusi no izmēģinājumu laika nebija pilnvērtīgi izmantojams, un arī pēc pacelšanas mehānisma pareizas uzstādīšanas operatori izvairījās no tā izmantošanas. Izmēģinājumi jāturpina ražošanas apstākļos, nodrošinot operatoriem iespēju pielāgoties pacelšanas funkcijas izmantošanai, kas ļautu samazināt manipulatora pārvietošanas laiku, satverot kokmateriālus aiz gala, nevis pa vidu, kā ar standarta greiferi.

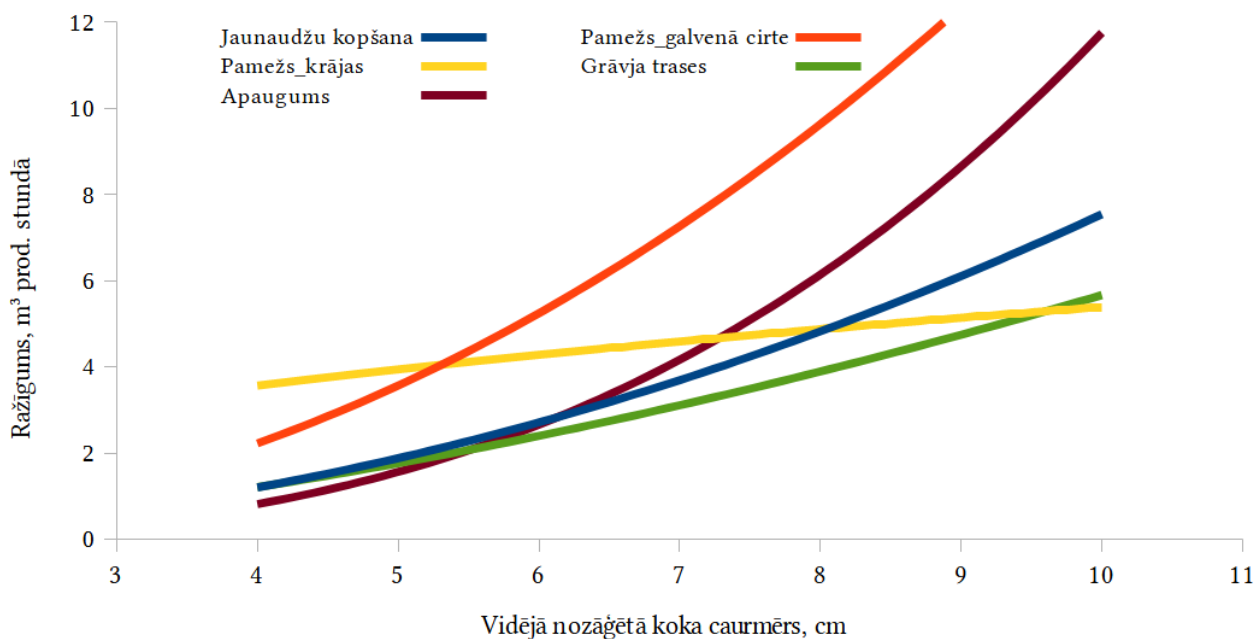
Ražošanas izmaksu aprēķiniem iegūti ražīgumu raksturojošie regresijas funkcijas pakāpes vienādojumi dažādiem cirtes veidiem, ja vidējā nozāgētā koka D_{1,3} ir robežās no 4 līdz 10 cm, doti Tab. 2 un grafiski parādīti Att. 36. Šie rezultāti uzskatāmi parāda, ka galvenais nosacījums izmaksu samazināšanai ir izvairīšanās no mazo kociņu zāgēšanas un apstrādes, tādējādi palielinot vidējā nozāgētā koka caurmēru.

Tab. 2: Modelētie cirtes veidam raksturīgi regresijas vienādojumi

Nr.p.k.	Cirtes veids	Regresijas vienādojums	Determinācijas koeficients (R ²)
1.	Jaunaudžu kopšana	$f(x)=0,075197 x^2,001354$	0,993124
2.	Grāvju trašu apaugums	$f(x)=0,117983 x^1,681593$	0,999655

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Nr.p.k.	Cirtes veids	Regresijas vienādojums	Determinācijas koeficients (R ²)
3.	Pameža zāģēšana (galvenās izmantošanas cirte)	$f(x)=0,119103 x^2,112562$	0,737823
4.	Pameža zāģēšana (krājas kopšanas cirte)	$f(x)=1,908495 x^0,450973$	0,499463
5.	Apauguma novākšana	$f(x)=0,014516 x^2,908436$	0,929095



Att. 52: Modelēto vidējo kokmateriālu sagatavošanas ražīguma rādītāju un vidējā nozāģētā koka caurmēra krūšu augstumā sakarība dažādiem cirtes veidiem.

Pētījuma rezultāti iekļauti 2020. gadā sagatavotajā pārskatā⁴⁹, kā arī, kopsavilkuma veidā, 2019. un 2020. gada starpziņojumā un etapa pārskatā⁵⁰.

Secinājumi: pētījumā secināts, ka būtiskākie faktori, kas ietekmē harvesteru ražīgumu, ir mazas zāģējamo koku dimensijas un liels audzes biezums, kas pasliktina redzamību un palielina lieko kustību īpatsvaru. Lai palielinātu darba laika izmantošanas efektivitāti biokurināmā sagatavošanas un pievešanas darbos, jāizvairās no mazu dimensiju koku ($D_{1,3} < 4$ cm) zāģēšanas un vākšanas. Ir būtiski šo jautājumu pārrunāt ne tikai ar harvesteru operatoriem, bet arī ar mežizstrādes meistariem (pakalpojumu sniedzēja un pircēja pusē) un personām, kas veic kvalitātes kontroli, lai veidotu vienotu izpratni par to, ka mazu dimensiju koku un krūmu atstāšana nerada negatīvu ietekmi uz paliekošās audzes attīstību un uzlabo harvesteru ražīgumu.

Izmēģinājumos jaunaudžu kopšanas cirtē vidējā nozāģētā koka krāja bija būtiski mazāka, nekā audzes vidējā koka krāja, kas nozīmē, ka izmēģinājumos iesaistītie operatori, neņemot vērā izmantotās darba metodes prasības, zāģēja galvenokārt mazākos kokus un krūmus, kas nekonkurē ar valdaudzes kokiem, lielāko daļu darba laika tērējot nelietderīgi.

⁴⁹ https://drive.google.com/file/d/1sIH1w_QAIpuS_FgGP9K-4w-2eThQDK-S/view?usp=sharing.

⁵⁰ <https://drive.google.com/file/d/10JD-CR3ulUeU8Up3zHneRc-x5G92febO/view?usp=sharing>;
https://drive.google.com/file/d/1I8Y90Boe7GWeuD7DW44K_lzWaux01JdH/view?usp=sharing;
<https://drive.google.com/file/d/10eww7N94g61yagcBW2qHhaFKNNZrTsNK/view?usp=sharing>.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Saskaņā ar ražošanas izmaksu aprēķinu modeļa rezultātiem, mašinizēta biokurināmā ieguve jaunaudžu kopšanas cirtēs, atbilstoši izmantotajiem pieņēmumiem un iegūtajiem ražīguma rādītājiem, nav ekonomiski rentabla. Vidējie ražīguma rādītāji pārsniedz 5 m^3 produktīvajā stundā tikai tad, ja zāģējamā koka $D_{1,3}$ ir vismaz 8 cm vai koka stumbra tilpums ir lielāks par $0,03 \text{ m}^3$. Saskaņā ar ražošanas izmaksu modeļa aprēķiniem, pie nosacījuma, ka šķeldu tirgus cena nav lielāka par $10 \text{ EUR ber. m}^{-3}$, vidējā audzē nozāģētā koka, neskaitot pameža krūmus, $D_{1,3}$ būtu jābūt ne mazākam kā 10 cm (vidējās enerģētiskās koksnes sagatavošanas izmaksas $4 \text{ EUR ber. m}^{-3}$).

Pameža zāģēšanā pirms galvenās cirtes vidēji produktīvajā stundā apstrādāti 444 koki, sagatavojot vidēji $1,4 \text{ m}^3$ koksnes biokurināmā (vidējā nozāģētā koka $D_{1,3} = 2,6 \text{ cm}$, jeb $0,003 \text{ m}^3$). Pameža zāģēšanā pirms galvenās izmantošanas cirtes Bracke C.16 darba galvas izmantošana rekomendējama (šķeldu tirgus cena nav lielāka par $10 \text{ EUR ber. m}^{-3}$), ja vidējā nozāģētā pameža koka $D_{1,3} > 6 \text{ cm}$ (vidējās enerģētiskās koksnes sagatavošanas izmaksas $4 \text{ EUR ber. m}^{-3}$). Tas nozīmē, ka vairumā gadījumu pameža zāģēšana būs nerentabla, ja vien audzē nav būtisks bojātu koku īpatsvars, ko paredzēts izmantot malkas sagatavošanai.

Pameža zāģēšanā pirms krājas kopšanas cirtes vidēji produktīvajā stundā apstrādāti 346 koki, sagatavojot vidēji $6,9 \text{ m}^3$ kokmateriālu (vidējais nozāģētā koka $D_{1,3} = 5 \text{ cm}$ jeb $0,02 \text{ m}^3$). Saskaņā ar ražošanas izmaksu aprēķinu modeļa rezultātiem, biokurināmā ieguve mašinizētā pameža zāģēšanā pirms krājas kopšanas cirtes nav ekonomiski pamatota, un krājas kopšanas cirtēs pameža zāģēšana ar Bracke C.16 darba galvu nav rekomendējama, jo tā palielina mehāniski bojāto paliekošo koku īpatsvaru.

Grāvju trašu apauguma novākšanā vidēji produktīvajā stundā apstrādāti 265 koki, sagatavojot vidēji $14,9 \text{ m}^3$ koksnes biokurināmā (vidējais nozāģētais koks $5,9 \text{ cm}$ jeb $0,06 \text{ m}^3$). Nozāģētā koka caurmēram sasniedzot 5 cm , ražīgums grāvju trašu apaugumā ir 2 reizes lielāks, nekā jaunaudžu kopšanas cirtēs. Lai biokurināmā ražošana no grāvju trašu apauguma būtu ekonomiski rentabla (šķeldu tirgus cena nav lielāka par $10 \text{ EUR ber. m}^{-3}$), apauguma novākšanai paredzētajās gravju trasēs vidējā nozāģētā koka $D_{1,3} > 10 \text{ cm}$ (vidējās enerģētiskās koksnes sagatavošanas izmaksas $4 \text{ EUR ber. m}^{-3}$). Būtisks ražīguma palielinājums nav iespējams, ja darba uzdevumā saglabājas nosacījums nozāģēt visus kokus un krūmus no grāvja.

Apauguma novākšanā lauksaimniecībā neizmantotās zemēs vidēji produktīvajā stundā apstrādāti 419 koki, sagatavojot vidēji $3,4 \text{ m}^3$ kokmateriālu (vidējais nozāģētais koks $4,1 \text{ cm}$ jeb $0,01 \text{ m}^3$). Saskaņā ar ražošanas izmaksu aprēķinu modeļa rezultātiem, biokurināmā ražošana var būt ekonomiski rentabla (šķeldu tirgus cena nav lielāka par $10 \text{ EUR ber. m}^{-3}$), ja apauguma novākšanā vidējā nozāģētā koka $D_{1,3} > 8 \text{ cm}$ (vidējās enerģētiskās koksnes sagatavošanas izmaksas $4 \text{ EUR ber. m}^{-3}$).

Grāvju trašu apauguma novākšanā stundas laikā pievests aptuveni 2 reizes lielāks koksnes biokurināmā daudzums, nekā jaunaudžu kopšanas cirtē, kas lielā mērā saistīts ar gandrīz 2 reizes lielāku vidējās kravas lielumu. Lielākas kravas ļāva veidot lielākas zāģējamo koku dimensijas un labāki pievešanas apstākļi.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Jaunaudžu kopšanā un koksnes biokurināmā pievešanā radīti bojājumi 7 % paliekošo koku, kas raksturojams kā liels bojāto koku īpatsvars. Šis rādītājs ir viens no kopšanas kvalitātes raksturlielumiem, ko būtiski ietekmē zāgējamo koku dimensijas un audzes sākotnējais biežums. Viens no risinājumiem, lai izvairītos no paliekošo koku bojāšanas, ir daļēja pameža koku un krūmu saglabāšana, kas amortizē strēles kustības un samazinātu paliekošo koku bojāšanas risku.

Bracke C.16 darba galvas izmantošana var būt rentabla, ja ar to aprīko lietotu tehniku. Lai sasniegtu būtiski labākus ražīguma rādītājus, svarīgi izvēlēties darba metodi, kas paredz nezāgēt dimensijās mazus kokus ($D_{1,3} < 4$ cm). Krājas kopšanas cirtē pameža zāgēšana ar Bracke C.16 nav ieteicama, jo paliekošajā audzē būtiski palielinās mehāniski bojāto koku īpatsvars, savukārt, veicot pameža zāgēšanu pirms galvenās izmantošanas cirtes, šī problēma nav aktuāla.

Izmantojot greiferi ar pacelšanas mehānismu (2.darba metode), papildus grūtības radīja nepareiza pacelšanas mehānisma montāža izmēģinājumu sākumā, kā rezultātā būtiski palielinājās remontiem un citām darbībām tērētais laiks. Izmēģinājumi ar pacelšanas mehānismu jāturpina ražošanas apstākļos, nodrošinot operatoriem iespēju pielāgoties šīs funkcijas izmantošanai, satverot kokmateriālus tuvāk resgalim, tādējādi samazinot manipulatora pārvietošanas laiku.

Biokurināmā sagatavošana krājas kopšanas cirtēs no mežizstrādes atliekām Sl, Mr, Mrs, Ln un Dm meža tipos, 2018.-2020. gads

Pētījuma mērķis ir aprobēt darba metodi mežizstrādes atlieku vākšanai krājas kopšanas cirtēs, kā arī novērtēt mežizstrādes atlieku sagatavošanas pašizmaksu un vai biokurināmā sagatavošana nesamazina mežizstrādes ražīgumu kopšanas cirtē, attiecīgi, vai uzņēmumiem, kas gatavo biokurināmo, nav nepieciešamas piemaksas. Pētījumā salīdzinātas 3 darba metodes:

- 1) jeb standarta metode – mežizstrādes atliekas tiek ieklātas tehnoloģiskajos koridoros;
- 2) jeb sīkkoku metode – daļēji atzarotā sīkkoksne savākta biokurināmā sagatavošanai;
- 3) jeb mežizstrādes atlieku metode – harvestera darba sektors sadalīts 2 zonās un mežizstrādes atliekas vāktas tālākajā zonā (6-10 m no tehnoloģiskā koridora ass), bet tuvākajā zonā mežizstrādes atliekas atstāj izklaidus vai ieklāj tehnoloģiskajā koridorā.

Standarta mežizstrāde (1. metode). Mežizstrādes atliekas ieklāj tehnoloģiskajā koridorā. Koki gāzti 45° leņķī vai perpendikulāri pret koridora garenasi. Operators, nemainot harvestera darba pozīciju, vispirms nozāgē kokus, kas atrodas ne tālāk par 5 m no harvestera tehnoloģiskā koridora robežās virzienā uz priekšu. Lai operatoram atvieglotu atstājamo koku izvēli, harvestera darba pozīciju ieteicams mainīt 0,3-1 m gariem pārbraucieniem. Kokus uz tehnoloģiskā koridora gāž perpendikulāri vai 45° leņķī. Harvestera darba slejas platums labajā vai kreisajā pusē no harvestera, mērot no

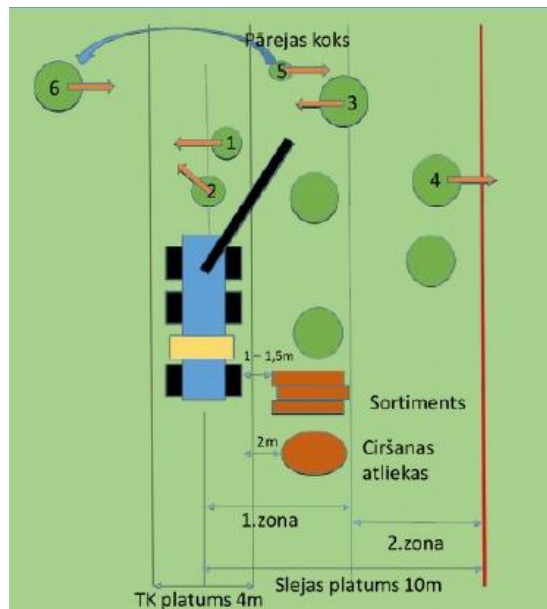
Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

iedomātas tehnoloģiskā koridora ass līnijas, ir 10 m. Šo sleju sadala divās daļās. Pirmā daļa ir līdz 6 m no tehnoloģiskā koridora garenass. Šajā daļā kokus gāž virzienā uz tehnoloģisko koridoru, zarus atstājot uz tehnoloģiskā koridora. Otrajā daļā, 6-10 m no tehnoloģiskā koridora garenass, kokus gāž pretējā virzienā, veidojot zaru kaudzes, kuras pēc tam ar harvesteru galvu ievieto tehnoloģiskajā koridorā.

Sīkkoku vākšana (2. metode). Ciršanas atliekas un daļēji atzaroto sīkkokus, kas nav piemēroti sortimentu gatavošanai, savāc biokurināmā sagatavošanai. Kokus uz tehnoloģiskā koridora gāž paralēli tā garenasij, 45° leņķī vai perpendikulāri. Kokus atzaro uz tehnoloģiskā koridora no galotnes veidojot daļēji atzarotu sīkkoksni ar caurmēru zāģējuma vietā apmēram 1 cm, garumu – 2-4 m. Šādu sīkkoksni gatavo pēc darba uzdevumā esošā mazākā sortimenta caurmēra. Piemēram, ja mazākais darba uzdevumā esošais sortiments ir malka ar caurmēru līdz 7 cm, tad no 7 līdz 1 cm gatavo daļēji atzaroto sīkkoksni. Harvesteru darba pozīciju maiņa notiek līdzīgi kā pirmajā darba metodē. Harvesteru darba slejas platums no tehnoloģiskā koridora ass līnijas, ir 10 m. Šo sleju sadala 2 zonās. Pirmā daļa ir līdz 6 m no tehnoloģiskā koridora garenass. Šajā zonā kokus gāž virzienā prom no harvesteru un apstrādā otrajā zonā (6-10 m no tehnoloģiskā koridora garenass) – virzienā pret harvesteru. Kokus, kas nogāzti šajā joslā, apstrādā turpat.

Mežizstrādes atlieku vākšana (3. metode). Kokus, kas atrodas uz tehnoloģiskā koridora, apstrādā līdzīgi kā pirmajās 2 metodēs. Vispirms nozāģē kokus kas atrodas uz tehnoloģiskā koridora priekša harvesteram, taču ne tālāk kā 5 m robežās. Harvesteru pārvietošanās pa cirsmu notiek, tāpat kā 1. metodē. Kad uz tehnoloģiskā koridora nozāģēti esošie koki darbs jāplāno labajā, vai kreisajā traktora pusē veidojot darba zonu. To veido perpendikulāri harvesteru kustības virzienam. Slejas platums no tehnoloģiskā koridora garenass 10 m. Pēc tam šo sleju sadala 2 zonās tāpat kā pirmajās divās darba metodēs. Pirmajā zonā kokus tehnoloģiskā koridora virzienā ciršanas atliekas paredzot atstāt uz tehnoloģiska koridora. Otrajā zonā kokus gāž prom no harvesteru, veidojot ciršanas atlieku kaudzes.

Visās darba metodēs pieļaujama attālums no harvesteru riepās līdz sortimentu joslai ir 1-1,5 m, bet attālums no riepās līdz ciršanas atlieku kaudzei ir vismaz 2 m (Att. 53).



Att. 53: Darba metožu grafisks attēlojums.

Pētījumā iekļautās darba metodes vērtētas ar šādiem kritērijiem: harvestera operatora darba ražīgums - dažādu dimensiju koku zāģēšanas un apstrādes ražīgums; pievešanas ražīgums; paliekošo koku bojājumi un augsnes bojājumi; kokmateriālu un biokurināmā pašizmaksa.

Pētījuma ietvaros veikta harvestera un forvardera darba laika uzskaitē, novērtēti mežaudžu taksācijas rādītāji pirms un pēc mežizstrādes veikšanas, uzskaitīti paliekošo koku bojājumi, kā arī aprēķināta mežizstrādes darbu pašizmaksa.

Apaļo kokmateriālu un mežizstrādes atlieku sagatavošanai pētījumā izmantots harvesters Ponsse Fox 8W, kas aprīkots ar H6 darba galvu. Apaļo kokmateriālu pievešanai izmantots forvarders Ponsse Buffalo 8W, kas aprīkots ar standarta kausu kokmateriālu satveršanai. Biokurināmā pievešanai izmantots forvarders Komatsu 855, kas aprīkots ar kausu ciršanas atlieku satveršanai (Att. 54).



Att. 54: forvarders Komatsu 855⁵¹.

Harvestera operatora ražīgums, strādājot ar 3. darba metodi (mežizstrādes atlieku sagatavošana no tālākās zonas), būtiski neatšķiras no ražīguma rādītājiem, salīdzinājumā ar 1. metodi, iekļājot atliekas ceļos vai atstājot izklaidus. Vidējais harvestera operatora ražīgums, izmantojot 1. darba metodi, ir $21,6 \text{ m}^3$ apaļo kokmateriālu produktīvajā darba stundā, 2. metodi – $17,1 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$; bet 3. metodi – $22,3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

Pētījuma rezultāti iekļauti 2019. gadā sagatavotajā un 2020. gadā papildinātajā pārskatā⁵², kā arī, kopsavilkuma veidā, 2018., 2019. un 2020. gada starpziņojumā un etapa pārskatā⁵³.

Secinājumi: pievešanā konstatētas būtiskas atšķirības, kas nav tieši saistītas ar biokurināmā sagatavošanu, bet var būtiski ietekmēt kokmateriālu pievešanas pašizmaksu. Ja, pasliktinoties pievešanas apstākļiem, izvešanai sagatavotās mežizstrādes atliekas ir jāiekļāj ceļos, pievešanas ražīguma rādītāji būtiski samazinās. Labos pievešanas apstākļos, kad mežizstrādes atliekas nav jāklāj ceļos, kokmateriālu pievešanas ražīgums būtiski neatšķiras.

Paliekošo koku bojājumi pēc mežizstrādes pabeigšanas būtiski neatšķiras, neatkarīgi no izmantotās darba metodes. Lielākais bojāto koku skaits konstatēts, pielietojot 2. darba metodi, kas nav rekomendēta izmantošanai praksē.

Kokmateriālu pašizmaksa, sagatavojot biokurināmo kopšanas cirtē (3. darba metode), būtiski neatšķiras no konvencionālās darba metodes, taču izmaksas var pieaugt, ja biokurināmā sagatavošanai savāktās mežizstrādes atliekas ir jāiekļāj ceļos, pasliktinoties laikapstākļiem.

⁵¹ Foto – E. Iecelnieks.

⁵² <https://drive.google.com/file/d/1XkAItfZgtsyqkLR5P1XO88H1T1WuDFPS/view?usp=sharing>.

⁵³ <https://drive.google.com/file/d/17wO11xDP9qU-lmBChID6Cq4kgP2KL-EN/view?usp=sharing>;
<https://drive.google.com/file/d/1FUU-1HuR3fZPLjJKIEW3xbWaotGCHAVH/view?usp=sharing>;
<https://drive.google.com/file/d/10JD-CR3ulUeU8Up3zHneRc-x5G92febO/view?usp=sharing>;
https://drive.google.com/file/d/1I8Y90Boe7GWeuD7DW44K_lzWaux01JdH/view?usp=sharing;
<https://drive.google.com/file/d/10eww7N94g61yagcBW2qHhaFKNNZrTsNK/view?usp=sharing>.

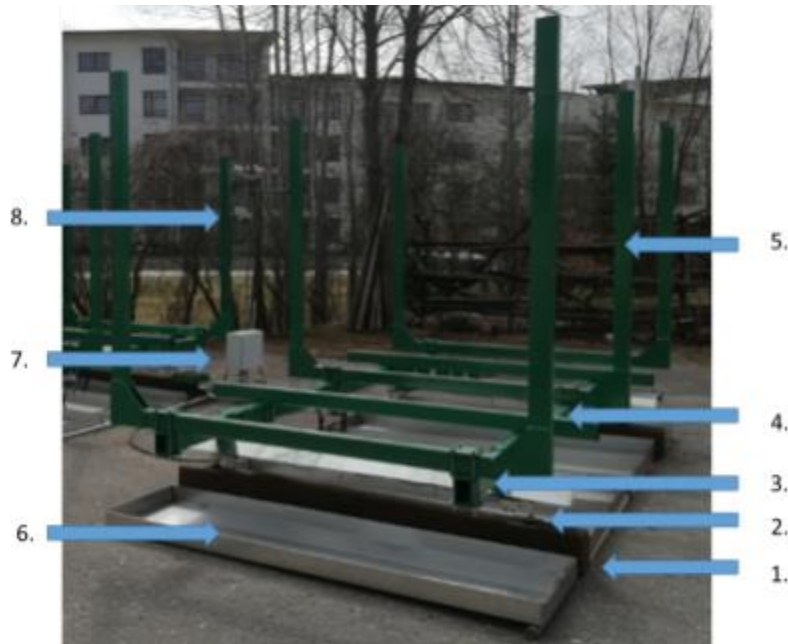
Rekomendācijas: ņemot vērā mežizstrādes un pievešanas ražīguma rādītājās, pētījumā secināts, ka 3. darba metode rekomendējama ieviešanai praksē, taču pastiprināta uzmanība jāpievērš pievešanas apstākļu novērtēšanai, lai mazinātu izmaksu pieauguma risku, ja savāktās mežizstrādes atliekas nākas ieklāt ceļos. Biokurināmā vākšana optimālos apstākļos neietekmē mežizstrādes ražīgumu, attiecīgi, iekļaujot darba uzdevumā mežizstrādes atlieku vākšanu, nav jāparedz piemaksa par šo darbu, taču piemaksa var būt nepieciešama pievešanas etapā, ja ir nepareizi novērtēti pievešanas apstākļi vai tie ir būtiski pasliktinājušies pēc izstrādes.

Metodikas aprobācija mitruma satura izmaiņu izpētei mežizstrādes atliekās un daļēji atzarotā sīkkoksnē, un biokurināmā uzglabāšanas ietekmes uz siltumspēju un citiem kvalitātes rādītājiem likumsakarību raksturošana, 2019.-2020. gads

Pētījuma mērķis ir izstrādāt un aprobēt metodiku mežizstrādes atlieku un citu apauguma novākšanā nozāģētās sīkkoksnes žūšanas un atkārtotas samirkšanas likumsakarību izpētei, izmantojot specializētu konteinertipa aprīkojumu ilgstošiem mitruma satura izmaiņu un ķīmisko elementu izskalošanās novērojumiem. 2020. gadā izmēģinājumiem nepieciešamais materiāls piegādāts ar būtisku nokavēšanos, tāpēc datu ieguve nav pabeigta. Tajā pat laikā sākotnējo datu analīze apstiprina to, ka izmantojamā metode ļauj precīzi sekot koksnes mitruma satura izmaiņām.

Cietā biokurināmā žūšanas un ķīmisko elementu izskalošanās monitoringam izmanto svēršanas iekārtu "Avalis P09SS01" (Att. 55), kas 2019. gada maijā uzstādīta "Meža pētīšanas stacijas" (MPS) Jelgavas informācijas centra teritorijā. Iekārta izgatavota 2019. gadā un, uzsākot izmēģinājumus, konstatēts, ka ūdens noskalojas no platformas, nesasniedzot uztvērējtraukus, savukārt, traukos ar lietu ieskalojas augsnes daļiņas un putekļi, tāpēc korekta ūdens parauga ievākšana nav iespējama un biogēno elementu izskalošanās gaitu pagaidām nevar novērtēt. Noslēdzot izmēģinājumu 1. etapu, uzsākta iekārtas pilnveidošana, lai uzlabotu paraugu ievākšanas sistēmu, novēršot lietus ūdens ieskalošanos no teritorijas ārpus kokmateriālu krāvuma.

Svēršanas platforma (Att. 55) balstīta uz divām paralēli novietotām koka brusām (1), uz kurām, lai palielinātu atbalsta virsmas laukumu, nostiprinātas 4 metāla plāksnes (2). Uz atbalsta plāksnēm balstīta svēršanas konstrukcija, izmantojot masas sensorus (3). Masas sensoriem pieskrūvēta nesošā metāla konstrukcija (4), kura sastāv no 3 statņu pāriem (5). Ūdens savākšanas platformas (6) novietotas zem svēršanas konstrukcijas. Metroloģisko datu mērījumiem uz svaru platformas statņa nostiprināta meteostacija (8). Automatizētai datu uzkrāšanas sistēma (7) atrodas 1 m attālumā no svēršanas platformas.



Att. 55: Iekārta mitruma satura izmaiņu, biogēno elementu izskalošanās un biomasas mineralizācijas novērtēšanai.

Saskaņā ar metodiku pēc iekārtas atslogošanas uz tās iespējams novietot plānoto koksnes apjomu ar kopējo masu (ieskaitot konstrukcijas pašmasu) līdz 20 tonnās. Svēršana notiek ar 4 masas sensoriem (katra sensora masas nenoteiktība ± 60 kg, mitruma klase IP67). Metroloģiskos mērījumus: vēja virziens (precizitāte ± 10), vēja ātrums no 2 līdz 12 m s^{-1} ($\pm 2 \text{ m s}^{-1}$), nokrišņu daudzums ar izšķirtspēju 0,27 mm, gaisa temperatūra ar precizitāti $0,3 \text{ C}^0$, relatīvo gaisa mitrumu ar precizitāti 2%, saules gaismas intensitāte robežās no $0-100 \text{ mW cm}^{-2}$, fiksē iekārta “Avalis P09MS01”, kura piestiprināta virs svaru platformas. Datus iekārta “Avalis P09VB01” saglabā ar 1 min. intervālu.

Koksnes biomasas mitruma satura raksturošanai (standarts LVS EN 14774-2) svēršanas platforma noslogota ar mežizstrādes atliekām no atjaunošanas circes. Uz vienas svaru platformas novietojot svaigas mežizstrādes atliekas, bet uz otras platformas 1 gadu augšgala krautuvē uzglabātas mežizstrādes atliekas (Att. 56). Paralēli uzsākti izmēģinājumi, svēršanas platformu noslogojot ar apaugumu no grāvju trasēm (ne vecāku par 1 nedēļu). Uz 1. svaru platformas novietotais apaugums pārsegts ar mitrumu aizturošu papīru, bet uz 2. svaru platformas atstāts nenosēgts. Uzglabāšanas ilgums paredzēts līdz 2020. gada novembrim. Uzglabāšanas laikā papildus izvērtēts nokrišņu daudzumu, vēja ātrumu un gaisa temperatūru.



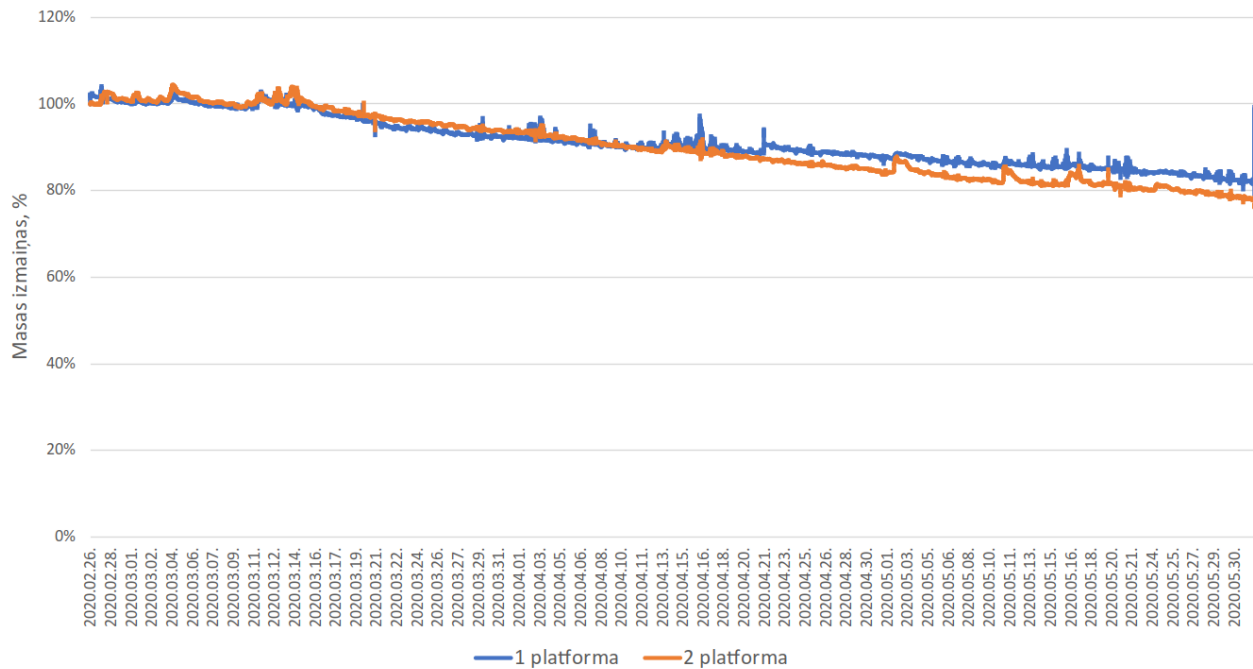
Att. 56: Svēršanas platformas ar mežizstrādes atliekām.

Svēršanas platformas noslogotas ar mežizstrādes atliekām no atjaunošanas cirtes no 2019. gada 13. maija līdz 30. decembrim. 2020. gadā uz svaru platformām novietota sīkkoksne no grāvju trašu apauguma. Uz 1. svaru platformas koksne pārsegta ar mitrumu aizturošu papīru, bet uz 2. platformas materiāls atstāts neapsegts. Tā kā izmēģinājumiem nepieciešamā koksnes piegādāta ar aizkavēšanos, nav iegūti dati par koksnes žūšanu ziemas sezonā, tāpēc izmēģinājumus turpināsim līdz 2021. gada martam, kad būs noslēdzies 1 gada cikls.

Mitruma satura izmaiņu raksturošanai koksnē (mežizstrādes atliekās vai grāvju apaugumā) mitruma saturs noteikts materiāla nokraušanas dienā un izmēģinājumu perioda beigās atbilstoši standartam LVS EN 14774-2, papildus nosakot šķeldu tūlumpūlībumu atbilstoši LVS EN 15103 standartam. Mitruma satura izmaiņas aprēķinātas atbilstoši pēc masas izmaiņām (Erber u.c., 2012; Filbakk u.c., 2011; Routa u.c., 2015), kur papildus izvērtē nokrišņu daudzumu, vēja ātrumu, gaisa temperatūras izmaiņas. Pēc uzglabāšanas termiņa mežizstrādes atliekām noteikts pelnu saturs atbilstoši standartam LVS EN 14775 un siltumspēja atbilstoši LVS EN 14918 standartam. Grāvju trašu apaugumam analīzes veiksime 2021. gada pavasarī.

Saskaņā ar sākotnējiem rezultātiem nožūšana pēc lietus ātrāk norit uz 1. platformas, kas nav apklāta ar papīru, taču nokrišņu laikā koksne šajā platformā uzsūc vairāk ūdens, kā rezultātā masas zudums (ūdens iztvaikošana) notiek straujāk uz platformas, kas apklāta ar papīru (Att. 57).

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma



Att. 57: Apageuma masas izmaiņas.

Pētījuma rezultāti 2019. un 2020. gada pētījumu programmas starpziņojumā un etapa pārskatā⁵⁴.

Rekomendācijas: Iekārtai “Avalis P09MS01” Latvijā nav alternatīvu laboratorijas instrumentu un sākotnējie testi apstiprina šīs iekārtas funkcionalitāti. Iekārta darbojas arī ziemas apstākļos, tomēr ziemā papildus nenoteiktību rada sniegs, kas nesamērcē koksni, bet būtiski palielina kopējo masu, tāpēc sniegotiem laika apstākļiem iekārta jāpapildina ar ūdenscaurlaidīgu segumu. Iekārta “Avalis P09MS01” izmantojama pētījumos, kas skar evapotranspirācijas un koksnes žūšanas likumsakarību skaidrošanu.

Turpmākajos izpētes etapos jāsalīdzina dažādas mašīnmācības metodes, lai novērtētu likumsakarības, kas nosaka mitruma satura, evapotranspirācijas, gaisa temperatūras un nokrišņu mijiedarbību. Izmēģinājumu laiku var samazināt līdz 3 mēnešiem, palielinot atkārtojumu skaitu.

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

Pētījuma mērķis ir iegūt empīriskus datus par skujkoku un bērza apaļo kokmateriālu nogriežņu masas un siltumspējas izmaiņām uzglabāšanas periodā. Pētījumi notiek Meža pētīšanas stacijas Ozolnieku poligonā (Att. 58), kur nogādā mašīnizēti sagatavoti malkas nogriežņi un notiek pētāmo parametru izmaiņu monitorings ar 1 mēneša intervālu.

⁵⁴ <https://drive.google.com/file/d/10JD-CR3ulUeU8Up3zHneRc-x5G92febO/view?usp=sharing>;
https://drive.google.com/file/d/1I8Y90Boe7GWeuD7DW44K_lzWaux01JdH/view?usp=sharing;
<https://drive.google.com/file/d/10eww7N94g61yagcBW2qHhaFKNNZrTsNK/view?usp=sharing>.



Att. 58: Kokmateriālu kaudzītes izmēģinājumu poligonā.

Pētījuma kalendārais grafiks paredzēja empīrisko datu iegūvi 2020. gada februārī un pabeigt 2021. gada oktobrī (Tab. 6), bet materiāla sagatavošana un piegāde aizkavējās par 5 mēnešiem, līdz ar to datu iegūve turpinās arī 2021. gadā, lai iegūtu datus plānotajā apjomā.

Tab. 3: Materiālu sadalījums pa sezonām (darba uzdevumā plānotais)

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

Uz poligonu nogādāti mašinizēti sagatavoti nogriežņi (4 x 120 gab.) un turpinās pētāmo parametru (skuju koku un bērza apaļo kokmateriālu masa un siltumspēja) izmaiņu monitorings.

Pirmo mēnešu laikā iegūtie rezultāti norāda uz būtisku masas samazinājumu kokmateriālu uzglabāšanā. Jau pēc 1. mēneša masas samazinājums egles kokmateriāliem – 17,2% un pēc 2. mēneša – vēl par 9%. Līdzīgi novērojumi izdarīti arī, atkārtoti sverot bērza nogriežņus (Tab. 7).

Tilpuma izmaiņas aprēķinātas atbilstoši “Apaļo kokmateriālu uzmērīšanas standarta” 5.3.4.1. punktam “Intervāla tilpuma aprēķināšana”. Uzglabājot bērza kokmateriālus 1 mēnesi, tilpuma samazinājums ir 2,9%; savukārt, uzglabājot 2 mēnešus, tilpuma samazināšanās nav konstatēta. Egles kokmateriāliem pēc 1 mēnesi ilgas uzglabāšanas tilpuma samazinājums ir 1,1%; savukārt, pēc 2 mēnešus ilgas uzglabāšanas, tilpums samazinās vēl par 0,4%. Visos gadījumos izmaiņas ir statistiski nebūtiskas.

Tab. 4: Masas un tilpuma izmaiņas

Rādītājs	Koku suga	1. mērījums	2. mērījums	3. mērījums
Masas izmaiņas	Bērzs	0%	-12,6%	-4,7%
	Egle	0%	-17,2%	-9,0%
Tilpuma izmaiņas (bez mizas)	Bērzs	0%	-2,9%	0%
	Egle	0%	-1,1%	-0,4%

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Rādītājs	Koku suga	1. mērījums	2. mērījums	3. mērījums
Tilpuma izmaiņas (ar mizu)	Bērzs	0%	-1,0%	dati nav aprēķināti
	Egle	0%	-5,7%	dati nav aprēķināti

Dabiski mitras koksnes blīvuma izmaiņas uzglabāšanas laikā straujāk notika pirmajā mēnesī. Līdzīgas atziņas gūtas arī 2010. gada Valsts pētījumu programmā īstenotajā pētījumā “Apaļo kokmateriālu apjoma noteikšana (pēc masas metodes) lietojamo pārrēķina koeficientu izstrādāšana un aprobēšana”. Šajā pētījumā konstatētās blīvuma izmaiņas egles un bērza nogriežņiem būtiski atšķiras no Valsts pētījumu programmā iegūtajiem datiem (Tab. 5). Tas var būt saistīts gan ar atšķirīgām kokmateriālu dimensijām, zāģēšanas laiku un nomizotās virsmas laukumu. Pētījuma starprezultāts apstiprina pieņēmumu, ka malkas žūšanas raksturošanai nav izmantojami apaļo kokmateriālu īstermiņa uzglabāšanas ietekmes raksturošanai izstrādātie koeficienti nav izmantojami malkas žūšanas raksturošanai, tāpēc empīrisko datu ieguve ir jāturpina.

Tab. 5: Apaļo kokmateriālu dabiski mitras koksnes blīvuma izmaiņas

Dienas		20	46	147	
Meteoroloģiskie parametri					
Gaisa temperatūra, C ⁰		17,2	17,4	11,6	
Nokrišņu summa, mm		57	83	217	
Relatīvais gaisa mitrums, %		78	78	82	
Nosaukums		Egles nogriežņi		Bērza nogriežņi	
Caurmēra grupa	Uzglabāšanas ilgums, dienas	Aprēķinātais blīvums	Modelētais blīvums	Aprēķinātais blīvums	Modelētais blīvums
Zem 15 cm	0	0	0	0	0
	20	-15,8	-11,0	-15,3	-8,8
	46	-7,9	-20,1	0,9	-15,1
	147	2,9	Prognoze nestrādā	2,7	Prognoze nestrādā

Pētījums turpinās 2021. gadā. Sakarā ar kokmateriālu piegādes nobīdi un lai nodrošinātu sākotnēji plānoto silto mēnešu skaitu datu rindā, mērījumi ir jāturpina līdz maijam. Ziemas mēnešos paraugu ievākšanu veiks divreiz retāk, lai saglabātu materiālu pavasara mērījumiem.

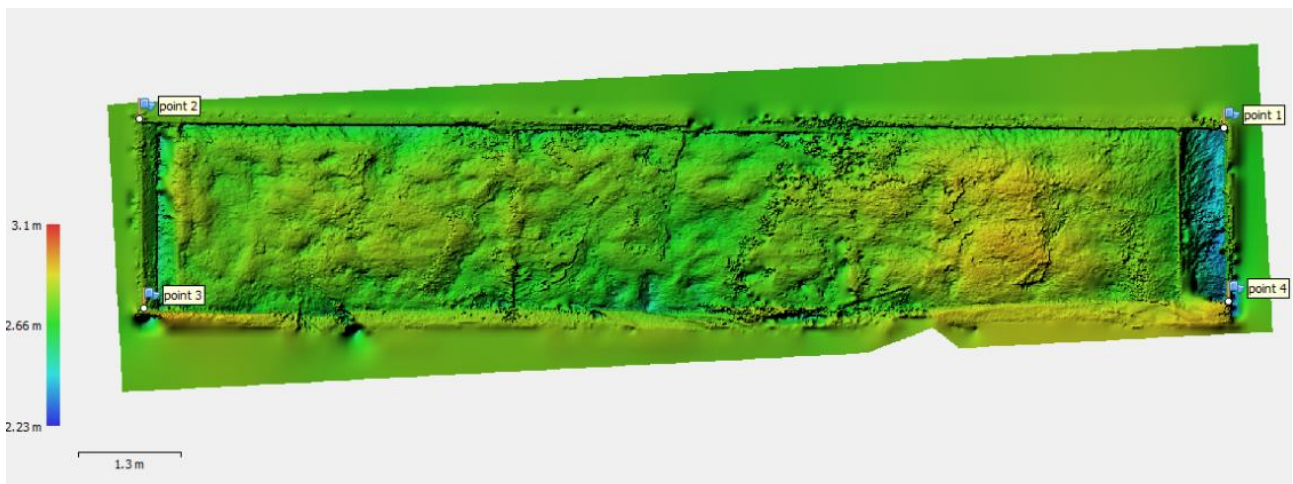
Šķeldu kravu papildījuma izmaiņu monitorings un vienādojumu izstrādāšana kravu papildījuma samazināšanās prognozēšanai, 2019.-2020. gads

Pētījuma mērķis ir noteikt sablīvēšanas koeficientu smalcinātās koksnes pārvadājumos autotransportam sadalījumā pa sezonām un autotransporta veidiem. 2019. gadā izstrādāta metode šķeldu kravu sablīvēšanās raksturošanai, atkarībā no šķeldojamā materiāla, braukšanas apstākļiem un transportēšanas attāluma. Priekšizpētē veiktie darbi ļāva pārbaudīt metodes precizitāti, kas salīdzināta ar stacionāro skeneri. 2020. gadā bija plānota empīrisko datu ieguve, ko vajadzēja nodrošināt AS “Latvijas valsts meži” pakalpojumu sniedzējiem, taču līdz 2020. gada beigām piegādāti mazāk nekā 10% no

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

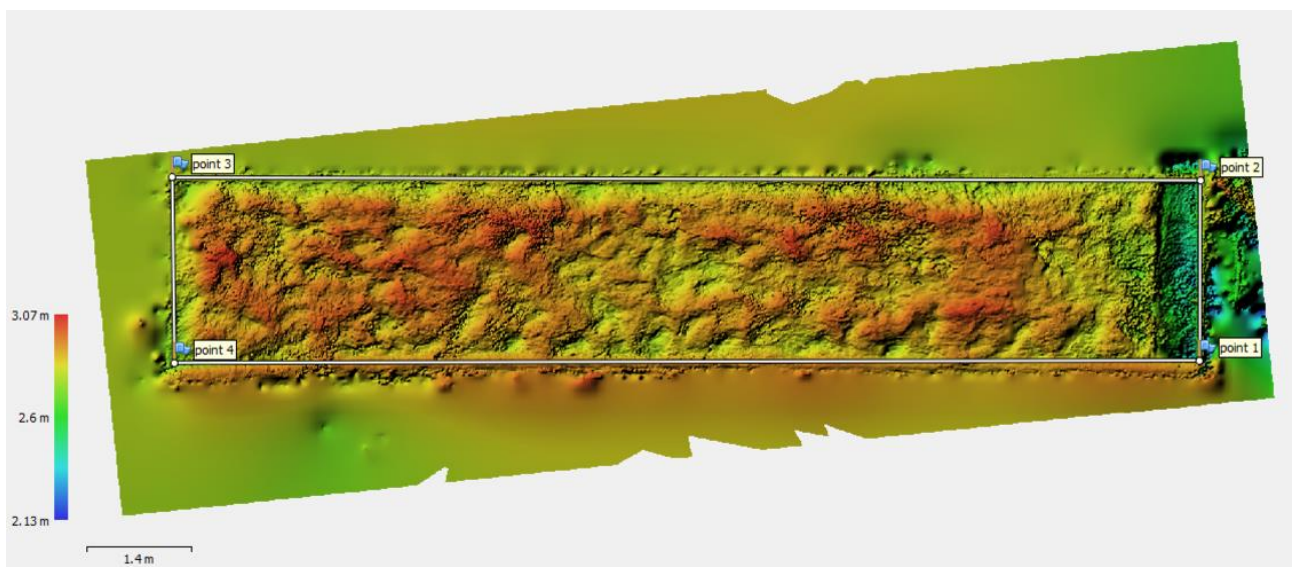
nepieciešamā datu apjoma, tāpēc pētījumu nevar pabeigt. Lai pētījumu īstenotu iecerētajā apjomā, darbību datu ieguve ir jāturpina 2021. gadā.

Kravu tilpuma samazināšanās novērtēšanai izmantota fotogrammetrijas metode. Aprobējot šo metodi, izmēģinājumos konstatēts, ka pilnas kravas tilpums augšgala krautuvē ir vidēji 90,21 m³, bet lejasgala krautuvē tas samazinājās par 2,12 m³ (Att. 59). Savukārt, mērījumi ar stacionāro skeneri parādīja, ka nepiepildītais kravas tilpums ir 2,1 m³. Tas nozīmē, ka izstrādātā fotogrammetrijas metode nodrošina nepieciešamo precizitāti. Tomēr būtiska pareiza datu ievākšana (kravas fotografēšana), lai mazinātu kļūdu veidošanās iespējas.



Att. 59: Šķeldu kravas telpiskais modelis pēc datu apstrādes.

Uzsākot empīrisko kravu ieguvu, konstatētas datu kvalitātes problēmas; Att. 60 redzamais šķeldu kravas telpiskā modeļa piemērs neļauj veikt korektu datu analīzi, jo kravas stūros nav uzņemts pietiekoši daudz fotogrāfiju. Uzsākot mērījumus dabā, metodika vairākkārtīgi pārstrādāta, lai mazinātu kļūdu iespējas.

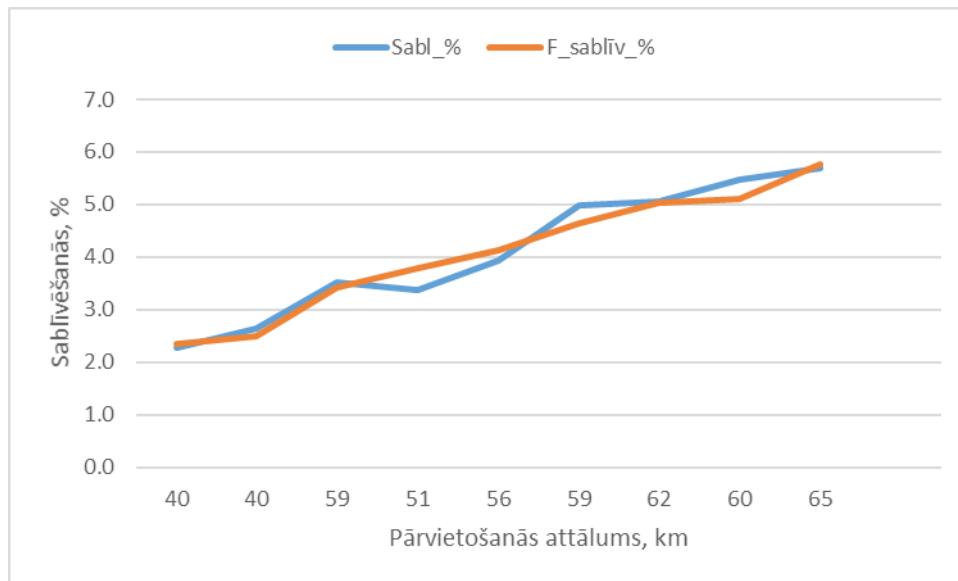


Att. 60: Neveiksmīgs šķeldu kravas telpiskais modelis pēc datu apstrādes.

Pēc pirmajiem (provizoriskajiem) datiem, kuri raksturo rudens sezonu, novērojama cieša saistība starp pārvietošanās attālumu un kravas sablīvēšanos (Att. 61). Tālākā datu apstrādes procesā, kurā būs veikti nepieciešamie mērījumu sadalījumā plānotajām

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

sezonām, veiktā distance ar kravu tiks ņemta no AS “Latvijas valsts meži” datubāzes, vadoties no pakalpojumu sniedzēju iesniegtajām atskaitēm.



Att. 61: Šķeldu sablīvēšanās – starprezultāts.

Pētījuma rezultāti 2019. un 2020. gada pētījumu programmas starpziņojumā un etapa pārskatā⁵⁵.

Saskaņā ar sākotnējiem rezultātiem, šķeldu sablīvēšanās modelēšanas precizitāte atkarīga no darbības datu kvalitātes. Ja nobrauktais attālums būs pārāk liels vai tieši otrādi, pastāv risks, ka modelis var kļūdaini aprēķināt prognozējamo sablīvējumu. Tādēļ tālākajā datu apstrādes procesā datu kopā tiek fiksēts papildus parametrs – ciršanas atlieku kaudzes ģeogrāfiskās koordinātes un, papildus norādītajam attālumam, jāveic alternatīvs nobraukuma aprēķins. Atsevišķām kravām nepieciešams veikt kontrolmērījumus mitruma satura noteikšanai.

2021. gadā pēc iztrūkstošo datu saņemšanas turpināsim kravu piepildījuma analīzi, lai iegūtu pētījumam nepieciešamo datu kopu un izstrādātu kravu sablīvēšanās aprēķinu vienādojumus.

⁵⁵ <https://drive.google.com/file/d/10JD-CR3ulUeU8Up3zHneRc-x5G92febO/view?usp=sharing>;
https://drive.google.com/file/d/1I8Y90Boe7GWeuD7DW44K_lzWaux01JdH/view?usp=sharing;
<https://drive.google.com/file/d/10eww7N94g61yagcBW2qHhaFKNNZrTsNK/view?usp=sharing>.

RISINĀJUMI DEGVIELAS PATĒRIŅĀ SAMAZINĀŠANAI MEŽA DARBOS

Automatizētās degvielas patēriņa uzskaites sistēmu monitoringa 3 tehnikas komplektiem, 2016. gads

Pētījuma mērķis ir noskaidrot degvielas uzskaites sistēmu pielietojšanas iespējas tehnikas izmantošanas monitoringam, tajā skaitā ražīguma novērtēšanai, un degvielas patēriņa samazināšanai, optimizējot tehnikas izmantošanas režīmus dažādos darba etapos. Pētījuma īstenošanai LVMI Silava iegādājās 2 degvielas uzskaites komplektus un plānoja uz eksperimenta laiku iznomāt vēl 1 komplektu, taču AS “Latvijas valsts meži” pakalpojumu sniedzēji nodrošināja pētījuma vajadzībām nepieciešamo tehniku, tāpēc izmēģinājumi nav veikti plānotajā apjomā. Degvielas uzskaites sistēmas efektivitātes analīzei izmantoti dati no LVMI Silava mežizstrādes pētījumiem, kuros izmantotas degvielas uzskaites un telemetrijas datu monitoringa sistēmas.

Pētījumā izmantota degvielas uzskaites mēriekārta AIC-904 VERITAS Att. 62, kas uzstādīta virs degvielas filtra. Iekārta ir pasargāta ar atsevišķu filtru, kuras uzdevums ir attīrīt degvielu no metāla vai citu svešķermeņu klātbūtnes, kā arī nepieļaut gaisa klātbūtni degvielas sistēmā. Izmēģinājumi veikti ar kompaktklases forvarderu Logbear F4000, Vimek 404 harvesteru un Ponsse Buffalo forvarderu.



Att. 62: Degvielas uzskaites sistēma AIC-904 Veritas.

Logbear F4000. Datu kopas, kurām iespējama matemātiska analīze, iegūtas 8 cirmsmās. Pārējās cirmsmās datu kopas ir vai nu nepilnīgas (nepilnīgs mobilo datu operatoru tīkla pārklājums vai kļūdaini nostrādātā laika un degvielas patēriņa dati) vai arī ir grūti analizējamas, izmantojot pieejamos degvielas patēriņa analīzes instrumentus.

Vidējais Logbear F4000 degvielas patēriņš izmēģinājumos bija 4,9 L stundā (4,3-6,2 L stundā). Pārrēķinot uz pievesto apjomu, vidējais degvielas patēriņš ir 1,14 L m⁻³, bet pievešanas ražīgums – 4,4 m³ stundā. Vidējais degvielas patēriņš

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

kokmateriālu pievešanai no 1 ha ir 175 L, taču iegūtie dati var būt nepilnīgi, jo ne visās cirmās varēja noteikt kokmateriālu apjomu Logbear pievestajā cirmsas daļā.

Faktiski vienīgais rādītājs, ko var izmantot datu analīzē, ir degvielas patēriņš stundā, lai gan arī šī parametra korektai analīzei jāveic rūpīga datu atlase, lai atsijātu kļūdainos rādījumus, kad laika rindai iepretim ir nepilnīga degvielas patēriņa datu rinda. Neveicot datu atlasīšanu, aprēķinātais degvielas patēriņš būs mazāks nekā faktiskais.

Ponsse Buffalo. Forvarders izmēģinājumos bija aprīkots ar ECO-Tracks Baltic ķēdēm uz aizmugurējā tandēma. Šādā komplektācijā, pievedot pa vienu ceļu aptuveni 130 m³ kokmateriālu, forvardera iespīestās rises, kuras ir dziļākas par 20 cm, atbilst 243 m ha⁻¹. Forvardera vidējais degvielas patēriņš izmēģinājumos bija 17,7 L h⁻¹. Aprīkojot Ponsse Buffalo ar ECO-Tracks Baltic ķēdēm uz abiem tandēmiem un pievedot pa vienu ceļu 130 m³ kokmateriālu, iespiež par dziļākas par 20 cm rises, kas atbilst 294 m ha⁻¹. Forvardera degvielas patēriņš šajā darba metodē bija 17,6 L h⁻¹. Līdzīgs degvielas patēriņš (17,6 L h⁻¹) konstatēts arī izmēģinājumos ar ZS “Vairogi” izstrādātajām kāpurķēdēm ar palielinātu virsmas laukumu (“ekskavatora” ķēdēm), neatkarīgi no tā, vai “ekskavatora” ķēdes bija uzstādītas uz viena vai abiem tandēmiem, taču par 20 cm dziļākas rises šajā gadījumā neveidojās. Būtiskākā pētījuma atziņa – kāpurķēžu izmantošana nepalielina forvardera degvielas patēriņu, jo papildus slodzi uz transmisijas sistēmu kompensē mazāka augsnes pretestība.

Vimek 404 harvesteri. Degvielas patēriņa monitorings veikts ilgstošā laika posmā, sagatavojot 18,8 tūkst. m³ kokmateriālu. Vidējais degvielas patēriņš mežizstrādē bija 4 L h⁻¹ (0,8 L m⁻³). Pētījumā konstatētas būtiskas mazās mežizstrādes tehnikas priekšrocības kopšanas cirtē, tajā skaitā vismaz 2 reizes mazākas investīciju izmaksas, salīdzinot ar vidējās klases harvesteriem un forvardera komplektu, būtiski mazāks degvielas patēriņš un mazākas izmaksas apkopēm. Pētījums būtiski papildināja iepriekš gūtās atziņas par to, ka kompaktklases tehnika rada mazāku ietekmi uz vidi un mazāk atstājamo koku mehānisko bojājumu (A. Lazdiņš u.c., 2016a).

Secinājumi: balstoties uz līdzšinējo pētījumā gūtajām atziņām, degvielas patēriņa izmaiņas ir atkarīgas no meža mašīnu operatora profesionalitātes, izstrādes apstākļiem, kā arī tehnikas uzstādījumiem. Viens no risinājumiem, ko var īstenot ražošanas apstākļos, ir kopējā un vidējā degvielas patēriņa aprēķināšanas izmaiņas, gan pēc saražotā produkcijas apjoma, gan arī pēc kopējām nostrādātajām motorstundām. Motorstundu iekļaušana aprēķinā izslēgs ar darba stundu uzskaiti saistītās nepilnības un samazinās kopējo degvielas patēriņu, piemēram – tehnikas darbināšana tukšgaitā, maiņu nodošanu bāzes vietā. Šīs informācijas (šifrētā veidā) publiskošana veicinātu arī operatoru profesionālo izaugsmi, jo būtu iespējams salīdzināt vidējo patēriņu atkarībā no izstrādes apstākļiem un tehnikas modeļa.

Turpmākajos pētījumos nepieciešams izstrādāt energoresursu un siltumnīcefekta gāzu emisiju aprēķinu pie dažādiem meža mašīnu darba režīmiem iestatījumiem. Tādējādi, galvenokārt pakalpojuma sniedzēju meistari, kā arī meža mašīnu operatori, redzētu, kā viņu lēmums ietekmē kopējo rezultātu, piemēram, pārlietu liels spiediens uz padeves

veltņiem palielina degvielas patēriņu, vai nepareizi noregulēts manipulators palielinātu darba cikla ilgumu, kas, savukārt, ietekmētu degvielas patēriņu.

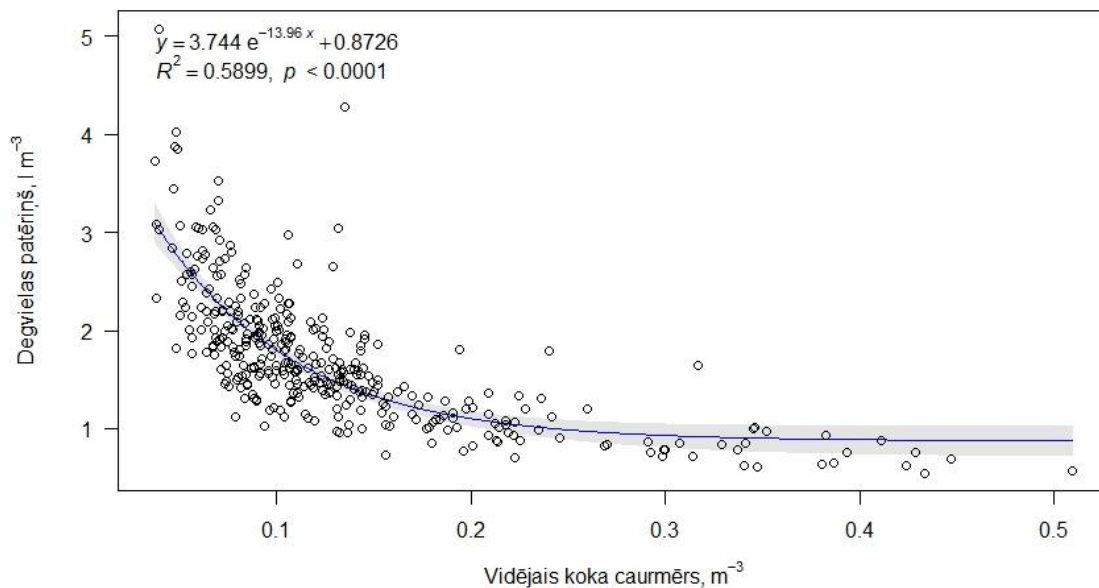
Degvielas patēriņa samazināšanas iespēju analīze mežizstrādē, 2018.-2020. gads

Pētījumā mērķis ir novērtēt harvesteru un forvardera degvielas patēriņa likumsakarības, izmantojot harvesteru produkcijas failus un iegūstot empīriskus datus par forvardera degvielas patēriņu, veicot monitoringu ražošanas apstākļos un izmantojot iepriekš veiktajos pētījumos iegūtos datus par forvardera degvielas patēriņa likumsakarībām.

Pievešanas degvielas patēriņa darba uzdevums īstenots daļēji, jo pētījuma laikā nebija pieejama tehnika degvielas patēriņa datu ieguvei dažādos slodzes režīmos platībās ar kūdras augsni, kā arī degvielas patēriņa monitoringam ražošanas apstākļos.

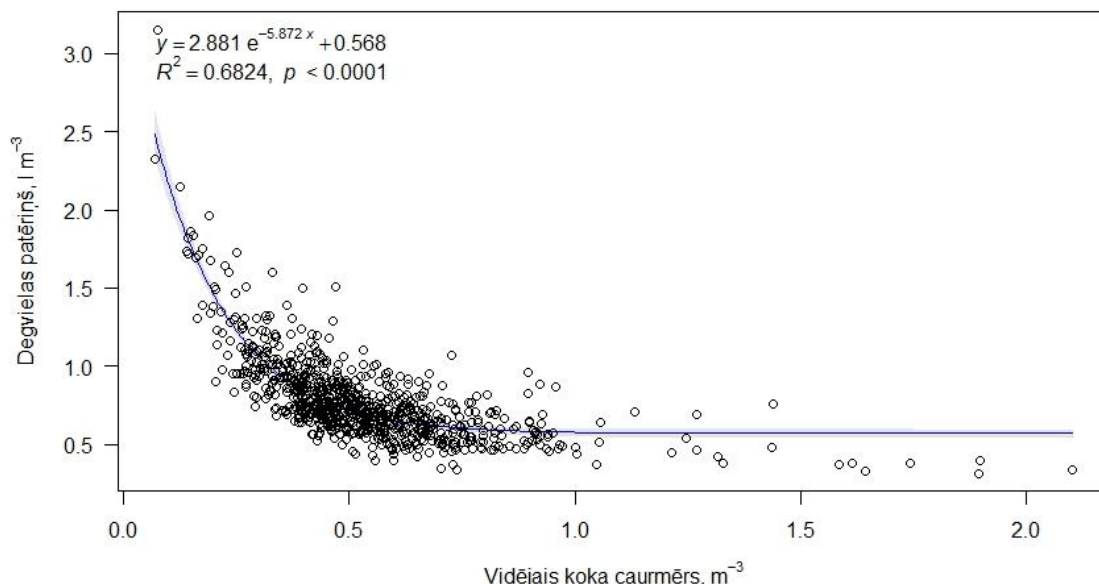
Viens no pētījuma mērķiem ir **harvesteru degvielas patēriņa datu analīze** un priekšlikumu izstrādāšana degvielas patēriņa samazināšanai. Analīze veikta, izmantojot lielu harvesteru produkcijas failu kopu (925 harvesteru produkcijas faili no galvenās cirtes un 384 faili no krājas kopšanas cirtes). Analīzē ietverti vidējās klases un lielāki harvesteri, kas strādājuši 2016. un 2017. gadā kopšanas un galvenajā cirtē. Pētījumā vērtēta darba sezonālitate, atsevišķi analizējot ziemas apstākļos, pavasarī un rudenī, kā arī vasarā izstrādātās cirsas. Degvielas patēriņa samazināšanas potenciāls novērtēts, balstoties uz sakarībām starp nozāģēto koku dimensijām, ražīgumu un degvielas patēriņu. Pētījuma vajadzībām izstrādāta programma Ponsse produkcijas failu eksportēšanai uz Microsoft Excel formātu kas izmantota AS “Latvijas valsts meži” iesniegto datu konvertēšanai.

Ražīguma un degvielas izmaiņas ietekmē daudzi faktori, kurus ne vienmēr iespējams paredzēt un novērst. Veicot krājas kopšanas cirti, 46% no audžu kopskaita vidējā nozāģētā koka tilpums ir 0,1 m³ un 40% audžu – 0,2 m³. Degvielas patēriņš, strādājot audzēs ar mazāku vidējo nozāģēto koku, ir ievērojami liekāks, pārrēķinot uz vienu kubikmetru. Sakarību raksturo pakāpes vienādojums.



Att. 63: Degvielas patēriņa izmaiņas krājas kopšanas cirtē, atkarībā no vidējā nozāģētā koka tilpuma.

Pētījumam pieejamajā datu kopā, kas pārstāv galveno cirti, 75% no cirsmu kopskaita vidējā koka tilpums ir no $0,4 \text{ m}^3$ līdz $0,7 \text{ m}^3$. Degvielas patēriņš samazinās, līdz vidējā nozāģētā koka caurmērs sasniedz $0,5 \text{ m}^3$ (Att. 64), bet, pieaugot vidējā nozāģētā koka tilpumam vēl vairāk, degvielas patēriņa izmaiņas vairs nav būtiskas. Degvielas patēriņa izmaiņas raksturo pakāpes vienādojums.



Att. 64: Degvielas patēriņa izmaiņas galvenajā cirtē, atkarībā no vidējā nozāģētā koka tilpuma.

Degvielas patēriņam ir negatīva (KKC = -0,79 un GC = -0,73) cieša ($p=0,00$) korelācija. Palielinoties cirsmas vidējā nozāģētā koka tilpumam, degvielas patēriņš samazinās.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Ražīguma un degvielas patēriņa aprēķinu balstīšana tikai uz sistēmas uzskaitīto G_{15} laiku var nebūt korekta, jo šajā laikā var nebūt ieskaitītas vairākas darbības, piemēram, iebraukšana, ķēdes maiņa u.c., ja operators sistēmā šo atzīmējis kā pusdienu pārtraukumu. Ražīguma aprēķināšanas metodikas maiņa no uzskaitītajām G_{15} stundām uz patērētajām motorstundām atspoguļotu ražīgumu un vidējos degvielas patēriņa rādītājus precīzāk, iekļaujot aprēķinā darba elementus, kurus šobrīd var "apiet", piemēram, neieslēgt maiņu, braukšanas laikā, veicot ar darbu saistītas darbības, sistēmā fiksēt tās kā pusdienu pārtraukumu.

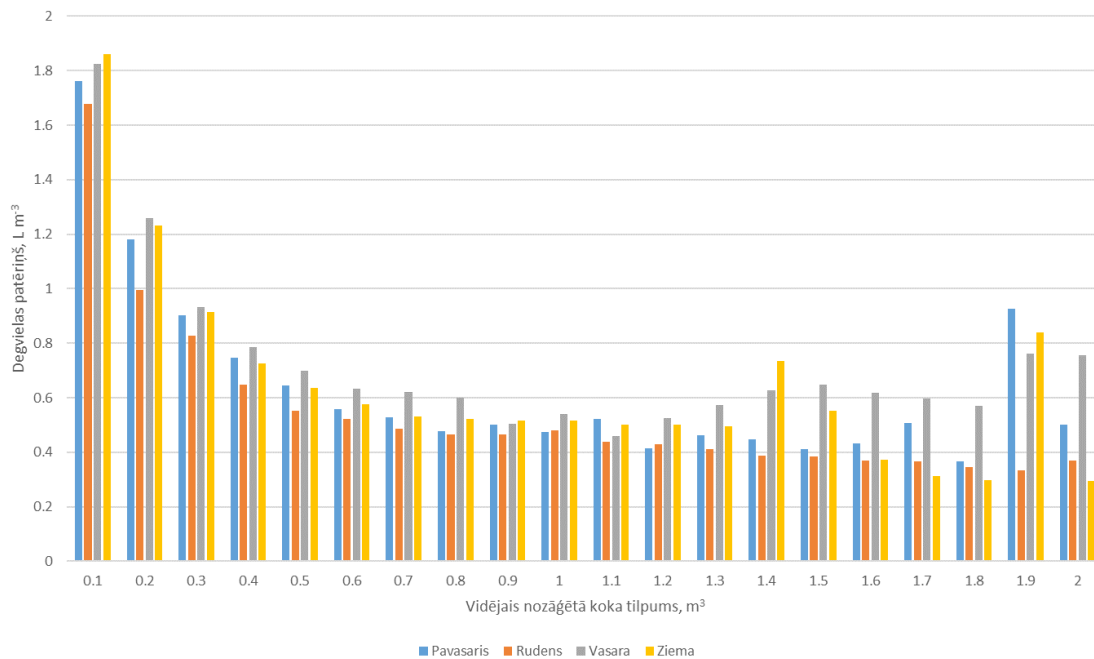
Degvielas patēriņa izmaiņas gada griezumā, atkarībā no sezonas, nepieciešamas analizēt, par pamatu ņemot motorstundas, bet StanFroD 2010 standartā šāds rādītājs nav iekļauts, tāpēc harvesteru atskaitēs netiek atspoguļots.

Salīdzinot apstrādātā koka tilpumu, ražīgumu un degvielas patēriņu, cirsmas robežā tie būtiski neatšķiras, bet dažādos cirtes veidos atšķirības ir būtiskas (Tab. 6).

Tab. 6: Rādītāju izmaiņas atkarībā no cirtes veida un sezonas

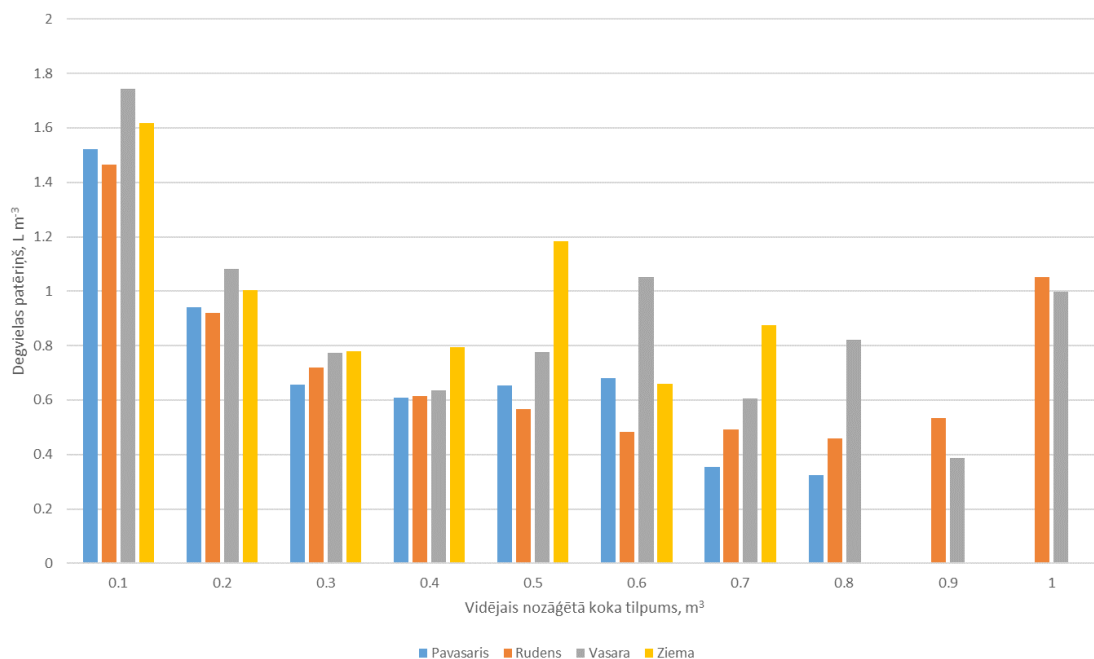
Cirtes veids	Sezona	Vidējais koka tilpums, m^3	Vidējais ražīgums, $m^3 h^{-1}$	Vidējais degvielas patēriņš, $L m^{-3}$	Vidējais degvielas patēriņš, $L h^{-1}$
Galvenā cirte	Pavasaris	0,52 ±0,09	28,48 ±5,45	0,66 ±0,7	18,72 ±4,41
	Rudens	0,68 ±0,12	34,61 ±6,04	0,53 ±0,64	18,46 ±4,4
	Vasara	0,47 ±0,07	24,72 ±5,14	0,76 ±0,73	18,69 ±4,42
	Ziema	0,49 ±0,09	26,62 ±5,33	0,68 ±0,69	18,16 ±4,34
Krājas kopšanas cirte	Pavasaris	0,13 ±0,02	9,41 ±3,08	1,34 ±1,03	12,63 ±3,59
	Rudens	0,17 ±0,05	10,87 ±3,31	1,18 ±0,89	12,87 ±3,6
	Vasara	0,13 ±0,02	8,25 ±2,88	1,57 ±1,12	12,99 ±3,61
	Ziema	0,12 ±0,03	8,51 ±2,89	1,5 ±1,1	12,74 ±3,56

Galvenajā cirtē, pieaugot vidējā apstrādājamā koka krājai no $0,1 m^3$ līdz $0,4 m^3$, vidējais degvielas patēriņš uz saražoto produkcijas vienību samazinās par 40% (Att. 65), savukārt, vidējā nozāģētā koka krājai palielinoties virs $0,4 m^3$, degvielas patēriņa izmaiņas ir 10% robežās. Analizējot sezonas ietekmi uz degvielas patēriņu galvenajā cirtē, sadalījumā pa caurmēra grupām izmaiņas nav būtiskas ($p = 0,41$; Att. 65).



Att. 65: Degvielas patēriņa izmaiņas sadalījumā pa sezonām galvenajā cirtē.

Degvielas izmaiņas atkarībā no vidējā pastrādājamā koka tilpuma sadalījumā pa sezonām būtiski nemainās, pavasarī $0,72 \text{ L m}^{-1}$, rudenī $0,73 \text{ L m}^{-1}$, vasarā – $0,88 \text{ L m}^{-1}$ un ziemā $0,98 \text{ L m}^{-1}$ (Att. 66).



Att. 66: Degvielas patēriņa izmaiņas sadalījumā pa sezonām krājas kopšanas cirtē.

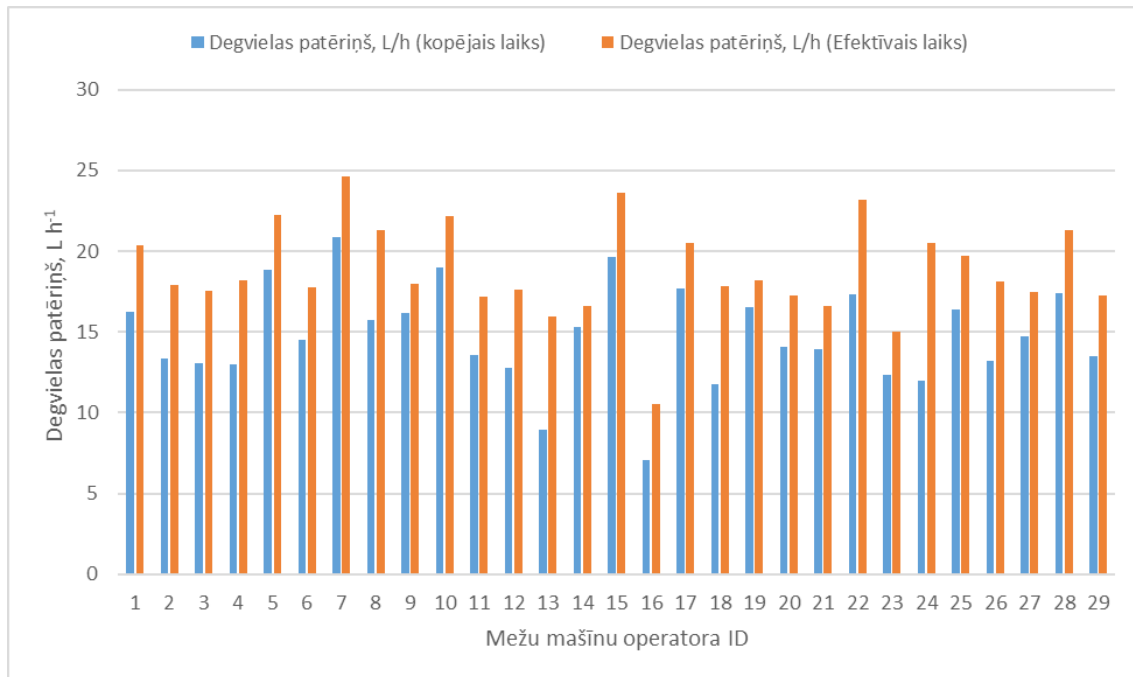
Meža mašīnu operatoru izvērtējums veikts, identificējot maiņu skaitu, kurā operatori maiņu veikuši “atpūtas vietā”, kā arī analizējot ražīguma un degvielas patēriņa izmaiņas, atkarībā no sezonas un vidējā izcērtamā koku tilpuma.

No kopējā maiņu skaita 43% gadījumu operatori maiņu veikuši “bāzes vietā”, par to liecina veiktie braucieni, kas harvesterā izdrukās atšifrēti kā “pārvietošanās apvidū”. Vidējais nostrādātais maiņas ilgums $4,5 \text{ h} \pm 2,1$, kas atbilst vidējam maiņas ilgumam

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

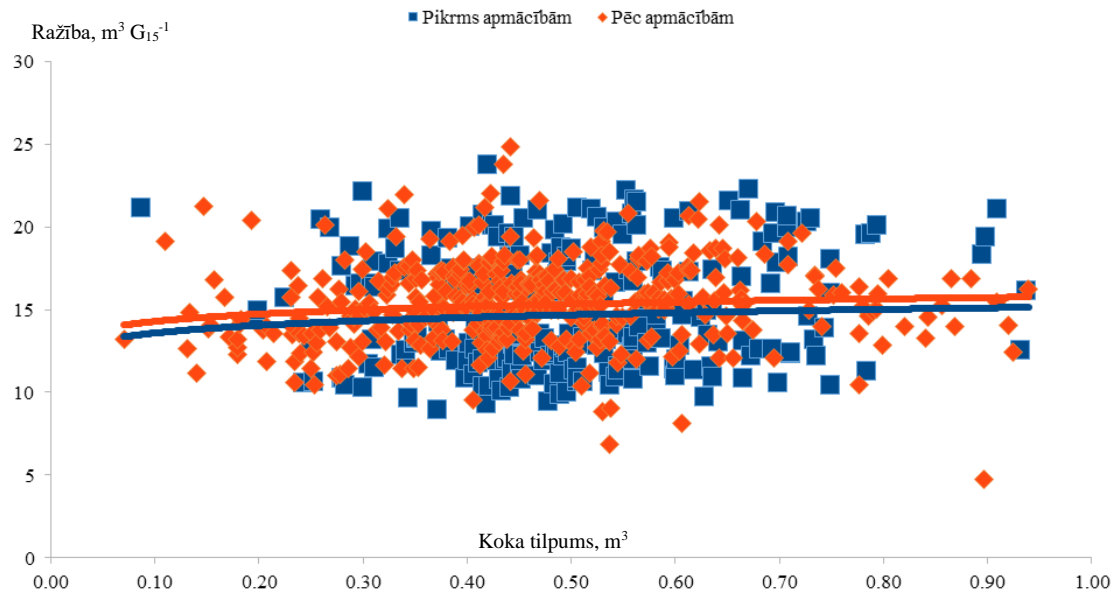
darbā ar harvesteru. Veicot pārbraucienus ar harvesteru, lai nodotu maiņu, patērēts 1,3% no kopējā degvielas apjoma.

Degvielas patēriņa kopējās izmaiņas, atkarībā no aprēķinu metodes, ir 29% robežās, bet krājas kopšanas cirtēs 23%. Atšķirības starp operatoriem, kuri strādā galvenajā cirtē, parādītas Att. 67.



Att. 67: Degvielas patēriņa izmaiņas sadalījumā pa mežu mašīnu operatoriem galvenajā cirtē.

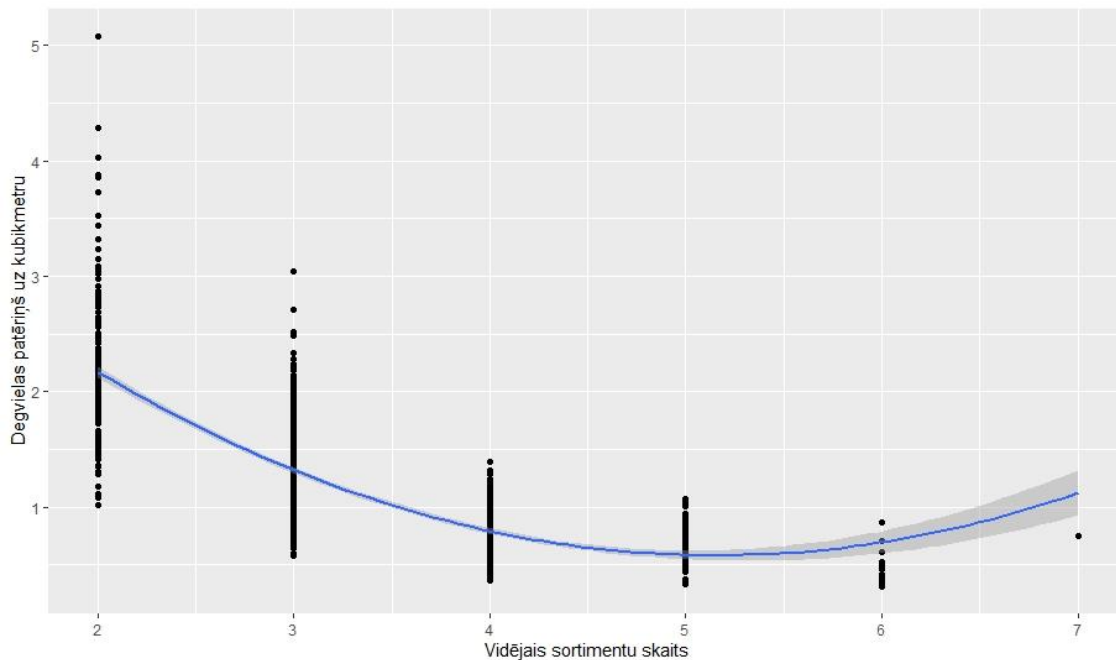
Datu analīzei par operatoru profesionalitātes ietekmi uz degvielas patēriņu un ražīgumu, kā papildus faktors izvērtēts apmācības process. Pēc apmācības ražīgums uzlabojas (Att. 68). Ražīguma prognozēšanai, balstoties uz vidējā nozāģētā koka tilpumu, krājas kopšanas cirtē izmantojams 2. kārtas polinoma vienādojums $y = 7,65 + 52,1x - 6,28x^2$. Izstrādātā vienādojuma ticamība $R^2 = 0,61$, izstrādātajam vienādojumam ir pozitīva (0,71) cieša ($p=0,00$) korelācija. Galvenajā cirtē ražības datu izkliede pie vienāda vidējā nozāģētā koka tilpuma, kā rezultātā prognožu vienādojuma ticamība $R^2 = 0,38$ ir pārāk maza, lai to pielietotu ražošanā.



Att. 68: Ražīguma rādītāji pirms un pēc apmācībām, zāģējot vienādu dimensiju kokus.

Mežizstrādē nepieciešams samazināt “tukšos braucienus”, kas nozīmē maiņu nodošanu mežā, nevis atpūtas vietā. Šī jautājuma risināšana ražošanas līmenī iespējama vien tad, ja mežizstrādes uzņēmuma iekšienē pilnveidota izpratne par degvielas ietekmi uz pašizmaksu un siltumnīcefekta gāzu samazināšanas mērķi, enerģētikas un transporta sektorā. Šādus “tukšos braucienus” var konstatēt, zinot degvielas tvertnes tilpumu, pārbraucienu skaitu un attālumu. Pētījumā redzamas būtiskas atšķirības ražīgumā, degvielas patēriņā un, pārrēķinot uz saražotās produkcijas vienību. Lai izlīdzinātu šos rādītājus, nepieciešama visu iesaistīto pušu izglītošana.

Degvielas patēriņa izmaiņas var izraisīt ne tikai tehnikas uzstādījumi, kuru ietekmi nereti ir grūti konstatēt, bet arī kokmateriālu veidu skaits (**Att. 69**). Veicot aprēķinus tikai pēc produkcijas failiem, nevar konstatēt, cik liela ietekme uz degvielas patēriņu bijusi tieši sagatavojamo kokmateriālu veidu skaitam un cik lielu ietekmi rada, iespējams, kļūdaini noregulēts zāģa gājiens.



Att. 69: Degvielas patēriņš, atkarībā no sagatavojamo kokmateriālu veidu skaita.

Pētījumā ietvertajā galvenās cirtes datu kopā nelietderīgo pārbraucienu skaits ir 157. Šo cirsmu izstrādei patērētas 276 maiņas no kurām 43% gadījumu operatori maiņu veikuši “bāzes vietā”, par to liecina veiktie braucieni, kas harvestera izdrukās atšifrēti kā “pārvietošanās apvidū”. Vidējais nostrādātais maiņas ilgums 4,5 h \pm 2,1. Veicot pārbraucienus ar harvesteru, lai nodotu maiņu patērēts patērēts 1.3% no kopējā degvielas apjoma.

Pētījumā salīdzināti arī **forvardera degvielas patēriņa** rādītāji, mainoties tehnikas vilces koeficientam viena ražotāja dažādas klases mašīnām vienādos pievešanas apstākļiem.

Izmēģinājumam izraudzīta lauksaimniecībā izmantojamā zemē, kura gadu atstāta atmatā. Atbilstoši pētījuma mērķim, objekts sadalīts divās daļās (Att. 70), kur pirmajā daļā vilkmes režīmi pārbaudīti Ponsse Buffalo un otrajā daļā Ponsse Wisent. Pievešanas apstākļi poligonā optimāli, rises neveidojās neatkarīgi no kravas lieluma un braucienu skaitu.

Pētījumā bija ielānoti izmēģinājumi arī platībās ar kūdras augsni. Meža pētīšanas stacijā šim izmēģinājumam 2019. gadā attīrīta lauce ar dziļu kūdras augsni Jaunkalsnavas apkārtnē, taču AS “Latvijas valsts meži” pakalpojumu sniedzēji nenodrošināja izmēģinājumam nepieciešamo tehniku, tāpēc datu ieguve platībā ar kūdras augsni nebija iespējama.



Att. 70: Pētījuma objekts (25,12931; 56,69734).

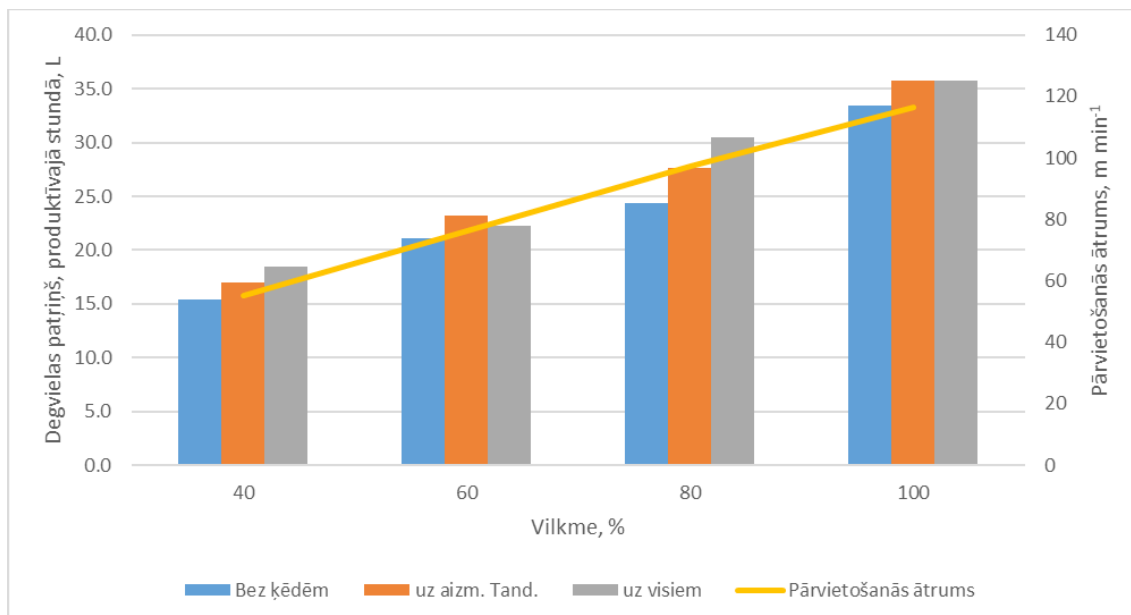
Pētījumā vilkmes režīmu sadalījums abām tehnikas vienībām ir vienāds (Tab. 7), kur kā viens no papildus kritērijiem ir kravas piepildījums un dzinēja darba apgriezieni. Uzkratais apjoms tiek kontrolēts, balstoties uz masas mērījumiem atbilstoši ražotāja noteiktajai maksimālajai kravnesībai.

Tab. 7: Vilkmes režīmu sadalījums

Forvardera modelis	Aprīkojums	Vilkmes režīmi, %				Kravas piepildījums, %	
		40	60	80	100	50	100
Buffalo	Bez ķēdēm	X	X	X	X	X	X
	Ar ķēdēm uz aizmugurējā tandēma	X	X	X	X	X	X
	Ar ķēdēm uz visiem tandēmiem	X	X	X	X	X	X
Wisent	Bez ķēdēm	X	X	X	X	X	X
	Ar ķēdēm uz aizmugurējā tandēma	X	X	X	X	X	X
	Ar ķēdēm uz visiem tandēmiem	X	X	X	X	X	X

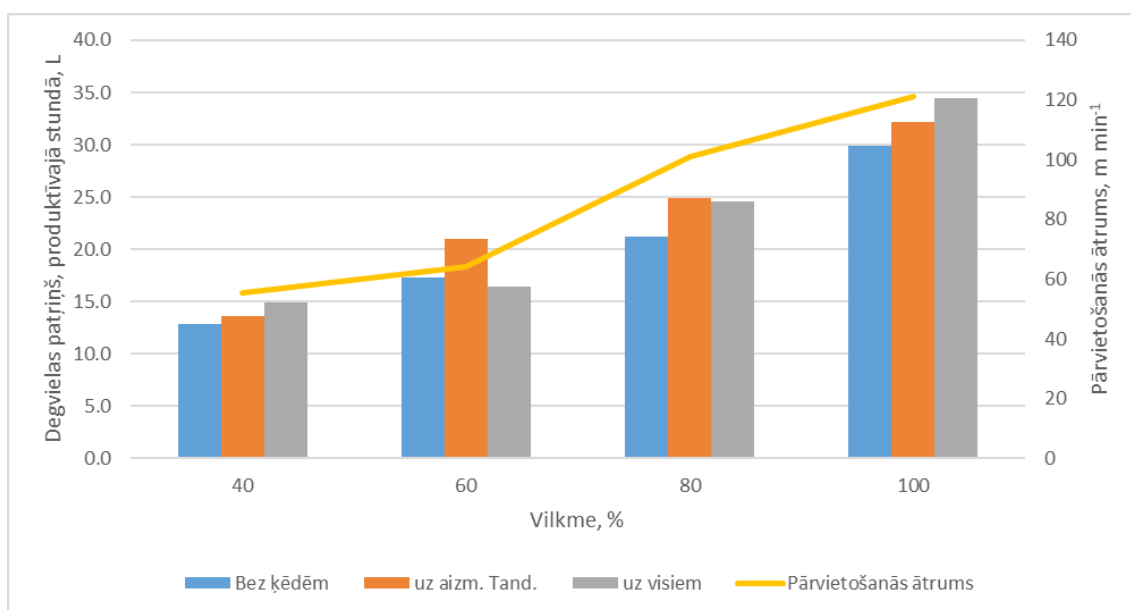
Pētījumā konstatēts, ka vidējās klases forvarderam *Ponsse Wisent* augstāka efektivitāte pie maksimāli pieļaujamās kravas piepildījuma ir, strādājot ar vilkmi 40% (Att. 71). Uzstādot atbalsta ķēdes, degvielas patēriņa pieaugums tikai pie 80% vilkmes ir būtisks. Pārējos gadījumos vērojams degvielas patēriņa pieaugums, palielinoties vilkmei, bet tas nav statistiski būtisks.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma



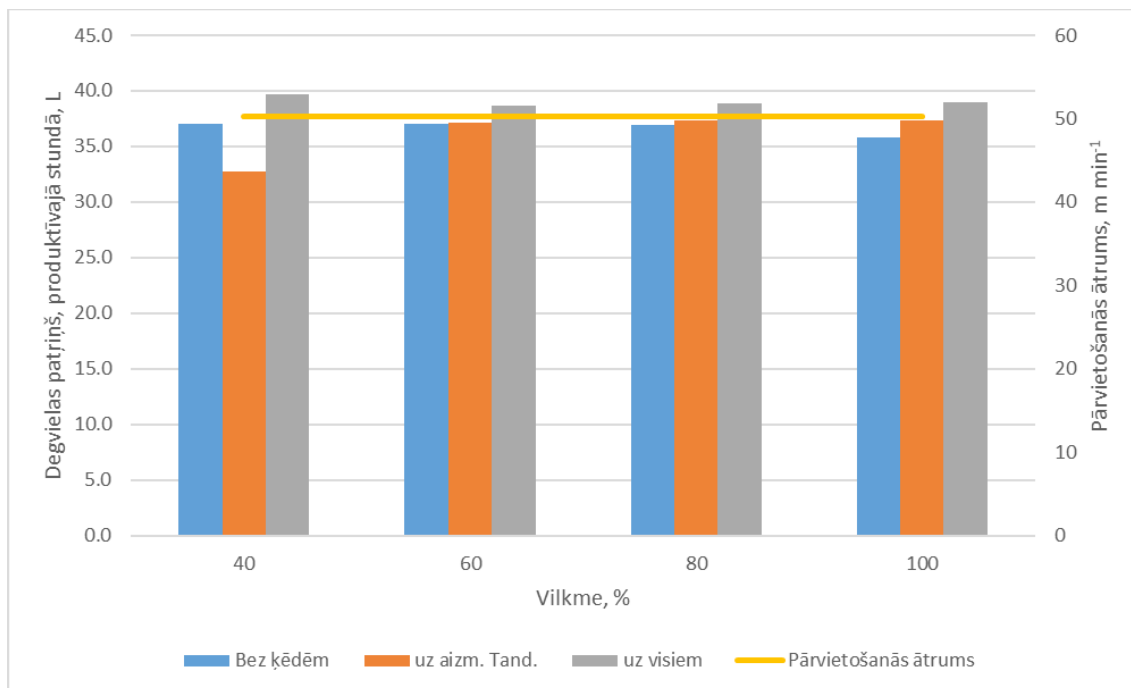
Att. 71: Degvielas patēriņš Ponsse Wisent pie maksimālās kravas piepildījuma (100%).

Degvielas patēriņš pie forvarderam pie kravas piepildījuma 50% vidēji ir 9,1 L km⁻¹; uzstādot atbalsta ķēdes uz aizmugurējajiem tandēmiem, patēriņš pieaug par 17%, savukārt uzstādot uz visiem tandēmiem – par 31%. Tikai pie maksimālās vilkmes degvielas patēriņa pieauguma tendence ir statistiski būtiska.

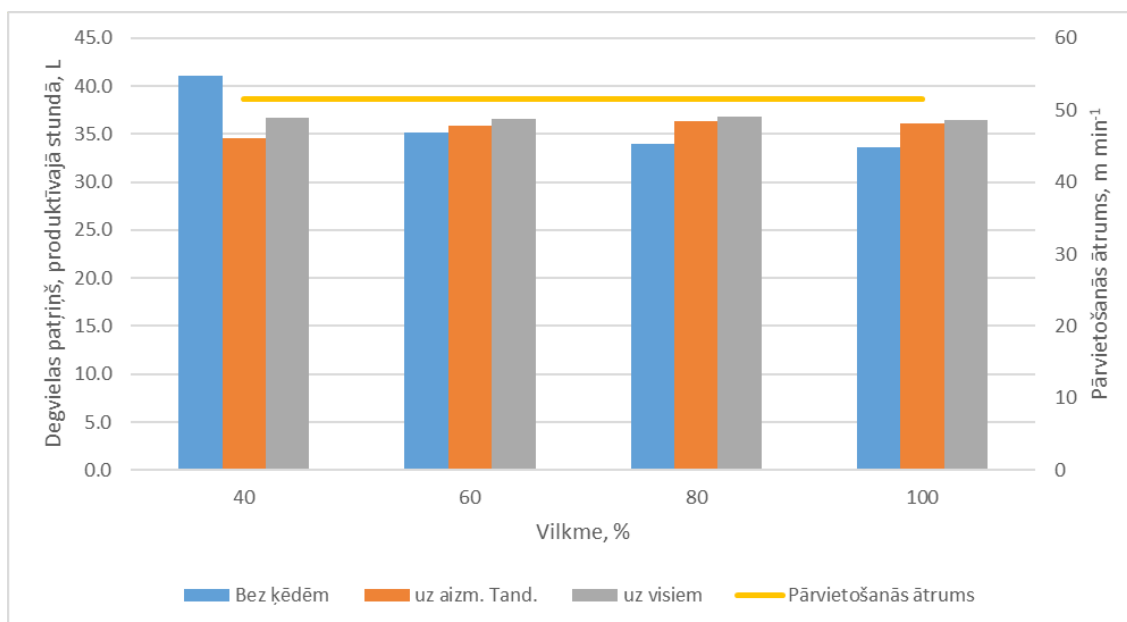


Att. 72: Degvielas patēriņš Ponsse Wisent pie 50% kravas piepildījuma.

Degvielas patēriņa izmaiņas Ponsse Buffalo pie 100% kravas piepildījuma (Att. 73) un 50% kravas piepildījuma (Att. 74) nevarēja konstatēt. Iespējamais iemesls šādam rezultātam ir problēmas ar forvardera IT sistēmu, kas nepārnesa vilkmes uzstādījumus uz dzinēju, turpinot strādāt vienā režīmā, neatkarībā no uzstādījumiem. Pētījuma gaitā neizdevās diagnosticēt šo vai citu problēmu. Rezultātā, iestatot dažādus vilkmes režīmus, datu apstrādes procesā visi mērījumi ir vienādi, un to izmaiņas nav būtiskas.



Att. 73: Degvielas patēriņš Ponsse Bufallo ar maksimālo kravas piepildījumu.



Att. 74: Degvielas patēriņš Ponsse Bufallo ar 50% kravas piepildījumu.

Pētījuma rezultāti 2018., 2019. un 2020. gada pētījumu programmas starpziņojumā un etapa pārskatā⁵⁶.

Secinājumi: ražīguma un degvielas patēriņa vienādojums krājas kopšanas cirtē, izmantojot vidējā nozāgējamā koka tilpumu, ir pietiekoši precīzs ($R^2 = 0,61$), lai prognozētu izstrādes ražīguma un degvielas patēriņa tendences. Precīzāka prognozēšanas rīka izstrāde iespējama, palielinot harvesteru produkcijas failu datu kopu un papildinot to ar detalizētāku informāciju par kopjamo cirsmu.

⁵⁶ <https://drive.google.com/file/d/17wO11xDP9qU-lmBChID6Cq4kgP2KL-EN/view?usp=sharing>;
<https://drive.google.com/file/d/1FUU-1HuR3fZPLjJKIEW3xbWaotGCHAVH/view?usp=sharing>;
<https://drive.google.com/file/d/10JD-CR3ulUeU8Up3zHneRc-x5G92febO/view?usp=sharing>;
https://drive.google.com/file/d/1I8Y90Boe7GWeuD7DW44K_lzWaux01JdH/view?usp=sharing;
<https://drive.google.com/file/d/10eww7N94g61yagcBW2qHhaFKNNZrTsNK/view?usp=sharing>.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Ražīguma un degvielas patēriņa prognozēšanas vienādojums, kas balstīts uz ražošanas datiem, nav pielietojams galvenās cirtes izstrādē ($R^2=0,38$). Tas skaidrojams ar pārāk lielu datu izkliedi pie vienāda vidējā koka tilpuma.

Ražīguma un degvielas patēriņa rādītāju uzlabošanai rekomendējama meža mašīnu operatoru profesionālā pilnveide ražošanas apstākļos. Vidējais ražīguma pieaugums pēc apmācībām ir pozitīvs un tas sāk straujāk pieaugt, ja zāģējamo koku tilpums pārsniedz $0,6 \text{ m}^3$. Lai precīzāk prognozētu ražīguma izmaiņas, kā arī izstrādātu rekomendācijas efektīvai operatoru profesionālajai pilnveidei, nepieciešama detalizēta informācija par jau veikto operatoru apmācību datumiem, instruktoriem un apmācības apstākļiem pētījumā ietvertajā harvesteru produkcijas failu datu kopā.

Ņemot vērā pētījumā gūtās atziņas par ražīguma un degvielas patēriņa uzskaites ietekmi uz vidējiem rādītājiem, nepieciešams no līdz šim pieņemtā produktīva darba laika uzskaites (G_{15}) pāriet uz motorstundu uzskaiti. Tas ļaus precīzāk novērtēt ražīgumu, pēc kā netieši identificēt mežizstrādes tehnikas iespējamās tehniskās gatavības problēmas.

Viens no risinājumiem degvielas patēriņa samazināšanai ir operatoru maiņa cirmsmā, nevis izbraucot uz cirtsmas malu. Tomēr, atbilstoši pētījumam pieejamajai datu kopai, šis risinājums ļaus samazināt degvielas patēriņu tikai par 1,3%.

Palielinot analizējamo datu kopu, kura balstīta uz StanFord 2020 standartu, iespējams izstrādāt prognozēšanas rīku, pēc kura būtu iespējams analizēt būtiskākos izmaksu ietekmējošos rādītājus, tajā skaitā identificēt operatoru ieradumus vai tehnikas iestatījumus, kas palielina degvielas patēriņu.

Vidējās klases forvarderu degvielas patēriņš ir vismazākais ar vilkmes režīmu 40%. Kompleksai ietekmes uz ražošanas izmaksām analīzei, jāņem vērā arī pārvietošanās ātrums, kas 40% vilkmes režīmam ir vismazākais. Optimālos pievešanas apstākļos atbalsta ķēžu izmantošana palielina degvielas patēriņu, radot maldīgu iespaidu, ka ķēžu izmantošana palielina degvielas patēriņu arī smagos pievešanas apstākļos. 2017. gadā veiktajos izmēģinājumos ar atbalsta ķēdēm ar palielinātu virsmas laukumu secināts, ka izmantošana platībās ar risu veidošanās risku ļauj būtiski samazināt degvielas patēriņu.

Lai novērtētu vilkmes režīmu ietekmi uz pievešanas ražīgumu un izmaksām, ir jāizvērtē forvarderu tehniskā gatavība un ietekme uz augsni, atkarībā no dažādu vilkmes režīmu īpatsvara. Ilgstoša maksimālās vilkmes režīma izmantošana var būtiski paātrināt tehnikas transmisijas un nesošās konstrukcijas elementu nolietojumu, kā arī palielināt augsnes un sakņu bojājumus. Degvielas patēriņa un izmaksu prognožu modeļa izstrādāšanai nepieciešama monitoringa datu kopa, kas raksturo transmisijas noslodzi, vidējās un maksimālās vibrācijas amplitūdas, atkarībā no vilkmes režīma, reālos ražošanas apstākļos, vienlaicīgi vērtējot arī pievešanas apstākļus. Pētījumā jāietver lielākas klases Ponsse forvarderi un citu ražotāju mašīnas, lai izslēgtu noteiktu ražotāju tehnikas ietekmi.

Rekomendācijas: mežizstrādē nepieciešams samazināt “tukšos braucienus”, kas nozīmē maiņu nodošanu mežā, nevis atpūtas vietā. Šī jautājuma risināšana ražošanas līmenī iespējama vien tad, ja mežizstrādes uzņēmuma iekšienē pilnveidota izpratne par degvielas ietekmi pašizmaksu un siltumnīcefekta gāzu samazināšanas mērķi enerģētiskas

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

un transporta sektorā. Šādus “tukšos braucienus” var konstatēt, zinot degvielas tvertnes tilpumu, pārbraucienu skaitu un attālumu. Pētījumā redzamas būtiskas atšķirības ražīgumā, degvielas patēriņā stundā un, pārrēķinot uz saražotās produkcijas vienību. Lai izlīdzinātu šos rādītājus, nepieciešama visu iesaistīto pušu izglītošana. Pētījuma rezultāti ieviešanai praksē lietderīgi organizēt seminārus mežizstrādātājiem, pilnveidojot izpratni par degvielas patēriņu ietekmējošiem faktoriem un to ietekmi uz izmaksām un vides piesārņojumu.

Lai samazinātu degvielas patēriņu pievešanā ražošanas apstākļos, pirmkārt, ir jāinformē meža mašīnu operatori par vilkmes iestatījumu maiņu un to ietekmi uz degvielas patēriņu, pārvietošanās ātrumu un augsnes bojājumiem, kā arī jāizstrādā motivācijas sistēma, lai veicinātu efektīvāku un konkrētiem apstākļiem pielāgotu darba metožu pielietošanu kokmateriālu pievešanā. Šādas sistēmas izveide ir jāsāk ar datu uzkrāšanu par degvielas patēriņu, transmisijas noslodzi, vibrācijas vidējām un maksimālajām vērtībām, atkarībā no vilkmes režīma un darba apstākļiem.

Degvielas patēriņa samazināšanos meža darbos nepieciešams pilnveidot meža mašīnu operatoru zināšanas, piesaistot kvalificētus instruktorus.

IETEIKUMI MEŽIZSTRĀDES TEHNOLOĢISKO KARŠU SAGATAVOŠANAS PILNVEIDOŠANAI

Audžu atlasē kritēriju izvērtēšana mašinizētai jaunaudžu kopšanai, 2016. gads

Pētījuma mērķis ir pilnveidot mežaudžu atlasē kritērijus, ko izmanto AS “Latvijas valsts meži” mašinizētai biokurināmā sagatavošanai piemērotu jaunaudžu izvēlei, tajā skaitā katrā AS “Latvijas valsts meži” mežsaimniecībā izveidot 3 sarakstus ar atšķirīgu sākotnējā audzes biežuma kritēriju (*vismaz 2500 koki ha⁻¹, vismaz 2000 un vismaz 1700 koki ha⁻¹*); no sagatavotajiem sarakstiem izveidot pietiekoši reprezentablas nejauši izraudzītu mežaudžu paraugkopas un tās apsekot (*noteikt faktiskos taksācijas rādītājus un novērtēt biokurināmā sagatavošanas iespējas, veicot mašinizētu mežizstrādi*); un sagatavot priekšlikumus par mašinizēto kopšanu (*kur var, kur nevar, plānotais kokmateriālu iznākums*), kā arī izvēlēties raksturīgākās audzes kopīga semināra organizēšanai par audžu atlasē un par darba uzdevumiem kopšanā.

Pētījuma ietvaros veikta mašinizētai jaunaudžu kopšanai piemērotu platību atlasē, izmantojot pieejamās informācijas sistēmas, sadarbībā ar AS “Latvijas valsts meži” speciālistiem, visās mežsaimniecībās veikta pilotteritoriju atlasē un dabā pārbaudīts, kādi atlasē nosacījumi dod vislabāko rezultātu – lielākā sakritība ar faktiski mašinizētai mežizstrādei piemērotu platību raksturojumu.

Pētījuma rezultāti publicēti 2016. gadā sagatavotajā pētījuma pārskatā⁵⁷, kā arī, kopsavilkuma veidā, 2016. gada pētījumu programmas starpziņojumā un etapa pārskatā⁵⁸.

Secinājumi: pētījuma rezultāti apstiprina pieņēmumu, ka mašinizētajai jaunaudžu kopšanai piemēroto audžu atlasē nepieciešama jauna, uz attālās izpētes datiem balstīta metode, jo reģistra datiem raksturīga liela nenoteiktība, kas neļauj pietiekoši objektīvi noprognozēt biokurināmā iznākumu.

Augsnes sagatavošanas darba metodes un paliekošo koku bojājumu kopsakarību analīze, 2016.-2018. gads

Pētījuma mērķis 2016.-2017. gadā bija identificēt raksturīgākās augsnes gatavošanas shēmas (augšnes gatavošanas virziens, manevru skaits atkarībā no nogabala konfigurācijas un meža tipa un manevrēšanas joslas platums); novērtēt darba ražīgumu atkarībā no augšanas apstākļiem (ja augsnes gatavošanas ģeogrāfiskā informācija satur laika atzīmes); izveidot optimālas kopšanas cirtes tehnoloģisko koridoru kartes nejauši atlasītai atjaunoto platību paraugkopai ar augsnes gatavošanas ģeogrāfisko informāciju, veidojot vienkāršotu reljefa modeli uz LiDAR datu pamata; pilnveidot augsnes gatavošanas shēmu iepriekš atlasītajā meža atjaunošanas objektu paraugkopā

⁵⁷ <https://drive.google.com/file/d/16Jt6TlwQyzC2BNJ8ci5xldBep5gNgDfY/view?usp=sharing>.

⁵⁸ https://drive.google.com/file/d/1whdJxSdIP2LTY0ILOw_wzsdM59gtlQrv/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/1qwGKb9QJpqwIYh2NS6oBU_6qKY9ZX4FN/view?usp=sharing.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

atbilstoši kopšanas ciršu tehnoloģisko koridoru shēmai un novērtēt manevru skaita un kopējā nobraucamā attāluma izmaiņas.

Pētījumā izstrādātas vektordatu analīzes metodes, ko var izmantot augsnes gatavošanas kvalitātes novērtēšanai, kā arī augsnes gatavošanas darba uzdevuma definēšanai regulāras formas meža nogabalos vai arī neregulāras formas nogabalos, kur izteikti dominē 1 sateces baseins.

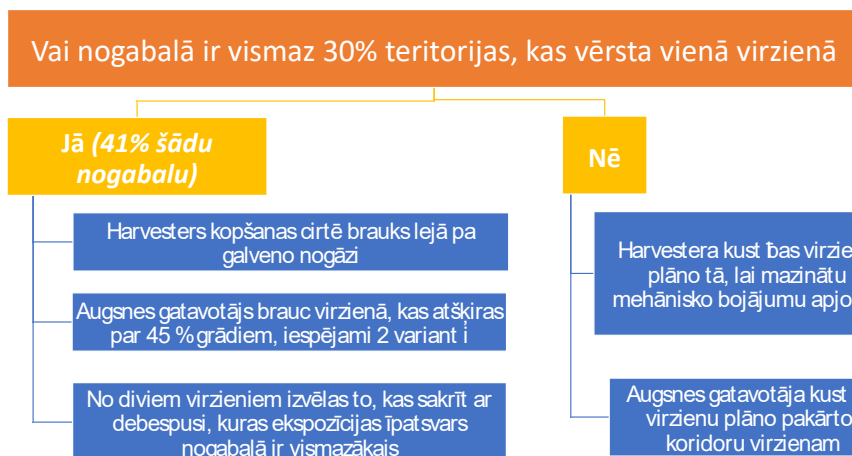
Veicot vektordatu analīzi, noskaidrots, ka augsnes gatavotāja kustības virziens būtiski ietekmē darba ražīgumu, tāpēc, novirzot augsnes gatavošanas virzienu 45o leņķī pret nogabala garenasi, jāreķinās ar papildus izmaksām. Pētījumā izstrādātā metode augsnes gatavošanas darba ražīguma modelēšanai ir izmantošana papildus augsnes sagatavošanas izmaksu novērtēšanai.

Pētījumā izstrādāta metodika augsnes gatavošanas virziena raksturošanai un modelēšanai attiecībā pret nogabala reljefu, kā arī identificētas teritorijas, kur var definēt darba nosacījumus augsnes sagatavošanas virzienam. Izstrādātās metodes pamatā ir nogabala zonēšana atbilstoši tā reljefa daļām un augsnes gatavotāja kustības plānošana atbilstoši zonu vērsumam un kritumam.

Pētījumā izstrādāta lēmuma pieņemšanas shēma darba uzdevuma noteikšanai augsnes gatavotājiem. Reljefa dati šajā shēmā ir prioritizēti, lai arī augsnes gatavotāja kustības virziena pakārtošana tehnoloģisko koridoru izvietojumam rada vieglāk prognozējamu saimniecisko efektu. Pētījumā izstrādātā metode reljefa datu izmantošanai augsnes gatavošanas darba uzdevuma precizēšanai izmantojama 41 % no visām audzēm, kur veikta augsnes sagatavošana.

Pētījumā definētas arī prioritātes turpmākajam darbam, tajā skaitā augsnes granulometriskā sastāva datu ekstrapolācija, empīrisku datu ieguve augsnes sablīvējuma ietekmes uz ūdens plūsmas ātrumu raksturošanai, kā arī augsnes gatavotāja darba ražīguma un paliekošo audzes koku bojājumu novērtēšana kopšanas cirtēs.

Att. 75 parādīta vienkāršota shēma lēmuma pieņemšanai par papildus darba uzdevumu noteikšanu augsnes gatavotājiem. Lēmuma pieņemšanas secībā reljefs (ūdens plūsma) ir prioritizēts, pieņemot, ka iespējamā negatīva ietekme uz ūdens režīmu saistīta ar lielāku risku, nekā harvesteru un forvarderu darba ražīguma samazināšanās. Shēmā redzams, ka tādu meža nogabalu, kur pētījumā izstrādātās reljefa raksturošanas metodes izmantojamas augsnes sagatavošanas plānošanas uzlabošanai, platība ir 41 % no visām audzēm, kur veikta augsnes sagatavošana. Augsnes gatavotāja kustības virziena pakārtošana tehnoloģisko koridoru izvietojumam, lai arī nav prioritizēta lēmuma pieņemšanas shēmā Att. 75, tomēr rada vieglāk prognozējamu saimniecisko efektu. Lai novērtētu tehnoloģisko koridoru virziena attiecībā pret nogabala garenasi ietekmi uz darba ražīgumu, paliekošās audzes un augsnes bojājumiem, 2017. gadā jāparedz empīrisku datu ievākšana iepriekš izstrādātās kopšanas cirtēs.



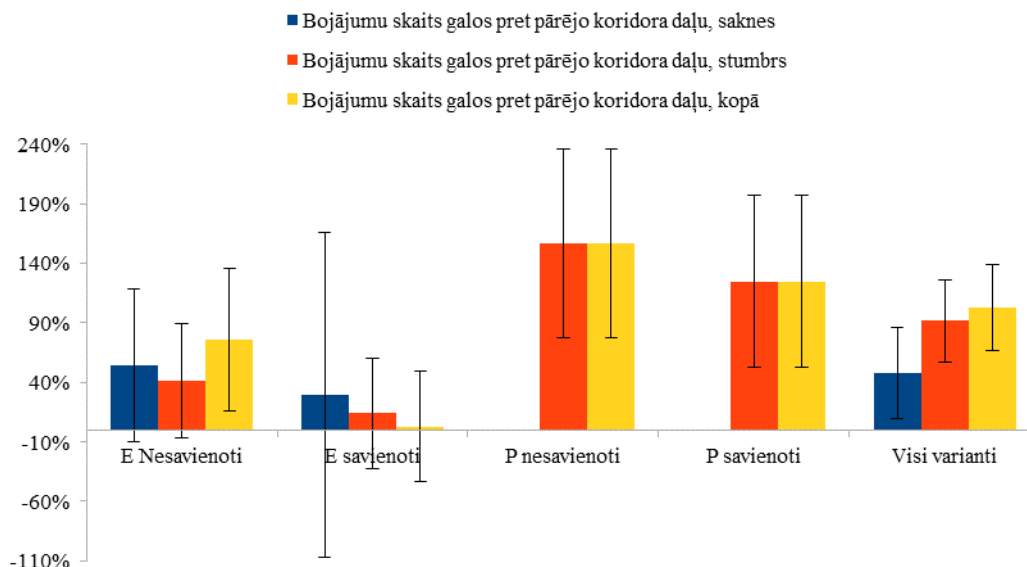
Att. 75: Sākotnējie augsnes apstrādes kustības plānošanas ieteikumi.

Pētījuma mērķis 2018. gadā bija veikt 2016.-2017. gadā ievāktu empīrisku datu analīzi, skaidrojot krājas kopšanas cirtē atstājamo mehāniski bojāto koku izvietojuma sakarības, lai ar iegūtajiem datiem raksturotu augsnes gatavotāja darba virziena maiņas iespējamo ietekmi uz atstājamo koku bojājumu intensitāti krājas kopšanas cirtē.

Pētījumā konstatēts, ka mežizstrādes atlieku novešana vai atstāšana cirmsmā (iepakojot ceļos) būtiski neietekmē augsnes sagatavošanas ražīgumu, taču platībās, kur mežizstrādes atliekas novestas, būtiski palielinās vagu dziļums, netieši norādot uz labāku augsnes sagatavošanas kvalitāti šajās platībās. Šis pieņēmums ir jāpārbauda turpmākajos pētījumos, novērtējot mežizstrādes atlieku novešanas ietekmi uz meža kultūru izaugšanos, stādīņu augstumu un agrotehniskās kopšanas kvalitāti.

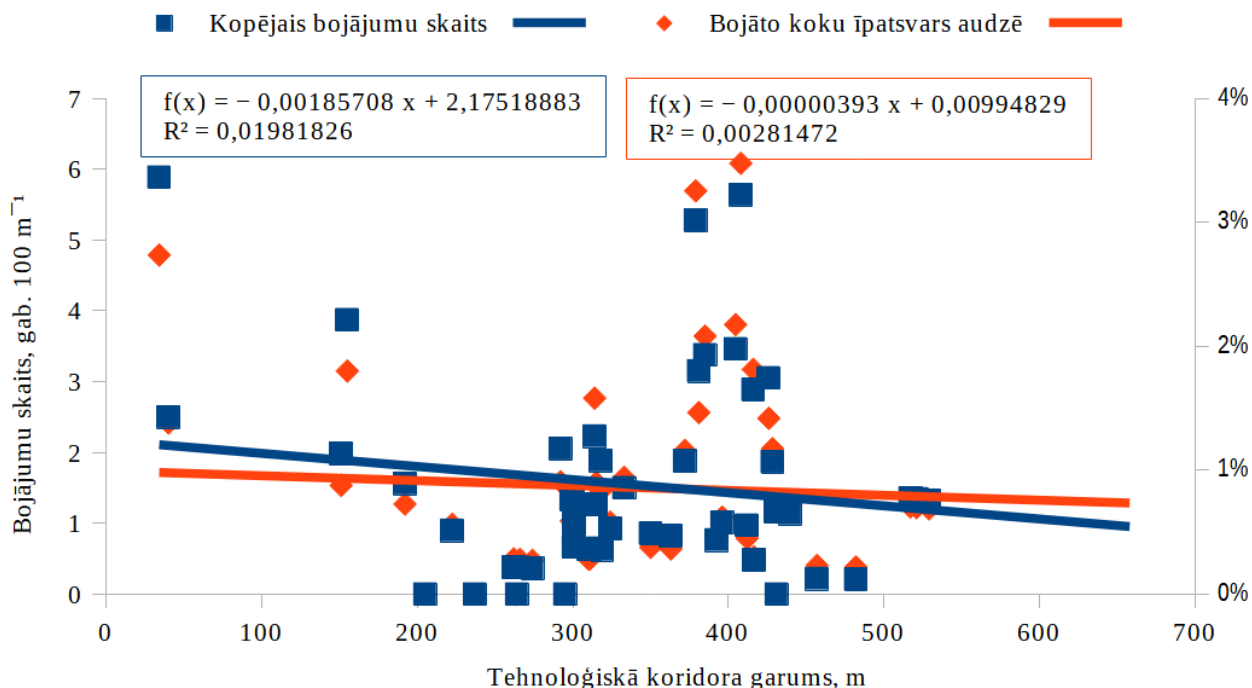
Pētījumā nav konstatēta koridoru dizaina (savienoti vai nesavienoti gali) sakarība ar bojājumu intensitāti, taču apstiprinājās pētījuma hipotēze par to, ka bojāto koku skaits un īpatsvars būtiski pieaug tehnoloģisko koridoru galos (Att. 76). Lielāks bojāto koku īpatsvara pieaugums manevrēšanas joslās ir priežu audzēs. Modelējot augsnes gatavošanas un mežizstrādes dizaina ietekmi uz bojāto koku īpatsvaru, izmantojami sugai specifiski parametri – bojāto koku īpatsvara pieaugums koridoru galos priežu audzēs ir 68%, egļu audzēs – 45%, salīdzinot ar pārējo audzes daļu. Pārējā audzes daļā var izmantot ražošanas statistikas rādītājus vai arī pētījuma rezultātus – vidējais bojāto koku īpatsvars egļu audzēs 4,9% un priežu audzēs – 0,8% no atstājamiem kokiem. Šie dati attiecināmi tikai uz 1. krājas kopšanas cirti.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma



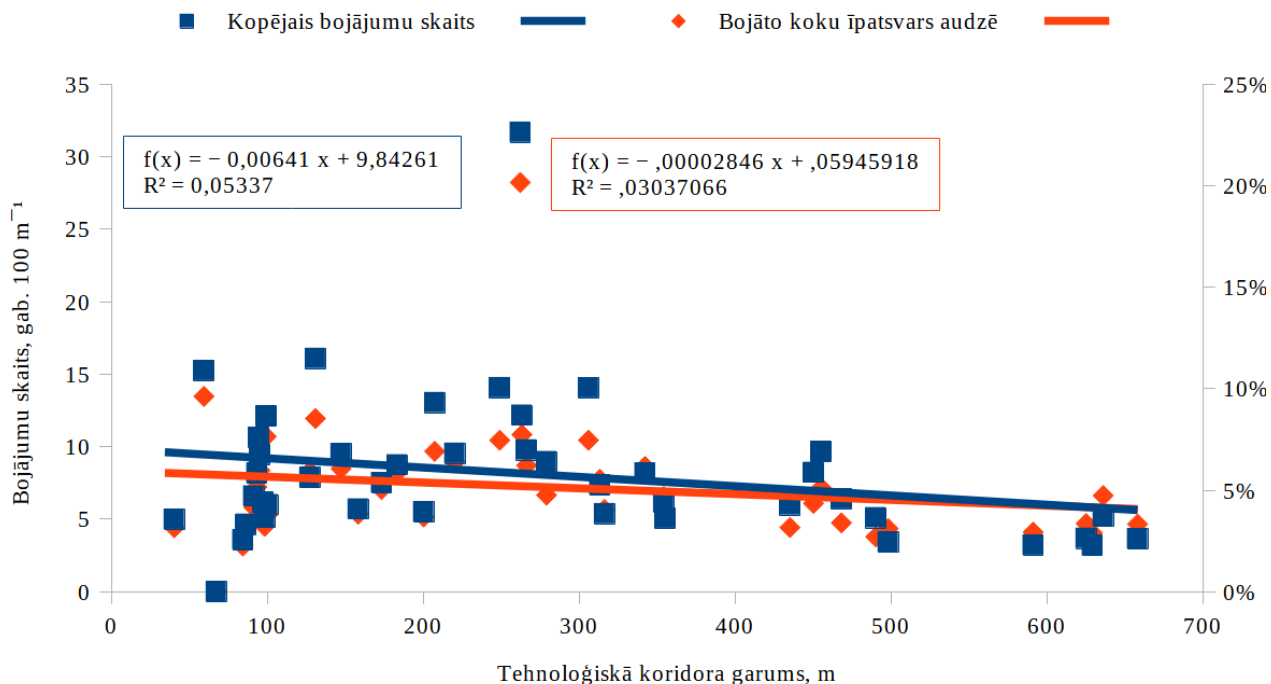
Att. 76: Bojājumu skaits manevrēšanas joslās, salīdzinot ar pārējo audzes daļu, atkarībā no valdošās sugas un koridoru savienojuma.

Bojāto koku skaits un īpatsvars 100 m garā posmā priežu audzēs būtiski neatšķiras, neatkarīgi no tehnoloģiskā koridora garuma, lai gan ir vērojama bojāto koku skaita un īpatsvara (no atstājamiem kokiem) samazināšanās tendence, pieaugot koridoru garumam (Att. 77). Līdzīga tendence konstatēta arī egļu audzēs (Att. 78).



Att. 77: Bojāto koku skaits un īpatsvars no atstājamiem kokiem priežu audzēs, atkarībā no tehnoloģiskā koridora garuma.

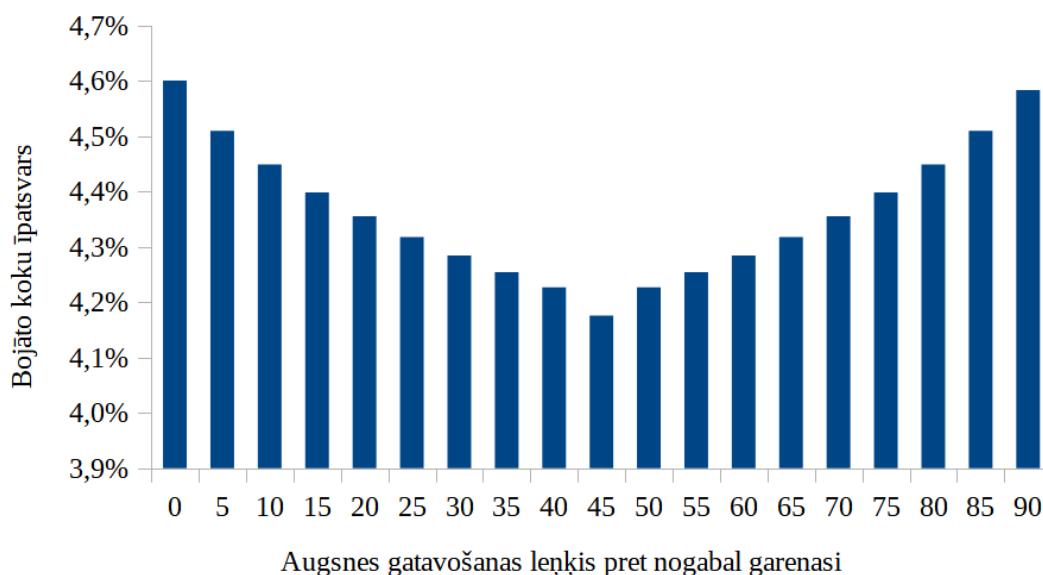
Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma



Att. 78: Bojāto koku skaits un īpatsvars no atstājamiem kokiem egļu audzēs, atkarībā no tehnoloģiskā koridora garuma.

Izmantojot izstrādāto aprēķinu modeli, konstatēts, ka augsnes sagatavošanas dizaina pielāgošana optimālam tehnoloģisko koridoru izvietojumam kopšanas cirtēs nav lietderīga, ja vien to nenosaka dabas aizsardzības vai citi nosacījumi.

Att. 79 parādīts aprēķinu piemērs, mainot augsnes gatavošanas virzienu no 0° līdz 90° 300 m garā cismā, attiecīgi, krājas kopšanas cirtē koridorus plānots ierīkot ar nobīdi par 45°, veicot mežizstrādi 45° leņķī attiecībā pret stādīto koku rindām. Atšķirība starp maksimālo un minimālo prognozējamo bojāto koku īpatsvaru ir 0,42% (no 4,18% līdz 4,60%). Tehnoloģisko koridoru aizņemtā platība (pieņemot, ka koridora platums ir 4 m) ir 20-22%, atkarībā no tehnoloģisko koridoru ierīkošanas slīpuma.



Att. 79: Parametri krājas kopšanas ciršu rādītāju aprēķinos.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Pētījuma rezultāti apkopoti 2016. gadā sagatavotajā pārskatā⁵⁹ par augsnes gatavotāju sekošanas sistēmu datu analīzi un 2018. gada pārskatā⁶⁰ par atstājamo koku bojājumu datu analīzi kopšanas cirtēs, kā arī, kopsavilkumu veidā, 2016., 2017. un 2018. gada pētījumu programmas starpziņojumos un etapa pārskatos⁶¹.

Rekomendācijas: pētījumā izstrādātais aprēķinu modelis pierāda, ka augsnes sagatavošanas dizaina pielāgošana optimālam tehnoloģisko koridoru izvietojumam kopšanas cirtēs, ko veiks 20-30 gadus pēc augsnes gatavošanas, nav lietderīga, ja vien to nenosaka dabas aizsardzības vai citi nosacījumi (nogāzes slīpums, dabiskās straumes, pārmitrās ieplakas, potenciāli saudzējamas dabas vērtības).

Metodikas aprobācija pārmitro platību identificēšanai izmantojot aero lāzerskenēšanas datus, 2016.-2020. gads

Pētījuma mērķis ir izstrādāt metodiku pārmitru augsnes apstākļu dešifrēšanai mežaudzēs, veikt izstrādātās metodikas aprobāciju un sagatavot priekšlikumus augsnes mitruma karšu veidošanā.

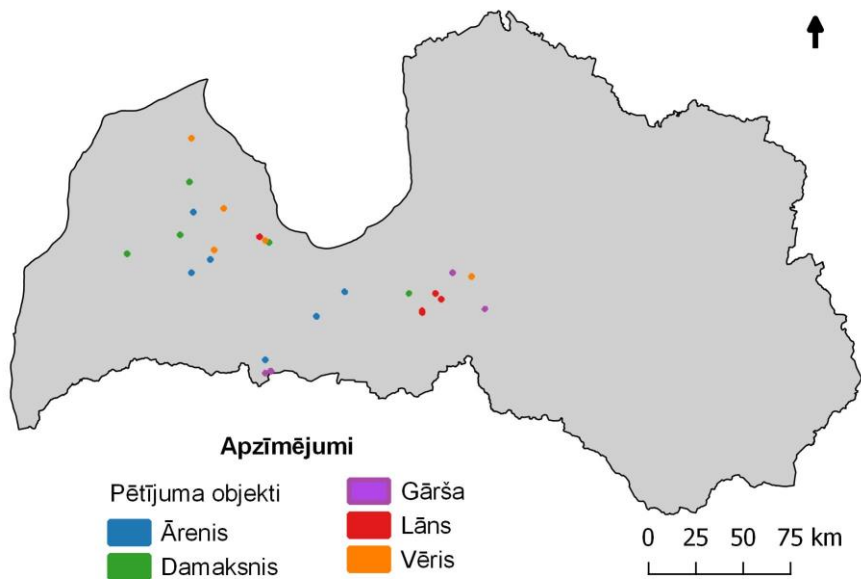
Pētījumā izmantoti LiDAR dati, kas iegūti no Latvijas Ģeotelpiskās Informācijas aģentūras ar Zemes virsmu raksturojošo punktu blīvumu ne mazāku par 1,5 p m⁻¹, vertikālo precizitāti ne sliktāku kā 12 cm un horizontālo precizitāti ne sliktāku kā 36 cm. Izmantotas arī Sentinel-2 multispektrālās satelītainas, grāvju vektoru dati no LGIA un LVM datu bāzēm un Kvartāra perioda nogulumu dati (Meirons, 2002).

Pētījuma laikā, balsoties uz Att. 80 redzamajiem parauglaukumiem izveidots augsnes mitruma apstākļus prognozējošs modelis (2. formula). Parauglaukumos veikta augsnes zondēšana novērtējot kūdras slāņa biezumu un glejošanās horizonta izteiktību.

⁵⁹ https://drive.google.com/file/d/1wKgUv-bYsUc3iy2tWcNcsX2PYPM-n_85/view?usp=sharing.

⁶⁰ https://drive.google.com/file/d/1sWNfqJLlvzNfrqrHYNsJOEe6_tMvFtP8/view?usp=sharing.

⁶¹ https://drive.google.com/file/d/1whdJxSdIP2LTY0ILOw_wzsdM59gtlQrv/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/1qwGKb9QJpqiYh2NS6oBU_6qKY9ZX4FN/view?usp=sharing;
<https://drive.google.com/file/d/1MzyXIFdEoMbo8ZyXEnrSnMzN1p1CML-v/view?usp=sharing>;
https://drive.google.com/file/d/14fZOkkW4oGS995ihyZxDsaJmSfNy_o0l/view?usp=sharing;
<https://drive.google.com/file/d/17wO11xDP9qU-lmBChID6Cq4kgP2KL-EN/view?usp=sharing>;
<https://drive.google.com/file/d/1FUU-IHuR3fZPLjJKIEW3xbWaoTGHAVH/view?usp=sharing>.

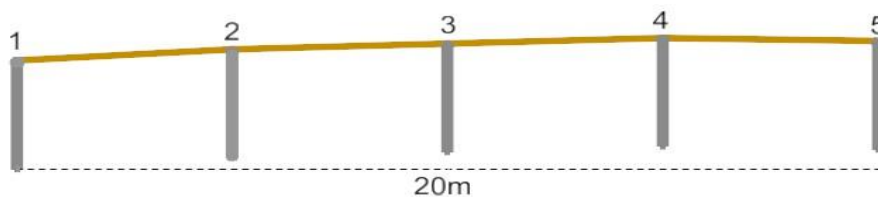


Att. 80: Pētījuma parauglaukumu izvietojums.

Modelis izstrādāts izmantojot binārās regresijas algoritmu un dažādus attālās izpētes indeksus, kā piemēram – Kvartāra ģeoloģiskie nogulumi, virsmas slīpums, normalizētais augstums, beznoteces ieplaku dziļums, SAGA mitruma indekss, un NDVI veģetācijas indekss.

$$\begin{aligned}
 & \text{if}(\text{Kvartārs} = \text{glaciolimniskie or Kvartārs} = \text{kūdra}, (\exp(2.522 - 1.226 * \text{Slope_5m} - \\
 & \quad 5.012 * \text{NH_m2})) / (\exp(2.522 - 1.226 * \text{Slope_5m} - 5.012 * \text{NH_2m}) + 1), \\
 & \quad (\text{if}(\text{Kvartārs} = \text{morēna}, (\exp(48.749 * \text{Depressions_2m} - 3.645)) / \\
 & \quad (\exp(48.749 * \text{Depressions_2m} - 3.645) + 1), (\text{if}(\text{Kvartārs} = \text{glaciofluviālie}, \\
 & \quad (\exp(32.95 - 2.788 * \text{Saga_2m} - 63.565 * \text{NH_5m} - 2.387 * \text{Slope_5m})) / \\
 & \quad (\exp(32.95 - 2.788 * \text{Saga_2m} - 63.565 * \text{NH_5m} - 2.387 * \text{Slope_5m}) + 1), \\
 & \quad (\text{if}(\text{Kvartārs} = \text{eolie}, (\exp(96.576 * \text{NDVI} * \text{Mezaudzes_10_years_old} - \\
 & \quad 93.506 - 2.437 * \text{NH_m2} + 1.651 * \text{Saga_2m})) / (\exp(96.576 * \text{NDVI} * \\
 & \quad \text{Mezaudzes_10_years_old} - 93.506 - 2.437 * \text{NH_m2} + 1.651 * \text{Saga_2m}) + 1), 1/0))))))
 \end{aligned} \tag{1}$$

Papildus novērtēta arī sezonālo straumju ietekmes uz augsnes mitruma režīmu. Četros parauglaukumos uz dažādiem Kvartāra nogulumu tipiem izvietotās gruntsūdens līmeņa mērīšanas akās veikts monitoringa. Gruntsūdens līmenis novērtēts taisnā līnijā perpendikulāri potenciālās ūdens plūsmas garenasij (Att. 81).

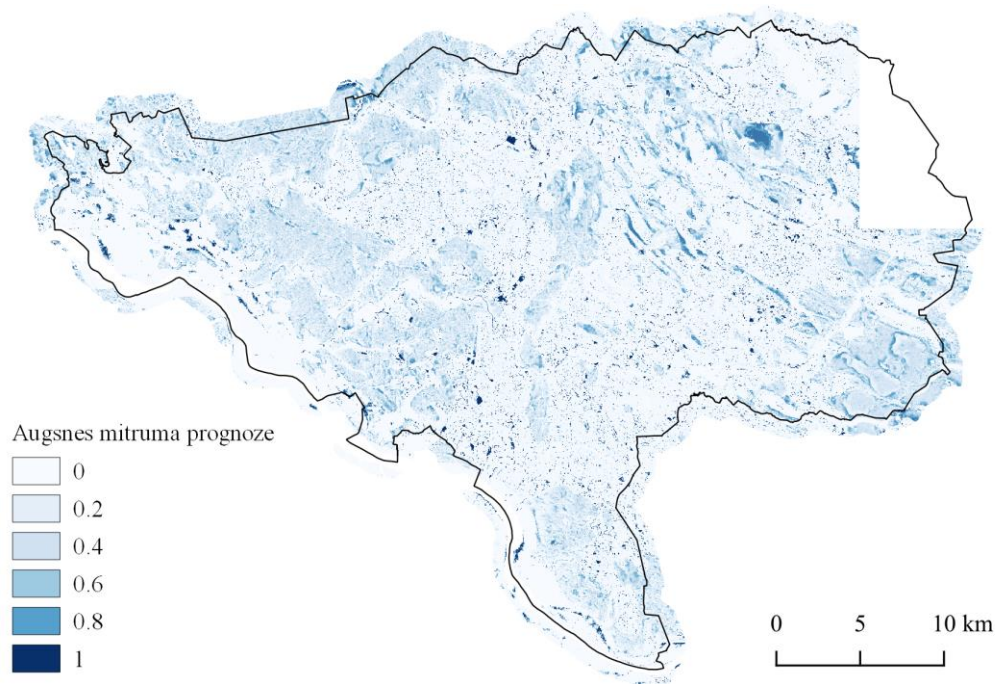


Att. 81: Gruntsūdens līmeņa monitoringa parauglaukuma shēma.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Pētījuma laikā problēmas sagādāja precīza virszemes ūdens noteces modelēšana, jo lāzerskenēšanas datus tādi objekti kā tilti un caurtekas uzvedas kā dambji. Risinājums šai problēmai rasts pieņemot, ka visi grāvji ir funkcionējoši un ūdens no sateces baseina tiek novadīts. Tādējādi Zemes virsmas reljefa modeļos, grāvju vietās izveidoti bezdibeņi. Izmantojot par jaunu izveidotos reljefa modeļus un iepriekš izstrādāto augsnes mitruma prognožu modeli veikta augsnes mitruma prognožu karšu paraugu izstrādāšana un salīdzināšana ar iepriekšējiem rezultātiem.

Pētījuma pēdējā posmā izstrādāta augsnes mitruma prognožu karte meža iecirkņa mēroga teritorijai, izvēloties Ogres iecirkni (Att. 82), kura platība ir 1070 km². Pētījuma teritorijā sastopami tādi Kvartāra perioda nogulumu tipi kā Glaciolimniskie, Glacigēnie, Glaciofluviālie un kūdras nogulumu. Teritorijā pārsvarā sastopami tādi meža augšanas apstākļu tipi kā vēris, gārša, damaksnis un platlapju ārenis. Vērtības kartē variē no 0 līdz 1, kur 0 norāda uz sausiem augsnes apstākļiem, savukārt 1 uz mitriem. Šībrīža kartes versija ir laikā nemainīga un mainīgi laikapstākļi netiek ņemti vērā, tomēr karti interpretējot jāatceras, ka ilgstošu nokrišņu apstākļos arī sausākās vietas kļūst mitras un ilgstoša sausuma apstākļos pretēji.



Att. 82: Augsnes mitruma prognožu karte Ogres iecirknim.

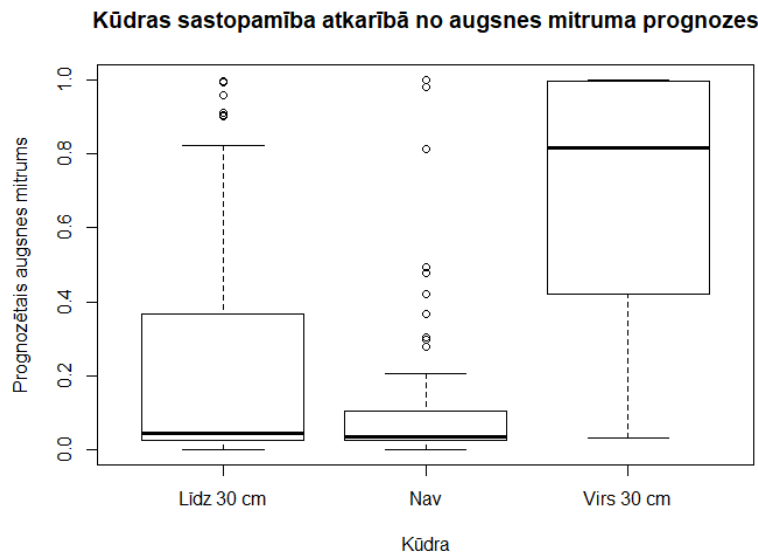
Lai novērtētu izstrādātās prognožu kartes precizitāti, lauka darbos apsekoti 150 punkti ar mērķi noteikt kūdras sastopamību un biežumu, kā arī glejošanās horizonta sastopamību, izteiktību un biežumu. Šie rādītāji noteikti, jo tie izmantoti augsnes mitruma prognožu karšu veidošanā un norāda uz ilgstoši paaugstinātu mitruma klātbūtni augsnes virskārtā.

Iegūto rezultātu novērtējums atainots Att. 83 un Att. 84 attēlos. Ticamības intervāli norāda uz vērtību areālu, kādā sakārtojušies katras izdalītās klases punkti starp pirmo un trešo kvantili. Redzams, ka lauka darbos apsekotie punkti, kuros kūdra nav konstatēta atrodas starp augsnes mitruma prognožu vērtībām 0-0,1. Parauglaukumi, kuros kūdras slānis bijis līdz 30 cm biezs konstatēti pie augsnes mitruma prognožu vērtībām līdz 0,4.

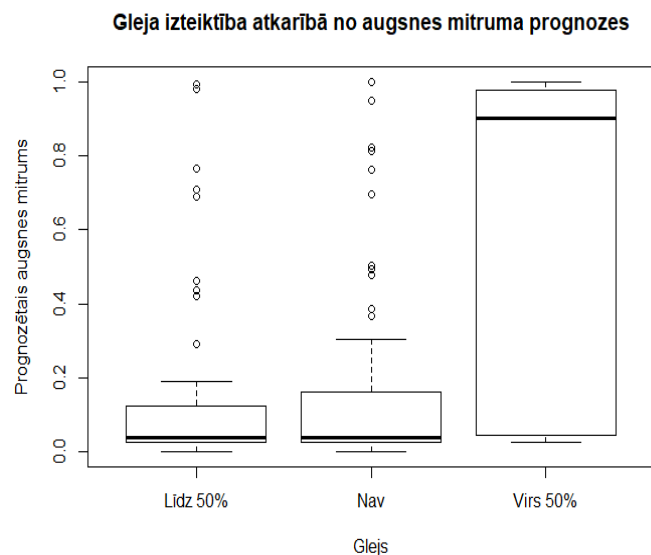
Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Savukārt augsnes mitruma prognožu modeļa vērtības virs 0,4 ar lielu pārliecību norāda uz kūdras slāņa biezumu virs 30 cm.

Līdzīga, lai arī ne tik izteikta, ir novērojama arī ar glejošanās intensitāti. Parauglaukumos, kuros glejošanās horizonta klātbūtne novērota nav bijusi, vai arī glejošanās horizonta izteiktība ir bijusi zema, augsnes mitruma prognožu modelis uzrāda vērtības no 0 līdz 0,2. Savukārt pie augstākām mitruma prognožu vērtībām glejošanās horizonta izteiktība ir novērojama vairumā gadījumu.



Att. 83: Kūdras sastopamība atkarībā no augsnes mitruma prognozes.



Att. 84: Glejošanās horizonta sastopamība atkarībā no augsnes mitruma prognozes.

Pētījuma rezultāti apkopoti 2016., 2017., 2018., 2019. un 2020. gadā sagatavotajos pārskatos⁶², kā arī, kopsavilkumu veidā, pētījumu programmas 2016., 2017., 2018., 2019. un 2020. gada starpziņojumos un etapa pārskatos⁶³.

⁶² <https://drive.google.com/file/d/1pzu7VPvGXTsdHmiKS22tPPfFs1vHqctU/view?usp=sharing>;
<https://drive.google.com/file/d/1gYFwW18w-T1pvlyfudpRC9qSdKKsikMt/view?usp=sharing>;
https://drive.google.com/file/d/10qkdGdeMwvxQrqVoyNPJnUbb0RE_3aeG/view?usp=sharing;

Secinājumi: pārmitru minerālaugšnes apstākļu dešifrēšana, izmantojot LiDAR datus un multispektrālās satelītainas ir perspektīva un praksē ieviešama metode. Šo metodi var izmantot gan augsnes mitruma apstākļu raksturošanai, gan mežsaimniecības darbu plānošanai. Dažādiem Kvartāra ģeoloģiskajiem nogulumiem ir atšķirīga ietekme uz augsnes mitruma telpisko izplatību. Prognozējot augsnes mitruma apstākļus, katram augsnes cilmieža tipam ir jāpiemēro atšķirīga attālās izpētes indeksu kombinācija. Sezonālo straumju veidošanās atkarīga no sateces baseina lieluma, ģeoloģiskajiem nogulumiem un nokrišņu daudzuma. Pētījumā secināts, ka izmantojot sateces baseina lieluma kartes ir iespējams prognozēt gruntsūdens plūsmas virzienus un akumulācijas apgabalus. Augšnes mitruma prognozēm uz glaciolimniskajiem nogulumiem būtiska ietekme ir lokāliem pazeminājumiem. Grāvju pārklājuma zonas aizstājot ar tukšumu, lokālie pazeminājumi tiek meklēti tiem blakus pieguļošajās teritorijās, kuras realitātē nav zemākās reljefa vietas.

Augsnes mitruma prognožu kartes ir var veidot plašām teritorijām vienlaicīgi. Pētījuma laikā dati apstrādāti 729 km² lielām teritorijām, karšu lapas pēc tam apvienojot vienā produktā. Izstrādātā augsnes mitruma prognožu karte veidota ar 2m horizontālo izšķirtspēju, lauka apstākļiem un pielietošanai praksē, datora atmiņas taupīšanas nolūkā, karti iespējams ģeneralizēt, samazinot tās izšķirtspēju. Pārbaudot izstrādātās kartes precizitāti dabā, konstatēts, ka kūdras slāņa biezums punktos, kuros augsnes mitruma prognožu kartes vērtība pārsniedz 0,4, pārsvarā ir biezāks par 30 cm. Pie vērtībām, kuras ir mazākas par 0,4 pārsvarā konstatēts plānāks kūdras slānis, vai arī tas nav konstatēts vispār. Līdzīga situācija ir arī ar konstatēto glejošanās horizonta izteiktību. Parauglaukumos ar vērtību līdz 0,2, glejošanās horizonts pārsvarā nav konstatēts, vai arī tas ir neizteikts, savukārt vērtībām pieaugot, palielinās arī glejošanās izteiktība. Gruntsūdens līmenis un augsnes nestspēja tiešā veidā ir saistītas ar nokrišņu daudzumu. Meteoroloģisko informāciju apvienojot ar augsnes mitruma prognožu kartēm būtu iespējams prognozēt aktuālo augsnes nestspēju mežaudzēs.

Turpinot izstrādāto rīku pilnveidošanu, ir jāizveido augsnes mitruma prognožu karte, kas dinamiski mainās, atkarībā no laikapstākļiem, un spēj parādīt arī prognozējamo augsnes mitruma režīmu operatīvai mežsaimniecisko darbību plānošanai, balstoties uz laikapstākļu prognozēm. Galvenie risināmie jautājumi ir augsnes ūdens filtrācijas modeļa izstrāde Latvijas teritorijai, balstoties uz empīriskie datiem un ģeoloģisko nogulumu īpašību izpētes rezultātiem; automātiska nokrišņu daudzuma aprēķināšanas modeļa izveidošana Latvijas teritorijai, balstoties uz LVĢMC datiem;

⁶³ https://drive.google.com/file/d/1V3N_Y8Yla2PK_HSjp1bbn32qbg6S5Y4a/view?usp=sharing;
<https://drive.google.com/file/d/1bjkbuU5oQ7JNSV1-91JmB-iLKbLUMdU5/view?usp=sharing>;
<https://drive.google.com/file/d/1t7bbi9TK59gGhGCoMVLdrh1AfQg4a2nd/view?usp=sharing>;
https://drive.google.com/file/d/1whdJxSdIP2LTY0ILOw_wzsdM59gtlQrv/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/1qwGKb9QJpqwIYh2NS6oBU_6qKY9ZX4FN/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/14fZOkkW4oGS995ihyZxDsaJmSfNy_o0l/view?usp=sharing;
<https://drive.google.com/file/d/17wO11xDP9qU-lmBChiD6Cq4kgP2KL-EN/view?usp=sharing>;
<https://drive.google.com/file/d/1FUU-lHuR3fZPLJKIEW3xbWaoTGHAVH/view?usp=sharing>;
<https://drive.google.com/file/d/10JD-CR3ulUeU8Up3zHneRc-x5G92febO/view?usp=sharing>;
https://drive.google.com/file/d/1I8Y90Boe7GWeuD7DW44K_lzWaux01JdH/view?usp=sharing;
<https://drive.google.com/file/d/10eww7N94g61yagcBW2qHhaFKNNZrTsNK/view?usp=sharing>.

evapotranspirācijas modeļa izstrāde un mašīnmācības modeļa izstrāde augsnes mitruma režīma prognozēšanai, iekļaujot iepriekš uzskaitītos modeļus un attālās izpētes datus.

LiDAR datu izmantošana koku augstuma novērtēšanai, 2017.-2018. gads

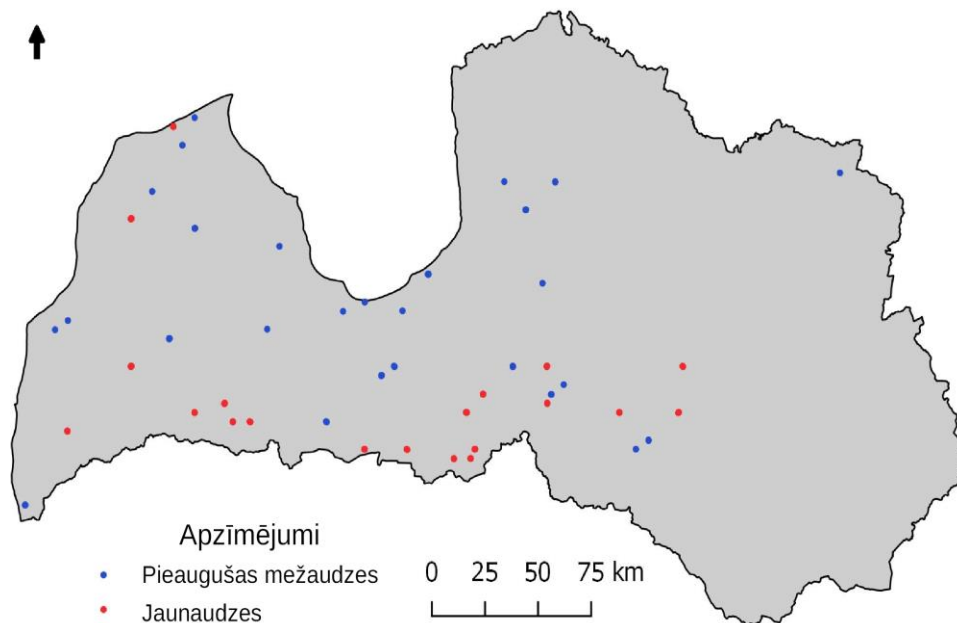
Pētījuma mērķis ir izstrādāt metodiku biokurināmā ieguvei piemērotu jaunaudžu atlasīšanai, izmantojot LiDAR datus, tajā skaitā:

- atlasīt dažāda vecuma skujkoku un lapkoku audzes, izmantojot 2016. gada un citu gadu pētījumos izmantotās jaunaudžu atlasē datu kopas;
- iegūt empīriskus datus audzes vidējā koku faktiskā augstuma un no lāzerskenēšanas datiem interpolētā koku augstumu salīdzināšanai dažāda vecuma skujkoku un lapkoku audzēs;
- noteikt audžu vidējā koka augstumus, interpolējot lāzerskenēšanas datus un salīdzināt tos ar rezultātiem, kas iegūti, vidējā koka augstumu nosakot ar instrumentālās uzmērīšanas metodēm.

Pētījumam nepieciešamie LiDAR dati, kas izmantojami DEM un DSM modeļu izstrādei iegūti no Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras (LĢIA). Pētījumā izmantoti *las formāta dati un to vidējais punktu blīvums uz m^2 bija $4-14 p * m^{-1}$. Izmantojamajiem LiDAR datiem vertikālā precizitāte ir vismaz 12 cm (2 sigmas ar 95% ticamības līmeni pret Valsts ģeodēzisko tīklu) un horizontālā precizitāte ir vismaz 36 cm (2 sigmas ar 95% ticamības līmeni pret Valsts ģeodēzisko tīklu). Minimālās prasības pret punktu blīvumu ir $4 p * m^{-1}$, un vidējais zemes punktu blīvums ir $1,5 p * m^{-1}$ ⁶⁴.

Pētījumā kopumā izmantoti 85 meža resursu monitoringa (MRM) parauglaukumi (Att. 85). Sarkanie punkti reprezentē skujkoku jaunaudzes ar vidējo koku augstumu no 8 līdz 15 m, savukārt zilie punkti ataino pieaugušas skujkoku audzes, kuru vecums ir robežās no 70-100 gadi. Pētījumā izmantoti parauglaukumi, kuri atrodas LiDAR datu pārklājuma zonā. Tā kā mežu monitoringa ietvaros parauglaukumu uzmērīšana notiek reizi 5 gados, tad atlasīti tikai tie parauglaukumi, kuros uzmērīšana notikusi +/- 1 gada robežās attiecībā pret LiDAR datu iegūšanu.

⁶⁴ http://map.lgia.gov.lv/index.php?lang=0&cPath=5&txt_id=126



Att. 85: Pētījuma parauglaukumu izvietojums.

No LiDAR punktu mākoņa izveidoti rastra slāņi, kuri reprezentē zemes virsmas un apauguma augstumu 0,5 m horizontālajā izšķirtspējā. Koku galotnes noteiktas izmantojot maksimālā kaimiņa metodi virsotnēm, kuras ir vismaz 5m augstumā virs zemes.

Iegūtie rezultāti liecina, ka pielietotās metodes ir izmantojamas aptuvena koku augstuma noteikšanai. Koku augstumi, kas uzmērīti meža resursu monitoringa parauglaukumos ir vidēji par 1 - 2 metriem augstāki nekā pielietotās LiDAR datu analīzes rezultātos un šīs atšķirīgas gan skujkoku jaunaudzēs, gan pieaugušās audzēs ir statistiski būtiskas. **Kļūda! Nav atrasts atsauces avots.** redzams, ka pieaugušās skujkoku audzēs determinācijas koeficients ir būtisks ($r^2=0,93$) un koku augstuma vērtībām, kas iegūtas izmantojot LiDAR datus ir tendence būt zemākām, kā MRM datos. Patiesā koku augstuma nepietiekamu novērtējumu var skaidrot ar LiDAR datu ieguves metodoloģiju, jo pie izmantotā LiDAR datu punktu blīvuma ir ļoti liela iespējamība, ka koka galotne netiek uzmērīta un pirmais atstarojums tiek konstatēts zemāk koka vainagā. Datu apstrādē šis punkts, kas atstarojies koka vainagā tiek uzskatīts par galotni un tādējādi veidojas neprecīzs koka augstuma novērtējums.

Pētījuma rezultāti apkopoti 2017. un 2018. gadā sagatavotajos pārskatos⁶⁵, kā arī, kopsavilkumu veidā, pētījumu programmas 2017. un 2018. gada starpziņojumos un etapa pārskatos⁶⁶.

Secinājumi: Latvijā pieejami LĢIA uzturēti LiDAR dati ir izmantojami koku augstuma noteikšanai mežaudzes līmenī, tomēr individuālu koku noteikšanai LiDAR punktu

⁶⁵ https://drive.google.com/file/d/1z873kp0YziwCUXuDhCAiGhPSGPaIX_0x/view?usp=sharing;
<https://drive.google.com/file/d/1sGbz9HVN4YD9sx5MSUZmdNefrIrh0fk9/view?usp=sharing>.

⁶⁶ https://drive.google.com/file/d/14fZOkkW4oGS995ihyZxDsaJmSfNy_o0l/view?usp=sharing;
https://drive.google.com/file/d/1W_q8CtJx4jC-J2qGfewGyNnEYApIc57I/view?usp=sharing;
<https://drive.google.com/file/d/17wO11xDP9qU-lmBChiD6Cq4kgP2KL-EN/view?usp=sharing>;
<https://drive.google.com/file/d/1FUU-IHuR3fZPLjJKIEW3xbWaoTGCHAVH/view?usp=sharing>.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

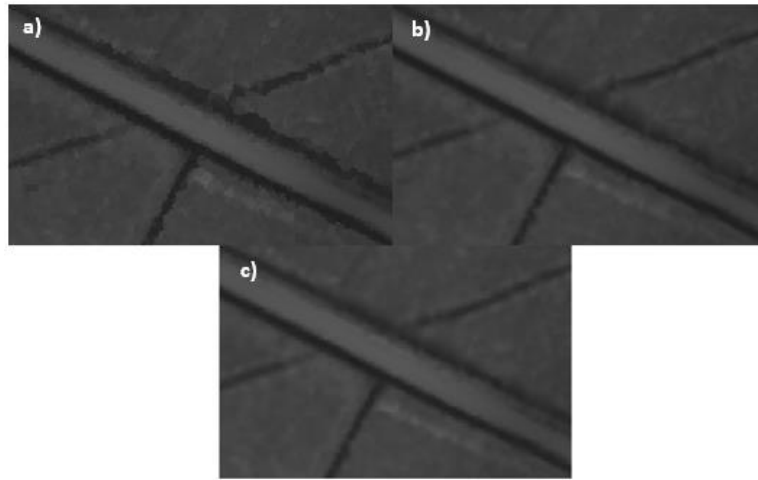
mākoņa blīvums ir nepietiekams. Individuālu koku izšķiršana iespējama pieaugušās audzēs, kurās veikta krājas kopšana un attālums starp kokiem pārsniedz 1,5 m. Audzēs, kurās koku blīvums ir augstāks, ir nepieciešami dati ar lielāku punktu blīvumu. Izmantotā metodoloģija liecina, ka koku augstums LiDAR datos ir vidēji par 1 - 2 m zemāks kā dabā (MRM parauglaukumos). Pieaugušās skujkoku audzēs tendences līkne ir ar ticamu determinācijas koeficientu, līdz ar to, izmantojot regresijas vienādojumus, potenciāli varētu noteikt aptuvenos koku augstumus arī citās pieaugušās skujkoku audzēs. Koku augstuma noteikšanai jaunaudzēs būtu nepieciešami LiDAR dati ar lielāku punktu blīvumu. Lai labāk novērtētu pielietotās metodoloģijas iespējas individuālu koku dešifrēšanā, koku manuāla uzmērīšana un skenēšana ar lāzerskeneri būtu jāveic paralēli. Precīzi nomērot koku augstumu un nosakot to atrašanās vietas plaknē, piedāvātajai individuālu koku izšķiršanas metodikai būtu jāuzrāda labāki rezultāti.

Meža grāvju dešifrēšanas metode, 2019.-2020. gads

Pētījuma mērķis ir izveidot algoritmu meža grāvju dešifrēšanai un novērtēt tā pielietojamas iespējas Latvijā, izmantojot Latvija pieejamos LĢIA aerolāzerskenēšanas datus. Pētījuma teritorija atrodas Daugavpils novadā, Kalupes pagastā un tā ir 25 km² plaša. Izmantots algoritms, ar kura palīdzību digitālajā reljefa modelī identificēti lokāli pazeminājumi, kā arī izveidota metode iegūto rezultātu filtrēšanai, iegūstot korektu grāvju tīklu. Datu precizitātes novērtēšanai, attiecībā pret LVM meliorācijas sistēmu datubāzi, izveidota kļūdu matrica un aprēķināts Žakāra indekss. Iegūtie rezultāti liecina, ka ar izveidoto metodi identificēti 92% meža grāvju 5 m buferjoslā ap LVM datubāzē esošajiem grāvjiem, kā arī 4,443 km grāvju, kuru šajā datubāzē nav iekļauti. Žakāra indekss 5 m buferjoslā esošajiem grāvjiem ir 0,87. Secināts, ka izmantojot izveidoto metodi iespējams veiksmīgi dešifrēt meža grāvjus ar augstu precizitāti, kuri izmantojami hidroloģiskās modelēšanas vajadzībām, kā arī meliorācijas sistēmu datubāzes papildināšanai.

Identificējot neliela mēroga reljefa formas, piemēram, grāvjus, izmantojot DEM, būtisks faktors ir tā kvalitāte. Reljefa modeļa kvalitāte ir atkarīga no pašu lāzerskenēšanas datu kvalitātes un punktu blīvuma kā arī no izmantotās interpolācijas metodes, horizontālās un vertikālās izšķirtspējas. Digitālais reljefa modelis vislabāk reprezentē reālo situāciju, ja tas ir veidots ņemot vērā minimālo punktu blīvumu (Anderson u.c., 2006).

Analīzei izmantoti digitālie reljefa modeļi ir veidoti, izmantojot 3 interpolācijas metodes, izšķirtspējā 0,5 m un 1 m.



Att. 86: DEM interpolācijas metožu piemēri. a) – *Binning*; b) – *Bilinear*; c) – *Bicubic*.

Tālākā reljefa modeļa analīze veikta izmantojot algoritmu, kura darbības princips balstās uz rastra šūnu identificēšanu, kurām noteiktā attālumā uz abām pusēm atrodas šūna ar lielāku vērtību. Šis algoritms darbojas pēc slīdošā loga principa X un Y asu virzienā. Šī metode ļauj identificēt rastra šūnas, kuras atbilst lokāliem pazeminājumiem ar lietotāja iestatītu minimālo dziļumu un platumu. Algoritms darbojas GRASS GIS vidē, izmantojot rastra kalkulatoru *r.mapcalc* (2. formula).

$$\begin{aligned} & \text{if}((\text{DEM} + X < \text{DEM} [-Y,0] \ \&\& \ +X < \text{DEM} [Y,0]) \ || \ (\text{DEM} + X < \text{DEM} [0,Y] \ \&\& \\ & \text{DEM} + X < \text{DEM} [0,-Y]) \ || \ (\text{DEM} + X < \text{DEM} [Y,Y] \ \&\& \ \text{DEM} + X < \text{DEM} [-Y,-Y]) \ || \\ & \ (\text{DEM} + X < \text{DEM} [-Y,Y] \ \&\& \ \text{DEM} + X < \text{DEM} [Y,-Y]) \ , 1 \ , 0) \end{aligned} \quad (2)$$

Formulā DEM ir vienāds ar digitālā reljefa modeļa rastra attēlu, X – identificējamā grāvja minimālais dziļums metros, Y – grāvja platums, rastra šūnās.

Iegūtie rastra dati, kas satur gan savstarpēji saistītus, gan nesaistītus grāvju tīkla elementus ar dažāda veida trokšņiem tajos, konvertēti uz vektoru formātu izmantojot GRASS GIS rīku *r.to.vect*. Tālākā vektordatu apstrāde veikta ArcGIS vidē, veicot laukuma aprēķinus iegūtajiem poligoniem, kā arī veikta to nogludināšana, saglabājot to platību, kā arī sākuma un beigu koordinātas. Pēc iegūto platību vērtībām, veikta pirmreizējā datu filtrēšana, pieņemot, ka poligoni ar platību līdz 5 m² uzskatāmi par trokšņa vērtību.

Iegūtie rezultāti parāda, ka meža grāvju identificēšanai izmantojot DEM, piemērotākā izšķirtspēja ir 0,5 m, kurā grāvju kontūras izmantojot GRASS GIS *Bicubic* interpolācijas metodi ir izteiktākās, tieši sezonālo un susinātājgrāvju gadījumā. Lielāku grāvju identificēšanā atšķirības pie izšķirtspējas 0,5 m un 1 m, kā arī izmantojot citu DEM interpolācijas metodi netiek konstatētas.

Izmantojot LiDAR datus un pētījumā izstrādāto metodiku, konstatēts, ka ar pētījumā izstrādāto metodiku veiksmīgi iespējams identificēt grāvjus, kuru dziļums ir vismaz 0,3 m, tādā veidā, lielākajā daļā gadījumu, izvairoties no situācijas kad mežizstrādes tehnikas atstātās rīses, vai sagatavota augsne tiek identificēta kā grāvis.

Kalupes meža masīvā, pēc LVM datubāzes, atrodas kopumā 84,189 km dažāda tipa grāvju. Izmantojot šo metodiku, teritorijā LiDAR datus automātiski identificēti 81,785

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

km grāvju, kas sastāda aptuveni 97% no LVM datubāzē esošo grāvju kopgaruma Kalupes meža masīvā.

Grāvju precizitāte novērtēta pieņemot, ka LVM datubāzē esošie dati ir pilnīgi un to atrašanās vietas ir telpiski korektas. Izmantota kļūdu matrica šiem grāvjiem izveidojot divas buferjoslas – 3 m un 5 m, tādā veidā tos salīdzinot ar no LiDAR datiem iegūto grāvju kopējo garumu. Trīs metru buferjoslā ap LVM grāvjiem atrodas 76,139 km grāvju no LiDAR datiem, bet 5 m buferjoslā – 77,432 km grāvju, kas attiecīgi sastāda 90% un 92% grāvju, kuru kopējais garums un atrašanās vieta noteikta precīzi. Savukārt Žakāra indekss, 5 m buferjoslā esošajiem grāvjiem ir 0,87 bet 3 m buferjoslā – 0,85. Jāņem vērā, ka teritorijās, kurās nav veikta manuāla grāvju kartēšana, vai tā nav veikta pilnīgi, ar šo metodi iespējams identificēt arī grāvjus, kuri datubāzē nav iekļauti, piemērs ir šī pilotteritorija, kurā identificēti 4,443 km grāvju, kuri nav iekļauti LVM datubāzē.

Izmantojot šo metodi grāvju identificēšanā novērotas arī nepilnības, kas saistāmas ar problēmām ļoti seklu grāvju gadījumā, vai situācijās, kad ir ļoti zems, zem 1 m^2 , LiDAR zemes punktu blīvums un blīva mežaudze.

Pētījuma rezultāti apkopoti 2019. gadā sagatavotajā pārskatā⁶⁷, kā arī, kopsavilkumu veidā, pētījumu programmas 2019. gada starpziņojumā un etapa pārskatā⁶⁸.

Secinājumi: LĢIA aerolāzerskenēšanas dati ir izmantojami meža grāvju dešifrēšanā, izmantojot digitāli reljefa modeli 0,5 m izšķirtspējā, kurš veidots ar *Bicubic* interpolācijas metodi. Iegūtie grāvju vektordati lielākajā daļā gadījumu atbilst grāvja dziļākajai vietai konkrētajā reljefa modelī, kas ir būtiski iegūto datu tālākai izmantošanai mitruma režīma modelēšanai.

Algoritmu var pielāgot dažādiem grāvju tīkla identificēšanas mērķiem. Piemēram, ja tas ir darīts modelēšanas vajadzībām, lai meklētu labākos ceļus ievalku veidošanai atbērtnēs vai dziļvagu rakšanai mežā, var norādīt lielāku grāva dziļumu, tādā veidā optimizējot ievalku un dziļvagu tīkla izvietojumu.

Minimālais identificējamo grāvju dziļums mežā ir 0,3 m, kas atbilst sezonālajiem vai susinātājgrāvjiem. Datu precizitāte grāvja veidu griezumā šajā pētījuma etapā nav pārbaudīta, bet var pieņemt, ka problemātiska ir sezonālu grāvju ar lielu aizsērējuma pakāpi identificēšana. Atsevišķos gadījumos var noteikt arī seklāku grāvju, piemēram, 0,2 m dziļu grāvju atrašanās vietas, bet, apstrādājot datus plašākam reģionam, kļūdas radītu dziļāk sagatavota augsne un mežizstrādes tehnikas rises, tādēļ korektāk izmantot 0,3 m dziļumu kā minimālo.

Pētījuma pilotteritorijā Kalupes mežā, izmantojot izstrādāto algoritmu, identificēti 92% grāvju, pieņemot, ka LVM datubāze ir pilnīga, kā arī 4,4 km grāvju, kuri nav iekļauti šajā datubāzē, bet eksistē dabā, kas ir 5,5% no grāvju kopējā garuma šajā teritorijā.

Caurteku dešifrēšanas metodes izveidošana un aprobēšana, 2019.-

⁶⁷ <https://drive.google.com/file/d/1ud8srCWJJsQ23jx3y4US7Dpm6ozsKosm/view?usp=sharing>.

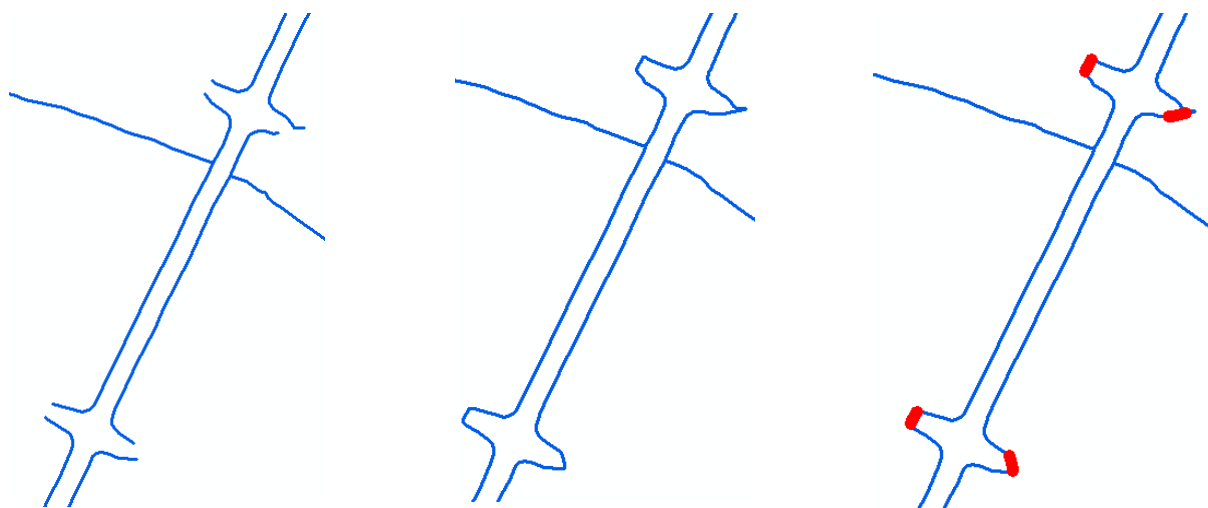
⁶⁸ <https://drive.google.com/file/d/10JD-CR3ulUeU8Up3zHneRc-x5G92febO/view?usp=sharing>;
https://drive.google.com/file/d/1I8Y90Boe7GWeuD7DW44K_lzWaux01JdH/view?usp=sharing.

2020. gads

Pētījuma mērķis ir apzināt un izpētīt esošās metodes un tās pielāgot grāvju caurteku identificēšanā izmantojot LiDAR datus. Pētījuma teritorija atrodas Daugavpils novadā, Kalupes pagastā un ir 25 km² plaša. Izmantotas divas metodes, no kurām, pirmā balstās uz iepriekš no LiDAR datiem iegūta grāvju tīkla analīzi, bet otra uz digitālā reljefa modeļa (DEM) apstrādi. Izmantojot pirmo metodi, korekti identificētas 37% caurtekas, kā arī citas iespējamās grāvju savienojumu vietas. Otrā metode pēc tās darbības principa ir grūti piemērojama konkrētajam mērķim Latvijas apstākļos, bet to izmantojot iespējams papildināt pirmo metodi. Abas metodes kombinējot identificētas 47% grāvju caurtekas pilotteritorijā. Secināts, ka šīs metodes ar zināmu piesardzību ir iespējams izmantot Latvijas apstākļos DEM koriģēšanai pirms modelēšanas, bet joprojām ir vairāki izaicinājumi lai to darītu automātiskā veidā un korekti.

Darba ietvaros testēti divu metožu principi reljefa modeļa koriģēšanai. Pirmā metode ir izveidota šī darba ietvaros, kurā caurteku identificēšanai izmantots automātiski ģenerēts grāvju tīkls, kurā esošie vektordati atbilst grāvja gultnei digitālajā reljefa modelī. Datiem ir jāatbilst izmantotajam reljefa modelim, lai nākamajos datu apstrādes posmos, kā arī veicot hidroloģiskā režīma modelēšanu, ar tiem varētu veikt nepieciešamās korekcijas DEM.

Pieejā ļauj identificēt iespējamās caurteku atrašanās vietas gadījumos, kad grāvi šķērso ceļš, ceļmalas grāvim ir nobrauktuve. Ar šo metodi nav identificējamas caurtekas situācijās, kad grāvji ir izvietoti paralēli viens otram, un ir bez iespējas krustoties norādītajā attālumā (Att. 87). Ar iegūtajiem caurteku datiem iespējams modificēt reljefa modeli, izmantojot tādas rīkus kā *Burn streams at roads* Whitebox GAT programmā, kura izmantošanai nepieciešams izveidot arī caurtekām perpendikulāras līnijas. Modificēt modeli nepieciešamajās vietās iespējams, arī izmantojot GRASS GIS rīku *r.carve*.



Att. 87: Iespējamo caurteku atrašanās vietu identificēšanas piemērs.

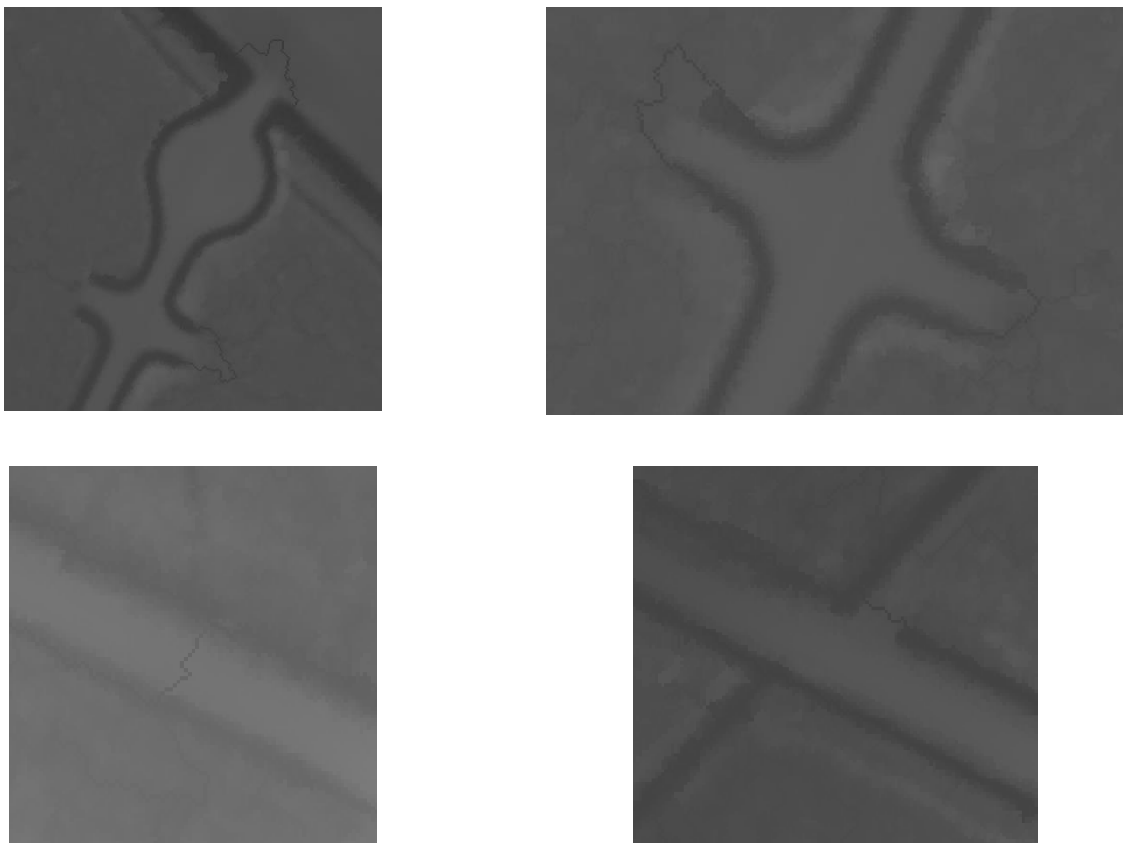
Otra pielietotā metode balstās uz digitālā reljefa modeļa automātisku apstrādi, izmantojot algoritmus (Lindsay & Dhun, 2015; Schwanghart u.c., 2013), kuri atrodami Whitebox GAT programmatūrā, piemēram *Breach Depressions*. Šis algoritms meklē plūsmas līnijas reljefa modelī un automātiski veic paaugstinājumu noņemšanu tās ceļā,

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

līdzīgi, kā tas izdarāms ar *Burn streams at roads* (Att. 88). Šim algoritmam uzstādāma minimālā un maksimālā absolūtā augstuma samazināšanas vērtība, kuras intervālā notiek traucējumu meklēšana. Jāmin, ka šis rīks ir izstrādāts Kanādā (Lindsay & Dhun, 2015), izteiktāka reljefa apstākļos, kur arī dabisko plūsmu līnijas ir izteiktākas. Šī rīka izmantošana ir ierobežota līdzena reljefa apstākļos.

Breach depressions algoritmam izmantoti DEM izšķirtspējā 0,5 m, 1 m un 2 m, pieņemot, ka cilvēka veidotie Zemes virsas paaugstinājumi (ceļa un dzelzceļa uzbērums, tilti) noteikti ir platāki par diviem metriem.

Datu kopu salīdzināšanai un analīzei izmantota kļūdu matrica 5 m un 10 m buferjoslā ap LVM datubāzes caurtekām, kā arī datiem, kuri iegūti teritoriju apsekojot dabā.



Att. 88: Koriģētu DEM piemēri izmantojot *Breach Depressions* algoritmu.

Izmantojot pirmo metodi, identificētas 47 grāvju savienojumu vietas, kuras varētu atbilst caurtekām. Salīdzinot ar LVM datubāzi, šajā teritorijā atrodas 38 caurtekas. Lai salīdzinātu iegūto datu un LVM datubāzes atbilstību situācijai dabā, lauka darbu laikā ievāktas caurteku atrašanās vietu koordinātas. Apsekojot 25 caurtekas, kuras atrodas LVM datubāzē pētījuma pilotteritorijā, secināts, ka datubāze ir gandrīz pilnīga, jo dabā atrastas 23 no 25 apsekotajām caurtekām, jeb šajā gadījumā 92%.

Pārbaudot iegūto datu precizitāti, secināts, ka no automātiski identificētajām 47 caurtekām, 5 m rādiusā ap LVM datubāzē esošajām, atrodas 14 caurtekas, kas šajā gadījumā ir 30% no kopējā identificēto savienojumu vietu skaita un 37% no datubāzē esošajām.

Izmantojot *Breach Depressions* algoritmu, piemērotākā reljefa modeļa izšķirtspēja ir 1 m un 2 m. Šādas izšķirtspējas reljefa modelī neveidojas daudz mazo beznoteces iepaklu, dažu rastra šūnu izmērā, salīdzinot ar 0,5 m izšķirtspēju, tādā veidā paātrinot rīka darbību. Veicot šī rīka piemērotības pārbaudi pilotteritorijā, apstiprinās tā izstrādātāju secinājums (Lindsay & Dhun, 2015), ka modeļa darbība ir apgrūtināta līdzena reljefa apstākļos. *Breach Depressions* rīkam radās problēmas caurteku identificēšanā vietās, kur nav izteiktu plūsmas līniju, kā arī tas veic korekcijas vietās, kur ir traucēta notece, nesaistīti ar grāvjiem un ceļiem, kas var būt noderīga funkcija cita veida pētījumos.

Šādā veidā korekcijas DEM veiktas 12 vietās, kuras sakrīt ar LVM datubāzē esošo caurteku atrašanās vietām. Kopējais automātiski veikto korekciju skaits un to būtiskums ir sarežģīti nosakāms. No šīm 12 caurtekām 4 ir tādas, kuras neizdevās identificēt ar pirmo metodi, izmantojot grāvju tīkla datus, līdz ar to, var secināt, ka, pilotteritorijai piemērojot abas metodes, ir identificētas 47% caurtekas, kuras sakrīt ar LVM datubāzē esošajām.

Pētījuma rezultāti apkopoti 2019. gadā sagatavotajā pārskatā⁶⁹, kā arī, kopsavilkumu veidā, pētījumu programmas 2019. gada starpziņojumā un etapa pārskatā⁷⁰.

Secinājumi: caurteku atrašanās vietu automātiska identificēšana, izmantojot digitālo reljefa modeli un dažādus ĢIS balstītus rīkus, ir iespējama, bet joprojām jāsaskaras ar daudz izaicinājumiem, lai nodrošinātu pietiekošu precizitāti. Metodes precizitāti var uzlabot, izmantojot pašreizējās zināšanas, ja caurteku identificēšanai piemēro vairākas metodes. Esošie algoritmi, piemēram, *Breach Depressions* ir piemērojami Latvijas apstākļiem ar zināmu piesardzību, skaidri definējot, kāds ir sagaidāmais rezultāts, un ko ar koriģēto reljefa modeli ir plānots darīt. Izmantojot pašreizējos pētījuma rezultātus DEM koriģēšanā pirms hidroloģiskās modelēšanas, neizbēgami var nākties veikt manuālas korekcijas tajā, ņemot vērā, ka izdevies identificēt mazāk kā pusi caurteku atrašanās vietu.

Metodi caurteku dešifrēšanai nepieciešams pilnveidot, ievācot lielāku lauka datu apjomu, kā arī turpinot darbu ar reljefa modeļa analīzi. Ir jāsaista lauksaimniecības un meža zemēs, kā arī apbūves teritorijās izmantojamās meliorācijas sistēmu dešifrēšanas metodes, lai izveidotu vienotu sistēmu dažādiem zemes izmantošanas veidiem.

Mašīnmācības metožu pielietošanas iespēju izpēte apalo kokmateriālu iznākuma prognozēšanai, izmantojot harvesteru produkcijas failos pieejamos datus un citas datu kopas

Šī pētījuma mērķis ir veikt literatūras analīzi par piemēriem harvesteru failu izmantošanā meža inventarizācijas prognožu modeļu veidošanā izmantojot mašīnmācības metodes, kā arī izstrādāt pētniecisko uzdevumu koksnes sortimentu prognozēšanai mežaudzēs izmantojot harvesteru datus un attālās izpētes datus.

⁶⁹ <https://drive.google.com/file/d/1P6w5ZuZjkqooZi4wt9yf5WrDw6I3jGkr/view?usp=sharing>.

⁷⁰ <https://drive.google.com/file/d/10JD-CR3ulUeU8Up3zHneRc-x5G92febO/view?usp=sharing>;
https://drive.google.com/file/d/1I8Y90Boe7GWeuD7DW44K_lzWaux01JdH/view?usp=sharing.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Literatūras analīzes laikā atrasti piemēri par harvesteru failu telpisko precizitāti un to pielietojamas iespējām. Atrasts arī piemērs, kurā šie dati izmantoti prognožu modeļu veidošanā, lai prognozētu koku dimensijas (augstums, diametrs, šķērslaukums un tilpums). Dotajā piemērā prognozēm izmantots *k-Most similar neighbor* algoritms. Pētījumā sasniegtā precizitāte koku augstums ir līdz 1,9m, diametram līdz 3,2cm, caurmēram līdz 24%, tilpumam līdz 28,2%. Apskatītais pētījums parāda, ka harvesteru failu izmantošana ir iespējama meža inventarizācijas parametru noteikšanā. LVMI Silava piedāvātais pētījums paredz novērtēt šo failu izmantošanu koksnes sortimentu prognozēšanā.

Mežaudžu inventarizācijas parametri un audzes struktūra ir būtiski rādītāji meža apsaimniekošanas un mežizstrādes plānošanas kontekstā (Holopainen u.c., 2014). Lai šo informāciju iegūtu plaša mēroga teritorijām arvien biežāk izmanto attālās izpētes sniegtās iespējas (White u.c., 2016). Izmantojot attālās izpētes tehnoloģijas kā, piemēram, LiDAR datus un multispektrālās satelītainas, kombinācijā ar lauka datiem ir iespējams prognozēt tādus meža inventarizācijas parametrus kā šķērslaukums, stumbra tilpums, stumbra diametrs krūšu augstumā, koku augstums un citus parametrus (Matti Maltamo u.c., 2006). Kā lauka datus šādiem pētījumiem ziemeļvalstīs parasti izmanto meža resursu monitoringa parauglaukumus, un iznākumā veido meža inventarizācijas parametru kartes plašākām teritorijām (White u.c., 2013).

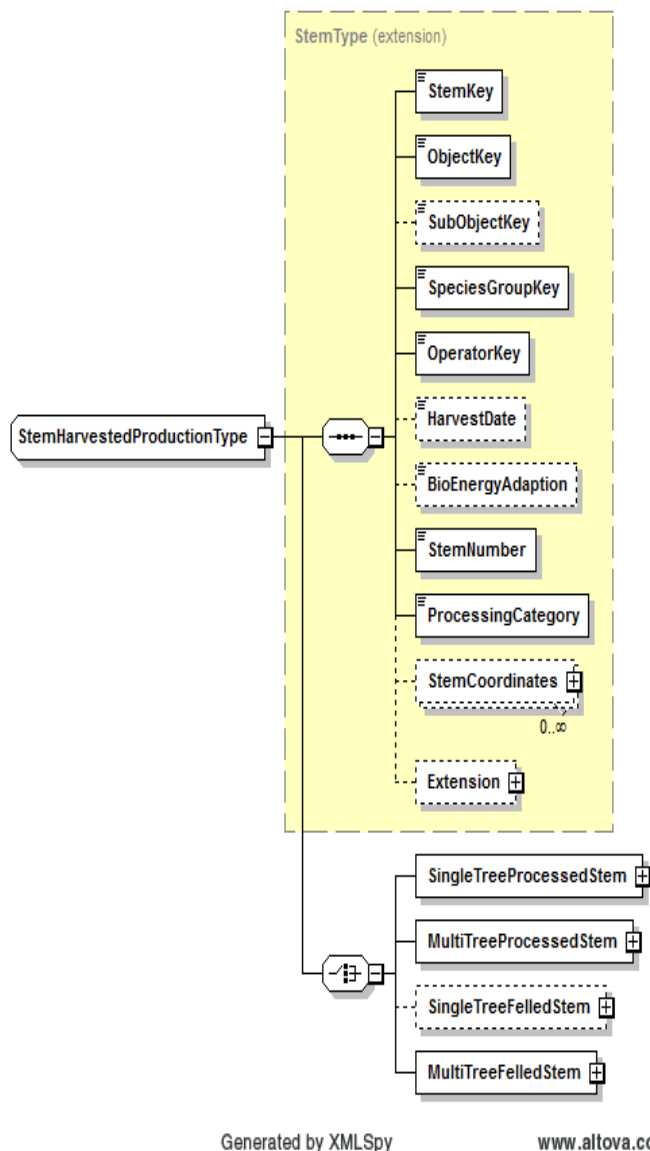
Lai veidotu šādus meža inventarizācijas prognožu modeļus ir nepieciešams liels lauka datu apjoms, kurš mērāms tūkstošos un desmitos tūkstošos datu punktus (M. Maltamo u.c., 2011). Papildus meža resursu monitoringa parauglaukumu datiem, ir iespējams izmantot arī datus, kuri iegūti no harvesteru programmām mežizstrādes procesā (Saukkola u.c., 2019). Mūsdienās harvesteru dati tiek ierakstīti atbilstoši StanForD standartam un šis standarts integrēts visu galveno harvesteru ražotāju produktos (*StanForD - Skogforsk - Forestry Research Institute of Sweden*, b.g.). Šis nodrošinājums piedāvā iegūt datus par koku stumbra diametru, garumu, un to atrašanās vietu, kā arī sugu, sortimentu un citiem parametriem (Hauglin u.c., 2017). Limitējošais faktors harvesteru datu izmantošanā kombinācijā ar attālās izpētes datiem ir harvesteru datu telpiskā precizitāte, jo harvesteru pozīcija mežā nosakāma vien ar 4,2-9,3 metru precizitāti (Kaartinen u.c., 2015). Individuālu koku atrašanās vietas nosakāmas pateicoties harvesteru strēles novietojuma (virziena un attāluma) datiem (Hauglin u.c., 2017). Harvesteru dati kombinācijā ar attālās izpētes datiem izmantojami tādā gadījumā, ja veikta galvenā cirte, tādējādi ir nosakāmi visi audzē esošie koki. Krājas kopšanas cirtē izzāgēto koku dimensijas un sugu sastāvs var atšķirties no atstātajiem kokiem, tāpēc šādus datus nebūtu ieteicams izmantot meža inventarizācijas parametru modelēšanai (Lindroos u.c., 2015). Mašīnmācības modeļa pielietošana ir iespējama arī tad, ja kā ievades lauka datus izmanto meža nogabalu līmeņa informāciju. Šī pieeja saucas *Area based approach*, jeb ABA (Gobakken & Næsset, 2009).

Secinājumi: harvesteru produkcijas faili ir labs datu avots meža inventarizācijas parametru ieguvei, jo dati tiek apstrādāti paralēli mežizstrādes darbībām, tomēr harvesteru pozīcijas GPS precizitāte ir samērā zema, tāpēc individuālo koku koordinātas ir nosakāmas tikai aptuveni un nav izmantojamas telpisku datu analīzē kā individuālu

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

koku atrašanās vietas pazīme. Prognožu modeļu veidošana tādiem meža inventarizācijas parametriem kā koku augstums, caurmērs, šķērslaukums un stumbru tilpums ir iespējama, ja harvesteru faili nodrošina informāciju par manipulatora pozīciju attiecībā pret harvesteru. Līdzšinējos pētījumos no attālās izpētes datiem biežāk izmantoti LiDAR un ortofoto dati. Iespējams, ka rezultātu ticamību palielinās papildus datu kopu izmantošana kombinācijā ar mašīnmācības metodēm, pirms tam veicot izmantojamo datu uzlabošanu un harmonizāciju. Meža inventarizācijas parametru prognozēšanai izmantotas audzes, kurās veikta galvenā cirte, tāpēc datiem, kurus ievāc no krājas kopšanas cirtes, papildus būtu nepieciešams veikt atlikušo koku uzmērīšanu vai modelēšanu, izmantojot netiešas datu ieguves metodes.

Turpmāko darbību raksturojums: harvesteru produkcijas failu datubāzes sagatavošana un strukturēšana mašīnmācības algoritma apmācīšanai. Izstrādājamā datu bāze glabās informāciju individuālu koku līmenī ar informāciju par sagatavotajiem sortimentiem. Izmantojama informācija no harvesteru failu sadaļām “*Stem harvested production type*” (Att. 89). Iegūstama informācija par individuālu koku atrašanās vietu, sugu un iegūtajiem kokmateriālu veidiem.



Att. 89: Nozāģēto koku tipu datu struktūra hpr failos.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Tā kā harvesteru failos sniegto koordinātu precizitāte var svārstīties vairāku metru robežās un mašīnmācības procesā izmantojamie attālās izpētes dati nav individuālu koku līmenī, tad algoritma apmācība notiks šūnu līmenī 16*16 m izšķirtspējā. Tiks izveidots regulāru šūnu tīkls, kas pārklās visu Latvijas teritoriju un tam pievienos statistisko informāciju par dažādiem koksnes sortimentiem (Att. 90). Algoritma apmācīšanai izmantojami tikai tie harvesteru datu faili, kuri ievākti ar mērķi iegūt maksimāli augstvērtīgākos koksnes sortimentus. Harvestera uzskaitītā kokmateriālu apjoma novirzes nav pieļaujamas vairāk par +/- 3% no auditora veiktajiem kontrolmērījumiem un izmantotajam harvesteram jābūt ar manipulatora izlīces informāciju. Izmantojami dati no cirsmām, kurās veikta galvenā cirte. Iegūtā harvesteru datu failu kopa tiks sadalīta divās daļās, no kurām viena daļa izmantojama apmācības procesā, savukārt otra daļa validācijas procesā. Datu kopu apjoma attiecība būs atkarīga no pieejamo failu apjoma.

	Produkts	Caurmērs tievgalī, cm	Garums (i), m
Priede	I šķiras zāģbaļķis	28	3,0
	II šķiras zāģbaļķi	10 - 13,9	3,0; 3,3; 3,6; 3,7; 3,9; 4,2
		14 - 17,9	3,0; 3,3; 3,6; 3,7; 3,9; 4,2; 4,5; 4,8
		18 - 27,9	3,0; 3,3; 3,6; 3,7; 3,9; 4,2; 4,5; 4,8; 5,1; 5,4; 5,7; 6,0
		28<	3,0; 3,3; 3,6; 3,7; 3,9; 4,2; 4,5; 4,8; 5,1; 5,4; 5,7; 6,0
	III šķiras zāģbaļķi	18<	2,4; 3,0
	Mieti	6 - 9,99	2,5 - 3,6
Būvbaļķi	32<	3,0 - 9,0	
Egle	II šķiras zāģbaļķi	10 - 13,9	3,0; 3,3; 3,6; 3,7; 3,9; 4,2
		14 - 17,9	3,0; 3,3; 3,6; 3,7; 3,9; 4,2; 4,5; 4,8
		18 - 27,9	3,0; 3,3; 3,6; 3,7; 3,9; 4,2; 4,5; 4,8; 5,1; 5,4; 5,7; 6,0
		28<	3,0; 3,3; 3,6; 3,7; 3,9; 4,2; 4,5; 4,8; 5,1; 5,4; 5,7; 6,0
	III šķiras zāģbaļķi	18<	2,4; 3,0
Mieti	6 - 9,9	2,5 - 3,6	
B	Finierkluči	18<	2,7
A	Zāģbaļķi	24<	2,4; 3,0
Ma	Zāģbaļķi	24<	2,4; 3,0
Oz	Zāģbaļķi	18<	2,4
Os	Zāģbaļķi	18<	3,0
Lau koki	Taras kluči	12 - 23,9	2,4; 3,0
Skuju koku	Taras kluči	2,4; 3,0	2,4; 3,0
	Stabi 14 - 19,9	14 - 19	7,0 - 9,0
	Stabi 18cm<	18<	10,0 - 16,0
Egle, Skuju koku, Bērza, Apse, Dižkābarža, Lapu koku un Jaukta	Papīrmalka	6	3,0
Priede, Egle, Bērzs, Apse, Melnalksnis	Tehnoloģiskā koksne	6	3,0
	Malka		3,0
Bērzs, Osis, Ozols	Kamīnmalka		

Att. 90: Kokmateriālu veidu saraksts.

Mašīnmācības algoritma apmācīšana tiks veikta, par pamatu izmantojot dažādus attālās izpētes datus un tematiskās kartes. Trīsdimensionālā mežaudžu struktūras informācija tiks iegūta, izmantojot LĢIA lāzerskenēšanas datus, savukārt spektrālā informācija tiks iegūta, izmantojot otrofoto ainas un multispektrālās satelītainas. Lāzerskenēšanas dati izmantojami koku augstuma, biomasas apjoma, mežaudzes biežības noteikšanā, kā arī stumbru diametru, mežaudzes šķērslaukuma un citu parametru prognozēšanai (Matti Maltamo u.c., 2014).

Papildus attālās izpētes datiem tiks izmantoti dažādi tematiskie datu slāņi, piemēram:

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

- AS “Latvijas valsts meži” meža nogabalu datubāze ar informāciju par mežaudzes sastāvu, koku skaitu, augstumu, caurmēru, vecumu, apsaimniekošanas vēsturi, atjaunošanas veidu un citiem parametriem;
- zemes virsmas reljefa informācija no lāzerskenēšanas datiem;
- augsnes cilmieža informācija un augsnes mitruma apstākļu prognožu kartes;
- AS “Latvijas valsts meži” izmantoto eksporta ostu atrašanās vietu un to attāluma informācija no mežaudzēm;
- citu koksnes resursu patērētāju atrašanās vieta un attālums no mežaudzēm;
- dažādas klimatiskās kartes ar gada vidējo temperatūru, nokrišņu daudzumu, vēja ātrumu un citiem parametriem;
- Kaitēkļu izplatības informācija, vēsturiskās karadarbības vietas.

Mašīnmācības modeļus var iedalīt divās lielās kategorijās: vadītās un nevadītās mācīšanās algoritmi. Vadītā mācīšanās nodrošina skaidru rezultātu pēc tam, kad, izmantojot ievades datus, modelis ir apmācīts konkrētu aprēķinu veikšanai, piemēram, paraugu klasifikācijai un regresijas analīzei. Nevadītā mācīšanās ir samērā neprognozējama, kāda veida rezultāts tiek ģenerēts pēc tam, kad modelis ir apmācīts ar ievades datiem. Mašīnmācības modelis kokmateriālu veidu iznākuma prognozēšanai tiks izstrādāts, pārbaudot vairākus mašīnmācības algoritmus. Populārākie mašīnmācības algoritmi, kas izmantoti citu mežaudžu parametru prognozēšanā, ir *Random forest*, *gradient boosting*, *K-means*, *KNN* u.c.

Random forest ir klasifikācijas algoritms, kas sastāv no daudziem *lēmumu kokiem* (*decision trees*). Veidojot katru atsevišķu koku, tiek izmantota *bagging* un parametru nejaušība, lai mēģinātu izveidot nekorelētu lēmumu kopu, kura prognoze ir precīzāka nekā jebkura atsevišķa koka prognoze.

Gradient Boosting ir metode, kā vājus *lēmumu kokus* pārveidot par spēcīgiem. Pielietojot *Gradient boosting* metodi, katrs jauns koks ir piemērots sākotnējās datu kopas modificētai versijai. Gradianta palielināšanas algoritms sākas, apmācot lēmumu koku, kurā katram novērojumam tiek piešķirts vienāds svars. Pēc pirmā koka novērtēšanas tiek palielināts to novērojumu svars, kurus ir grūti klasificēt, un pazemināts to novērojumu svars, kurus ir viegli klasificēt.

K-means veidošana ir viens no vienkāršākajiem un populārākajiem nepārraudzītās mašīnmācības algoritmiem. Lai apstrādātu mācību datus, *K-means* algoritms datu ieguvē sākas ar pirmo nejauši izvēlēto centroīdu grupu, kas tiek izmantoti kā sākumpunkti katrai kopai, un pēc tam veic atkārtotus aprēķinus, lai optimizētu centroīdu pozīcijas. Mašīnmācības algoritma mācīšana tiek pabeigta, kad tas aptur klāsteru izveidi un optimizāciju un ja centroīdi ir stabilizējušies (to vērtības nemainās, jo kopu veidošana ir bijusi veiksmīga).

K-tuvāko kaimiņu (KNN) algoritms ir vienkāršs, uzraudzīts mašīnmācības algoritms, ko var izmantot gan klasifikācijas, gan regresijas problēmu risināšanai. To ir viegli ieviest un saprast, taču tam ir ievērojams trūkums, jo tas kļūst ievērojami lēnāks, ja pieaug

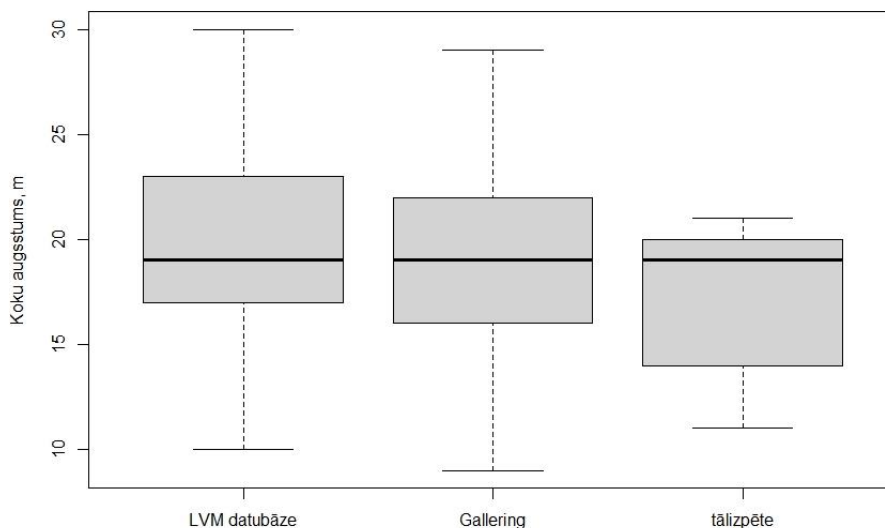
Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

Atšķirība iespējams skaidrojama ar kopšanas metodi, proti, veikta apakšējā kopšana, kā rezultātā izzāģēti tievākie un augšanā atpalikušie koki (Att. 92). Tā kā uz tehnoloģiskās brauktuves valdaudzes koku zāģēšana nenotika, harvesteru programma prognozēja mežaudzei neatbilstošus taksācijas rādītājus.



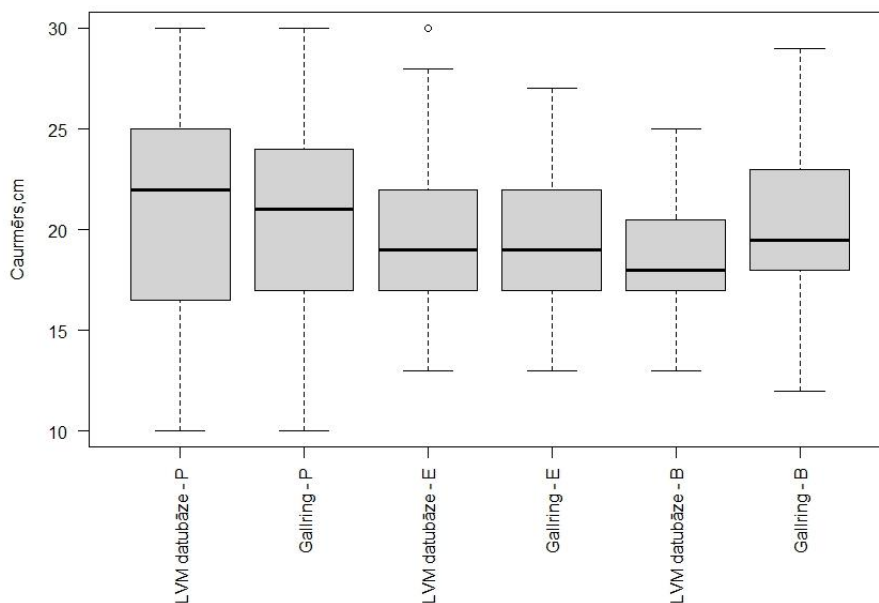
Att. 92: Izkopta audze pēc krājas kopšanas cirtes.

Saskaņā ar aktuāliem Meža valsts reģistra datiem vidējā koka augstums pētāmās platībās ir $20,5 \pm 4,3$ m, saskaņā ar harvesteru programmas aprēķiniem – $20,3 \pm 3,8$ m, attiecīgi atšķirība nav būtiska. Tomēr salīdzinot abas paraugkopas, 40% mežaudžu konstatēta būtiska atšķirība, kas pārsniedz 1 m ($\pm 10\%$), savukārt, ja pieļaujamā kļūdas robeža ir 12% - būtiska atšķirība būtu 26% audžu, bet, ja pieļaujamā kļūdas robeža būtu 15% - būtiska atšķirība būtu 19% audžu. Datu analīzes procesā nav iespējams identificēt sistemātiskās kļūdas, kuras rodas taksācijas rādītāju noteikšana, kā arī riski, kas saistīti ar harvesteru tehnisko gatavību. Att. 93 atspoguļotā informācija raksturo izkliedi, ko veido koku augstuma atšķirības – Meža valsts reģistrs pret *hprGallring* aprēķināto. Pie šādas datu izkļedes, balstoties tikai uz *hprGallring* aprēķinātiem rādītājiem, nevar iekļauties normatīvu prasībās.



Att. 93: Augstuma izkļedes rādītāji.

Vidējā caurmēra atšķirības saskaņā ar aktualizētiem Meža valsts reģistra datiem ir $20,5 \pm 4,3$ cm, bet pēc harvesteru aprēķinātā vidējās vērtības $20,3 \pm 3,8$ cm, atšķirība nav statistiski būtiskas ($p = 0,57$). Savukārt, salīdzinot atsevišķas audzes, konstatētas būtiskas atšķirības, tajā skaitā, salīdzinot programmas aprēķinātos datus un tālzpētes rezultātus. Att. 94 atspoguļota datu izkļede, salīdzinot Meža valsts reģistru un *hprGallring*.



Att. 94: Vidējā caurmēra izkļedes rādītāji.

Ņemot vērā, pētījumā iegūtos rezultātus lielāku precizitāti uzrāda līdz 49 gadus vecas audzes, taču precizitāti būtiski ietekmē arī suga – mazāka nenoteiktība iegūta priežu audzēs. Sistēmas *hprGallring* ieviešanai ražošanas apstākļos, ir jāuzlabo prognozēšanas

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

modelis, pirmkārt identificējot iespējamo kļūdu cēloņus. Ņemot vērā Meža valsts reģistra datu nenoteiktība, *hprGallring* programmas algoritmi pilnveidojami platībās, kur veikta visas audzes skenēšana pirms un pēc krājas kopšanas cirtes. Tas dotu iespēju precīzi identificēt nozāģētos kokus. Jau šobrīd ir skaidrs, ka situācijā, kad nozāģētie koki būtiski atšķirsies no paliekošajiem, *hprGallring* modelis pilnvērtīgi nefunkcionēs. Pētījuma turpināšana nepieciešama arī līdzšinējās normatīvās bāzes un dažādu risku izvērtēšanai, ieviešot automatizētu taksācijas rādītāju ievākšanai. Jānovērtē arī iespējami risinājumi situācijām, kad uz tehnoloģiskajiem koridoriem tiek nozāģēti galvenokārt pameža koki vai uz tehnoloģiskajiem koridoriem nav valdaudzes koku.

MEŽAUDŽU AUGŠANAS GAITAS MONITORINGS 2012.-2015. GADOS IZKOPTAJĀS I UN II VECUMKLASES AUDZĒS

Pētījum mērķis ir novērtēt koku augšanas gaitu novēloti izkoptās jaunaudzēs un sagatavot priekšlikumus darba metožu pilnveidošanai, mašinizēti izstrādājot šādās kopšanas cirtes.

Darba uzdevuma ietvaros 2018. un 2020. gados parauglaukumi ierīkoti 38 mežaudzēs 112 ha platībā, kurās pirms 4-8 gadiem veikti jaunaudzju kopšanas izmēģinājumi. Visās audzēs veikta radiālā pieauguma paraugu (urbuma skaidu) ievākšana no 2870 kokiem (10 koki parauglaukumā, vismaz 30 koki katrā mežaudzē). 2020. gadā veikta radiālā pieauguma urbumu analīze, salīdzinot augšanas gaitu pirms un pēc kopšanas cirtes, kā arī novērtējot taksācijas rādītāju izmaiņas izkoptajās platībās.

Salīdzinot ar iepriekšējo uzmērījumu ciklu 2014. gadā, krāja palielinājusies vidēji par 70%, bet vidējās ikgadējās krājas izmaiņas ir $10,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Vidējās krājas izmaiņas pēc kopšanas cirtes ir $50,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Neviena no izkoptajām audzēm nav nav nozāģēta sanitārajā cirtē. Vienīgais izņēmums ir audze ar atslēgu 503-300-12, kurā savlaicīgi netika veikta meliorācijas sistēmas atjaunošana un daļa audzes izslīka un tika nozāģēta sanitārajā cirtē. Koku skaits izmēģinājumu platībās nav būtiski mainījies pēc kopšanas cirtes, attiecīgi, pēc kopšanas cirtes atmirušo koku īpatsvars ir nebūtisks. Vidējais koku skaits izmēģinājumu platībās ir $1043 \text{ gab. ha}^{-1}$, vidējā koka tilpums – $0,148 \text{ m}^3$, vidējā koka caurmērs – $14,6 \text{ cm}$, augstums – $14,6 \text{ m}$, šķērslaukums – $18,0 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$.

2020. gadā pabeigta radiālā pieauguma datu un augšanas gaitas analīze, lai novērtētu kopšanas intensitātes (saglabājamo koku šķērslaukuma) un citu audzes parametru un tehnoloģiskā procesa ietekmi uz augšanas gaitu.

Visiem uzmērītajiem kokiem zināms attālums un azimuts virzienā no parauglaukuma centra. Parauglaukumu centriem noteiktas ģeogrāfiskās koordinātes. Lai raksturotu dažādu faktoru, tajā skaitā savstarpējās konkurences ietekmi uz augšanas gaitu izkoptajās platībās, telpiski izvietoti telpiski un QGIS programmā aprēķināts koku konkurences indekss, ko šajā pētījumā raksturo ar vidējo attālumu līdz tuvākajiem 3 kokiem.

Pēc koku atrašanās vietas aprēķināšanas noteikts konkurences indekss. Lai veiktu aprēķinu, izmantojot parauglaukumos uzmērītos kokus, veikta koku ekstrapolācija ārpus parauglaukumiem, kas ļauj korekti aprēķināt konkurences indeksu parauglaukumu malās augošiem kokiem. Ekstrapolācija veikta 5 m platās buferjoslās ap parauglaukumiem, tajās pēc nejaušības principa izvietojot identisku koku skaitu uz laukuma vienību, kāds tas ir parauglaukumos. Izmantojot šādu pieeju, veicot konkurences indeksu aprēķinus, parauglaukumu malās esošajiem kokiem tas mākslīgi nesamazinās.

Aprēķins veikts QGIS programmā, izmantojot iepriekš sagatavotus parauglaukumos esošo koku telpiskos datus. Ārpus parauglaukumiem esošo koku ekstrapolācija veikta,

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

vispirms izveidojot 5 m buferjoslas ap parauglaukumiem, izmantojot rīku *Buffer*. Koku blīvuma aprēķini parauglaukumos veikti, izmantojot QGIS *Field calculator*, un, attiecīgi, ņemot vērā iegūtos rezultātus, veikta koku skaita ekstrapolācija iepriekš izveidotajās buferjoslās. Izmantojot gan uzmērītos, gan ekstrapolētos kokus, attālums starp katra trim tuvākajiem aprēķināts, izmantojot QGIS rīku *Distance matrix*.

Pēc kopšanas cirtes krājas pieauguma rādītāji palielinājušies vidēji par 27,3%, salīdzinot ar pieauguma rādītājiem 5 gadu periodā pirms kopšanas cirtes, atšķirība ir statistiski būtiska ($p < 0,05$). Krājas pieaugums uz 1 m² aprēķinu perioda sākumā pēc kopšanas cirtes pieaudzis par 2,3%, atšķirība nav statistiski būtiska. Pētījumā nav konstatēta būtiska mežizstrādes tehnikas, sezonas un tehnoloģisko koridoru ietekme uz krājas pieaugumu, taču padziļināta izpēte, ņemot vērā tehnoloģisko koridoru un platības ekspozīciju, var identificēt šo faktoru ietekmi specifiskos apstākļos.

Platībās, kur valdošā suga ir apse, krājas pieaugums pēc kopšanas cirtes palielinājās par 76% (3,3%, pārrēķinot uz 1 m² šķērslaukuma), salīdzinot ar pieaugumu 5 gadu periodā pirms kopšanas cirtes, taču pētījumā ir tikai 2 šādi parauglaukumi. Egles audzēs vidējais pieauguma palielinājums pēc kopšanas cirtes ir 38,7% (12,1%, pārrēķinot uz 1 m² šķērslaukuma). Priedes audzēs vidējais pieauguma palielinājums pēc kopšanas cirtes ir 30,2% (12,1%, pārrēķinot uz 1 m² šķērslaukuma). Bērza audzēs vidējais pieauguma palielinājums pēc kopšanas cirtes ir 10,1% (turpretim, pārrēķinot uz 1 m² šķērslaukuma pieaugums ir samazinājies par 15,6%). Baltalkšņa audzēs krājas pieaugums pēc kopšanas cirtes ir samazinājies par 13,6% (par 25,8%, pārrēķinot uz 1 m² šķērslaukuma).

Veicot korelācijas analīzi parauglaukumu griezumā, konstatēts, ka parauglaukumos, kur valdošā suga ir bērzs, krājas pieauguma palielinājums negatīvi korelē ar koku caurmēru ($r = -0,47$), augstumu ($r = -0,68$), vidējā koka krāju ($r = -0,54$) un pieaugumu 5 gadu laikā pirms kopšanas cirtes ($r = -0,53$). Krājas pieauguma palielinājums ir lielāks tajās platībās, kur pirms un pēc kopšanas konstatēts lielāks krājas pieaugums uz 1 m² šķērslaukuma aprēķinu perioda sākumā. Lielāks krājas pieauguma palielinājums pēc kopšanas cirtes ir platībās ar lielāku krājas pieaugumu uz 1 m² šķērslaukuma pirms un pēc kopšanas cirtes.

Parauglaukumos, kur valdošā suga ir baltalksnis, krājas pieauguma palielinājums pozitīvi korelē ar koku augstumu ($r = 0,78$), krāju ($r = 0,45$) un pieaugumu uz 1 m² šķērslaukuma pēc kopšanas cirtes ($r = 0,86$).

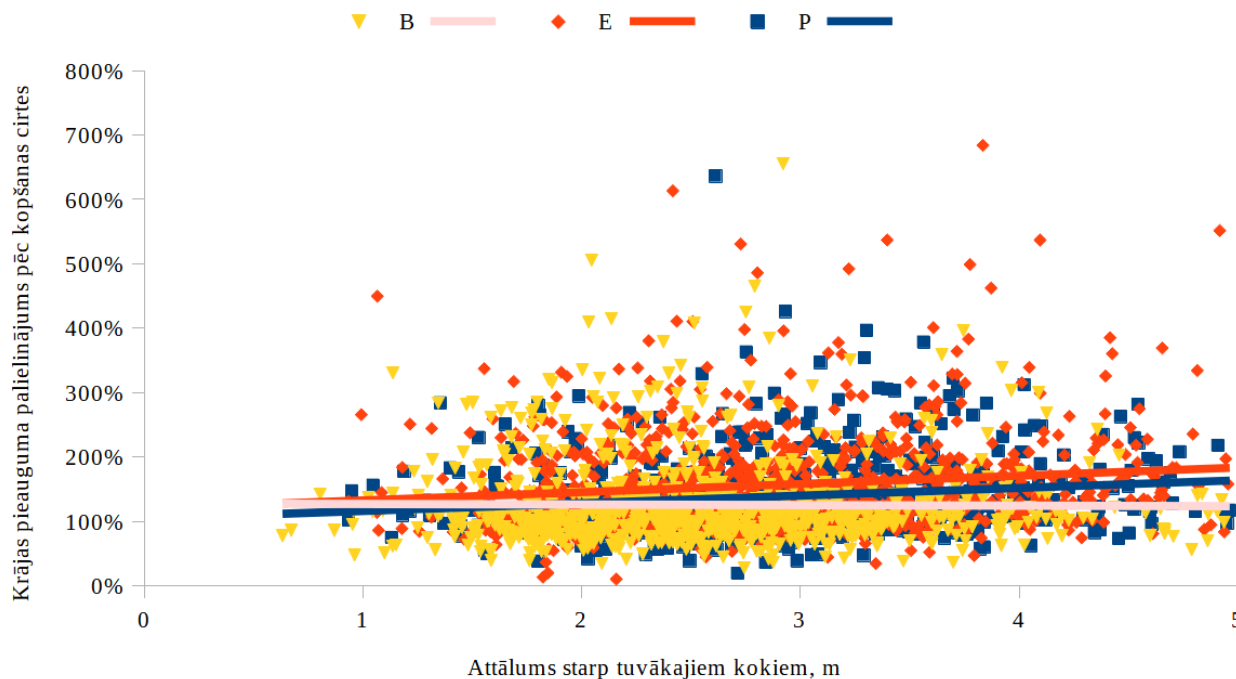
Parauglaukumos, kur valdošā suga ir egļe, cieša negatīva korelācija ar krājas pieauguma palielinājumu pēc kopšanas cirtes konstatēta krājas pieaugumam pirms kopšanas cirtes ($r = -0,51$), t.i. jo lielāks pieaugums platībā bija pirms kopšanas cirtes, jo mazāk tas ir palielinājies.

Parauglaukumos, kur valdošā suga ir priede, vidēji cieša pozitīva korelācija konstatēta starp krājas pieauguma palielinājumu un koku augstumu ($r = 0,41$), krāju ($r = 0,31$), kā arī cieša korelācija ar krājas pieaugumu pēc kopšanas cirtes ($r = 0,65$), tajā skaitā pieaugumu, kas pārrēķināts uz 1 m² šķērslaukuma ($r = 0,80$). Vidēji cieša līdz cieša negatīva korelācija konstatēta starp krājas pieauguma palielinājumu pēc košanas cirtes un pieaugumu pirms kopšanas cirtes ($r = -0,41$) un pieaugumu pirms kopšanas cirtes,

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

kas pārrēķināts uz 1 m² šķērslaukuma ($r = -0,56$). Tikai priedes parauglaukumos konstatēta cieša sakarība starp krājas pieauguma palielinājumu un attālumu starp kokiem – palielinoties attālumam, krājas pieaugums pēc kopšanas palielinās.

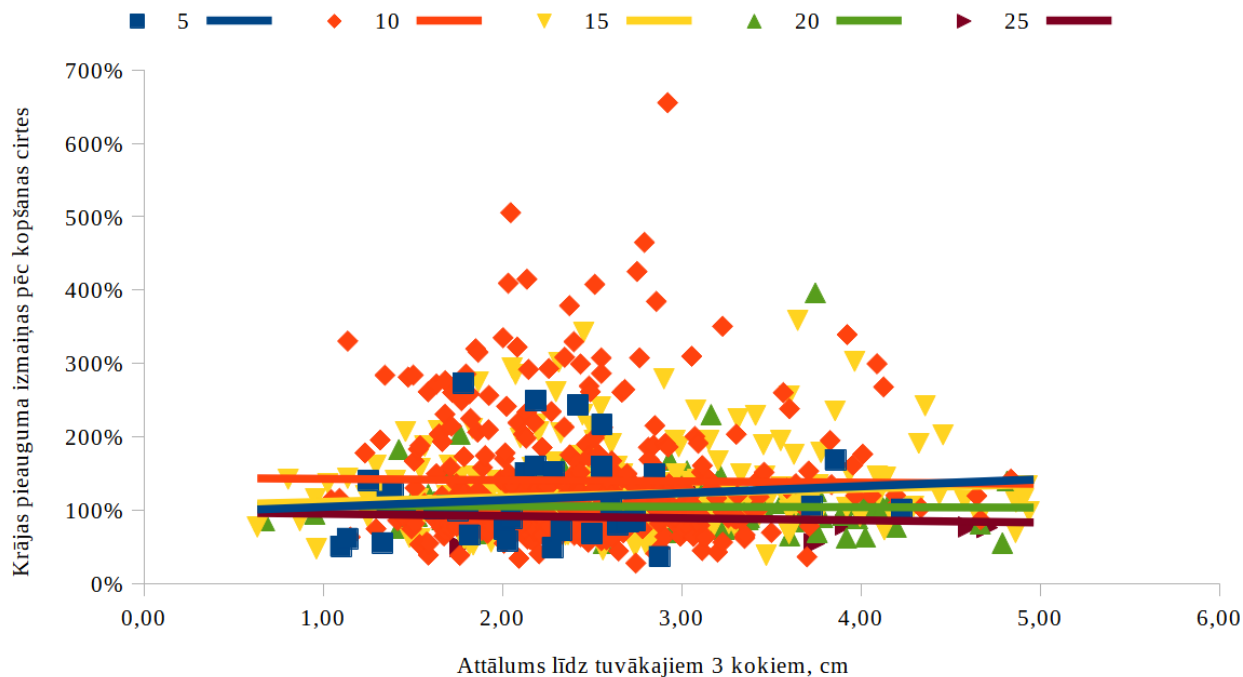
Pētījumā novērtēta krājas pieauguma palielinājuma pēc kopšanas cirtes, salīdzinot ar 5 gadu periodu pirms kopšanas cirtes, un attāluma starp 4 tuvākajiem kokiem sakarība. Visu datu kopsavilkumā Att. 95 redzams, ka skujkokiem vērojama līdzīga krājas pieauguma palielinājuma sakarība, bet bērzam attāluma starp kokiem pieaugums vai samazināšanās būtiski neietekmē krājas pieauguma izmaiņas.



Att. 95: Krājas pieauguma palielinājuma pēc kopšanas cirtes un attāluma starp tuvākajiem kokiem sakarība.

Pētījumā vērtēts, kā attālums starp atstājamiem kokiem ietekmē bērza, egles un priedes krājas pieauguma izmaiņas pēc kopšanas cirtes, atkarībā no koku caurmēra. Att. 96 raksturo paraugkopu, kurā iekļauti bērza valdaudzes koki. Caurmēra solis ir 5 cm, kas raksturo vidējo koku caurmēru attiecīgajā grupā, t.i. 5 cm caurmēra grupa ietverti koki ar caurmēru no 2 līdz 7,5 cm. Krājas pieauguma palielināšanās pēc kopšanas cirtes, pieaugot attālumam starp kokiem, vērojama tikai 5 cm un 15 cm caurmēra grupā; pārējās caurmēra grupās krājas pieauguma palielinājums nemainās, atkarībā no attāluma starp atstājamiem kokiem. Būtisks krājas pieauguma palielinājums konstatēts 5-15 cm caurmēra grupās. Kokiem 20-25 cm caurmēra grupā krājas pieaugums pirms un pēc kopšanas cirtes būtiski neatšķiras.

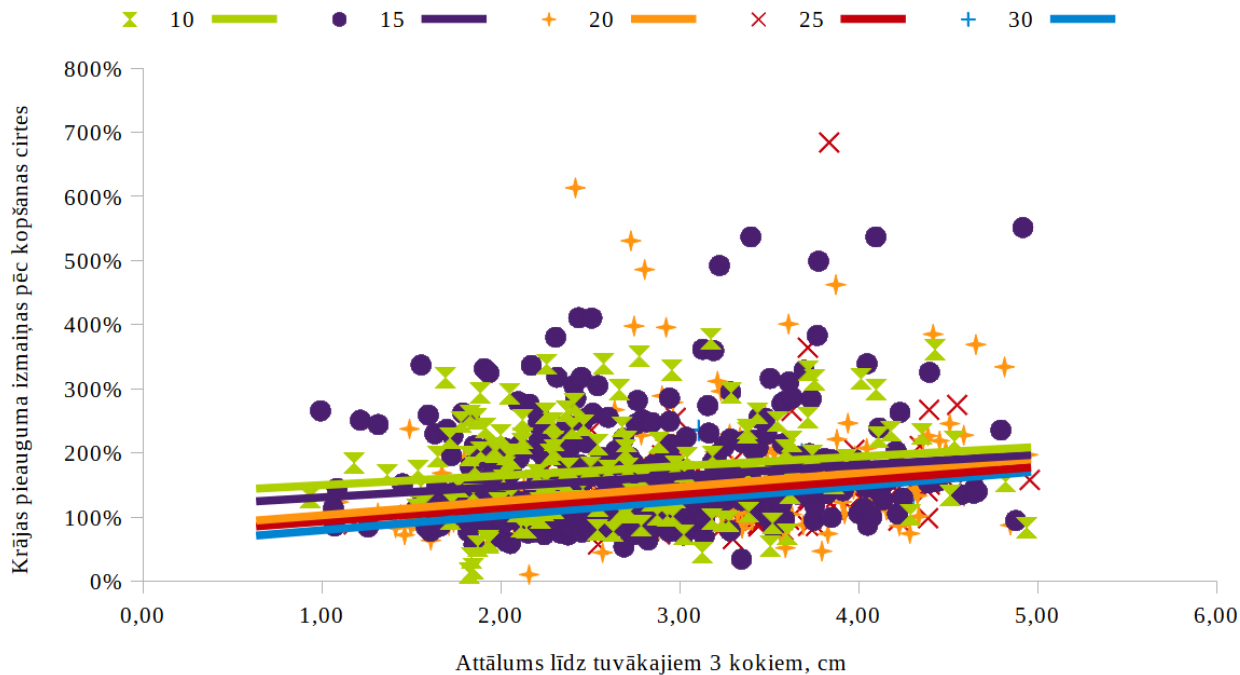
Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma



Att. 96: Sakarība starp bērza krājas pieauguma izmaiņām pēc kopšanas cirtes un attālumu starp kokiem, atkarībā no koka caurmēra.

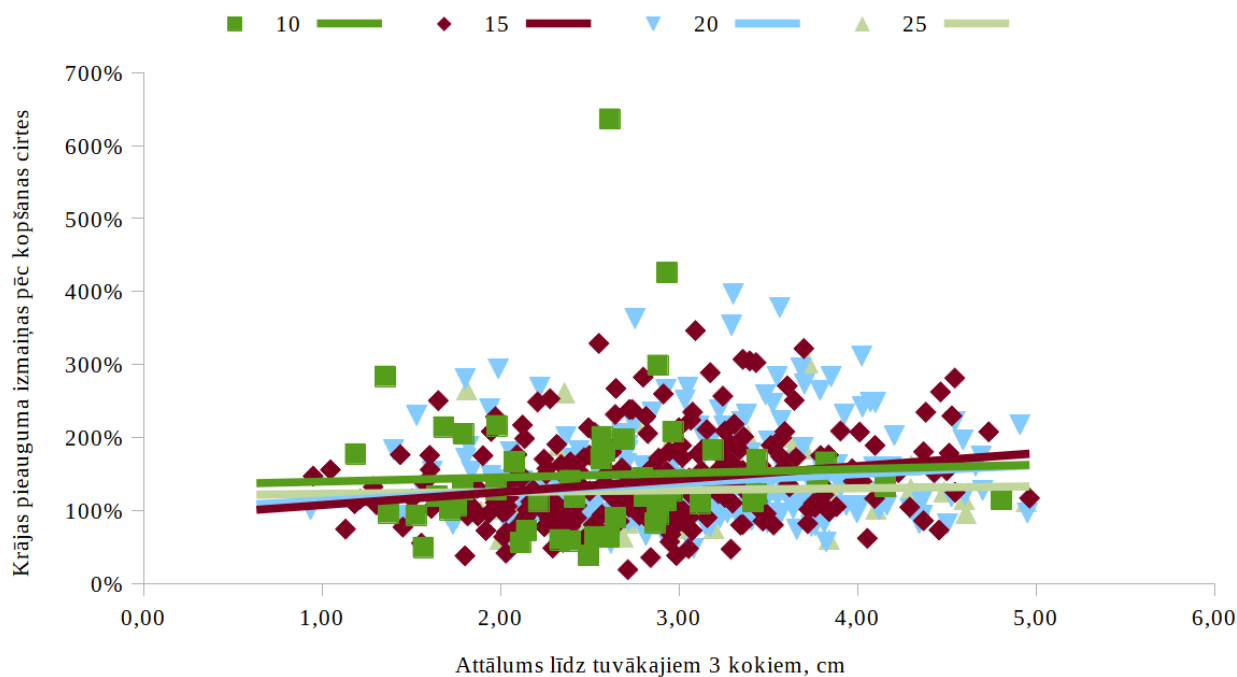
Att. 97 raksturo paraugkopu, kurā iekļauti egles valdaudzes koki. Krājas pieauguma palielināšanās pēc kopšanas cirtes, pieaugot attālumam starp kokiem, vērojama visās caurmēra grupās. Caurmēra grupā 10, 15 un 20 cm krājas pieaugums pēc kopšanas cirtes vidēji ir lielāks, nekā 5 gadu periodā pirms kopšanas cirtes; 25 cm caurmēra grupā krājas pieaugums pēc kopšanas cirtes, atbilstoši vidējiem rādītājiem, pārsniedz krājas pieaugumu pirms kopšanas cirtes tad, ja attālums starp kokiem pārsniedz 1,4 m; bet 30 cm caurmēra grupā, atbilstoši vidējiem rādītājiem – ja attālums starp kokiem pārsniedz 2 m. Att. 97 redzama tendence, ka, palielinoties koku caurmēram, ietekme uz krājas pieaugumu samazinās, lai arī, neatkarīgi no caurmēra grupas, saglabājas pozitīvā tendence, ko rada attāluma starp kokiem palielināšanās.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma



Att. 97: Sakarība starp egles krājas pieauguma izmaiņām pēc kopšanas cirtes un attālu starp kokiem, atkarībā no koka caurmēra.

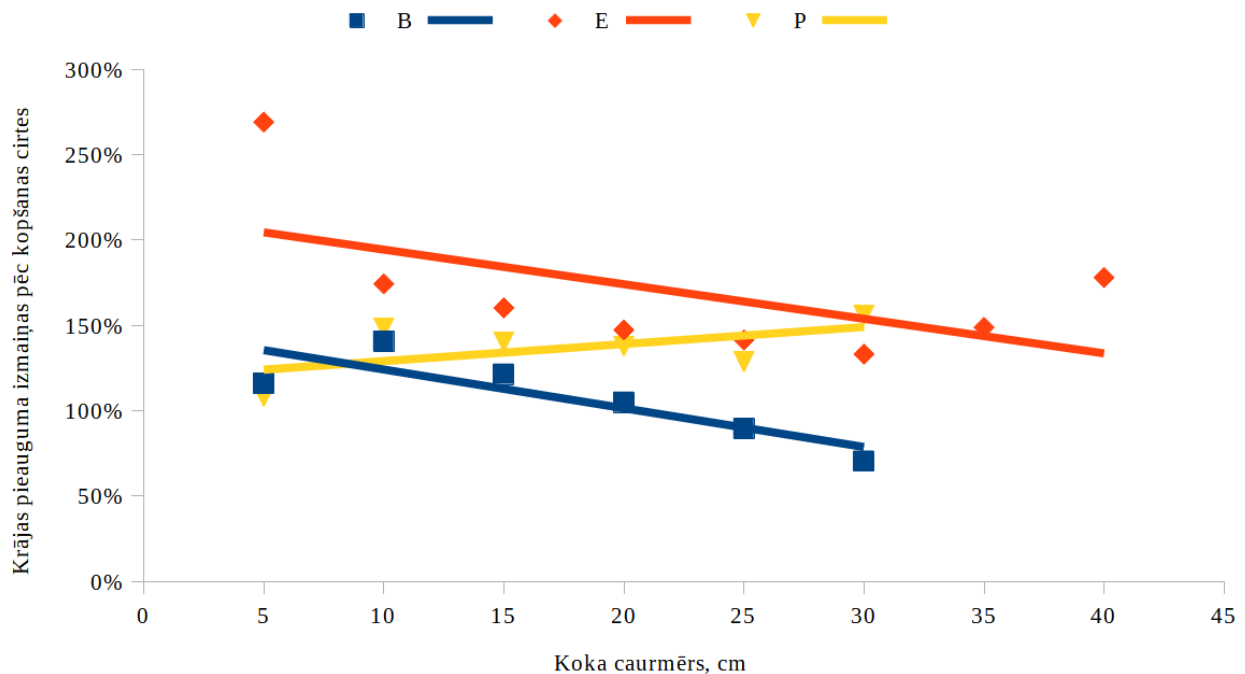
Att. 98 raksturo paraugkopu, kurā iekļauti priedes valdaudzēs koki. Krājas pieauguma palielināšanās pēc kopšanas cirtes, pieaugot attālumam starp kokiem, vērojama visās caurmēra grupās, lai arī, pieaugot caurmēra grupai, šis efekts ir mazāk izteikts. Visās caurmēra grupās, neatkarīgi no attāluma starp kokiem, krājas pieaugums pēc kopšanas cirtes ir vidēji lielāks nekā 5 gadu periodā pirms kopšanas cirtes. Tāpat kā egles paraugkopā, Att. 98 vērojama tendence, ka, neatkarīgi no caurmēra grupas, saglabājas pozitīvā tendence, ko rada attāluma starp kokiem palielināšanās.



Att. 98: Sakarība starp priedes krājas pieauguma izmaiņām pēc kopšanas cirtes un attālu starp kokiem, atkarībā no koka caurmēra.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

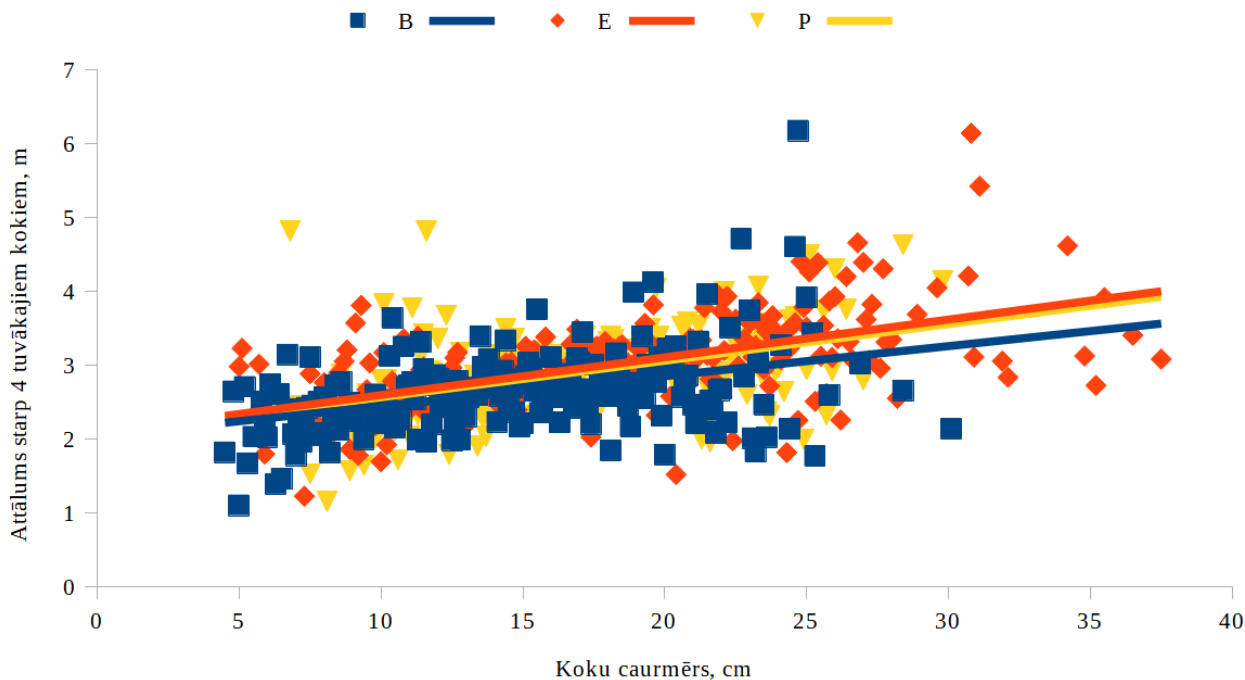
Krājas pieauguma palielināšanās datu kopsavilkums koku sugu un caurmēra grupu griezumā, neatkarīgi no attālums starp kokiem, dots Att. 99. Bērzam un eglei krājas pieauguma palielinājums pēc kopšanas cirtes, salīdzinot ar 5 gadu periodu pirms kopšanas cirtes, samazinās, palielinoties koku caurmēram; turpretim, priedei krājas pieauguma palielinājums pēc kopšanas cirtes nedaudz pieaug, palielinoties koku caurmēram.



Att. 99: Vidējie rādītāji, kas raksturo bērza, egles un priedes krājas pieauguma izmaiņas pēc kopšanas cirtes un koku caurmēru.

Salīdzinot taksācijas rādītāju izmaiņas, atkarībā no koku caurmēra un koku sugas, pētījumā konstatēts, ka bērzam pieauguma palielinājums pēc kopšanas cirtes, salīdzinot ar 5 gadu periodu pirms kopšanas cirtes negatīvi korelē ar krājas pieauguma palielinājumu ($r = -0,36$). Līdzīga korelācija konstatēta eglei ($r = -0,35$); turpretim, priedei korelācija nav konstatēta. Korelācija starp koku caurmēru un attālumu starp kokiem, neatkarīgi no koku sugas, ir vidēji cieša – bērzam $r = 0,39$; eglei $r = 0,56$ un priedei $r = 0,41$.

Eglei un priedei sakarība starp koku caurmēru un attālumu starp 4 tuvākajiem kokiem būtiski neatšķiras, bet bērzam attālums starp kokiem ar lielāku caurmēru ir mazāks (Att. 100), t.i. kopšanas cirtē ir atstāts lielāks koku skaits. Iespējams, ka lielāki vidējie audžu biežuma rādītāji.



Att. 100: Sakarība starp koku caurmēru un attālumu starp tuvākajiem kokiem.

Secinājumi: lielākajā daļā no vērtētajām audzēm koku augšanas gaita pēc kopšanas cirtes nav pasliktinājusies, bet kopējā krāja būtiski pieaugusi. Arī koku skaits pēc kopšanas cirtes nav būtiski samazinājies dabiskā atmiruma rezultātā; attiecīgi, nav pamata uzskatīt, ka izmantotās kopšanas ciršu metodes negatīvi ietekmē augšanas gaitu. Izņēmuma gadījumi, kad izkoptajās audzēs veiktas sanitārās cirtes, saistīti ar meliorācijas sistēmu stāvokļa pasliktināšanos vai no piegulošajām audzēm ienākušo kaitēkļu radītiem bojājumiem.

Vidējās krājas izmaiņas 3-5 gados pēc kopšanas cirtes (vidēji $50,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) ir pietuvojušās kopšanas cirtē nozāģētajam koksnes apjomam (vidēji $70,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Paredzams, ka 2 gadu laikā koksnes krāja izkoptajās audzēs pārsniegs koksnes krāju pirms kopšanas cirtes.

Individuālu koku radiālā pieauguma uzmērījumu datu analīze neparāda izmantotās tehnikas, tehnoloģisko koridoru izvietojuma vai mežizstrādes sezonas ietekmi uz koku augšanas gaitu, taču šo faktoru ietekmi var mazināt vai maskēt citi rādītāji, tajā skaitā audzes sastāvs un koku izvietojums pirms kopšanas cirtes, kas var būtiski ietekmēt krājas pieauguma rādītāju izmaiņas pēc kopšanas cirtes. Šo faktoru ietekmes analīzei turpmāk izmantojamas mašīnmācības metodes, kas ļauj izsekot dažādu faktoru kompleksai ietekmei analizējamu datu kopā.

Individuālu koku pieauguma rādītāju analīze parāda, ka vidēji krājas pieaugums pēc kopšanas cirtes palielinājies par 27,3%, salīdzinot ar 5 gadu periodu pirms kopšanas cirtes, bet, pārrēķinot uz 1 m^2 šķērslaukuma aprēķinu perioda sākumā, krājas pieauguma palielinājums ir vidēji 2,3%. Vislielākais krājas pieauguma palielinājums konstatēts eglei un priedei, salīdzinoši mazāks – bērzam, un negatīvs – baltalksnim.

Pētījumā nav konstatēts 1 dominējošais faktors, kas sekmētu vai, tieši pretēji, mazinātu krājas pieauguma palielinājumu pēc kopšanas cirtēm; dažādu sugu kokiem rādītāji, kas

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

pozitīvi korelē ar krājas pieauguma izmaiņām atšķiras, taču visām koku sugām raksturīgs tas, ka mazāki koki labāk reaģē uz kopšanas cirti. Bērzs ir vienīgā koku suga, neskaitot baltalksni, kurai lielāku dimensiju kokiem (20 un 25 cm caurmēra grupa) konstatēta neitrāla vai negatīva kopšanas ciršu ietekme uz krājas pieaugumu. Jāņem vērā, ka visas izkoptās bērza audzes atbilst gāršas vai slapjās gāršas meža tipam, attiecīgi, dažādu augšanas gaitu ietekmējošo faktoru mijiedarbība var dot citādu rezultātu, nekā skujkoku audzēs, kas pārstāv dažādus edafiskos apstākļus.

Attāluma starp atstājamiem kokiem palielināšanās skujkoku audzēs rada pozitīvu ietekmi uz krājas pieaugumu, neatkarīgi no koku caurmēra, taču izteikti lielāka pozitīvā ietekme ir uz mazāku dimensiju kokiem. Krājas pieauguma palielinājuma krišanās lielāku dimensiju kokiem ir sistemātiska. Bērza audzēs tikai mazāko dimensiju kokiem (caurmēra grupas 5 un 15 cm) konstatēts krājas pieauguma palielinājums, pieaugot attālumam starp kokiem. Lielāku dimensiju bērziem šāda likumsakarība nav konstatēta. Jāņem vērā, ka lielāko dimensiju bērzi ir gāršas meža tipā, kur parasti nav raksturīgs barības vielu deficīts, tāpēc kopšanas cirtes ietekme, palielinoties barības vielu pieejamībai, pirmajos gados var arī neizpausties.

Rekomendācijas: pētījumā secināts, ka visas mežizstrādes metodes, kas izmantotas 2012.-2015. gada izmēģinājumos, uzlabo mežaudžu augšanas gaitu. Izņēmumi ir saistīti ar ārēju faktoru iedarbību, nevis kopšanas cirti. Skujkoku audzēs un mazāku dimensiju bērza audzēs atstājamo koku šķērslaukuma samazināšana sekmē krājas pieauguma palielināšanos, bet lielu dimensiju bērza audzēs krājas pieaugums pēc kopšanas cirtes nemainās, neatkarīgi no audzes šķērslaukuma. Izvēloties mežizstrādes metodi novēlotās jaunaudžu kopšanas cirtēs, lēmuma pieņemšanai jāizmanto ekonomiskie kritēriji – mežizstrādes izmaksas un sagaidāmie ieņēmumi, vienlaicīgi īstenojot darbības, kas mazina ietekmi uz augsni un atstājamo koku mehāniskos bojājumus, kuru ietekme pagaidām vēl nav identificējama, bet var izpausties nākotnē, pasliktinoties kokmateriālu kvalitātei.

PRIEKŠLIKUMI OPERATORU APMĀCĪBAS PILNVEIDOŠANAI DARBAM KOPŠANAS CIRTĒS

Viens no pētījumu virzieniem, kas definēts 2015. gadā izstrādātajā pētījumu programmā, ir pētījumos iegūto zināšanu nodošana mežizstrādē nodarbinātajiem, organizējot informatīvus seminārus par mežizstrādes procesa uzlabošanai būtiskām pētījuma atziņām, kā arī sagatavojot informatīvus materiālus par kopšanas ciršu metodēm.

No 2016. līdz 2020. gadam pasūtītājs neizvirzīja nevienu darba uzdevumu šajā pētījumu programmas virzienā, novirzot programmas resursus citu virzienu uzdevumu īstenošanai, tāpēc šajā virzienā nav gatavoti nodevumi.

Nozīmīgākās atziņas, kas iegūtas kopšanas ciršu izmēģinājumos, jau iekļautas pētījumu pārskatos, starpziņojumos un etapa pārskatos. Lai nodrošinātu topošajiem mežsaimniecības inženieriem būtiskas informācijas nodošanu potenciālajiem lietotājiem kopš 2016. gada pētījuma rezultāti prezentēti lekcijā “Jaunākais mežzinātnē” bakalaura programmas studentiem. Atsaucoties uz Latvijas Lauku konsultāciju un izglītības centra aicinājumu, sagatavotas rekomendācijas kompaktklases tehnikas pielietošanai un biokurināmā sagatavošanai kopšanas cirtēs.

Visos kopšanas ciršu izmēģinājumos esam sadarbojušies ar profesionāliem mežizstrādes mašīnu instruktoriem no Meža un koksnes produktu pētniecības un attīstības institūts un Konekesko Latvija SIA, ar kuriem kopīgi izstrādājām darba metodes, piemēram, paceļamā greifera izmantošanai kokmateriālu pievešanā un veicām operatoru snieguma monitoringu. Iegūtās zināšanas pētījumā iesaistītie instruktori izmanto arī citu operatoru apmācībā.

Publicitātes darbību uzskaitījums, kurās prezentēti pētījuma rezultāti, dots nākošajā nodaļā.

IEPAZĪSTINĀT LVM DARBINIEKUS UN PAKALPOJUMU SNIEDZĒJUS AR PĒTĪJUMU REZULTĀTIEM UN ATZIŅĀM

Pētījuma rezultātu prezentēšana AS “Latvijas valsts meži” darbiniekiem un citiem interesentiem populārzinātniskās konferencēs

1. Meža dienās 2019. gada 25. maijā, prezentācijas nosaukums “Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma. AS “Latvijas valsts meži” iniciētie pētījumi un kā to rezultāti ietekmēs pakalpojumu sniedzējus”.
2. 2019. gada 12. februārī Baltic ForBio darba grupas sēdē Ozolniekos, prezentācijas nosaukums “Background and Experience on the wood-based Renewable Energy Issues”.
3. 2019. gada 14. februārī AS “Latvijas valsts meži” Mežsaimniecība KPRP Mežizstrāde gada sanāksmē sniegta prezentācija “Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma, darba uzdevumu izpilde 2017. un 2018. gadā”.
4. 2019. gada 15. februārī inovāciju domnīcā DigIn sniegta prezentācija “Kompleksas mežsaimniecības pakalpojumu sistēmas aprobācija” par kompaktklases tehnikas un attālās izpētes risinājumu pielietošanu mežsaimniecībā.
5. 2019. gada 23. septembrī pētījumu programmas rezultāti iekļauti prezentācijā “Degradētu teritoriju rekultivācija, klimata izmaiņas, to mazināšana zemes izmantošanas sektorā un meža darbu mašinizācija”;
6. 2019. gada 27. novembrī Latvijas lauksaimniecības universitātes Meža fakultātes bakalaura programmas studentiem sniegta prezentācija “Meža bioenerģijas resursu un koku augšanas apstākļu uzlabošanas aktuālie pētījumi Latvijā”;
7. 2019. gada februārī seminārs AS “Latvijas valsts meži” darbiniekiem un pakalpojumu sniedzējiem par mašinizēto jaunaudzū kopšanu, izmantojot Vimek 404 SE harvesteru, kas aprīkots ar Bracke C12 darba galvu (pļāvēju), Cutlinc cleaner SCR3 darba galvu, Keto ECO Frost darba galvu un virszemes noteces vāgu veidošanas iekārtu;
8. No 2016. gada pētījuma rezultāti reizi gadā prezentēti lekciju kursā "Jaunākais mežzinātnē", lektori A. Lazdiņš un A. Zimelis.

Pētījuma ietvaros sagatavotās publikācijas

1. Ivanovs, J., & Lupikis, A. (2018). Identification of wet areas in forest using remote sensing data. *Agronomy Research*, 16(5), 2049–2055. Scopus. <https://doi.org/10.15159/AR.18.192>
2. Ivanovs, Janis, & Lazdins, A. (2018). Evaluation of tree height and number of trees using LiDAR data. *Engineering for rural development*, 1390–1394. <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N153>
3. Ivanovs, Janis, & Melniks, R. (2019). Finding the best locations for furrows in soil berms of drainage ditches using lidar data. *Proceedings of the International Scientific Conference “Rural Development”*, 244–247.
4. Ivanovs, Jānis, & Melniks, R. (2020a). Comparison of ALS models for the estimation of forest height and wood volume. No R. Björheden & I. Callesen (Red.), *Conference Proceedings* (Sēj. 1061–2020, lpp. 53). University of Copenhagen.
5. Ivanovs, Jānis, & Melniks, R. (2020b). Finding the best locations for furrows in soil berms of drainage ditches using LiDAR data. No R. Björheden & I. Callesen (Red.), *Conference Proceedings* (Sēj. 1061–2020, lpp. 121). University of Copenhagen.
6. Ivanovs, Janis, Melniks, R., & Skrandā, I. (2019, maijā 22). *Evaluation of impact of soil compaction*

in ditch-sides during forwarding of roundwood on groundwater level in neighbouring forest stand. 18th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. <https://doi.org/10/gf3d7m>

7. Ivanovs, Janis, Melniks, R., Stola, J., & Frolova, O. (2019, maijā 22). *Preliminary assessment of impact of roundwood forwarding on soil water permeability and water table level in commercial thinnings on mineral soils.* 18th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. <https://doi.org/10/gf3d7f>
8. Ivanovs, Janis, Sietiņa, I., & Spalva, G. (2017). Identification of wet areas in forest by using LiDAR based DEM. *International Scientific Conference RURAL DEVELOPMENT 2017*, 611–615. <https://doi.org/10.15544/RD.2017.094>
9. Ivanovs, Jānis, & Sietiņa, I. (2017). GIS based analysis of forest site preparation. *Research for Rural Development, 1*, 127–132.
10. Ivanovs, Janis, Sietiņa, I., Lazdiņš, A., Skola, U., Zvirgzdiņš, A., & Zvaigzne, Z. A. (2017). Identification of wet areas in forest by using LiDAR based DEM. *Proceedings from joint seminar arranged by NB - NORD and NOFOBE*, 54. <http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Proceedings-2017.pdf>
11. Kaleja, S., Lazdins, A., Johansson, P. O., Spalva, G., & Skola, U. (2017). Impact of forwarding conditions on productivity of forwarder Kranman Bison 10000. *Logging Industry: Problems And Solutions Materials of International scientific-technical conference in memory of Professor Alexander Fedorenchik*, 32–35.
12. Kalēja, S., Lazdiņš, A., Zimelis, A., & Spalva, G. (2017). Model for cost calculation and sensitivity analysis of forest operations. *Agronomy Research, 16*(5), 2068–2078. Scopus. <https://doi.org/10.15159/AR.18.207>
13. Kalēja, Santa, Johansson, P. O., Zimelis, A., Lazdiņš, A., Spalva, G., Saule, G., & Rozītis, G. (2017). Fields of application of Kranman Bison 10000 and other small forwarders. *Proceedings from joint seminar arranged by NB - NORD and NOFOBE*, 47. <http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Proceedings-2017.pdf>
14. Kaleja, Santa, Lazdins, A., & Prindulis, U. (2015). *Evaluation of impact of different types of tracks on productivity and cost of differently equipped forwarders in thinning.* 41–43.
15. Kaleja, Santa, Petaja, G., Zimelis, A., & Puzuls, K. (2018). Increase of forwarding productivity and reduction of tree damages in thinning by use of loading grapple with tilt function. *Engineering for rural development*, 1384–1389. <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N148>
16. Kaleja, Santa, Zimelis, A., Lazdins, A., & Johansson, P. O. (2017). Comparison of productivity of Kranman Bison 10000 forwarder in stands harvested with harvester and chainsaw. *Proceedings of the 8th International Scientific Conference Rural Development 2017, In press.* <https://doi.org/10.15544/RD.2017.199>
17. Kalēja, Santa, Zimelis, A., Lazdiņš, A., Spalva, G., Saule, G., Rozītis, G., & Petaja, G. (2017). Productivity of Logbear F4000 forwarder on soils with low bearing capacity. *Proceedings from joint seminar arranged by NB - NORD and NOFOBE*, 50. <http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Proceedings-2017.pdf>
18. Krumšteds, L. L., Ivanovs, J., Jansons, J., & Lazdiņš, A. (2019). Development of Latvian land use and land use change matrix using geospatial data of National forest inventory. *Agronomy Research, 17*. <https://doi.org/10.15159/AR.19.195>
19. Lazdins, A., Iecelnieks, E., Zimelis, A., & Spalva, G. (2019, maijā 22). *Evaluation of work methods for production of solid biofuel from harvesting residues in commercial thinning of coniferous forests.* 18th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. <https://doi.org/10/gf3d7h>
20. Lazdiņš, A., Prindulis, U., Kalēja, S., Daugaviete, M., & Zimelis, A. (2016). Productivity of Vimek 404 T5 harvester and Vimek 610 forwarder in early thinning. *Agronomy Research, 14*(2), 475–484. Scopus.
21. Lupikis, A., Kaleja, S., & Lazdins, A. (2015). *Impact of tracked and wheeled forest machines on soil*

- penetration resistance in early thinning.* 43–44.
22. Melniks, R., Ivanovs, J., & Lazdins, A. (2019a). Method for shallow drainage ditch network generation using remote sensing data. *Proceedings of the 9th International Scientific Conference Rural Development 2019*. <https://doi.org/10.15544/RD.2019.008>
 23. Melniks, R., Ivanovs, J., & Lazdins, A. (2019b, maijā 22). *Estimation of dominant tree height in forest stands using LiDAR data*. 18th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. <https://doi.org/10/gf3d7k>
 24. Melniks, R., Ivanovs, J., & Lazdins, A. (2020). Identification of possible ditch culvert locations using lidar data. *ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT*, 1706–1711. <https://doi.org/10.22616/ERDev2020.19.TF439>
 25. Petaja, G., Butlers, A., Okmanis, M., & Zimelis, A. (2017). Estimation of productivity and prime cost of Logset 5HP GT harvester in thinning. *Proceedings of the 8th International Scientific Conference Rural Development 2017, In press*. <https://doi.org/10.15544/RD.2017.175>
 26. Petaja, G., Kaleja, S., Zimelis, A., & Lazdins, A. (2018). Comparison of productivity of standard and accumulating forwarder grapple in thinning. *Engineering for rural development*, 1366–1371. <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N143>
 27. 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. http://lluflb.llu.lv/conference/Research-for-Rural-Development/2016/LatviaResRuralDev_22nd_vol2-69-76.pdf
 28. Prindulis, U., Kaleja, S., Lazdins, A., & Lupikis, A. (2017). Impact of Small and Middle Sized Forwarders to Soil Compaction During Mechanized Thinning in Young Stand. *Proceedings from joint seminar arranged by NB - NORD and NOFOBE*, 51. <http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Proceedings-2017.pdf>
 29. 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>
 30. Skudra, A., Kaleja, S., Prindulis, U., & Lazdins, A. (2015). *Influence of work method on harvester productivity in thinning of coniferous stands*. 57–61.
 31. Spalva, G., Ivanovs, J., Sietiņa, I., & Lazdiņš, A. (2017). GIS and remote sensing based planning of forest regeneration. *Proceedings from joint seminar arranged by NB - NORD and NOFOBE*, 55. <http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Proceedings-2017.pdf>
 32. Vauhkonen, J., Berger, A., Gschwantner, T., Schadauer, K., Lejeune, P., Perin, J., Pitchugin, M., Adolt, R., Zeman, M., Johannsen, V. K., Kepfer-Rojas, S., Sims, A., Bastick, C., Morneau, F., Colin, A., Bender, S., Kovácsévics, P., Solti, G., Kolozs, L., ... Packalen, T. (2019). Harmonised projections of future forest resources in Europe. *Annals of Forest Science*, 76(3), 79. <https://doi.org/10/gf5jts>
 33. Zimelis, A., Lazdins, A., Kaleja, S., Spalva, G., & Rozitis, G. (2017a). Productivity of harvester Vimek 404 T5 in forest thinning in Latvia. *Logging Industry: Problems And Solutions Materials of International scientific-technical conference in memory of Professor Alexander Fedorenchik*, 36–39.
 34. Zimelis, A., Lazdins, A., Kaleja, S., Spalva, G., & Rozitis, G. (2017b). Productivity of harwarder Vimek Biocombi in early thinning in Latvia. *Logging Industry: Problems And Solutions Materials of International scientific-technical conference in memory of Professor Alexander Fedorenchik*, 29–31.
 35. Zimelis, A., Spalva, G., Saule, G., Daugaviete, M., & Lazdiņš, A. (2016). Productivity and cost of biofuel in ditch cleaning operations using tracked excavator based harvester. *Agronomy research*, 14(2), 579–589.
 36. Zimelis, Agris, Kalēja, S., & Luguza, S. (2018). Factors affecting productivity of machined logging in thinning using small size forest machines. *Annual 24th International Scientific Conference Research for Rural Development 2018*, 1, 47–52. <https://doi.org/10.22616/rrd.24.2018.007>
 37. Zimelis, Agris, Kaleja, S., & Okmanis, M. (2019, maijā 22). *Complex forest management system based on small size forest machines*. 18th International Scientific Conference Engineering for Rural

Development. <https://doi.org/10/gf3d69>

38. Zimelis, Agris, Kaleja, S., Spalva, G., & Lazdins, A. (2017). Impact of feed rollers on productivity and fuel consumption. *Engineering for rural development*, 756–760. <https://doi.org/0.22616/ERDev2017.16.N152>
39. Zimelis, Agris, Kalēja, S., Spalva, G., Saule, G., Rozītis, G., & Petaja, G. (2017). Factors affecting productivity of Vimek 404 T5 harvester in pre-commercial thinning. *Proceedings from joint seminar arranged by NB - NORD and NOFOBE*, 46. <http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Proceedings-2017.pdf>
40. Zimelis, Agris, Lazdiņš, A., & Ābele, A. (2017). The impact of feed rollers on the quality of timber in the manufacturing of posts. *Research for Rural Development*, 1, 101–106. <https://doi.org/10.22616/rrd.23.2017.015>
41. Zimelis, Agris, Lazdiņš, A., & Spalva, G. (2017). Comparison of productivity of Vimek harvester in birch plantation and young coniferous stands. *Research for Rural Development*, 1, 107–112.
42. Zimelis, Agris, Sisenis, L., Sarmulis, Z., & Ariko, S. (2018). Technology and energy balance in stump harvesting with MCR500. *Engineering for rural development*, 1395–1400. <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N162>

Pētījuma rezultātu prezentēšana starptautiskās zinātniskās konferencēs

1. Rural Development 2017: Bioeconomy challenges, 2017, Kaunas, Lietuva. Prezentācija – Ivanovs, J. Identification of wet areas in forest by using LiDAR based DEM.
2. 23rd Annual International Scientific Conference “Research for Rural Development 2017”, 2017, Jelgava, Latvija. Prezentācija – Ivanovs, J., Sietiņa, I. GIS based analysis of forest site preparation.
3. Annual 24th International Scientific Conference “Research for Rural Development 2018”, 16.-18.05.2018., Jelgava, Latvija. Prezentācija – Zimelis, A., Kalēja, S., Luguza, S. Factors affecting productivity of machined logging in thinning small sized forest machine.
4. Biosystems Engineering 2018, 09. – 11.05.2018., Tartu, Igaunija. Stenda referāts – Kalēja, S., Lazdiņš, A., Zimelis, A., Spalva, G. The model for calculation of forest operations cost and sensitivity analysis.
5. 17th Annual International Scientific Conference “Engineering for Rural Development”, 2018, Jelgava, Latvija. Prezentācija – Ivanovs, J., Lazdiņš, A. Evaluation of tree height and number of trees using LiDAR data.
6. 9th International Scientific Conference “Rural Development 2019: Research and Innovation for Bioeconomy“, 26.-28.09.2019., Kauņa, Lietuva. Prezentācija – Kalēja, S., Lazdiņš, A., Zimelis, A. Comparison of costs in pre-commercial thinning using medium-sized and small-sized harvesters.
7. 9th International Scientific Conference “Rural Development 2019: Research and Innovation for Bioeconomy“, 26.-28.09.2019., Kauņa, Lietuva. Prezentācija – Ivanovs, J. Finding the best locations for furrows in soil berms of drainage ditches to improve water regime in surrounding forest stands using LiDAR data.
8. 52. International Symposium on Forest Mechanisation, 2019, Sopron, Ungārija. Prezentācija - Ivanovs, J., Lupiķis, A., Lazdiņš, A. Wet area mapping using remote sensing data in Latvia.
9. 18th Annual International Scientific Conference “Engineering for Rural Development”, 2019, Jelgava, Latvija. Prezentācija – Ivanovs, J., Meļņiks, R., Stola, J., Frolova, O. Preliminary assessment of impact of roundwood forwarding on soil water permeability and water table level in commercial thinnings on mineral soils.
10. 18th Annual International Scientific Conference “Engineering for Rural Development”, 2019, Jelgava, Latvija. Prezentācija – Ivanovs, J., Meļņiks, R., Skrandā, I. Evaluation of impact of soil compaction in ditch-sides during forwarding of roundwood on groundwater level in neighbouring forest stand.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

11. Forest Operations in Response to Environmental Challenges NB-Nord Conference, 03.-05.07.2019, Honna, Norvēģija. Prezentācija - Kalēja, S., Lazdiņš, A., Zimelis, A. Compact-class Forest Machines as a tool for reduction of Greenhouse Gas Emissions.
12. Forest Operations in Response to Environmental Challenges NB-Nord Conference, 03.-05.07.2019, Honna, Norvēģija. Prezentācija – Ivanovs, J. *Identification of wet areas using airborne LiDAR data.*
13. Forest Operations in Response to Environmental Challenges NB-Nord Conference, 03.-05.07.2019, Honna, Norvēģija. Prezentācija – Lazdiņš, A., Zimelis, A., Kalēja, S., Saule, G. Impact of sorting grips and tilting gripper on productivity of forwarding of logs in commercial thinning.
14. Forest Operations in Response to Environmental Challenges NB-Nord Conference, 03.-05.07.2019, Honna, Norvēģija. Prezentācija – Polmanis, K., Zimelis, A., Spalva, G. Impact of feed rollers on productivity, log damages and fuel consumption during harvesting.
15. 2019. gada 16. maijā pētījuma rezultāti prezentēti ikgadējā konferencē Annual 25th international scientific conference “Engineering for Rural Development”, prezentācijas nosaukums “Evaluation of potential impact of soil scarification pattern on trees’ damages in future commercial thinning”.
16. 26th Annual International Scientific Conference “Research for Rural Development 2020”, 2020, Jelgava, Latvija. Prezentācija – Ivanovs, J., Štāls, A.T., Kalēja, S. Impact of the use of existing ditch vector data on soil moisture predictions.
17. Ivanovs, J. (2019). *Finding the best locations for furrows in soil berms of drainage ditches to improve water regime in surrounding forest stands using LiDAR data.* The 9th International Scientific Conference RURAL DEVELOPMENT 2019: Research and Innovation for Bioeconomy, Kaunas.
18. Kalēja, S. (2017). *Comparison of productivity of Kranman Bison 10000 forwarder in stands harvested with harvester and chainsaw.* 8th International Scientific Conference “RURAL DEVELOPMENT 2017: Bioeconomy Challenges“, Kaunas.
19. Kalēja, S. (2017, jūnijā 15). *Factors affecting productivity of Vimek 404 T5 harvester in pre-commercial thinning & Fields of application of Kranman Bison 10000 and other small forwarders.* Industrial Scale Bioeconomy and its Requirements, Lappeenranta, Finland.
20. Kalēja, S. (2017, jūnijā 15). *Productivity of Logbear F4000 forwarder on soils with low bearing capacity.* Industrial Scale Bioeconomy and its Requirements, Lappeenranta, Finland.
21. Kalēja, S. (2018). *Complex utilization of compact class forest machines.* Joint seminar and workshop of the CAR-ES network and the SNS-120 project, Helsinki.
22. Lazdiņš, A. (2016, februārī 25). *Mežsaimniecības sinerģija ar vietējās enerģijas ražošanu.* Ceļā uz ilgtspējīgu energoapgādi Latvijā, Rīga.
23. Lazdiņš, A. (2016, martā 16). *Klimata politika – iespēja mežsaimniecības attīstībai.* IAK seminārs, Rīga.
24. Lazdiņš, A. (2016, septembrī 29). *Meža nozares iespējamais piedāvājums siltuma ražotājiem.* Evolūcija vai revolūcija – siltumapgāde pārmaiņu priekšā, Rīga.
25. Lazdiņš, A. (2017). *Forest operations related research activities in LSFRI Silava.* EFINORD meeting, Salaspils.
26. Lazdiņš, A. (2017, 25). *Impact of feed rollers on productivity and fuel consumption.* 16th International Scientific Conference ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT, Jelgava, Latvia.
27. Lazdiņš, A. (2017). *Mežsaimniecības loma klimata izmaiņu mazināšanā.* Zemkopības ministrijas Meža nozares konference 2017, Rīga.
28. Lazdiņš, A. (2017, februārī 22). *Forest management reference level related issues.* Benggi project meeting, Rīga.
29. Lazdiņš, A. (2018). *Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma.* Pētījumu atziņas, mežsaimniecības darbu plānošana uz augsnēm ar zemu nestspēju, izmantojot zemes reljefa datus, Rīga.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

30. Lazdiņš, A. (2020, aprīlī 6). *Zinātnē balstīta meža nozare – kādi esam un būsīm klimata pārmaiņu kontekstā*. Latvijas zeme-ilgtermiņa attīstības perspektīvas, RISEBA H2O6, Durbes ielā 4, Rīga. DOI: [10.13140/RG.2.2.26303.74407](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26303.74407)
31. Lupiķis, A. (2017, jūnijā 15). *Impact of Small and Middle Sized Forwarders to Soil Compaction During Mechanized Thinning in Young Stands*. Industrial Scale Bioeconomy and its Requirements, Lappeenranta, Finland.
32. Petaja, Gunta. (2017). *Efficiency of VIMEK 610.2 forwarder and its impact on soil in forest thinning*. 8th International Scientific Conference “RURAL DEVELOPMENT 2017: Bioeconomy Challenges“, Kaunas.
33. Lazdiņš, Andis (2018). *Potential role of compact-class machines in reduction of GHG emissions*. Mechanized and improved silviculture workshop “Small machines for small trees”, Salaspils.
34. Zimelis, A. (2017, aprīlī 27). *Productivity of Vimek 404 T5 harvester in forest thinning in Latvia*. LOGGING INDUSTRY: PROBLEMS AND SOLUTIONS, Minsk.
35. Zimelis, A. (2017, aprīlī 27). *Productivity of Vimek BioCombi harwarder in early thinning in Latvia*. LOGGING INDUSTRY: PROBLEMS AND SOLUTIONS, Minsk.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Anderson, E. S., Thompson, J. A., Crouse, D. A., & Austin, R. E. (2006). Horizontal resolution and data density effects on remotely sensed LIDAR-based DEM. *Geoderma*, 132(3–4), 406–415. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.06.004>
2. Erber, G., Kanzian, C., & Stampfler, K. (2012). Predicting Moisture Content in a Pine Logwood Pile for Energy Purposes. *Silva Fennica*, 46(4), 555–567.
3. Filbakk, T., Høibø, O., & Nurmi, J. (2011). Modelling natural drying efficiency in covered and uncovered piles of whole broadleaf trees for energy use. *Biomass and Bioenergy*, 35(1), 454–463. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.09.003>
4. Gobakken, T., & Næsset, E. (2009). Assessing effects of positioning errors and sample plot size on biophysical stand properties derived from airborne laser scanner data. *Canadian Journal of Forest Research*, 39(5), 1036–1052. <https://doi.org/10.1139/X09-025>
5. Hauglin, M., Hansen, E. H., Næsset, E., Busterud, B. E., Gjevestad, J. G. O., & Gobakken, T. (2017). Accurate single-tree positions from a harvester: A test of two global satellite-based positioning systems. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 32(8), 774–781. <https://doi.org/10.1080/02827581.2017.1296967>
6. Holopainen, M., Vastaranta, M., & Hyypä, J. (2014). Outlook for the Next Generation's Precision Forestry in Finland. *Forests*, 5(7), 1682–1694. <https://doi.org/10.3390/f5071682>
7. Kaartinen, H., Hyypä, J., Vastaranta, M., Kukko, A., Jaakkola, A., Yu, X., Pyörälä, J., Liang, X., Liu, J., Wang, Y., Kajaluoto, R., Melkas, T., Holopainen, M., & Hyypä, H. (2015). Accuracy of Kinematic Positioning Using Global Satellite Navigation Systems under Forest Canopies. *Forests*, 6(12), 3218–3236. <https://doi.org/10.3390/f6093218>
8. Latvijas Valsts mežzinātnes institūta "Silva". (2018). *Kompleksās mežsaimniecības pakalpojumu sistēmas aprobācija—Noslēguma pārskats* (1.2.1.1/16/A/009; lpp. 22). Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silva”.
9. Lazdiņš, A., Prindulis, U., Kalēja, S., Daugaviete, M., & Zimelis, A. (2016a). Productivity of Vimek 404 T5 harvester and Vimek 610 forwarder in early thinning. *Agronomy research*, 14(2), 475–484.
10. Lazdiņš, A., Prindulis, U., Kalēja, S., Daugaviete, M., & Zimelis, A. (2016b). Productivity of Vimek 404 T5 harvester and Vimek 610 forwarder in early thinning. *Agronomy Research*, 14(2), 475–484. Scopus.
11. Lazdiņš, A., Andis, V., Zimelis, A., Prindulis, U., Gusarevs, I., Kurmis, E., & Polmanis, K. (b.g.). *Ierīce meža augsnes blīvuma mērīšanai ar augsnē iekļautām koku saknēm (Device for measurement of forest soil density considering impact of root system)* (Latvijas republikas patentu valde Patent Nr. 15115).
12. Ligne, D., Eliasson, L., & Nordfjell, T. (2005). Time consumption and damage to the remaining stock in mechanised and motor manual pre-commercial thinning. *Silva Fennica*, 39(3), 455–464.
13. Lindroos, O., Ringdahl, O., Hera, P. La, Hohnloser, P., & Hellström, T. (2015). Estimating the Position of the Harvester Head—a Key Step towards the Precision Forestry of the Future? No *Croat. J. For. Eng* (Sēj. 36, Numurs 2).
14. Lindsay, J. B., & Dhun, K. (2015). Modelling surface drainage patterns in altered landscapes using LiDAR. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(3), 397–411. <https://doi.org/10.1080/13658816.2014.975715>
15. *Logbear F4000 ajokone—Riuttolehto Oy*. (b.g.). Iegūts 2017. gada 6. martā, no http://riuttolehto.fi/logbear/logbear_f4000_ajokone.html
16. Loren D., K. (1976). *A case study of prebunching and swinging a thinning system for young forests* [Master thesis]. Oregon State University.
17. Magagnotti, N., Pari, L., & Spinelli, R. (2012). Re-engineering firewood extraction in traditional Mediterranean coppice stands. *Ecological Engineering*, 38(1), 45–50. <https://doi.org/10/dbtbd3>
18. Magagnotti, N., & Spinelli, R. (2011). Integrated animal and mechanical operations in protected areas. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 32(2), 489–499.

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

19. Maltamo, M., Bollandas, O. M., Naeset, E., Gobakken, T., & Packalen, P. (2011). Different plot selection strategies for field training data in ALS-assisted forest inventory. *Forestry*, 84(1), 23–31. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpq039>
20. Maltamo, Matti, Eerikäinen, K., Packalén, P., & Hyypä, J. (2006). Estimation of stem volume using laser scanning-based canopy height metrics. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 79(2), 217–229. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpl007>
21. Maltamo, Matti, Næsset, E., & Vauhkonen, J. (Ed.). (2014). *Forestry Applications of Airborne Laser Scanning*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-8663-8>
22. Meirons, Z. (2002). *Kvartāra nogulumu. M.: 1:200 000*. Valsts ģeoloģijas dienests.
23. Prindulis, U., Kaleja, S., Lazdins, A., & Lupikis, A. (2017). Impact of Small and Middle Sized Forwarders to Soil Compaction During Mechanized Thinning in Young Stand. *Proceedings from joint seminar arranged by NB - NORD and NOFOBE*, 51. <http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Proceedings-2017.pdf>
24. Prindulis, U., & Lazdiņš, A. (2016). Soil compaction in young stands during mechanized logging of biofuel and roundwood assortments. *Collection of Abstracts*, 121.
25. Routa, J., Kolström, M., Ruotsalainen, J., & Sikanen, L. (2015). Validation of Prediction Models for Estimating the Moisture Content of Small Diameter Stem Wood. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 36(2), 283–291.
26. Saukkola, A., Melkas, T., Riekkö, K., Sirparanta, S., Peuhkurinen, J., Holopainen, M., Hyypä, J., & Vastaranta, M. (2019). Predicting Forest Inventory Attributes Using Airborne Laser Scanning, Aerial Imagery, and Harvester Data. *Remote Sensing*, 11(7), 797. <https://doi.org/10.3390/rs11070797>
27. Schwanghart, W., Groom, G., Kuhn, N. J., & Heckrath, G. (2013). Flow network derivation from a high resolution DEM in a low relief, agrarian landscape. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(13), 1576–1586. <https://doi.org/10.1002/esp.3452>
28. *StanForD - Skogforsk—Forestry Research Institute of Sweden*. (b.g.). Iegūts 2020. gada 7. decembrī, no <https://www.skogforsk.se/english/projects/stanford/>
29. White, J. C., Coops, N. C., Wulder, M. A., Vastaranta, M., Hilker, T., & Tompalski, P. (2016). Remote Sensing Technologies for Enhancing Forest Inventories: A Review. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 42(5), 619–641. <https://doi.org/10.1080/07038992.2016.1207484>
30. White, J. C., Wulder, M. A., Varhola, A., Vastaranta, M., Coops, N. C., Cook, B. D., Pitt, D., & Woods, M. (2013). A best practices guide for generating forest inventory attributes from airborne laser scanning data using an area-based approach. No *Forestry Chronicle* (Sēj. 89, Numurs 6, lpp. 722–723). Canadian Institute of Forestry. <https://doi.org/10.5558/tfc2013-132>
31. Zimelis, A., Lazdins, A., Kaleja, S., Spalva, G., & Rozītis, G. (2017a). Productivity of harvester Vimek 404 T5 in forest thinning in Latvia. *Logging Industry: Problems And Solutions Materials of International scientific-technical conference in memory of Professor Alexander Fedorenchik*, 36–39.
32. Zimelis, A., Lazdins, A., Kaleja, S., Spalva, G., & Rozītis, G. (2017b). Productivity of harvester Vimek Biocombi in early thinning in Latvia. *Logging Industry: Problems And Solutions Materials of International scientific-technical conference in memory of Professor Alexander Fedorenchik*, 29–31.
33. Zimelis, Agris, Kalēja, S., Ivanovs, J., Lazdiņš, A., Spalva, G., Polmanis, K., Lupikis, A., Saule, G., & Krumšteds, L. L. (2019). *Krājas kopšanas cirtēs cirmsā saglabājamo koku bojājumu izvietojumu sakarību analīze* (Nr. 2018-24-1; Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma, lpp. 32). LVMI Silava.
34. Zimelis, Agris, Kalēja, S., & Luguza, S. (2018). Factors affecting productivity of machined logging in thinning using small size forest machines. *Annual 24th International Scientific Conference Research for Rural Development 2018*, 1, 47–52. <https://doi.org/10.22616/rrd.24.2018.007>
35. Zimelis, Agris, Kaleja, S., & Okmanis, M. (2019, maijā 22). *Complex forest management system based on small size forest machines*. 18th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. <https://doi.org/10/gf3d69>
36. Zimelis, Agris, Kalēja, S., Spalva, G., Saule, G., Rozītis, G., & Petaja, G. (2017). Factors affecting

Meža darbu mehanizācijas un meža biokurināmā pētījumu programma

productivity of Vimek 404 T5 harvester in pre-commercial thinning. *Proceedings from joint seminar arranged by NB - NORD and NOFOBE*, 46. <http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Proceedings-2017.pdf>

37. Zimelis, Agris, Lazdiņš, A., & Spalva, G. (2017). Comparison of productivity of Vimek harvester in birch plantation and young coniferous stands. *Research for Rural Development*, 1, 107–112.