

LATVIJAS BIOZINĀTŅU UN TEHNOLOĢIJU UNIVERSITĀTE

Meža un vides zinātņu fakultāte

Mežsaimniecības institūts



Mg.sc.ing. Aigars Strūbergs 

Promocijas darbs

**MEŽA MAŠĪNU INFORMĀCIJAS SISTĒMAS IZMANTOŠANA HARVESTERA
OPERATORU APMĀCĪBU EFEKTIVITĀTES NOVĒRTĒŠANĀ**

***USE OF FOREST MACHINE INFORMATION SYSTEMS FOR ASSESSING THE
EFFECTIVENESS OF HARVESTER OPERATOR TRAINING***

Zinātnes doktora grāda (*Ph.D.*)

lauksaimniecības, meža un veterinārās zinātnēs

iegūšanai



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

Promocijas darba vadītājs
Dr.silv. Andis Lazdiņš

Promocijas darba vadītājs
Dr.silv. Linards Sisenis

Promocijas darba autors
Mg.sc.ing. Aigars Strūbergs

Jelgava 2026

ANOTĀCIJA

Strūbergs A. Meža mašīnu informācijas sistēmas izmantošana harvestera operatoru apmācību efektivitātes novērtēšanā: promocijas darbs – Jelgava, LBTU, 2026. gads, 91 lpp.

Organizējot meža mašīnu operatoru kvalifikācijas celšanu, instruktori veic instruktāžu, balstoties uz apstiprinātām apmācības programmām un savas kompetences ietvaros. Ņemot vērā atšķirīgās meža mašīnu operatoru pieredzes un kvalifikācijas līmeni, šāda pieeja var nenodrošināt vēlamu rezultātu.

Sākot ar 2010. gadu, mežizstrādes mašīnu informācijas sistēmas sāka aprīkot ar automātisku, vienotam informācijas aprites standartam *StanForD 2010* atbilstošu ražošanas parametru uzskaiti un reģistrāciju. Standarta mērķis ir nodrošināt piekļuvi jebkura ražotāja meža mašīnu automātiski iegūtajiem datiem un veikt tālāku datu apstrādi ar visiem interesentiem pieejamām datorprogrammām. Šādus ražošanas datus var izmantot operatoru apmācību efektivitātes analizē.

Promocijas darba mērķis – izpētīt meža mašīnu automātiski iegūto datu izmantošanu operatoru periodisko apmācību efektivitātes analizē un raksturot to pielietošanas iespējas Latvijas mežizstrādes uzņēmumos.

Promocijas darbs izstrādāts no 2019. līdz 2026. gadam. Darbā noskaidrota Latvijā reģistrēto meža mašīnu atbilstība jaunajam *StanForD 2010* standartam un tehnikas parka atbilstības attīstības tendence. Darbā analizēts meža mašīnu operatoru viedoklis par Latvijā pieejamo periodisko apmācības kursu efektivitāti. Darbā vērtētas operatoru darba ražīguma un tehnikas degvielas patēriņa izmaiņas ilgākā laika posmā pirms un pēc apmācībām. Noskaidrota apmācību efektivitāte, tajā skaitā darba ražīguma un degvielas patēriņa izmaiņas, kā arī identificētas pozīcijas, kur operatoram nepieciešams pievērst pastiprinātu vērību turpmāk organizējamajās apmācībās, lai uzlabotu ražīguma rādītājus.

Promocijas darbā noskaidrots, ka 2021. gadā 60% Latvijā reģistrēto harvesteru ražoti pēc 2010. gada un, teorētiski, atbalsta standartu *StanForD 2010*. Harvesteru pirmreizējā reģistrācija 2019. un 2021. gadā uzrāda harvesteru parka atjaunošanas tendenci, samazinoties tehnikas vidējam vecumam. Divu gadu laikā standartu *StanForD 2010* atbalstošu harvesteru skaits palielinājies 1.3 reizes.

75% no aptaujātajiem forvardera operatoriem un 66% no harvestera operatoriem atzinīgi novērtē periodisko apmācību nepieciešamību, tomēr daļās viedokļi par metodisko pieeju apmācību procesam. Izmantojot mūsdienu tehnoloģiju iespējas, operatoru ar atšķirīgu pieredzi un kvalifikāciju apmācībai jābūt orientētai uz individuālu, datus balstītu pieeju.

Standartu *StanForD 2010* atbalstošo harvesteru informācijas sistēmu automātiski saglabāto ražošanas datu izmantošana ļauj analizēt operatoru darba ražīguma un tehnikas degvielas patēriņa izmaiņas ilgākā laika periodā. Šie dati ļauj novērot ražošanas procesu raksturojošo indikatoru izmaiņu dinamiku. Darbā konstatēts, ka nākošajā mēnesī pēc apmācībām operatoriem novērojams darba ražīguma samazinājums, kas saistīts ar apmācību ietekmi. Nostiprinot apmācībās iegūtās iemaņas, darba ražīgums pakāpeniski pieaug. Veicot detalizētu analīzi pirms un pēc apmācībām, konstatēts būtisks ($p < 0.05$) darba ražīguma pieaugums un degvielas patēriņa samazinājums, kas saistāms ar apmācībām.

Promocijas darba apjoms ir 91 lappuse, informācija apkopota 12 tabulās un 80 attēlos, darbā izmantoti 96 literatūras avoti, darba noslēgumā noformulēti 5 secinājumi un 2 rekomendācijas.

Promocijas darbs izstrādāts ar ESF projekta Nr. 8.2.2.0/20/I/001 “LLU pāreja uz jauno doktorantūras finansēšanas modeli” atbalstu.

ANNOTATION

Strubergs A. Use of forest machine information systems for assessing the effectiveness of harvester operator training: doctoral thesis – Jelgava, LBTU, 2026, p. 91.

When organizing skill enhancement training for forest machine operators, the instructors base the training on approved programs and within the scope of their competence. Given the varying levels of experience and qualifications among forest machine operators, this approach may not always achieve the desired results.

Starting in 2010, the information systems of forest machines from different manufacturers began to be equipped with automatic recording and registration of production parameters according to a unified standard (*StanForD 2010*). The goal of the standard is to ensure access to automatically obtained data from any manufacturer's forest machines and to enable further data processing with widely available software. Such production data analysis can be used in evaluating operator training.

This dissertation aims to explore the possibilities of using automatically obtained forest machine data in the analysis of periodic operator training and their application in Latvian forest harvesting companies.

The dissertation was developed from 2019 to 2026. The study examines the compliance of registered forest machines in Latvia with the new standard and the trends in this compliance. The work also analyzes forest machine operators' opinions on the effectiveness of ongoing periodic training in Latvia. Additionally, using various programs, changes in operator productivity and fuel consumption over a long period before and after the training are analysed. This analysis reveals the effectiveness of the training, changes in productivity and fuel consumption, and finds areas where operators need to focus more attention in the future.

During the dissertation, it was found that in 2021, 60% of harvesters used in production in Latvia were manufactured after 2010 and theoretically support the *StanForD 2010* standard. Over the past two years, the first registration of harvesters shows a trend of companies upgrading their harvesters to newer ones. Over a two-year period, the number of harvesters supporting the *StanForD 2010* standard increased by a factor of 1.3.

75% of forwarder operators and 66% of harvester operators surveyed positively evaluate the need for periodic training; however, opinions differ on the methodological approach to the training process. Using modern technological capabilities, training for operators with various levels of experience and qualifications should be more oriented toward an individual, data-driven approach.

The use of automatically saved production data from the *StanForD 2010* supporting harvester information system allows for the analysis of changes in operator productivity and fuel consumption of the machinery over a longer period. This enables the observation of the dynamics of changes in indicators characterizing the production process. The study found that in the month following training, operators experienced a decrease in productivity, which is associated with the impact of the training. As the skills acquired during training are reinforced, productivity gradually increases. A detailed analysis conducted before and after the training revealed significant changes ($p < 0.05$) in productivity increase and fuel consumption reduction that can be attributed to the training.

The dissertation is 91 pages long, with information compiled into 12 tables and 80 figures, and uses 96 sources. The conclusion of the dissertation includes 5 findings and 2 recommendations.

The dissertation was developed with the support of the ESF project No. 8.2.2.0/20/I/001 "LLU Transition to the New Doctoral Funding Model."

SATURS

ANOTĀCIJA.....	2
ANNOTATION.....	3
TABULU SARAKSTS	5
ATTĒLU SARAKSTS	6
PUBLIKĀCIJAS PAR PROMOCIJAS DARBA TĒMU	8
DALĪBA KONFERENCĒS	9
PROMOCIJAS DARBA IEVADS.....	10
1. PROBLĒMAS IZZINĀTĪBAS APSKATS.....	12
1.1. Mežizstrādes mašīnu ražošanas datu apstrādes standarta apskats.....	12
1.2. Mežizstrādes mašīnu standarta <i>StanForD 2010</i> izmantošana pasaulē.....	20
1.3. Meža mašīnu operatoru apmācību nepieciešamība	21
1.4. Operatora apmācību ietekme uz degvielas patēriņu.....	23
1.5. Secinājumi	23
2. PĒTĪJUMA MATERIĀLS UN METODIKA	24
2.1. Mežizstrādes tehnikas parka izvērtēšana.....	24
2.2. Meža mašīnu operatoru kvalifikācijas celšanas kursu apmeklējuma novērtējums	25
2.3. Mežizstrādes efektivitātes paaugstināšanas iespēju analīze	26
2.3.1. Operatoru apmācību efektivitātes analīze, izmantojot <i>StanForD 2010</i> datus.....	27
2.3.2. Operatora darba ražīguma analīze, izmantojot <i>John Deere</i> ražotāja datorprogrammas <i>TimberOffice™</i> datus	27
2.3.3. Operatora darba ražīguma analīze, izmantojot <i>Ponsse</i> ražotāja datorprogrammas <i>Opti4G</i> datus	29
2.4. Apmācību ietekmes uz degvielas patēriņu novērtējums.....	29
2.4.1. Operatoru apmācību ietekmes uz degvielas patēriņu analīze, izmantojot <i>StanForD 2010</i> datus.....	30
2.4.2. Operatoru apmācības ietekmes uz degvielas patēriņu analīze, izmantojot <i>TimberOffice™</i> datus.....	30
2.4.3. Operatoru apmācību ietekmes uz degvielas patēriņu analīze, izmantojot <i>Opti 4G</i> datus.....	30
3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA	31
3.1. Mežizstrādes tehnikas parka atbilstība <i>StanForD 2010</i> standarta ieviešanai.....	31
3.2. Meža mašīnu operatoru kvalifikācijas celšanas kursu apmeklējuma novērtējums	36
3.3. Mežizstrādes efektivitātes paaugstināšanas iespējas, izmantojot <i>StanForD 2010</i> standartu	39
3.3.1. Operatora apmācību efektivitātes novērtēšana, izmantojot <i>StanForD 2010</i> datus ..	39
3.3.2. <i>John Deere</i> harvesteru programmas <i>TimberOffice™</i> izmantošana operatoru darba ražīguma analīzē.....	53
3.3.3. <i>Ponsse</i> harvesteru programmas <i>Opti 4G</i> izmantošana operatoru apmācību efektivitātes analīzē	58
3.4. Operatora apmācību ietekmes uz degvielas patēriņu novērtējums.....	63
3.4.1. Degvielas patēriņa modeļa izstrāde, izmantojot <i>StanForD 2010</i> datus	63
3.4.2. Degvielas patēriņa izmaiņu analīze pēc apmācībām, izmantojot <i>John Deere</i> degvielas patēriņa datus no <i>TimberOffice</i>	72
3.4.3. Degvielas patēriņa analīze, izmantojot <i>Ponsse</i> degvielas patēriņa datus no <i>Ponsse Opti 4G</i>	76
SECINĀJUMI	84
REKOMENDĀCIJAS	85
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	86

TABULU SARAKSTS

1.1. tabula	Harvestera darba laika uzskaites attīstība (Palander et al., 2013).....	13
1.2. tabula	Svarīgākie StanForD faili un to paplašinājumi.....	16
1.3. tabula	Īss StandForD Classic un StandForD 2010 salīdzinājums	18
3.1. tabula	VTUA reģistrēto meža mašīnu sadalījums	32
3.2. tabula	Forvardera operatoru sadalījums vecuma grupās, pēc darba stāža uz attiecīgās mašīnas un iegūtās izglītības līmeņa	36
3.3. tabula	Harvestera operatoru sadalījums vecuma grupās, pēc darba stāža uz attiecīgās mašīnas un iegūtās izglītības līmeņa	37
3.4. tabula	Mainīgo faktoru ietekmes uz stumbra apstrādes laiku regresijas analīzes rezultāti	40
3.5. tabula	Operatoru darba ražīguma izmaiņa pirms un pēc apmācībām, apstrādājot bērzu, egli un priedi.....	46
3.6. tabula	Operatora A darba ražīguma izmaiņas apmācību rezultātā	51
3.7. tabula	Operatora B darba ražīguma izmaiņas apmācību rezultātā	52
3.8. tabula	Operatoru C un D darba ražīguma rādītāji pirms un pēc apmācībām	53
3.9. tabula	Patērētā laika izmaiņas atsevišķu operāciju izpildē, s	58
3.10. tabula	Operatoru operāciju izpildes laiku izmaiņas.....	61
3.11. tabula	Operatora C degvielas patēriņa izmaiņas pirms un pēc apmācībām	74
3.12. tabula	Operatora D degvielas patēriņa izmaiņas pirms un pēc apmācībām	76

ATTĒLU SARAKSTS

1.1. att. Mežizstrādes mašīnas CAN kopnes principiālā shēma	15
3.1. att. Privāto un juridisko personu īpašumā vai valdījumā esošo meža mašīnu sadalījums pa izlaiduma desmitgadēm	31
3.2. att. Fizisko un juridisko personu īpašumā vai valdījumā esošās VTUA reģistrētās meža mašīnas	32
3.3. att. Fizisko un juridisko personu īpašumā vai valdījumā esošo meža mašīnu sadalījums pēc vecuma (\pm standartklūda)	32
3.4. att. Harvesteru procentuālais sadalījums atbilstoši ražotāju markām.....	33
3.5. att. Harvesteru sadalījums atbilstoši ražotāju markām un <i>StanForD 2010</i> atbalstam.....	34
3.6. att. LVM strādājošo harvesteru daudzums procentuāli no attiecīgā izlaiduma gada harvesteru skaita, kuru informācijas sistēma atbalsta <i>StanForD 2010</i>	34
3.7. att. Latvijā populārāko ražotāju harvesteru skaita izmaiņas.....	35
3.8. att. Harvesteru skaita izmaiņas no 2019. – 2021. gadam	35
3.9. att. Kvalifikācijas celšanas kursu apmeklējums pēc paša vai darba devēja iniciatīvas.....	38
3.10. att. Operatoru zināšanu un prasmju pārbaude pirms apmācībām.....	38
3.11. att. Apmācības procesa analīze pēc apmācību pabeigšanas	39
3.12. att. Operatoru ietekme stumbra apstrādes laika samazinājumā uz vienu sortimenta nogriežņa vienību	40
3.13. att. Sugas ietekme stumbra apstrādes laika samazinājumā uz vienu sortimenta nogriežņa vienību	41
3.14. att. Sortimentu ietekme stumbra apstrādes laika samazinājumā uz vienu sortimenta nogriežņa vienību	41
3.15. att. Operatora A stumbra apstrādes laika un vidējā darba ražīguma izmaiņa visām sugām un tilpumiem pirms un pēc apmācībām.....	42
3.16. att. Operatora B stumbra apstrādes laika un vidējā darba ražīguma izmaiņa visām sugām un tilpumiem pirms un pēc apmācībām.....	42
3.17. att. Operatora A darba ražīguma izmaiņa pirms un pēc apmācībām, mainoties stumbra tilpumam.....	43
3.18. att. Operatora B darba ražīguma izmaiņa pirms un pēc apmācībām, mainoties stumbra tilpumam.....	43
3.19. att. Operatora A ražīguma izmaiņas dinamika secīgi pa mēnešiem pirms un pēc apmācībām (\pm standartklūda)	43
3.20. att. Operatora B ražīguma izmaiņas dinamika secīgi pa mēnešiem pirms un pēc apmācībām (\pm standartklūda)	44
3.21. att. Operatora A ražīguma izmaiņas dinamika cirsmu izstrādes secībā pirms un pēc apmācībām pēc stumbra tilpuma pārrēķina uz 0.1 m^3 (\pm standartklūda).....	44
3.22. att. Operatora B ražīguma izmaiņas dinamika cirsmu izstrādes secībā pirms un pēc apmācībām pēc stumbra tilpuma pārrēķina uz 0.1 m^3 (\pm standartklūda)	45
3.23. att. Operatora A darba ražīguma izmaiņas, izdalot stumbra tilpuma grupas.....	45
3.24. att. Operatora B darba ražīguma izmaiņas, izdalot stumbra tilpuma grupas.....	46
3.25. att. Stumbra apstrādes laika izmaiņas, izdalot caurmēra grupas (\pm standartklūda).....	48
3.26. att. Darba ražīguma izmaiņas, izdalot caurmēra grupas (\pm standartklūda)	48
3.27. att. Operatora A darba ražīguma izmaiņas pēc koka sugas (\pm standartklūda).....	50
3.28. att. Operatora A darba ražīguma izmaiņas pirms un pēc apmācībām, izdalot caurmēra grupu un koku sugu (\pm standartklūda).....	50
3.29. att. Operatora B darba ražīguma izmaiņas pēc koka sugas (\pm standartklūda).....	51
3.30. att. Operatora B darba ražīguma izmaiņas pirms un pēc apmācībām, izdalot caurmēra grupu un koku sugu (\pm standartklūda).....	52
3.31. att. Operatora C darba ražīguma izmaiņa pēc apmācībām	53
3.32. att. Operatora C apmācības faktora ietekme uz darba ražīgumu	54

3.33. att. Operatora C stumbra apstrādes laika izmaiņa pirms un pēc apmācībām	54
3.34. att. Operatora C stumbra apstrādes posmu laiku izmaiņas	55
3.35. att. Operatora C atsevišķo stumbra satveršanas operāciju izpildes laiki	55
3.36. att. Operators D darba vidējā darba ražīguma izmaiņa pēc apmācībām	56
3.37. att. Operatora D apmācības faktora ietekme uz darba ražīgumu	56
3.38. att. Operatora D stumbra apstrādes laika izmaiņa pirms un pēc apmācībām	57
3.39. att. Operators D stumbra apstrādes posmu laiki	57
3.40. att. Operatora E darba ražīguma izmaiņa pa mēnešiem izstrādes secībā	59
3.41. att. Operatora F darba ražīguma izmaiņa pa mēnešiem izstrādes secībā	59
3.42. att. Operatora G darba ražīguma izmaiņa pa mēnešiem izstrādes secībā	60
3.43. att. Operatora E stumbra apstrādes laika izmaiņa pētāmajā periodā	60
3.44. att. Operatora F stumbra apstrādes laika izmaiņa pētāmajā periodā	60
3.45. att. Operatora G stumbra apstrādes laika izmaiņa pētāmajā periodā	61
3.46. att. Patērētās degvielas izmaiņas, mainoties apstrādāto stumbru tilpumam	64
3.47. att. Patērētās degvielas daudzuma izmaiņas, mainoties apstrādāto stumbru skaitam	64
3.48. att. Patērētās degvielas daudzuma izmaiņa laika vienībā	64
3.49. att. Degvielas patēriņa izmaiņa periodā	65
3.50. att. Degvielas patēriņa izmaiņa periodā, apstrādājot priedi	66
3.51. att. Degvielas patēriņa izmaiņa periodā, apstrādājot egli	66
3.52. att. Degvielas patēriņa izmaiņa periodā, apstrādājot bērzu	67
3.53. att. Patērētās degvielas izmaiņas, mainoties apstrādāto stumbru tilpumam	68
3.54. att. Patērētās degvielas daudzuma izmaiņas, mainoties apstrādāto stumbru skaitam	68
3.55. att. Patērētās degvielas daudzuma izmaiņa laika vienībā	69
3.56. att. Degvielas patēriņa izmaiņa periodā	69
3.57. att. Degvielas patēriņa izmaiņa periodā, apstrādājot priedi	70
3.58. att. Degvielas patēriņa izmaiņa periodā, apstrādājot egli	70
3.59. att. Degvielas patēriņa izmaiņa periodā, apstrādājot bērzu	71
3.60. att. Degvielas patēriņa izmaiņas $l h^{-1}$ apmācību ietekmē	72
3.61. att. Degvielas patēriņa izmaiņas $l m^{-3}$ apmācību ietekmē	73
3.62. att. Degvielas patēriņa izmaiņas atsevišķās stumbra apstrādes operācijās	73
3.63. att. Degvielas patēriņa izmaiņas $l h^{-1}$ apmācību ietekmē	75
3.64. att. Degvielas patēriņa izmaiņas $l m^{-3}$ apmācību ietekmē	75
3.65. att. Degvielas patēriņa izmaiņas atsevišķās stumbra apstrādes operācijās	76
3.66. att. Operatora E degvielas patēriņa izmaiņa pēc apmācībām	77
3.67. att. Operatora E degvielas patēriņa $l h^{-1}$ izmaiņa, mainoties stumbra tilpumam	77
3.68. att. Operatora E degvielas patēriņa $l m^{-3}$ izmaiņa, mainoties stumbra tilpumam	77
3.69. att. Operatora E degvielas patēriņa $l h^{-1}$ izmaiņas dinamika	78
3.70. att. Operatora E degvielas patēriņa $l m^{-3}$ izmaiņas dinamika	78
3.71. att. Operatora F degvielas patēriņa izmaiņa pēc apmācībām	79
3.72. att. Operatora F degvielas patēriņa $l h^{-1}$ izmaiņa, mainoties stumbra tilpumam	79
3.73. att. Operatora F degvielas patēriņa $l m^{-3}$ izmaiņa, mainoties stumbra tilpumam	79
3.74. att. Operatora F degvielas patēriņa $l h^{-1}$ izmaiņas dinamika	80
3.75. att. Operatora F degvielas patēriņa $l m^{-3}$ izmaiņas dinamika	80
3.76. att. Operatora G degvielas patēriņa izmaiņa pēc apmācībām	81
3.77. att. Operatora G degvielas patēriņa $l h^{-1}$ izmaiņa, mainoties stumbra tilpumam	81
3.78. att. Operatora G degvielas patēriņa $l m^{-3}$ izmaiņa, mainoties stumbra tilpumam	82
3.79. att. Operatora G degvielas patēriņa $l h^{-1}$ izmaiņas dinamika	82
3.80. att. Operatora G degvielas patēriņa $l m^{-3}$ izmaiņas dinamika	82

PUBLIKĀCIJAS PAR PROMOCIJAS DARBA TĒMU

Publikācijas zinātniskajos žurnālos un konferenču rakstu krājumos

Strūbergs A., Zimelis A., Kalēja S., Ivanovs J., Sisenis L., Lazdiņš A. (2024) Using cut-to-length (CTL) harvester production data in forest inventories, *Croatian Journal of Forest Engineering* 45(2), DOI: 10.5552/crojfe.2024.2319

Strubergs A., Sisenis L., Sarmulis Z. (2024) Use of automatically obtained data in the quantitative and qualitative evaluation of harvester operator training *Proceedings of Research for Rural Development 2024*. Jelgava, vol. 39. pp. 56–61. DOI: 10.22616/RRD.30.2024.009

Strubergs A., Lazdins A., Sisenis L. (2022) Evaluation of the attendance of refresher courses for forestry machine operators, *Proceedings of Research for Rural Development 2022*. Jelgava, vol. 37. pp. 84–88. DOI: 10.22616/rrd.28.2022.012

Strubergs A., Lazdins A., Sisenis L. (2022) Use of CTL harvester .hpr and .mom files to analyze impact of operator training on productivity, *Proceedings of Engineering for Rural Development 2022*. Jelgava, pp. 432–437. DOI: 10.22616/ERDev.2022.21

Strubergs A., Lazdins A., Sisenis L. (2021). Use of *StanForD 2010* data for determination of effect of harvester operator periodic training on productivity and fuel economy, *Proceedings of Engineering for Rural Development 2021*. Jelgava, pp. 1163–1167. DOI: 10.22616/erdev.2021.20.TF252

Strubergs A., Lazdins A., Sisenis L. (2020). Evaluation of compliance of existing forest machine information systems for the implementation of the standard *StanForD 2010*. *Proceedings of Research for Rural Development 2020*. Jelgava, vol. 35. pp. 66–72. DOI: 10.22616/rrd.26.2020.010.

DALĪBA KONFERENCĒS

Strubergs (2024). Use of automatically obtained data in the quantitative and qualitative evaluation of harvester operator training. 30th Annual International Scientific Conference, “Research for Rural Development 2024” Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia, 15–16 May 2024.

Strubergs (2022). Evaluation of the attendance of refresher courses for forestry machine operators, 28th Annual International Scientific Conference, “Research for Rural Development 2022” Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia, 18–20 May 2022.

Strubergs (2022). Use of CTL harvester .hpr and .mom files to analyze impact of operator training on productivity, 21st International Scientific Conference, “Engineering for Rural Development”, 25.05.2021.–27.05.2022 Jelgava.

Strubergs (2021). “Change in age structure of harvesters in Latvia in 2019–2021”. “Sustainable management of natural resources – a basic condition for successful socio-economic development in the period of implementation of the new environmental policy of the European Union”, Jelgava, Latvia, 25.11.2021.

Strubergs (2021). Use of *StanForD 2010* data for determination of effect of harvester operator periodic training on productivity and fuel economy, 20th International Scientific Conference, Engineering for Rural Development Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia 26.05.2021.–28.05.2021.

Strubergs (2020). Evaluation of compliance of existing forest machine information systems for the implementation of the standard *StanForD 2010*. Annual 26th International Scientific Conference “Research for Rural Development 2012”, Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia, 13–15 May 2020.

PROMOCIJAS DARBA IEVADS

Attīstoties mežizstrādes tehnoloģijām, arvien lielāka nozīme ir saražotās produkcijas kvalitātes un kvantitātes kontrolei, kā arī operatīvai kokmateriālu plūsmas uzskaites nodrošināšanai. Pateicoties mežizstrādes mašīnās izmantotajām informācijas tehnoloģijām, uzskaiti un kontroli var paveikt ātrāk un efektīvāk nekā pirms šo tehnoloģiju ienākšanas mežizstrādes tehnikās. Sevišķi tas attiecas uz harvesteru informācijas sistēmām, kas saistītas ar produkcijas ražošanas plānošanu un uzskaiti. Mežizstrādes mašīnu ražotāji datu uzskaiti un kontrolei izstrādā unikālas un bieži vien savstarpēji nesaderīgas vadības sistēmas. Līdz ar to datu apstrādei un pārskatu izveidei var būt nepieciešama dārga un savstarpēji nesavietojama programmatūra, apgrūtinot dažādu ražotāju mežizstrādes mašīnu parka uzturēšanu. Attiecīgi, ja mežizstrādes uzņēmums izmanto vairākas dažādu ražotāju mašīnas, jāiegādājas vairākas vadības programmas ar nesavietojamām vai daļēji savietojamām versijām. Tas skar arī uzņēmuma menedžerus, jo jāspēj orientēties dažādās programmās.

Latvijā daudzos, it īpaši mazākos mežizstrādes uzņēmumos, izmanto vecāka gadagājuma mežizstrādes mašīnas, kuras neatbalsta jauno *StanForD 2010* standartu un nevar nodrošināt mūsdienu prasībām atbilstošu kokmateriālu plūsmas uzskaiti. Promocijas darbā vērtēts esošā mežizstrādes mašīnu parka stāvoklis Latvijā, tajā skaitā mašīnu sadalījums ražotāju un vecuma grupās. Ir apzināts, cik un kuru mežizstrādes mašīnu ražotāju informācijas sistēmas atbalsta *StanForD 2010*, un izvērtēts, vai mežizstrādes mašīnu programmatūru var atjaunināt, lai nodrošinātu standarta atbalstu. Noskaidrots, kādi pasākumi veikti atbilstības standarta prasībām nodrošināšanai.

Vēl viena aktuāla problēma Latvijā ir nepietiekoši efektīvas meža mašīnu operatoru apmācības. Operatoriem organizē periodiskus kvalifikācijas celšanas kursus, kuru laikā instruktori vēro un vērtē operatoru darbu, un sniedz padomus, kā darbu paveikt efektīvāk. Komunicējot ar mežizstrādes uzņēmumu meistariem un vadītājiem, rodas iespaids, ka šāda veida apmācības kļūst par formālu pasākumu bez pievienotās vērtības, jo, piedaloties AS “Latvijas Valsts meži” meža izstrādes konkursos, dalības pieteikumā veic atzīmi, ka meža mašīnu operatoriem ir veikta periodiskā apmācība, kas nodrošina iespēju iegūt lielāku pakalpojuma cenu. Nereti pēc apmācībām meža mašīnu operatoru sniegumā netiek novērotas izmaiņas vai arī apmācībām ir īslaicīga ietekme. Pēc apmācību pabeigšanas instruktors dod savu vērtējumu un ieteikumus, kas var būt-subjektīvi, jo atspoguļo paša instruktora pieredzi. Ņemot vērā mūsdienu meža mašīnu tehniskās iespējas reģistrēt mašīnas datus un analizēt operatora darba ražīgumu, operatoru apmācību ietekmes novērtēšanā var izmantot arī šo automātiski uzkrāto informāciju. Tādā gadījumā operatoru darbs tiktu vērtēts detalizēti ilgākā laika periodā un atšķirīgos apstākļos, nodrošinot labāku priekšstatu par operatora sniegumu. Lai analizētu operatora darba ražīguma izmaiņu dinamiku, jābūt izvērtējumam pirms apmācībām, un pēc apmācībām jāturpina ražīguma monitorings. *StanForD 2010* standarta piedāvātās iespējas var palīdzēt šo analīzi veikt padziļināti, precīzi ņemot vērā dažādus darba ražīgumu ietekmējošos faktorus. Komunicējot ar mežizstrādes uzņēmumu meistariem un vadītājiem, konstatēts, ka šāda pieeja operatoru apmācību efektivitātes novērtēšanā netiek praktizēta.

Pamatojoties uz iespējām, ko standarta *StanForD 2010* automātiski iegūto datu izmantošana sniedz operatoru apmācību efektivitātes novērtēšanā, formulēts promocijas darba mērķis un darba pētnieciskie uzdevumi tā sasniegšanai.

Promocijas darba mērķis – izpētīt meža mašīnu automātiski iegūto datu izmantošanas iespējas operatoru periodisko apmācību plānošanā un efektivitātes analīzē un šāda kvalifikācijas paaugstināšanas risinājuma pielietošanas iespējas Latvijas mežizstrādes uzņēmumos.

Promocijas darbā izvirzītas sekojošas tēzes:

1) neskatoties uz *StanForD 2010* pieejamību, Latvijas meža tehnikas parka novecošanās un izmantotās programmatūras daudzveidība ierobežo standartizētas datu plūsmas ieviešanu, apgrūtinot salīdzināmu datu izmantošanu un datus balstītu lēmumu pieņemšanu mežizstrādē.

2) meža mašīnu operatoru kvalifikācijas celšanas kursu apmeklēšana būtiski uzlabo operatoru profesionālās zināšanas un prasmes, kas pozitīvi ietekmē darba ražīgumu un darba metožu efektivitāti, kā arī veicina lielāku izpratni par darba procesu un degvielas patēriņa optimizāciju.

3) dati, ko nodrošina *StanForD 2010* standarts, izmantojami, lai plānotu operatoru apmācības, kā arī izvērtētu operatoru darba izpildes kvalitātes izmaiņas pēc apmācībām.

Promocijas darbā izvirzītā mērķa sasniegšanai un tēžu pārbaudei izvirzīti sekojoši pētnieciskie uzdevumi:

- 1) novērtēt meža mašīnu atbilstību standarta *StanForD 2010* pielietošanai;
- 2) analizēt kvalifikācijas celšanas apmācību lietderību un tās uzlabošanas iespējas;
- 3) novērtēt mežizstrādes efektivitātes palielināšanas iespējas, pielietojot meža mašīnu standartu *StanForD 2010*.

1. PROBLĒMAS IZZINĀTĪBAS APSKATS

Pēdējās desmitgadēs mašinizētā mežizstrādē pasaulē plaši pielieto, sākotnēji Skandināvu valstīs ieviesto, sortimentu (*cut-to-length* – CTL) tehnoloģiju. Pielietojot šo tehnoloģiju, mežizstrāde organizēta, izmantojot divu veidu mašīnas: harvesterus, kas cirsmā veic koku nozāģēšanu, atzarošanu un sagarumošanu noteikta garuma sortimentos, un forvarderus, kas šos sortimentus no cirsmas nogādā augšgala krautuvē. Brīdī, kad krautuvē ir pievests noteikts sortimentu daudzums, ar kokvedēja automašīnām tiek nodrošināta sortimentu transportēšana uz lejasgala krautuvi pie pasūtītāja. Tādēļ ļoti aktuāla kļūst precīza informācijas aprīte starp mežizstrādes pakalpojumu sniedzēju, kokmateriālu pārvadātājiem un pasūtītājiem.

1.1. Mežizstrādes mašīnu ražošanas datu apstrādes standarta apskats

Līdz ar to viens no svarīgākajiem mežsaimniecības uzdevumiem ir saražot atbilstošas kvalitātes produkciju ar iespējami zemākām izmaksām. Lai gan mūsdienās mežizstrādes mašīnu ražotāji strādā pie mašīnu veiktspējas paaugstināšanas un tirgū ienāk aizvien jaunākas, modernākas, ražīgākas mežizstrādes mašīnas, joprojām paliek aktuāls jautājums par darba ražīguma kāpināšanu. Viens no būtiskākajiem jautājumiem, veicot mašinizētu cirtes izstrādi, ir mežizstrādes mašīnas operatora darba ražīgums – lielums, kas norāda, kādu produkcijas daudzumu saražo noteiktā laika vienībā (Zimelis, et al., 2015). Mežizstrādes mašīnas ražīgumu parasti nosaka, aprēķinot saražoto apaļo kokmateriālu apjomu stundā ($m^3 \cdot h^{-1}$). Līdz ar to vienmēr bijis aktuāls jautājums par mašīnu efektīvu izmantošanu, lai saražotu pēc iespējas vairāk produkcijas, samazinot ražošanas izmaksas. Apkopojot vairāku mežzinātnieku atziņas, noskaidrots, ka mežizstrādes mašīnas ražīgumu ietekmē vairāki faktori (Ovaskainen, 2009; Alam et al., 2014; Purfürst & Erler, 2011; Strandgard et al., 2013; Purfürst, 2010; Pētersons & Drēska, 2014):

- mežsaimnieciskie faktori;
- tehniskie faktori;
- operatora darba faktori.

Liela daļa pētījumu, kas saistīti ar mežizstrādes tehnikas izmantošanu, saistīti ar mežsaimniecisko faktoru ietekmes novērtēšanu, kam pamatā ir mežaudzes taksācijas rādītāji:

- audzes sugu sastāvs;
- audzes biežība;
- cērtamo koku vidējais stumbra tilpums;
- caurmērs krūšu augstumā;
- reljefs u.c.

Saskaņā ar ārvalstīs veiktajiem pētījumiem konstatēta cieša korelācija starp mežizstrādes mašīnas darba ražīgumu un stumbra tilpumu vai caurmēru krūšu augstumā (Holtzschler & Lanford, 1997; Gülci et al., 2021; Prinz et al., 2021; Eliasson et al., 2020; Kärhä et al., 2004; Liski et al., 2020). Noskaidrots, ka stumbra tilpums ietekmē ne tikai darba ražīgumu (Brunberg et al., 1989; Brunberg, 1991; Lageson, 1997; Hånell et al., 2000; Glade, 1999), bet arī mežizstrādes mašīnas degvielas patēriņu un CO₂ emisiju (Prinz et al., 2018). Papildus var pieminēt, ka bez stumbra tilpuma ražīgumu ietekmē arī cirsmā sagatavojamo sortimentu daudzums un to kvalitātes prasības (AS *Latvijas Valsts meži*, 2022; Nurminen et al., 2006; Brunberg et al., 2007). Vairākos pētījumos noskaidrota vides faktoru ietekme uz mežizstrādes mašīnas darba ražīgumu (Olivera et al., 2016; Neruda & Valenta, 2003).

Līdzīgi kā mežsaimnieciskie faktori ietekmē mežizstrādes mašīnas darba ražīgumu, tā arī virkne tehnisko faktoru var šajā jautājumā ieviest korekcijas. Attīstoties mežizstrādes teknikai, somu zinātnieki noskaidrojuši (Nurminen et al., 2006), ka lielu ietekmi uz darba ražīgumu nosakamežizstrādes mašīnas tehniskie parametri un tās tehniskais stāvoklis:

- motora jauda;

- hidrauliskās sistēmas tehniskais stāvoklis;
- harvestera galvas tehniskais stāvoklis;
- vadības ierīču regulējumi.

Kā vienu no cēloņiem, kas ļoti ietekmē darba ražīgumu, var minēt attiecīgās klases mašīnas izvēli atbilstošajam cirtes veidam (Ovaskainen, 2009), un tas ietekmē ne tikai vidi, bet arī palielina mežizstrādes izmaksas. Kā savā pētījumā minējis Kärhä et al. (2004), mūsdienās izmantojamās mežizstrādes mašīnas var uzrādīt atšķirīgus darba ražīguma rādītājus, pat ja šo mašīnu tehniskie parametri būs līdzīgi.

Otrs darba ražīgumu ietekmējošais faktors: operatora darba jeb cilvēciskais faktors. Latvijā un ārvalstīs veiktajos pētījumos tieši cilvēciskais faktors minēts kā visbūtiskākais mežizstrādes mašīnas ražīgumu ietekmētājs (Häggström, 2015). Kā savā pētījumā noskaidrojis Kärhä et al. (2004), svarīgākās ir operatora fiziskās un mentālās spējas. Neskatoties uz mūsdienu mežizstrādes mašīnu atbilstību ergonomikas un drošības prasībām, operatora organisms pakļauts virknei faktoru, kas var ietekmēt operatora darba spējas un līdz ar to arī darba ražīgumu. Kā galvenie fizisko spēju ietekmējošie faktori jāmin vibrācija un statiska muskuļu slodze, kas izraisa fizisku diskomfortu (Sherwin et al., 2004). Ņemot vērā, ka operatora darbs pakļauts liela apjoma informācijas uztverei un apstrādei, palielinātai slodzei pakļauta redze un smadzeņu darbība (Gellerstedt, 1997; Kariniemi A., 2006; Jankovský et al., 2016). Arī darbs pagarinātajās maiņās un vispārējs fizisks nogurums samazina darba ražīgumu (Nicholls et al., 2004).

Laika uzskaites metodes

Svarīgs faktors ražošanā – darba ražīgums. Lai noteiktu darba ražīgumu, nepieciešams precīzi noteikt laika intervālu, kādā produkcijas vienība tiek saražota. Jau pašos harvestera izmantošanas pirmsākumos kļuva skaidrs, ka ražošanas datu ievākšana un darba ražīguma modeļa izveide ir darbietilpīgs un laikietilpīgs process (Stampfer & Steinmüller, 2001). Mežizstrādē pēdējās desmitgadēs laika noteikšanas metodes ir strauji attīstījušās – sākot no vienkāršiem hronometriem 20. gadsimta 80.–90. gados līdz automatiskiem meža mašīnu datu reģistratoriem, ko sāka ieviest 21. gadsimta sākumā (1.1. tabula). Jau 90. gadu sākumā decimālpulksteņus un papīra veidlapas sāka aizstāt vienkāršāki lauka datori, kas spēja nodrošināt labākas iespējas precīzākiem un detalizētākiem darba fāžu mērījumiem. Priekšrocības šiem datoriem ir tādas, ka tos var izmantot, lai vienlaicīgi reģistrētu kumulatīvo darba laiku un katras darba fāzes laika patēriņu ar lielāku precizitāti nekā hronometrs. 90. gadu sākumā zinātnieki sāka izmantot pirmos lauka datorus darba laika fāžu reģistrācijai (Kellogg & Bettinger, 1994; Eliasson, 1998; Sirèn, 1998), kas arī 21. gadsimtā ieņem būtisku lomu meža mašīnu darba laika uzskaitē (Kärhä et al., 2004; Puttock et al., 2005; Kariniemi A., 2006; Ovaskainen, 2009; Spinelli & Visser, 2008).

1.1. tabula

Harvestera darba laika uzskaites attīstība (Palander et al., 2013)

Parametrs	Desmitgades				
	1970. gadi	1980. gadi	1990. gadi	2000. gadi	2010. gadi
Laika uzskaites paņēmieni					
Hronometrs					
Lauka dators					
Videotehnika					
Automātiskā datu uzskaitē					
Pētāmā tēma					
Mašīnu tehnoloģija					
Gabaldarba likmes noteikšana					

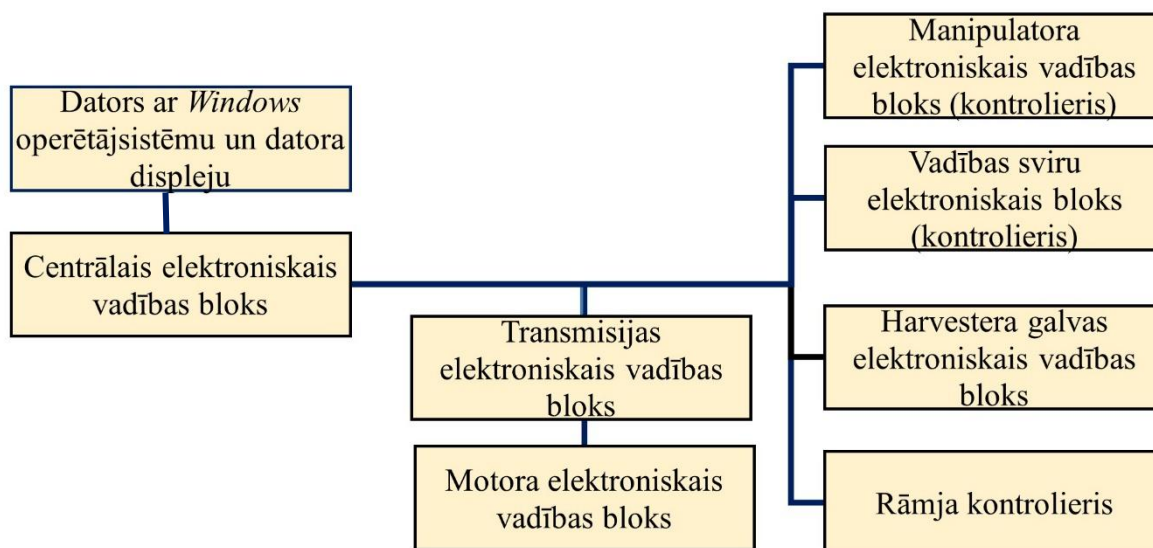
1.1. tabulas turpinājums

Parametrs	Desmitgades				
	1970. gadi	1980. gadi	1990. gadi	2000. gadi	2010. gadi
Darba apstākļi					
Harvestera forvardera komplekts					
Operatoru prasmes cilvēka un mašīnas mijiedarbībā					
Operatoru prasmes cilvēka un mašīnas mijiedarbībā					
Darba laika uzskaites metode					
Nomenklatūra					
<i>StanForD</i>					
Procesu – datu modelis					
Adaptīvās darba pētījumu metodes					

90. gados harvestera veiktspējas un operatora darba paņēmieni izpētē sāka izmantot videokameras (Nurminen et al., 2006; Nakagawa et al., 2007; Bolding et al., 2009). Tomēr novērots, ka minēto tehnoloģiju izmantošanu un precizitāti darba ražīguma modeļu izveidē ierobežo laiks un līdzekļi, kas nepieciešami, pirmkārt, datu ievākšanai un, otrkārt, iegūto materiālu pārskatīšanai un apstrādei. Nuutinen et al. (2008) secināja, ka hronometra un datu reģistratora izmantošana lauka apstākļos ievērojami samazina biroja darbu, tomēr prasa pieredzējušu novērotāju klātbūtni, lai samazinātu datu ievākšanas kļūdas (Nuutinen et al., 2008).

Attīstoties informācijas tehnoloģijām un to pielietošanas iespējām, informācijas sistēmu ieviešana un attīstība nav gājusi secen arī mežizstrādes mašīnām. Tā sākās 80. gados, kad kompānija *Robert Bosch GmbH* izstrādāja un sāka ieviest CAN (*Cartoon Area Network*) tehnoloģiju mašīnu vadībā (CAN IN AUTOMATION, 2011; Johansson et al., 2005). Pirmie CAN tīkli izmantoti mašīnas iekšējai komunikācijai. Konkrētus mašīnas agregātus vai sistēmas vada atsevišķi elektroniskie vadības bloki, un šo bloku savstarpējā komunikācija notiek ar CAN kopnes palīdzību. Mašīnās, palielinoties elektroniski vadītu un kontrolētu agregātu un sistēmu daudzumam, palielinās fiziski atšķirīgu tīklu skaits, kas savā starpā apmainīsies ar noteiktu datu apjomu. Palielinoties datu apjomam, sāka ieviest CAN protokola uzlabojumus saistībā ar lielāku datu caurlaides spēju. Viens no iemesliem: elektroniskajos vadības blokos leņķupielādētas aizvien lielākas programmatūras pakotnes, kas pieprasīja augstākas veiktspējas sakaru sistēmu lielāka datu apjoma pārraidīšanai īsākā laika periodā. Vēlāk CAN tehnoloģija izmantota mežizstrādes mašīnās. CAN kopnes struktūra attēlota 1.1. attēlā.

Meža mašīnās 2000. gados kļuva iespējams izmantot automātiski saglabātos datus no meža mašīnas datora, izmantojot datu kabeli un CAN tehnoloģiju (Kariniemi A., 2006; Ovaskainen, 2009; Palander et al., 2012; Nuutinen et al., 2010). Kompānija *Plusteh* ir izstrādājusi speciālu iekārtu informācijas plūsmas automātiskai reģistrēšanai ar CAN – kopnes palīdzību (Kiencke et al., 1986). Tika radīta pirmā ierīce, kas caur datu kabeli ierakstīja detalizētu informāciju par mašīnas darbībām. Kā piemēru var minēt stumbra izmērus un laika patēriņu (Peltola, 2003). Vēlāk šādi datu reģistratori jau tika iestrādāti harvesteru informācijas sistēmās, kā piemēru var minēt *John Deere TimberLink™*. *TimberLink™* ir programma, kas apkopo un apstrādā datus par mašīnas stāvokli un veiktspēju (Nuutinen et al., 2010; Palander et al., 2012).



1.1. att. Mežizstrādes mašīnas CAN kopnes principiālā shēma

Mašīnas parametru un veiktā darba uzskaiti bez cilvēka tiešas līdzdalības var saglabāt automātiski. Datus uzskaitot automātiski, var veikt arī precīzāku mašīnas un operatora darba laika uzskaiti. Mašīnu darbībām kļūstot ātrākām, pētnieks, veicot manuālu laika uzskaiti, vairs nevar precīzi izsekot visiem operāciju sākuma un beigu momentiem (Nuutinen et al., 2008), piemēram, konstatēt precīzu stumbra padeves sākuma un beigu momentu (Peltola, 2003). Šādas uzskaites veikšanai tika izstrādāti speciāli datu reģistratori, ko ar mašīnas vadības sistēmu savienoja CAN kabelis. CAN sistēmas ieviešana ļauj dažādiem mašīnas vadības blokiem jeb moduļiem ērti savā starpā apmainīties ar datiem. 80. gadu otrā pusē speciāli mežizstrādes mašīnām tika izstrādāts mašīnas datu komunikācijas standarts *StanForD* (Meža mašīnu datu un komunikācijas standarts), kas apkopoja mašīnas, produkcijas un virkni citu datu, kas tajā laikā bija svarīgi mašīnas un operatora darba analīzei.

Standarts tika izmantots divu mašīnu datoru savstarpējai saziņai (harvesters, forvarders). Standarta izstrādi un uzraudzību veic Zviedrijas Mežsaimniecības pētniecības institūts *Skogforsk* (Skogforsk, 2007). Darbs pie standarta atjaunošanas un papildināšanas notiek ciešā sadarbībā starp *Skogforsk*, mežizstrādes tehnikas ražotājiem, mežizstrādes kompānijām un *Metsäteho Oy*. *Metsäteho Oy* ir sabiedrība ar ierobežotu atbildību, kas pieder Somijas vadošajām mežsaimniecības organizācijām un uzņēmumiem. Tā nodarbojas ar pētniecību un specializējas meža izstrādes darbos un ar to saistītos projektos. Šodien *StanForD* tiek izmantots vairākās valstīs un ir “de facto” standarts, lai arī tam nav piešķirts oficiāls statuss. Standarta piemērošana attiecas arī uz visu veidu datu sakariem ar meža mašīnām. Standarts ir globāls, un to izmanto visi lielākie sortimentu tehnoloģijas (CTL) meža mašīnu ražotāji.

Sākotnējā standarta versija, saukta arī par *StanForD Classic*, ir datu standarts, kas apraksta datu struktūras vai attiecības starp atsevišķiem failiem vai mapēm. Sākotnēji kā standarts tas ietvēra uz KERMIT balstītu sakaru protokolu, kas nodrošināja datora vai citu datu reģistrācijas iekārtu savienošana ar mežizstrādes mašīnas datoru (Natov et al., 2020). KERMIT ir failu pārsūtīšanas protokols. Tas īpaši izstrādāts secīgu failu pārsūtīšanai pa parastajām telekomunikāciju līnijām. KERMIT ne vienmēr ir labākais uz termināliem orientētais datu pārsūtīšanas protokols, tomēr tas ir bezmaksas, labi dokumentēts un ir saderīgi ieviests dažādos mikrodatos, personālajos datoros, darbstacijās, minidatos, lieldatos un superdatos (Da Cruz, 1987). Programmā *StanForD Classic* saglabātie faili sastāv no bāzes nosaukuma un faila paplašinājuma. Svarīgākie faili produkcijas ražošanai un uzskaitē atainoti 1.2. tabulā. Visi dati tiek glabāti un pārsūtīti ASCII formātā.

Svarīgākie *StanForD* faili un to paplašinājumi

Paplašinājums	Faila saturs
.apt	Stumbra sagarumošanas fails ietver cenu matricas un satur bāzes informāciju par darbuzņēmēju, organizāciju, līgumu, cirsmas datus. Turklāt tajā ir iekļauti mizas parametru iestatījumi, sortimentu dati, krāsu marķēšana un cita svarīga informācija stumbra sagarumošanai.
.prd	Produkcijas fails. Satur kopējo informāciju par nogriežņu skaitu un tilpumu.
.pri	Individuālais ražošanas fails. Satur saražotās produkcijas parametrus. Ja mašīna aprīkota ar globālo satelītu navigācijas sistēmu, tad arī satur ciršanas laiku un nogriežņu koordinātas.
.stm	Individuālie stumbra dati. Papildus .pri failā iekļautajai informācijai iekļauti stumbra mērījumi: diametrs krūšu augstumā – diametra sekcijas, kas mērītas ar 10 cm intervālu, stumbra tilpums, atsevišķa nogriežņa tilpums un nogriežņa kods.
.ktr	Failā reģistrē visus kontrolmērījumus un harvesterā galvas kalibrēšanas. Visiem reģistrētajiem datiem attiecīgs laika zīmogs un kalibrēšanas rezultāts. Svarīgs fails harvesterā galvas uzmērīšanas precizitātes monitoringam.

StanForD Classic ir unikāls datu saturs, kam ir nepieciešamas īpašas programmas failu un pārskatu izveidei, līdz ar to katrs mežizstrādes mašīnu ražotājs atbilstoši *StanForD* standartam datu failu apstrādei ir izstrādājis savas programmas. Tādēļ mašīnas datu apstrādei ir nepieciešams no tehnikas ražotāja iegādāties šādas programmas. Vairumā gadījumu dažādu ražotāju mežizstrādes mašīnu lietotāju programmatūras saskarsmes ir pilnībā vai daļēji nesaderīgas, kas apgrūtina dažādu ražotāju mašīnu datu apstrādi. Problēma rodas tad, ja mežizstrādes uzņēmumā iegādātas un strādā vairāku ražotāju mežizstrādes mašīnas, jo tad datu apstrādei nepieciešamas katra ražotāja datu apstrādes programmas, tāpēc papildus jāiegādājas ražotāju licences. Turklāt programmās var būt ierobežojumi datu apstrādei un saglabāšanai. Protams, datus var pārsūtīt .pdf formātā, bet pie liela datu apjoma to apstrāde var aizņemt daudz laika un šie faili nav lietojami automatizētai datu apstrādei. *StanForD Classic* ir pārāk atvērts interpretācijām, tāpēc mašīnu ražotāji un mežizstrādes uzņēmumi interpretē standartu pēc savas izpratnes.

Laika gaitā pirmā *StanForD* versija novecoja, daudzi mainīgie lielumi zaudēja savu aktualitāti un tāpēc parādījās nepieciešamība pēc cita satura datiem. Standartu vajadzēja pārskatīt atbilstoši mūsdienu datu pārraides un apstrādes prasībām. Pirmais lēmums atjaunināt *StanForD* tika pieņemts 2006. gada augustā, un 2011. gada pavasarī pieņemts lēmums par *StanForD 2010* versiju 1.0. Tas deva mežsaimniecībai mūsdienīgu standartu, pamatojoties uz XML, ar lielāku iespēju kontrolēt meža mašīnas, kā arī uzglabāt un izmantot informāciju no mašīnām elastīgā un efektīvā veidā (Arlinger & Möller, 2010). Jaunais standarts darbojas atvērtā .xml formātā un nav nepieciešamas speciālas, dārgas programmas failu atvēršanai. Izmaiņas failu tipos atšķirībā no vecā standarta ir lielas, jo iepriekšējam pamatā bija cirsmas, savukārt jaunajam pamatā ir laika skala, kas ļauj daudz precīzāk veikt datu analīzi.

StanForD atjaunināšanas mērķis bija sasniegt šādas izmaiņas (Arlinger et al., 2012):

- izveidot datu pārvaldības standartu, kura pamatā ir vienkāršāka struktūra, kas ir atbilstoša mūsdienu IT risinājumiem;
- izveidot labāku struktūru aprakstu;
- noteikt stingrākas prioritātes un īstenošanas noteikumus;
- izveidot skaidru standarta versiju pārvaldības sistēmu;

- izņemt novecojušos mainīgos lielumus un struktūras, kas vairs nav vajadzīgas un netiek lietotas;
- izveidot kopīgo un vispārējo formātu ar atvērtu interfeisu (.xml), tādējādi atvieglojot standarta ieviešanu jaunajos pielietojumos, piemēram, jaunos tirgos.

StanForD 2010 pamatā ir *StanForD 1980*, tāpēc izmaiņas operatoriem ir nelielas: vienmēr pirms cirsmas sākšanas jāievada paredzētā informācija cirsmas elementu identifikācijai, ražošanas atskaites jāveic pēc cirsmas pabeigšanas vai ikdienā utt. Lai atvieglotu operatora darbu, jaunais standarts pieļauj arī automātiskas atskaišu nosūtīšanas iespējas. Lielākās izmaiņas jaunajā standarta izpildījumā skar failu tipus, ja *StanForD 1980* pamatā ir cirsmas, tad *StanForD 2010* pamatā ir kopēja laika skala.

Lielākās atšķirības starp veco standarta versiju un *StanForD 2010* ir tādas, ka:

- tiek ieviesta koncepcija identitātes nodrošināšanai: mašīnai, objektiem, stumbriem, baļķiem u.c. ar atslēgām (Keys) un lietotājiem (UserIds). Atslēga automātiski tiek iestatīta mašīnā (parasti tas ir kārtas numurs) un kā lietotājs var būt, piemēram, mežizstrādes organizācija. Jaunā identitātes sistēma nodrošina arī elastīgu mežizstrādes operāciju kontroli; vecajā standartā, ja ražošanas laikā bija nepieciešams veikt kādas izmaiņas, bija nepieciešams noslēgt cirsmu, veikt korekcijas un uzsākt ražošanu jaunā cirmā. Tādā veidā vienas cirsmas vietā tiek izveidotas divas. Jaunais standarts ļauj jebkurā laikā jebkuram produktam veikt izmaiņas (garums, cena utt.), pat tad, kad notiek mežizstrāde. Šīs darbības var veikt arī attālināti;
- *StanForD 2010* arī ievieš atsevišķu pārskatu forvardera kontrolei, kas nebija pieejams iepriekšējā versijā;
- harvestera ražošanas pārskats tiek sagatavots individuāli par katru baļķi, lai par to varētu ziņot un to analizēt saskaņā ar konkrētiem pieprasījumiem, piemēram, no mežizstrādes organizācijas vai pasūtītāja. Nākotnē struktūra ļaus reģistrēt katru baļķi tiešsaistē (on-line). Detalizēto harvestera informāciju var izmantot arī kā pamatu biomasas ieguves prognozes izstrādei un tādu produktu īpašību aprēķiniem kā blīvums, kodola struktūra un izaugumu struktūra. *StanForD 2010* ievieš arī ģeogrāfiskās informācijas ziņojumu (datu grupu/pārskatu).
- darbības uzraudzība tiek realizēta, veicot individuālu darba procesa reģistrāciju (mežizstrāde, remonts, apkope, pārtraukumi, apstāšanās utt.) operatoram un mašīnai atsevišķi. Sistēma nav atkarīga no mežizstrādes objekta, kurā mašīna strādā tajā laikā. Tas ir vienkāršs dažādu laika periodu salīdzinājums, tāpēc var veikt datu analizēšanu par dažādām mašīnas sistēmām, mežizstrādes komandām utt.;
- būtiskākais uzlabojums ir standarta formāts. *StanForD 2010* izveidots .xml formātā. *StanForD 2010* izmanto .xml formātu informācijas glabāšanai failu struktūrā. .xml ir atvērts, vispārējs formāts, ko izmanto daudzas lietojumprogrammas – gan datu glabāšanai, gan komunikācijai. Tas var palīdzēt izvairīties no nevajadzīgas datu konvertācijas starp saziņas formātiem ar dažādu datu pārvaldību sistēmām. Programmatūras izstrādātājiem galvenā .xml priekšrocība ir tas, ka jau ir daudz pilnīgu un brīvi pieejamu risinājumu .xml failu lasīšanai un pārvaldībai, kas ietaupa laiku un resursus attīstībai. Turklāt failus var viegli pārbaudīt, salīdzinot ar .xml shēmu, lai nodrošinātu, ka tie atbilst standartam. Pat ja .xml faili ir lieli, tos viegli var “saspiest” ar ZIP kompresoriem, kas ietaupa vietu un prasa mazāku pārsūtīšanas jaudu. “Saspiesti” .xml faili parasti nav lielāki kā iepriekšējie *StanForD* faili.

StanForD 2010 strukturē datus vairākos pārskatos:

- mašīnas kontrole;
- ražošanas pārskati (ziņojumi);
- kvalitātes nodrošināšana;
- operatīvā uzraudzība.

Ieviešot jauno standartu, parādās virkne jaunu un modificētu vecās standarta versijas terminu:

- mežizstrādes organizācija (Logging organisation) – par mežizstrādi atbildīgā puse, tas var būt meža īpašnieks vai neatkarīgs uzņēmējs;
 - piegāde/atraššanās vieta (Delivery/Location) – aizvieto “transporta objektu”. Piegāde attiecas uz dažādu produktu pievešanu (kā atsevišķs produkts vai kopā ar citiem produktiem, piemēram, kā skujkoku papīrmalka tiek pievesta ar forvarderu), un atrašanās vieta attiecas uz izkraušanu, t.i., ģeogrāfisks punkts, kur pievestie apjomi tiek iekrauti kokvedēja automašīnā;
 - cirsmas (Object) – definēts apgabals, kurā dotiek darba izpilde (piemēram, mežizstrāde). Viena un tā pati izstrādes (bucking) un pievešanas (forwarding) instrukcija attiecas uz visu objektu. Parasti viss objekts ietver vienu līgumu attiecībā uz meža īpašnieku;
 - cirsmas daļa (Subobject) – definēta mazāka cirsmas daļa. Cirsmas daļu var izmantot, lielāku cirsmu sadalot mazākos nogabalos;
 - produkts (Product) – sortimenta un cenu matricas kombinācija saskaņā ar vecāku *StanForD* versiju. Katram produktam ir sava tieši šī produkta definīcija;
 - sugu grupa (Species group) – viena vai vairākas sugas, kuras pārvalda saskaņā ar to pašu norādījumu. Saistīti ar sugu grupu ir, piemēram, mizas funkcija un kalibrēšanas dati harvesterā mērīšanas sistēmai. Aizstāj iepriekšējā *StanForD* versijā terminu “sugas”;
 - atslēga (Key) – parasti secīgs numurs, kuru mašīnas dators izveido automātiski, lai nodrošinātu izsekojamību sistēmā. Atslēgu nevar atiestatīt (izmainīt), izņemot cirsmas daļas atslēgu (SubObjectKey), kura tiek mainīta, kad izveidota jauna cirsmas daļa, un nogriežņa atslēgu (LogKey), kura tiek atiestatīta ar katru jaunu stumbru;
 - lietotāja identitāte (UserId) – nosaka datu lietotājs, tādējādi tas ļauj identificēt katru mašīnu, cirsmu, produktu utt. Lietotāja identitātes un atslēgu apvienošana nodrošina izsekojamību visām veiktajām izmaiņām mašīnas sistēmā.
- Īss jaunā un vecā standarta funkciju salīdzinājums attēlots 1.3. tabulā.

1.3. tabula

Īss *StandForD Classic* un *StandForD 2010* salīdzinājums

Funkcija	<i>StandForD 2010</i>	<i>StandForD Classic</i>
Identitātes	Atslēgas un lietotāja identifikācija ļauj izdalīt katru atsevišķo baļķi no visas saražotās produkcijas.	Pamatojas uz mainīgiem numuriem un standartizētu secību sarakstos.
Harvesterā ražošanas kontrole	Atsevišķi pārskati: 1) produktu definīcijām un norādījumiem, kā tos sagatavot; 2) cirsmas identitātei un pašreizējiem produktiem cirmā; 3) koku sugu definīcijām; 4) atsevišķi pārskati kontrolei nozīmē, ka jaunu cenu lapu var izveidot un ieviest tieši mežizstrādes laikā, nodrošinot lielāku elastību ražošanā.	Lai mainītu pašreizējo produkcijas kontroli, ir nepieciešams pilnīgi no jauna izveidot ražošanas instrukciju un jaunu cirsmu.
Forvardera ražošanas kontrole	Jauns pārskats ar: 1) cirsmas un izkraušanas identitātēm un pozīcijām; 2) definīcijām, kā katru produktu ir jāpārvalda pie pievešanas.	Parasti kā apkopotie ražošanas dati, lai gan pārskats par katru baļķi ir iespējams.

1.3. tabulas turpinājums

Funkcija	<i>StandForD 2010</i>	<i>StandForD Classic</i>
Forvardera ražošanas pārskats	Viens pārskats par visiem kvalitātes nodrošināšanas datiem, kas attiecas uz harvesteru mērījumiem. Jauns pārskats kvalitātes nodrošināšanai forvarderu svaru uzmērīšanas sistēmām.	.ktr + .stm faili kvalitātes nodrošināšanai harvesteriem.
Operatīvā uzraudzība	Darba laika reģistrācija operatoram un mašīnai uz laika vienību, tādējādi atvieglojot analizēšanas un produktivitātes salīdzinājumus starp mašīnas sistēmām un mežizstrādes komandām neatkarīgi no cirsmas, kurā viņi strādā.	Darba laika reģistrēšana ir saistīta ar cirsmu vai laika periodu, tādējādi apgrūtinot produktivitātes analizēšanu neatkarīgi no cirsmas un atskaitēm par attiecīgajiem laika periodiem.
Formāts	.xml	Pašu teksta formāts (ASCII).
Failu pārsūtīšanas protokols starp dastmēru (vai citu iekārtu) un mašīnas datoru	Nav standartizēta risinājuma – nav nepieciešams.	<i>Kermit</i>
Versiju pārvaldība	Tika ieviesta versiju pārvaldība, kad mašīnas ar tādu pašu <i>StanForD 2010</i> versiju var būt kontrolētas ar vienu un to pašu pārskatu, neatkarīgi no mašīnas ražotāja.	Nav

Ieviešot standartu *StanForD 2010* tiek iegūtas vairākas priekšrocības salīdzinājumā ar veco standarta versiju:

- elastīga ražošanas kontrole. Pastāv trīs dažādas digitālās meža mašīnu ražošanas instrukciju administrēšanas metodes: manuāla administrēšana, Apteri modelis un elastīga mežizstrādes kontrole. Apteri metode: vienkāršākais veids, kā iepriekšējā *StanForD* versijā, ir manuāli nosūtīt ražošanas un cirsmu instrukcijas uz mašīnu (pirms mežizstrādes). Kad cirsmas izstrāde ir sākta, instrukcijas nevar mainīt, jo struktūra ir balstīta uz sarakstiem ar noteiktu secību. Tas padara neiespējamu, piemēram, jaunu produktu pievienošanu sarakstam, jo tad secība tiks pārtraukta un produkta kodu vairs nevar interpretēt. Otra metode – Somijas Apteri modelis, kas ir pirmā modeļa uzlabota versija. Mašīnai ir datubāze, kurā mežizstrādes organizācija var sūtīt jaunas instrukcijas, tiklīdz ir veiktas kādas izmaiņas. Jaunas instrukcijas lejupielādē mašīnā tieši pirms mežizstrādes sākuma. Veikt izmaiņas vēlāk, kad mežizstrāde ir sākusies, nevar. Trešā alternatīva ir elastīga kontrole, kas ir viena no *StanForD 2010* pamata idejām. Modelis balstīts uz to pašu principu, kā tas ir Apteri modelī – izmantojot datu bāzi, bet tā vietā ļauj norādījumus (instrukcijas) atjaunināt jebkurā mežizstrādes laikā. Kad modificēto instrukcijas versiju ievada datubāzē, operatoram tiek jautāts, vai viņš/viņa vēlas atjaunināt esošo instrukciju vai vēlas noraidīt atjauninājumu. Elastīgā metode ļauj mežizstrādes organizācijai ātri novirzīt ražošanu, piemēram, mainīt produkta garuma sadalījumu vai aktivizēt/deaktivizēt dažādus produktus, kas atbilst pieprasījuma izmaiņām. Izmaiņas var veikt arī attālināti. Tā pamatā ir atslēgas (Keys) un lietotāju identitāte (UserIds) kopā ar produkcijas pārskatu par katru saražoto nogriezni pēc noklusējuma. Tas padara šo metodi elastīgu. Sarakstā esošās secības vietā tagad ir atslēga, kas apzīmē apstākļus, kādos stubrs tiek sagarumots nogriežņos.

Tagad var apkopot ražošanas datus no vairākiem reģistriem, pat ja tiek izmantotas dažādas produkta instrukcijas;

- detalizēti ražošanas pārskati. *StanForD 2010* produkcijas atskaite ir nogriežņa līmenī (.hpr pārskats), kas ļauj sīkāk analizēt meža produktus. Katrs sagatavotais nogrieznis tiek aprakstīts ar izmēriem, tādēļ pārskatu par saražotajiem apjomiem var pielāgot. Kas interesē kokzāģētavu A, iespējams, ir mazāk interesants kokzāģētavai B un nav būtiski papīrfabrikai C, pat ja nogriežņi iegūti no tās pašas cirsmas. Nepārtraukta ražošanas pārskatu sniegšana apvienojumā ar elastīgu mežizstrādes metodi ļauj pielāgot ražošanu, saīsinot laika posmu starp pieprasījuma izmaiņām un ražošanas novirzīšanu. Veiktspējas rādītāji, pamatojoties uz sīki izstrādātiem ražošanas pārskatiem, ļauj prognozēt biomasas pieejamību un sniegt informāciju par mežizstrādes objektu, ko zemes īpašnieks var izmantot mežsaimniecības plānošanai. Plānojot pievešanu, pārskats par baļķi ar iespējamo saistīto laika zīmogu un GPS pozīciju nodrošina ātrāku informāciju par to, kas ir saražots noteiktā laika periodā un kur tas novietots;
- darbības uzraudzība laika intervālā. Darbības dati *StanForD 2010* reģistrēti laika intervālā, tas nozīmē, ka produkciju var izpētīt jebkurā laika periodā neatkarīgi no mežizstrādes objekta (cirsmas), kurā mašīna strādājusi. Piemēram, viena no priekšrocībām operatīvās uzraudzības nošķiršanai no objekta (cirsmas) ir laika iztrūkumu novēršana gadījumos, kad mašīna tiek pārvietota no vienas cirsmas uz otru un pēc tam atpakaļ. Šī datu neapvienošana (ne-sasaiste) harvesteru datorā ļauj attiecīgo sniegumu rādītājus aprēķināt vēlāk – jebkuram objektam (cirsmai) un/vai laika intervālam. Dažādas mašīnu sistēmas, mežizstrādes komandas utt. var viegli salīdzināt, izstrādājot laika rindas un analizējot ražošanas un apstāšanās periodus.

Latvijas mežizstrādes uzņēmumi uzsākuši *StanForD 2010* ieviešanu un iepazīstas ar tā iespējām. Izvērtējot citu valstu zinātnieku pētījumus, top skaidrs, ka standarta ieviešanas un – jo sevišķi – pielietošanas jomā vēl jāiegulda daudz darba.

1.2. Mežizstrādes mašīnu standarta *StanForD 2010* izmantošana pasaulē

Arvien vairāk dažādos pētījumos pasaulē tiek izmantoti harvesteru automātiski iegūtie dati. Automātiskā datu vākšana un tās automatizācija potenciāli ir visefektīvākais līdzeklis, lai ievāktu meža mašīnu veiktspējas datus no liela mašīnu skaita dažādos laika periodos. Tomēr, kā savā pētījumu apskatā atzīst Kemmerer & Labelle (Kemmerer & Labelle, 2021), joprojām harvesteru automātiski iegūto datu izmantošanas līmenis, salīdzinot ar to piedāvātajām iespējām, ir zems. Viena no jomām, kur tiek izmantoti automātiski iegūtie dati, ir harvesteru darba ražīguma modeļu izstrāde. Līdz šim ir pārbaudītas vairākas automatizēti iegūto datu apstrādes un izmantošanas iespējas:

- tehnikas ražotāja programmatūras izmantošana. Unikāla programma, ko mašīnas lietotājs no dīlera iegādājas kopā ar jaunu tehnikas vienību. Šādu metodi savos pētījumos izmantoja Gerasimov et.al. un Arlinger & Möller. Viņi izmantoja *John Deere TimberLink* programmatūru. (Gerasimov et al., 2012; Arlinger & Möller, 2014);
- Heinimann (2001) izmantoja *StanForD* iegūtos harvesteru datus, lai novērtētu vidējā koka tilpumu uz harvesteru darba ražīgumu;
- Purfürst (2010) var minēt kā pirmo, kas izmantoja *StanForD* iegūtos harvesteru datus, lai analizētu harvesteru operatoru darba ražīgumu;
- vairāki pētnieki izmantojuši globālās pozicionēšanas sistēmu datus harvesteru darba ražīguma novērtēšanā (Cordero et al. 2006);
- viena joma, kur aizvien plašāk tiek izmantoti automātiski iegūtie dati, ir meža inventarizācija.

Vairāki pētnieki savos pētījumos atzīmē, ka harvesteru automātiski iegūto datu izmantošana kopšanas cirtēs ļauj automatizēt cirsmu inventarizāciju (Kiljunen, 2002; Maltamo

et al., 2010; Siipilehto et al., 2016). Harvestera datu izmantošana taksācijas rādītāju novērtēšanā pārbaudīta, gan salīdzinot datus ar manuāliem mērījumiem (Stendahl & Dahlin, 2002; Murphy et al., 2006; Holopainen et al., 2010; Delmaire & Labelle, 2022), gan salīdzinot tos ar attālās izpētes datiem (Rasinmäki & Melkas, 2005; Holmgren et al., 2012; Barth & Holmgren, 2013; Ivanovs et al., 2019).

Holmgren et al. apvienoja harvestera datus ar lāzerskanēšanas datiem, lai izstrādātu jaunu algoritmu, kas ļautu nākotnē nocirsto stumbru datus izmantot neizcirstu audžu ciršanas simulācijās un prognozētu potenciālo sortimentu iznākumu (Holmgren et al., 2012).

Zviedrijā izstrādāta programma *hprGallring*, ar kuras palīdzību, pēc kopšanas cirtes veikšanas iespējams koriģēt audzes taksācijas rādītājus, izmantojot *StanForD 2010* datus (Larsson, 2017; Köppler, 2017). Izmantojot automatiski iegūtos datus, iespējams samazināt darba apjomu un izmaksas, kas nepieciešamas datu ievākšanai (Rasinmäki & Melkas, 2005). Šī metode pēc kopšanas cirtes var tikt izmantota mežizstrādes kvalitātes kontrolei, kā arī inventarizācijas datu aktualizēšanai, pilnībā vai daļēji aizstājot parauglaukumu metodi manuālu datu ieguvei (Holmgren et al., 2012). Programma aprēķinos izmanto informāciju par audzē nozāģētajiem kokiem (Bhuiyan et al., 2016). Programmas aprēķinos ir dati, kas balstīti uz informāciju par novākto platību. Iepriekš tika izstrādāts un strukturēts algoritms platību automatiskai aprēķināšanai, kas izmanto harvestera ražošanas failos saglabātās harvestera GPS koordinātas.

Vairāki pētījumi, kuros izmantotas lielas datu kopas, ko atbalsta *StanForD 2010*, saistīti ar harvestera darba ražīguma un to ietekmējošo faktoru analīzi.

Savukārt Olivera et al., izmantojot harvestera automatiski iegūtos datus, analizēja cirsmas reljefa ietekmi uz harvestera darba ražīgumu (Olivera et al., 2016). Pētījumā tika konstatēts, ka cirsmas reljefam nav būtiskas ietekmes uz harvestera darba ražīgumu.

Studējot pētījumu rezultātus, redzams, ka lielākā daļa pētījumu veltīta harvestera darba ražīguma analīzei. Līdz ar to *StanForD 2010* var tikt veiksmīgi izmantots, lai analizētu harvestera operatora ražīgumu un mašīnas izmantošanas intensitāti. Šādi automatiski iegūti dati ir ticami, jo pētījumos noskaidrots, ka automatiski iegūtie dati būtiski neatšķiras no manuāli iegūtajiem datiem (Eriksson & Lindroos, 2014; Brewer et al., 2018).

Līdz ar to automatiski iegūto datu izmantošana var dot būtisku ieguldījumu operatoru darba ražīguma kāpināšanā, kā rezultātā palielinātos ienākumi un samazinātos mežizstrādes izmaksas (Strandgard et al., 2013).

Pēc LVM datiem noskaidrots, ka Latvijā LVM pakalpojumu sniedzēji forvarderu datu uzskaitē neizmanto *StanForD 2010*. Tomēr, veicot literatūras apskatu, noskaidrojās, ka pasaulē pēdējos gados pētnieki pievēršas *StanForD 2010* datu izmantošanai forvarderu operatoru produktivitātes analīzē (Eriksson & Lindroos, 2014; Strandgard & Mitchell, 2015; Manner et al., 2016).

1.3. Meža mašīnu operatoru apmācību nepieciešamība

Mūsdienās harvesters ir dārga un sarežģīta mašīna, kas prasmīga operatora rokās ir ļoti ražīga. Dārdzība ietver ne tikai pašas mašīnas cenu iegādes brīdī, bet arī ekspluatācijas un uzturēšanas izmaksas. Lai ar šādu mašīnu spētu efektīvi un ražīgi strādāt, lielākoties nepieciešami kvalificēti meža mašīnu operatori.

Harvesteru attīstības pirmsākumos meža mašīnu ražotāji lielāku vērību pievērsa mašīnu efektivitātes paaugstināšanai, ieviešot dažādus uzlabojumus ne tikai mehanizācijas jomā. Strauji attīstoties informācijas tehnoloģijām, meža mašīnās tika ieviesti dažādi elektroniski uzlabojumi. Mašīnas kļuva tehnoloģiski sarežģītākas, un bija nepieciešams sagatavot zinošākus operatorus. Kā savā pētījumā atzīmēja Pagnussat et al. (M. Pagnussat et al., 2014), tad lielākais mežizstrādes uzņēmumu izaicinājums, ieviešot jaunas tehnoloģijas, bija kvalificētu operatoru trūkums.

Harvestera darba ražīguma pētījumos salīdzinoši daudz ir pētīts operators kā darba ražīgumu ietekmējošais faktors (Sirén, 1998; Kariniemi, 2006; T. Purfürst & Erler, 2006; Ovaskainen, 2009; Palander et al., 2012). Līdz ar to pētījumos harvestera operators parādās kā pētāmais objekts. Iemeslus operatora darba ražīguma atšķirībām centās noskaidrot, pētot operatoru kognitīvās spējas (Kariniemi, 2006; Ovaskainen, 2009), darba tehniku (Ovaskainen, 2009), kā arī kustību spējas (Palander et al., 2012).

Savā pētījumā Ovaskainens (Ovaskainen et al., 2004) noskaidroja, ka lielāka ietekme uz darba ražīgumu ir operatoram, nevis mašīnai vai mežsaimnieciskajiem faktoriem. Pētījuma autori uzskatīja, ka operatoru darba ražīguma atšķirības rodas darba metožu, operatora spēju, motorikas, darba plānošanas, pieredzes, darba secības, mašīnas un apkārtējās vides kompleksas iedarbības rezultātā.

Purfürst et al (2011), izmantojot automātiski iegūtos datus, veica pētījumu, kura laikā tika izmantoti harvestera dati, kas iegūti trīs gadu laikā, lai novērtētu operatora ietekmi uz darba ražīgumu. Pētnieki apstiprināja iepriekš aprakstīto, ka operatori maksimālo ražību sasniedza deviņos mēnešos pēc apmācībām. Daļai aplūkoto operatoru darba ražīgums šajā laika periodā pēc apmācībām dubultoījās, tomēr atšķirības starp operatoriem bija salīdzinoši lielas. Tika secināts, ka kvalitatīvas apmācības ir dārgs un ilgs process.

2008. gadā Lindroos pētīja patērētā laika atšķirības operāciju izpildei starp operatoriem (Lindroos, 2008). Viņš apstiprināja izskanējušo viedokli, ka operatori, īpaši pirmajās dienās, zinot, ka tiek novēroti, cenšas strādāt uzmanīgāk. Šādi novērojumi rodas, kad tiek veikta manuāla laika uzskaitē un novērotājs atrodas tuvumā operatoram, vai arī operators zina, ka tiek novērots. Šo apgalvojumu uzsvēra un savos pētījumos ņēma vērā Makkonens (Makkonen, 1954). Pēc viņa novērojuma strādnieks sākuma fāzē cenšas parādīt savas spējas un strādā ātrākā tempā. Tomēr uzsver, ka daži strādnieki, ja tiek novēroti, – gluži pretēji – strādā lēnāk nekā parasti. Makkonena skatījumā šis parādības skaidrojums ir strādnieka bailes, ka pētījuma rezultātu izmantos algas likmes samazināšanai. Viņš arī minēja, ka pārsvarā šāda situācija veidojas tikai pirmajā dienā un pēc tam strādnieku darbības atgriežas normālā ātrumā. Lai novērstu novērotāja ietekmi uz pētījuma rezultātiem, viņš nekad neņēma vērā pirmo izpētes dienu laikus.

Degvielas izmaksu dēļ harvestera operatoru apmācība lauka apstākļos harvesterī izmaksā ļoti dārgi. Ovaskainen (2005) veica pētījumu, kura mērķis bija noskaidrot harvestera operatora darbu reālā un simulatora vidē (Ovaskainen, 2005). Tika pētīts, kā mainās operatora darba tehnika, mainoties videi. Pētījumā tika salīdzināts profesionālu operatoru darbs, kurus sākumā novēroja darbā mežā, bet pēc tam – simulatorā. Rezultāti liecināja, ka operatoru darba tehnikas izmaiņas bija ļoti mazas. Pētījumā tika konstatētas nebūtiskas nepilnības simulatoru darbā, kas tālākā nākotnē jānovērš. Pētnieki secināja, ka, salīdzinot darbu abās vidēs, operatoru darba tehnika izmainās ļoti maz. Mācības uz simulatora kopā ar apmācību reālā darba vidē uzlabotu operatoru mācību procesu. Degvielas izmaksas varētu samazināt, ja daļu vingrinājumu izpildītu ar simulatoru. Līdzīgu pētījumu veica Wenhold et al. (Wenhold et al., 2020). Pētījums tika veikts Dienvidāfrikā. Tajā tika analizētas apmācības jauniem operatoriem, kuri sākotnējās iemaņas apguva simulatorā, bet tālāk prasmju pilnveidošana notika reālā darba vidē. Pētījumā tika noskaidrots, ka, uzsākot apmācību simulatorā, jauno operatoru ražīgums bija 60% zem vidējā ražīguma, bet pēc 8 dienu mācībām simulatorā ražīgums pieauga par 200% virs sākotnējā ražīguma. Turpinot mācības uz harvestera kopšanas cirtēs ar vidējā koka tilpumu $0,18 \text{ m}^3$ ražīgums izmainījās no $13,71 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ pēc pirmā apmācības mēneša uz $38,96 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ pēc 12 mēnešiem. Savukārt kailcirtē ar vidējā koka tilpumu $0,54 \text{ m}^3$ darba ražīgums pieauga no $27,56 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ pēc pirmā apmācības mēneša uz $43,75 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ pēc 12 mēneša. Pētnieki apstiprināja iepriekš novēroto, ka vidēji operatori mācību fāzes beigas sasniedz aptuveni 9 mēnešu periodā.

Operatoru pieredzes nozīmi, kā to pētījumos norāda Lindroos (Lindroos, 2010) un Brown et al. (Brown et al., 2011), savā pētījumā apstiprina arī Purfürst, F.T. (F. T. Purfürst, 2010). Viņš atzīmē, ka atšķirība starp mazāk apmācītiem un labi apmācītiem operatoriem var būt ļoti liela un darba ražīguma atšķirības ne tikai starp vienādi pieredzējušiem operatoriem var sasniegt

40%. Viņš ziņoja, ka apmācību beigas tiek sasniegtas pēc aptuveni 1000 līdz 1500 mašīnas darba stundām. Purfürst (F. T. Purfürst, 2010) nekonstatēja būtisku korelāciju starp operatora veiktspējas līmeni un neproduktīvo laiku, piemēram, remonta vai apkopju laiku. Tomēr atzina, ka operatora motivācija un fiziskais stāvoklis laika gaitā var būtiski ietekmēt operatora darba ražīgumu.

Pasaulē nav daudz pētījumu, kuros ilgākā laika periodā pēc apmācībām būtu pētīta operatoru veiktspēja un zināšanu līmeņa izmaiņas. Ir pētījumi, kuros analizētas atsevišķas darbības vai elementu ietekme uz operatora darba ražīgumu.

1.4. Operatora apmācību ietekme uz degvielas patēriņu

Mūsdienās ir izplatīta operatoru apmācība ar simulatoriem (Ovaskainen et al., 2004; Nuutinen et al., 2008; Pagnussat et al., 2021). Tomēr Latvijā šāda iespēja tiek izmantota ļoti reti. Personīgi komunicējot ar lielākajiem meža mašīnu dīļeriem, tika noskaidrots, ka simulatorus izmanto tehnikas dīļeri, lai apmācītu operatorus strādāt ar jaunu tehniku, kā arī Ogres tehnikumā, mācot jaunus meža mašīnu operatorus. Kā tika noskaidrots Meža mašīnu operatoru apmācību centrā, meža mašīnu operatoru periodiskās apmācības notiek reālā darba vidē – cīsmā.

1.5. Secinājumi

1. Pēdējā desmitgadē liela daļa pētījumu saistās ar automātiski ievāktu mašīnas datu izmantošanu darba ražīguma analīzē un darba ražīguma pieauguma modelēšanā. Šos datus var ērti iegūt, jo nav nepieciešama pētnieka klātbūtne datu ievākšanas procesā. Pētījumos ir noskaidrota automātiski ievāktu datu ticamības pakāpe, un šādi iegūtie dati būtiski neatšķiras no manuāli ievāktajiem.

2. Virknē pētījumu tiek analizēti darba ražīgumu ietekmējošie faktori, proti, tādi kā stumbra caurmērs vai tilpums, operatora individuālo spēju ietekme, ārējo vides faktoru ietekme (nogāzes slīpums, diennakts laiks un citi). Pētnieki secinājuši, ka, neskatoties uz augsto meža mašīnu modernizācijas un automatizācijas pakāpi, vislielākā ietekme uz darba ražīgumu tomēr ir operatoram, viņa spējām un profesionalitātei.

3. Nav daudz pētījumu, kuros tiek izmantoti automātiski iegūtie dati, lai analizētu meža mašīnu operatoru apmācību efektivitāti. Pēc pieejamajiem datiem ir noprotams, ka tiek konstatētas darba ražīguma izmaiņas, bet netiek veikta sīkāka datu analīze, lai noskaidrotu potenciāli vājākās vietas, kurās operatoriem būtu iespējams kāpināt darba ražīgumu.

2. PĒTĪJUMA MATERIĀLS UN METODIKA

Atbilstoši pētnieciskajiem uzdevumiem nodaļā sniegta Latvijā esošā meža mašīnu struktūras izmaiņu analīzes metodika. Sniegts pētījumā izmantoto meža mašīnu īss raksturojums. Aprakstīta automātiski iegūto datu apstrādes metodika, izmantojot tehnikas ražotāja datu apstrādes programmu un standarta *StanForD 2010* sniegtās iespējas. Nodaļā aprakstīta operatoru viedokļu noskaidrošana, kā arī apmācību ekonomiskā un ekoloģiskā efekta novērtēšanas metodika.

2.1. Mežizstrādes tehnikas parka izvērtēšana

Lai analizētu Latvijā izmantoto mežizstrādes mašīnu klāstu, izmantoti Valsts tehniskās uzraudzības aģentūras (VTUA) un AS “Latvijas Valsts meži” (LVM) dati. Lai noskaidrotu dažādu modeļu atbilstību standarta *StanForD 2010* ieviešanas prasībām, tika intervēti Latvijā izplatītāko mežizstrādes mašīnu marku dāļeri.

VTUA tiek reģistrētas visas Latvijā vai ārzemēs iegādātās un Latvijā ievestās tehnikas vienības (*Ceļu satiksmes likums, 1997*). VTUA reģistrā tiek atspoguļota šāda informācija: mašīnas tips, marka, modelis, rūpnīcas numurs, izlaiduma gads, motora jauda, reģistrācijas datums, kā arī ziņas par traktortehnikas īpašnieku un turētāju (juridiska vai fiziska persona). Sākot ar 2022. gadu, minimālā informācija, kas neietver konkrētus personas datus, pieejama VTUA mājaslapā (*Traktortehnikas reģistrācijas dati Latvijas Republikā, 2022*). No reģistra traktortehnikas vienības tiek izņemtas gadījumos, ja tiek norakstītas vai pārdošanas gadījumā izvestas no Latvijas. Latvijas likumdošana neparedz mežizstrādes mašīnām obligāti veikt ikgadējo tehnisko apskati (*Noteikumi par traktortehnikas un tās piekabju valsts tehnisko apskati un tehnisko kontroli uz ceļiem, 2022*), līdz ar to VTUA rīcībā nav tādu pētījumam nepieciešamo datu, kas dotu informāciju par mašīnu – vai tā strādā, cik stundas mašīna nostrādā, vai tā ir izjaukta rezerves daļās un vai tā nav, nepārtraucot reģistrāciju, izvesta no Latvijas.

No VTUA iegūtie dati tiek izmantoti, lai noskaidrotu Latvijas uzņēmumos vai privātpersonām reģistrēto kopējo mežizstrādes mašīnu skaitu un struktūru (harvesters, forvarders, skiders u.c.). Mežizstrādes mašīnas sagrupētas pa izlaiduma gadu desmitgadēm, nosakot mašīnu vecuma struktūru atbilstoši modeļu līnijām. Izmantojot datu bāzi, Latvijā reģistrētās mašīnas tiek grupētas pa mašīnu veidiem (harvesteri, forvarderi utt.), šādi nosakot, cik mežizstrādes mašīnas spētu atbalstīt jauno standartu. Publiski pieejamajā reģistrā par tehnikas vienību ir iegūstama šāda informācija:

- valsts reģistrācijas numura zīme;
- identifikācijas numurs;
- marka;
- modelis;
- grupa;
- pēdējās reģistrācijas datums;
- uzskaites statuss;
- datums, kurā noņemta no uzskaites;
- datums, līdz kuram atļauts piedalīties ceļu satiksmē.

Latvijas normatīvajos aktos netiek noteikts, ar kāda veida informācijas sistēmu mežizstrādes mašīnām jābūt nokomplektētām, līdz ar to VTUA datubāzē nav iespējams iegūt informāciju par atbilstību *StanForD 2010* prasībām. Mežizstrādes mašīnas aprīkojums ar *StanForD* vai *StanForD 2010* versiju ir atkarīgs no mašīnas datora tehniskajiem parametriem, piemēram, no operatīvās atmiņas, procesora jaudas un vairākiem mezglu signālu devējiem. Pasūtot jaunu mežizstrādes mašīnu no rūpnīcas, pasūtītājs norāda, kādu komplektāciju viņš vēlas, piemēram, GPS (Globālās pozicionēšanas sistēmas) signāldevējs, manipulatora pagriezienu leņķa signāldevējs, izlīces posmu leņķa signāldevējs, forvarderiem izlīces sviri un

citi signāldevēji. Visi vēlākie uzlabojumi mašīnas lietotājam rada papildu izmaksas. Līdz ar to vecākas mežizstrādes mašīnas pielāgošana jaunākām informācijas sistēmām, lai atbilstu standartu *StanForD 2010*, var izmaksāt ļoti dārgi. Intervijās ar Latvijas populārāko mežizstrādes mašīnu dīleriem tika noskaidrots, ka optimāli aprīkot mežizstrādes mašīnas ar informācijas sistēmu, kas atbilst standartu *StanForD 2010*, var modeļiem, kas ražoti, sākot ar 2009.–2010. gadu. Atsevišķiem tehnikas ražotājiem ar jaunāku informācijas sistēmu var aprīkot arī iepriekšējo modeļu rindu, sākot ar 2005. modeļa gadu, tomēr tas izmaksās ļoti dārgi.

Šobrīd Latvijas mežu īpašnieki no pakalpojumu sniedzējiem nepieprasa *StanForD 2010* standartam atbilstošus datus no forvarderiem, līdz ar to šajā pētījumā atbilstība *StanForD 2010* ieviešanai tiek vērtēta tikai harvesteriem.

Izmantojot LVM pakalpojumu sniedzēju datubāzi, noskaidrota mežizstrādē izmantoto mašīnu struktūra atbilstoši tehnikas ražotāju markām un modeļu līnijām. LVM datubāzē tiek sniegta informācija par mašīnas tipu (harvesters, forvarders), mašīnas marka, modelis, izlaiduma gads, kāda tipa cirtēs strādā (galvenā, kopšanas, bojātu koku cirte). Ņemot vērā, ka LMV pāriet uz pilnīgu produkcijas atskaišu pieņemšanu, balstoties uz harvestera datorsistēmas datiem, harvesteriem papildus jānorāda atbalsts *StanForD 2010* standartam.

Pēc Centrālās statistikas pārvaldes datiem 2021. gadā izstrādātā krāja valsts mežos sasniedza 6 774 191 m³, pārējos mežos – 6 297 771 m³ (CSP, 2022). Šī informācija sniedz priekšstatu par faktisko mežizstrādes mašīnu noslodzi, ko var attiecināt uz privātajiem mežiem un uz valsts mežiem, gūstot priekšstatu par kopā mežizstrādē izmantotajām tehnikas daudzumu. Līdz ar to tālākajos aprēķinos pieņemts, ka arī privātajos un valsts mežos strādā līdzīgs dažādu mežizstrādes mašīnu skaits. Harvesteri atsevišķi sadalīti atbilstoši ražotāju markām, katra marka tiek sadalīta pēc izlaiduma gadiem, un ir noteikts, cik daudz konkrētā gada mašīnu atbalsta vai jau izmanto *StanForD 2010* standartu (Strubergs et al., 2020).

2.2. Meža mašīnu operatoru kvalifikācijas celšanas kursu apmeklējuma novērtējums

Šajā pētījumā tika izveidota meža mašīnu operatoru aptauja, lai noskaidrotu meža mašīnu operatoru viedokli par apmācību nepieciešamību un ieguvumus no mācībām (Geske, Grīnfelds, 2020). Aptaujas mērķis bija iegūt datus par kvalifikācijas kursu lietderību, zināšanu un prasmju atjaunošanas vai pilnveidošanas kvalitāti, kas pēc mācībām iespaido vai neiespaido darba ražīgumu, izvērtējot respondentu atbildes uz jautājumiem par instruktoru mācīšanas kvalitāti un profesionalitāti.

Aptaujas anketā ir 3 jautājumu bloki. Pirmajā daļā tiek noskaidrota vispārējā informācija par operatoru, otrajā – jautājumi saistībā ar kvalifikācijas celšanas mācību procesu, bet trešajā blokā ir jautājumi par mācību laikā iegūtajām prasmēm, zināšanām un dalībnieku rekomendācijas.

Pirmajā jautājumu blokā ietilpa jautājumi:

- kādu izglītību operators ir ieguvis;
- kur iegūta meža mašīnu operatora apliecība;
- kāds darba stāžs darbā ar meža mašīnām;
- cik gadus un ar kādu meža mašīnu operators pēdējos gados strādā;
- cik ilgi norisinājās apmācības;
- kuru iestādi pārstāvēja instruktors.

Otrajā blokā ietilpa jautājumi:

- cik bieži apmeklē kvalifikācijas celšanas kursus;
- kas rekomendējis apmeklēt kursus;
- vai operators uzņēmumā tiek informēts par savu darba ražīgumu un tā izmaiņām;
- vai pirms apmācībām instruktors veic operatora iepriekšējā snieguma un prasmju pārbaudi;

- vai apmācību laikā instruktors veic skaidrojumu par ieguvumiem no efektīvākām darba metodēm;
 - vai apmācībās tiek izmantoti simulatori.
- Trešajā blokā ietilpa jautājumi:
- vai, pabeidzot apmācības, tiek veikta apmācību procesa analīze un sniegtas rekomendācijas turpmākajam darbam;
 - vai pēc apmācībām uzņēmumā turpina sekot operatora darba ražīguma rādītājiem;
 - vai operators pēc apmācībām izpratis pieļautās kļūdas, kas ietekmējušas darba ražīgumu;
 - vai tika izskaidrota darba metožu ietekme uz degvielas patēriņu;
 - vai apmācību laikā iegūtās zināšanas veicina darba ražīguma paaugstināšanu;
 - cik lietderīgas operators uzskata notikušās apmācības.

Lai varētu veikt aptaujas matemātisko apstrādi, otrā un trešā aptaujas bloka jautājumu atbilžu varianti veidoti pēc Likerta skalas. Sešu ballu sistēmā jāizvēlas atbilde no “pilnīgi nepiekrītu” līdz “pilnīgi piekrītu”. Pirms nodošanas respondentiem anketa tika testēta, lai nodrošinātu precīzi formulētus jautājumus. Operatoriem tika izsūtīta anketas elektroniskā adrese, un tā tika aizpildīta tiešsaistē. Saite uz aptauju izsūtīta lielākajiem mežizstrādes uzņēmumiem Latvijā, kuru rīcībā ir vismaz piecas mežizstrādes mašīnas un to meža mašīnu operatori piedalījušies apmācībās, ko organizē Meža mašīnu operatoru mācību centrs. Mežizstrādes uzņēmumu mežizstrādes meistari anketu izplatīja tālāk meža mašīnu operatoriem. Aptauja tika veikta 2021. gada novembrī un decembrī. Lai anketēšanas rezultāti būtu pēc iespējas precīzāki un korektāki, atsevišķi tika izdalīti harvesteru un forvardera operatori. Anketēšanas procesā operatori tika sadalīti trīs vecuma grupās: līdz 30 gadiem, 30–40 gadi un vairāk par 41 gadu. Tika izdalīts operatoru darba stāžs ar pēdējo mežizstrādes mašīnu – līdz 5 gadiem un vairāk par 5 gadiem, kā arī tika izvērtēta operatoru iegūtā izglītība: ar pamata izglītību, vidējo izglītību, vidējo profesionālo izglītību un augstāko izglītību. Aptaujas rezultāti tika apkopoti un sagrupēti ar *MS Excel*, un datu statistiskā apstrāde veikta programmā *R* (Elferts, 2012), izmantojot Hī kvadrāta testu (Arhipova & Bāliņa, 2003).

No 2018. līdz 2022. gadam Meža mašīnu operatoru centrā tika veiktas kvalifikācijas celšanas mācības 315 meža mašīnu operatoriem. Aptaujā piedalījās un anketas aizpildīja 147 respondenti – meža mašīnu operatori.

2.3. Mežizstrādes efektivitātes paaugstināšanas iespēju analīze

Operatoru apmācību efektivitātes analīzē izmantoti dati par operatoru darba ražīgumu, cirmās ar līdzīgu audzes sastāvu, pirms un pēc apmācībām. Analīzē izmantoti automātiski iegūtie dati par krājas kopšanas ciršu un kailciršu izstrādi. Datu analīzē izmantotās koku sugas: parastā priede (*Pinus sylvestris*), parastā egļe (*Picea abies*), āra bērzs (*Betula pendula*).

Mežizstrādē pēc vidējiem darba ražīguma rādītājiem grūti noteikt apmācību efektivitāti, jo zināms, ka ražīgumu ietekmē vairāki mainīgie faktori. Līdz ar to nepieciešama padziļināta datu analīze, lai noskaidrotu iemeslus darba ražīguma izmaiņām. Rūpnīcas programmas ļauj smalkāk skatīt stumbra apstrādei patērēto laiku, tādējādi iespējams identificēt operācijas, kurās operators var paaugstināt savu profesionalitāti.

Katrs tehnikas ražotājs izmanto savu specifisku datorprogrammu, lai atvērtu un tālāk apstrādātu savas tehnikas informācijas sistēmā saglabātos datus: *John Deere* izmanto *TimbermaticTM*, *Ponsse* izmanto *Opti 4(5)G*.

Datu apstrāde veikta trīs veidos:

- izmantojot *StanForD 2010* datus un programmu *Microsoft Excel*, operatori A un B;
- *John Deere* harvesteriem – izmantojot ražotāja datu apstrādes programmu *TimberOffice*, operatori C un D;

- *Ponsse* harvesteriem – izmantojot ražotāja datu apstrādes programmu *Ponsse Manager*, operatori E, F un G.

2.3.1. Operatoru apmācību efektivitātes analīze, izmantojot *StanForD 2010* datus

Ņemot vērā, ka *.hpr un *.mom failu struktūra veidota *.xml formātā, failu atvēršanai, datu atlasei un šķirošanai var tikt izmantota atvērtā koda programmatūra. Izmantojot atbilstoši standartam *StanForD 2010* *.hpr un *.mom failā saglabātos datus, tālākā datu apstrāde veikta, izmantojot *Microsoft Excel*. Šādi iespējams datu analīzi veikt stumbra līmenī.

Divi operatori (A un B) strādā maiņās ar 2016. izlaiduma gada harvesteri *John Deere 1070E*, kas aprīkots ar harvestera galvu *H413* un izmanto informācijas sistēmu *Timbermatic H 1.28.20*. Harvestera informācijas sistēmas atbalsta standartu *StanForD 2010*. Šo operatoru apmācību analizēšanā izmantoti dati divus mēnešus pirms apmācībām un divus mēnešus pēc apmācībām laika periodā no 2021. gada augusta līdz 2021. gada decembrim. Harvesters strādāja LVM apsaimniekotajos mežos krājas kopšanas cirtēs Dienvidkurzemes virsmežniecībā. Harvestera operatora A un operatora B darba pieredze attiecīgi ir 6 un 12 gadi. Abiem operatoriem notika 8 stundu apmācības reālā cīsmā, ko veica pieredzējis Meža mašīnu operatoru apmācības centra instruktors (Strubergs et al., 2022).

Veicot apstrādes laika uzskaiti saskaņā ar *StanForD 2010* standartu, mašīnas informācijas sistēma uzskaita laiku, kas patērēts stumbra apstrādei no stumbra satveršanas brīža līdz nākamā stumbra satveršanai vai citai komandai, kas pārtrauc apstrādes procesu.

Analīzei tika izmantoti dati par 12 265 kokiem ar vidējo tilpumu 0,129 m³, kas tika apstrādāti pirms apmācībām, un 16 503 kokiem ar vidējo tilpumu 0,089 m³, kas tika apstrādāti pēc apmācībām.

Šajā apakšnodaļā izmantoti stumbra ieraksti, kas reģistrēti saskaņā ar standartu *StanForD 2010* kā *.hpr un *.mom faili. No *.hpr faila izmantoti šādi dati: stumbra identifikācijas numurs, koka suga, laika zīmogs (gads, mēnesis, diena, stunda, minūte un sekunde), kad koks nozāģēts, caurmērs krūšu augstumā (D_{1.3}), tilpums, operatora identifikators. Izmantojot laika zīmogu ierakstus, stumbra apstrādes cikla laiks tiek aprēķināts katram kokam, nosakot atšķirību starp diviem secīgiem stumbra laika zīmogiem (Arlinger et al., 2012). Cikla laiks ietver koka nozāģēšanu, harvestera galvas pārvietošanu sagarumošanas zonā, atzarošanu, sagarumošanu, sniegšanu pēc nākošā koka un koka satveršanu. Lai novērstu kļūdas, pēdējo stumbra apstrādes laikā izmantots *.mom fails, no kura izmanto laika zīmogu apkopei, remontam, pārbraucieniem u.c. darbībām, kas noslēdz stumbra apstrādi. Veicot datu atlasī, ņemtas vērā koku sugas un caurmēri, kas sastopami cīsmās pirms un pēc apmācībām.

Lai noskaidrotu apmācību, koka sugas un koka tilpuma ietekmi uz operatoru ražīgumu un izslēgtu faktorus, kuru ietekme nav būtiska, izveidots regresijas modelis.

Tā kā dati neatbilst normālajam sadalījumam, jo lielākā daļa datu atrodas ārpus 95% ticamības intervāla, tālākajā datu analīzē tiek izmantots Wilcoxon tests. Savukārt, lai noskaidrotu tādu stumbra apstrādes laika un darba ražīguma ietekmējošo faktoru kā apmācību, stumbra tilpuma, sugas, sortimentu grupas ietekmes būtiskumu, tiek izmantots *R* pakotnes rīks “emmeans”. Regresijas atlikumu autokorelācijas pārbaudei izmantots Durbin – Watson tests.

2.3.2. Operatora darba ražīguma analīze, izmantojot *John Deere* ražotāja datorprogrammas *TimberOffice*TM datus

Operatoru darba analīzē tiek izmantoti automātiski iegūtie dati no harvestera *John Deere 1270 E*, kas aprīkots ar harvestera galvu *H480*. Harvesteri izmanto informācijas sistēmu *Timbermatic H 1.28.16*, kas atbalsta *StanForD 2010*. Harvesters strādā Latvijas teritorijā LVM apsaimniekotajos mežos krājas kopšanas cirtēs. Dati iegūti par operatoru darbu divus mēnešus pirms un divus mēnešus pēc apmācību veikšanas, laika periodā no 2020. gada novembra līdz

2021. gada februārim. Kopumā analizē izmantoti divu operatoru (C un D) dati no 10 cirmsmām pirms apmācībām un 10 cirmsmām pēc apmācībām.

Operatora C un operatora D darba pieredze ir pusgads pēc mežizstrādes mašīnu operatora kvalifikācijas iegūšanas tehnikumā. Operatoriem veikta 8 stundu periodiskā apmācība cirmsmā (Strubergs et al., 2021). Apmācību veica mācību centra instruktors ar lielu praktiskā darba pieredzi.

Datu analizē tiek izmantoti *.hpr, *.mom faili. Failu atvēršanai un informācijas iegūšanai izmantota programma *TimberOffice 5.12*. *TimberOffice*TM programma pēc laika skalas ļauj datus atlasīt diennakts periodā, līdz ar to cirsmu dati sadalīti diennakts griezumā. Aplūkotajā laika periodā operators C apstrādāja 7750 stumbrus pirms apmācībām un 10752 stumbrus pēc apmācībām. Savukārt operators D apstrādāja 15983 stumbrus pirms apmācībām un 6139 stumbrus pēc apmācībām.

Programmas *TimberOffice* rīkā *TimberMatic Analytic* automātiski nozāģētos stumbrus sadala grupās pēc stumbra vidējā tilpuma. Līdz ar to iegūst sešas grupas ar šādiem tilpumu intervāliem: 0.00–0.15 m³, 0.15–0.30 m³, 0.30–0.50 m³, 0.50–0.80 m³, 0.80–1.20 m³ un 1.20–1.70 m³. Lai noteiktu atsevišķu operatora operāciju izpildes ātrumu katrā stumbra tilpuma grupā, harvesterā dators reģistrē laiku (sekundēs), kas tiek patērēts operāciju izpildei no harvesterā galvas pacelšanas līdz stumbra satveršanai, ietverot tādas operācijas kā braukšana, tikai izlice, izlice + braukšana, aktīva harvesterā galva, pārējais laiks. Nākošais tiek reģistrēts laiks, kas operatoram nepieciešams stumbra apstrādei (stumbra padeve, pārvietošana un atzarošana), ietverot tādas operācijas kā stumbra padeve + zāģēšana, stumbra padeve + izlice, tikai izlice, tikai braukšana un pārējais laiks. Kā pēdējo harvesterā dators reģistrē sortimentu apstrādes laiku, līdz tas tika sagarumots atsevišķos sortimentos un novietots sortimentu zonā (Sarmulis & Saveljevs, 2015), ietverot tādas operācijas kā stumbra padeve, stumbra padeve+izlice, tikai izlice, pārzāģēšana, meklēšana un pārējais laiks. Veicot datu apstrādi, stumbru apstrādes laiki tika sasummēti un salīdzināti patērētais laiks stumbru apstrādē pirms un pēc apmācības. Pārējā laikā katrā grupā ietilpst darbības, ko atsevišķi neuzskaita harvesterā informācijas sistēma. Šeit jāpiemin tādas darbības kā koka izvēle, koksnēs vainu noteikšana, sagarumoto sortimentu kārtošana un zaru pārkraušana. Tāpat harvesterā dators saglabā vidējo degvielas patēriņu L·h⁻¹ un L·m³, kas tika patērēts katras operācijas izpildē. Programma *TimberOffice*TM neatbalsta datu eksportu, līdz ar to visi nepieciešamie dati manuāli pārrakstīti *MS Excel*, kur tiek veikta tālākā datu apstrāde.

No programmas *TimberOffice*TM atlasot cirsmu un operatoru, par cirsmu tiek iegūti sekojoši dati:

- saražotā produkcija, m³;
- nozāģētie stumbri, gab.;
- vidējais stumbra izmērs, m³;
- vidējais darba ražīgums, m³·h⁻¹.

Programmā *R* veic Andersona–Darlinga testu, lai noteiktu datu atbilstību normālsadalījumam. Tā kā testā tiek noteikts, ka dati atbilst normālsadalījumam, tad, lai novērtētu konstatēto atšķirību statistisko būtiskumu, veic T testu. Ņemot vērā, ka darba ražīgumu būtiski ietekmē gan stumbra tilpums, gan apmācības, tad faktoru ietekmi nosaka, veicot regresijas analīzi.

Operatoram C tiek iegūts regresijas vienādojums:

$$D_r = 3.326 + 47.786 * V_v + 0.841 * A_f, \quad (2.1)$$

kur D_r – darba ražīgums, m³·h⁻¹;

a, b, c – koeficienti;

V_v – stumbra vidējais tilpums, m³;

A_f – apmācību ietekmes faktors.

Operatoram D tiek iegūts regresijas vienādojums:

$$D_r = 6.162 + 57.954 * V_v - 3.440 * A_f, \quad (2.2)$$

kur D_r – darba ražīgums, $m^3 \cdot h^{-1}$;
a, b, c – koeficienti;
 V_v – stumbra vidējais tilpums, m^3 ;
 A_f – apmācību ietekmes faktors.

2.3.3. Operatora darba ražīguma analīze, izmantojot *Ponsse* ražotāja datorprogrammas *Opti4G* datus

Ponsse harvesteru automātiski iegūtie dati atlasīti, izmantojot *Ponsse manager* rīku. Operatori, kuru dati izmantoti analīzē, strādā ar 2020. gada *Ponsse Ergo* harvesteriem LVM apsaimniekotajās platībās Latvijā. Harvesteri noslogoti kailciršu izstrādē. Harvesteriem instalēta programmas *Opti4G 4.780* versija. Apmācību efektivitātes analizēšanai dati iegūti par trīs operatoru darbu, par atskaites punktu ņemot apmācību dienu. Apmācību analizēšanai nepieciešamie dati tika sagrupēti pa dienām – divus mēnešus pirms apmācībām un trīs mēnešus pēc apmācībām. Operatoru praktiskā darba pieredze, kā harvestera operatoriem uz apmācību dienu: operatoram E – 5 gadi, operatoram F – 1 gads, savukārt operatoram G – 2 gadi. Operatora E dati izmantoti par laika periodu no 2021. gada novembra līdz 2023. gada jūnijam ar apmācību norisi 27. janvārī. Operatora F dati – no 2022. gada marta līdz 2022. gada oktobrim ar apmācību dienu 22. maijā. Savukārt operatora G dati – par periodu no 2022. gada decembra līdz 2023. gada jūlijam ar apmācību dienu 10. februārī.

Aplūkotajos periodos operators E pirms mācībām apstrādāja 5289 stumbrus, savukārt pēc mācībām apstrādāja 21373 stumbrus. Operators F pirms mācībām apstrādāja 11906 stumbrus, bet pēc mācībām – 23253 stumbrus. Operators G pirms mācībām apstrādāja 8857 stumbrus, pēc apmācībām – 17343 stumbrus.

Datu matemātiskās apstrādes veikšanai *Ponsse Manager* atspoguļotie dati no rīka manuāli tiek pārnesti uz programmu *MS Excel*, kur tiek grupēti tālākai matemātiskajai datu apstrādei, jo *Ponsse Manager* – līdzīgi ka *TimberofficeTM* – nepieļauj datu eksportu uz *MS Excel* datu tālākajai apstrādei.

Operatoram secīgi pa mēnešiem noteikta darba ražīguma un stumbra apstrādes laika dinamika, izveidojot katram darba mēnesim atsevišķu grafiku, kurā uzrādītas vidējo vērtību izmaiņas un datu izkliede. Atsevišķu operāciju izpildes laika izmaiņas noteiktas pirms un pēc apmācībām.

Pretēji *John Deere* rūpnīcas programmai, *Ponsse* rūpnīcas programma neļauj veikt datu grupēšanu, izdalot koku sugas, bet ir iespējams izdalīt atsevišķas tilpuma grupas un saglabā sekojošos operāciju izpildes laikus:

- stumbra satveršana;
- gāšanas zāģējums;
- sagarumošana un krautnēšana;
- atzarošana;
- sagarumošana;
- zaru pārvietošana.

Šādi analizējot datus, var precīzi saglabāt operācijas, kuru izpildē operators pavada visvairāk laika, norādot to, kurām pozīcijām jāpievērš pastiprināta uzmanība.

2.4. Apmācību ietekmes uz degvielas patēriņu novērtējums

Ne vienmēr var apgalvot, ka apmācību rezultātā, palielinoties darba ražīgumam, samazinās degvielas patēriņš. Tādēļ, lai to noskaidrotu, papildus tiek analizētas degvielas patēriņa izmaiņas. Atbilstoši darba ražīguma analīzei arī degvielas patēriņš tiek analizēts izmantojot trīs datu ieguves veidus – *StanForD 2010* atbilstošu .mom failu un faila atvēršanai

izmantojot *MS Excel*, otrs veids – izmantojot *John Deere TimberOffice* un trešais – izmantojot *Ponsse Manager*.

2.4.1. Operatoru apmācību ietekmes uz degvielas patēriņu analīze, izmantojot *StanForD 2010* datus

Analīzē tiek izmantoti dati no meža mašīnām un operatoriem, kas aprakstīti 2.2.1. apakšnodaļā. Degvielas patēriņa analīzē tiek izmantoti dati no .mom faila, kur tiek saglabāta informācija par apstrādātajiem stumbriem, vidējo stumbra tilpumu, koku sugu, apstrādes laiku, apkopes u.c. laikiem, kā arī patērēto degvielu. Veicot esošā faila atvēršanu ar *MS Excel*, atlasa un sagrupē nepieciešamo informāciju. Kad veikta datu atlase un grupēšana, veic lineārās regresijas analīzi un sastāda vispārēju degvielas patēriņa modeli pirms un pēc apmācībām. Sekojoši sastāda regresijas modeļus pirms un pēc apmācībām degvielas patēriņam, mainoties stumbra tilpumam uz kubikmetru, uz stumbru un laika vienībā.

Periodiem pirms apmācībām un pēc apmācībām nosaka statistiskos rādītājus un, izmantojot Shapiro–Wilk testu, nosaka datu atbilstību normālam sadalījumam. Tā kā dati atbilst normālsadalījumam ($p < 0,05$), tālākajā datu apstrādē, nosaka degvielas patēriņa izmaiņu būtiskumu, izmantojot T testu. Datu analītiskajai analīzei tiek izmantota programma *R*.

Šāda veidā tiek analizēti kopējie dati un, lai noteiktu iespējamās degvielas patēriņa izmaiņu iemeslus, atsevišķi tiek izdalītas koku sugas. Šajā gadījumā – priede, egļe un bērzs.

Izmantojot regresijas analīzi, tiek iegūts degvielas patēriņa modeļa vienādojums abiem operatoriem pirms un pēc apmācībām, ņemot vērā stumbru skaitu un stumbru tilpumu.

$$D = -2.093 + 0.004 * (1018.394 + 37.94 * n_{st.} + 113.592 * V_s); \quad (2.3)$$

kur $n_{st.}$ – stumbru skaits, gab;

V_s – sagarumoto sortimentu tilpums, m³.

2.4.2. Operatoru apmācības ietekmes uz degvielas patēriņu analīze, izmantojot *TimberOffice™* datus

Kā pirmo izveido regresijas modeli, lai noteiktu stumbra tilpuma ietekmi uz degvielas patēriņu. Degvielas patēriņš tiek aplūkots divos veidos:

- litros laika periodā (stundā), L·h⁻¹;
- litros uz tilpuma vienību (kubikmetru), L·m⁻³.

Programma *TimberOffice™* piedāvā iespēju aplūkot degvielas patēriņu atsevišķām darbībām – padeve, zāģēšana, apstrāde, tikai izlice un braukšana. Šādi tiek salīdzināti degvielas patēriņa rezultāti pirms un pēc apmācībām operatoriem C un D.

2.4.3. Operatoru apmācību ietekmes uz degvielas patēriņu analīze, izmantojot *Opti 4G* datus

Kā pirmo veic vidējo degvielas patēriņa rādītāju salīdzināšanai pirms un pēc apmācībām. Tālāk izveido regresijas modeli, lai noteiktu stumbra tilpuma ietekmi uz degvielas patēriņu. Degvielas patēriņš tiek aplūkots divos veidos:

- litros laika periodā (stundā), L·h⁻¹;
- litros uz tilpuma vienību (kubikmetru), L·m⁻³.

Statistikajā analīzē izmantota lineārās regresijas analīze, datu salīdzināšana veikta, izmantojot savienotu pāru T testu un statistiskos rādītājus. Degvielas patēriņa izmaiņu dinamika skatīta laika periodā 2. mēnesis pirms apmācību dienas, mēnesis pirms apmācību dienas, mēnesis, divi un trīs mēneši pēc apmācību dienas (2; 1; 1; 2; 3)

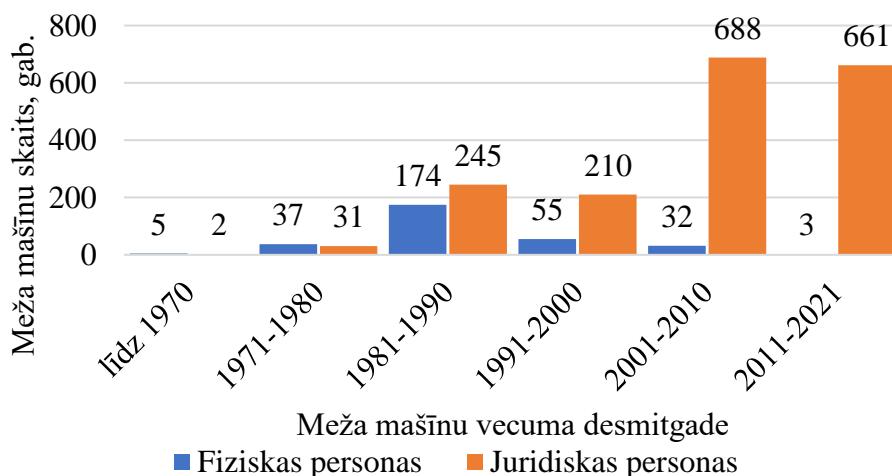
3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

Veikta meža mašīnu parka atjaunošanas analīze divu gadu periodā un novērtēta atbilstība StanForD 2010 standartam. Lai novērtētu periodisko apmācību nepieciešamību un efektivitāti, analizēti operatoru aptauju dati. Izmantojot trīs datu avotus, analizēta harvesteru operatoru periodiskās apmācības efektivitāte.

3.1. Mežizstrādes tehnikas parka atbilstība *StanForD 2010* standarta ieviešanai

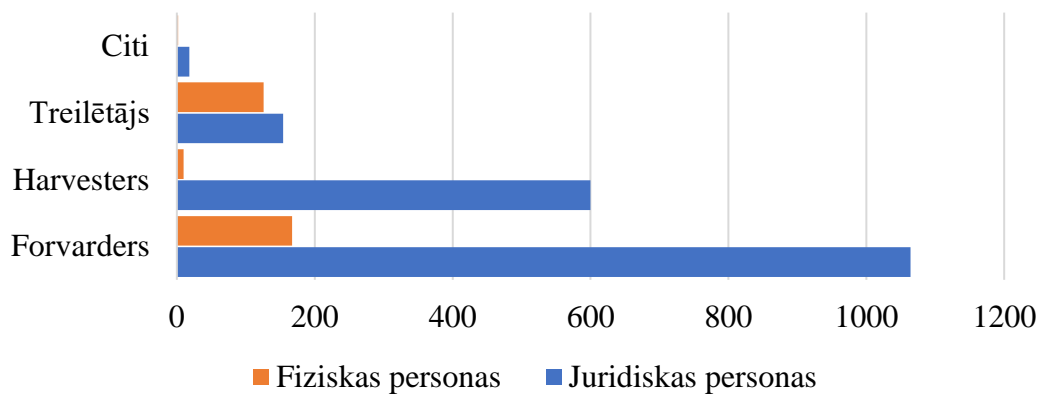
VTUA publiski pieejamajā datu bāzē (*Traktortehnikas reģistrācijas, 2021*) 2021. gada 30. novembrī 2284 tehnikas vienības reģistrētas kā meža mašīnas, tām izsniegta valsts reģistrācijas numura zīme, bet aktīva reģistrācija ir 2134 tehnikas vienībām. 150 tehnikas vienībām reģistrācija ir pārtraukta.

Vecākā reģistrētā meža mašīna izgatavota 1959. gadā. Grupējot meža mašīnu modeļu datus pa desmitgadēm un pēc piederības, tika konstatētas būtiskas atšķirības mašīnu sadalījumā starp īpašniekiem ($p < 0.05$). Vairākums vecāko meža mašīnu reģistrētas privātu personu īpašumā vai valdījumā, savukārt jaunākās meža mašīnas pārsvarā reģistrētas juridiskajām personām (3.1. att.).



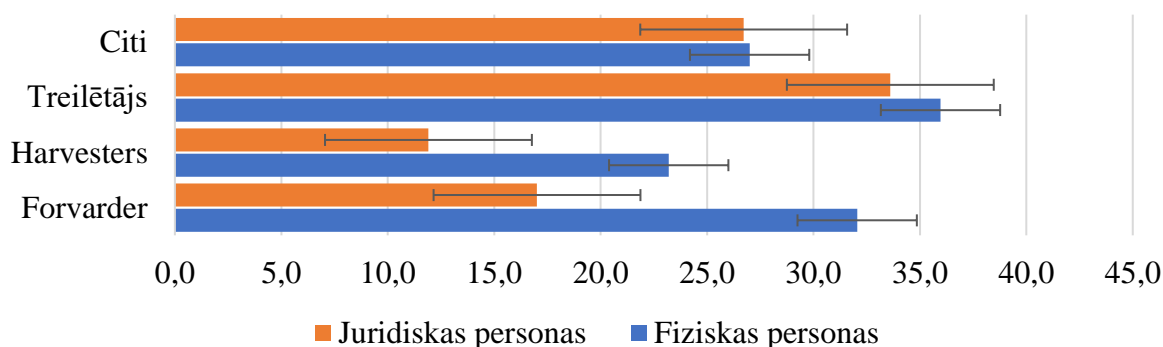
3.1. att. Privāto un juridisko personu īpašumā vai valdījumā esošo meža mašīnu sadalījums pa izlaiduma desmitgadēm

Atbilstoši Ceļu satiksmes likuma 14(3) pantam speciālajai traktortehnikai tehniskā apskate nav jāveic, tādēļ, apskatot publiski pieejamo informāciju, nav skaidrs, cik un kādas tehnikas vienības (harvesteri, forvarderi utt.) ir iesaistītas mežizstrādē. 2021. gada 30. novembrī VTUA reģistrētas 2284 meža mašīnas, no kurām 610 ir harvesteri, 1176 forvarderi, 120 pievedējmašīnas (forvarderi), 165 treilēšanas mašīnas, 114 treilētāji, 3 šķeldotāji un 98 mašīnas bez apakšgrupas definējuma (3.1 att.). Grupējot mašīnas pēc VTUA reģistra, konstatētas nepilnības meža mašīnu uzskaitē un definējumā, kas apgrūtina datu apstrādi. Vienas markas un modeļa meža mašīnas datu bāzē var būt reģistrētas apakšgrupās gan kā treilēšanas mašīnas, gan kā treilētāji, gan reģistrētas bez apakšgrupas. Līdzīga situācija ir ar forvarderiem. Vienas markas un modeļa forvarderi reģistrēti gan kā forvarderi, gan kā pievedējmašīnas, gan treilēšanas mašīnas. Tālākajā datu apstrādē šī nenoteiktība un sadrumstalotība novērsta, atstājot četras meža mašīnu grupas: harvesteri, forvarderi, treilētāji un citi, kā arī atsevišķi nodalītas fizisko un juridisko personu īpašumā vai valdījumā esošās meža mašīnas (3.2. att.).



3.2. att. **Fizisko un juridisko personu īpašumā vai valdījumā esošās VTUA reģistrētās meža mašīnas**

Vērtējot VTUA reģistrētās mašīnas pēc vecuma, noskaidrots, ka vidējais Latvijā reģistrēto meža mašīnu vecums $19,5 \pm 11,9$ gadi, no tām juridisko personu īpašumā vai valdījumā esošo meža vidējais vecums $16,8 \pm 10,8$ gadi, bet fizisko personu īpašumā vai valdījumā esošo meža mašīnu vidējais vecums $33,4 \pm 8,5$ gadi.



3.3. att. **Fizisko un juridisko personu īpašumā vai valdījumā esošo meža mašīnu sadalījums pēc vecuma (\pm standartklūda)**

Ne visos gadījumos no datubāzes ir iespējams iegūt precīzu informāciju par to, kādas grupas un markas mašīna ir reģistrēta, ja ir atzīmēts tikai izlaiduma gads un norāde, ka tā ir meža mašīna. Informācija ir nepilnīga gan vecām, gan pēdējā desmitgadē ražotām mašīnām (Strubergs et al., 2020).

Kopējā gradācija, izdalot no kopējā meža mašīnu grupas forvarderus un harvesterus, attēlota 3.1. tabulā.

3.1. tabula

VTUA reģistrēto meža mašīnu sadalījums

Juridiskais statuss	Meža mašīna	Skaits, gab.	Vidējais vecums, gadi	Mediāna
Fiziska persona	Visas meža mašīnas	306	$33,4 \pm 8,5$	34
	Forvarderi	167	$32,1 \pm 10,1$	34
	Harvesteri	10	$23,2 \pm 7,7$	23
Juridiskas personas	Visas meža mašīnas	1838	$16,8 \pm 10,8$	15
	Forvarderi	1064	$17,1 \pm 10,7$	16
	Harvesteri	600	$11,9 \pm 6,0$	12

VTUA reģistrēto mežizstrādes mašīnu datu bāze nav objektīvs datu avots Latvijā strādājošo mašīnu analīzei, jo liela daļa, it sevišķi vecāko mašīnu, var būt demontētas vai neizmantotas, bet nav noņemtas no uzskaites. Savukārt daļa vidēja vecuma un jaunāko mašīnu netiek izmantotas saistībā ar būtiskiem tehniskiem bojājumiem, tās var būt izīrētas citiem uzņēmumiem Latvijā vai ārzemēs un atrodas ārpus Latvijas teritorijas, saglabājot reģistrāciju Latvijā. Līdz ar to precīzu Latvijā esošo un strādājošo mežizstrādes mašīnu skaitu un vecumu nav iespējams iegūt. Tieši tāpat no VTUA reģistrācijas datiem nav iespējams iegūt informāciju, vai šīs mašīnas atbalsta *StanForD 2010* standartu (Strubergs et al., 2020).

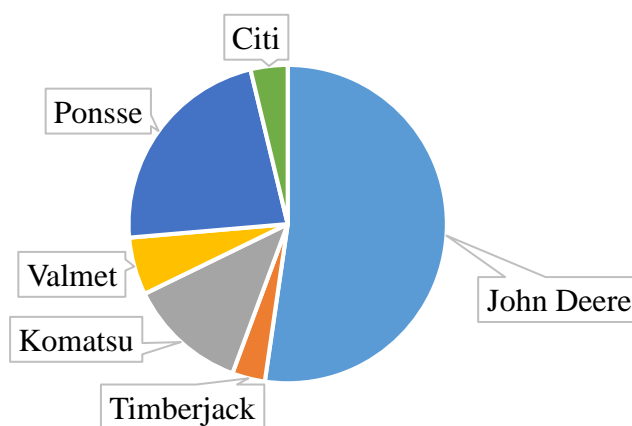
Ņemot vērā to, ka mežizstrādes apjoms un struktūra cirtes veidu griezumā privātajos un valsts mežos ir līdzīga, precīzāku informāciju par reāli izmantotajām mežizstrādes mašīnām var iegūt, novērtējot, kādas mežizstrādes mašīnas izmanto LVM cirsmaš.

Izmantojot LVM datus par mežizstrādes darbos iesaistītajām tehnikas vienībām, iegūta informācija par to, cik un kādas mežizstrādes mašīnas jau pašlaik strādā, pielietojot *StanFord 2010* standartu un kāda ir iespējamā mežizstrādes mašīnu pielietojuma struktūra valsts mežos. Veicot šo ekstrapolāciju, kopšanas cirtes un galvenā cirte analizētas atsevišķi. Mežizstrādes apjoma analīzei izmantoti Valsts meža dienesta dati par mežizstrādi valsts un pārējos mežos pēdējo 5 gadu laikā.

LVM *StanForD 2010* datus izmanto produkcijas uzskaitē, pielietojot harvesteru *.hpr, *.mom failus. Tomēr trūkst pamatotas informācijas, cik lielā mērā produkcijas uzskaitē *.hpr un *.mom failus izmanto privāto mežu īpašnieki.

Saskaņā ar LVM datiem uzņēmuma pārvaldītajās teritorijās uz līgumu pamata strādājošie mežizstrādes uzņēmumi 2019. gadā izmantoja 239 harvesterus un 302 forvarderus. *StanForD 2010* standartam atbilstošus datus izmanto tikai harvesteru atskaitēs.

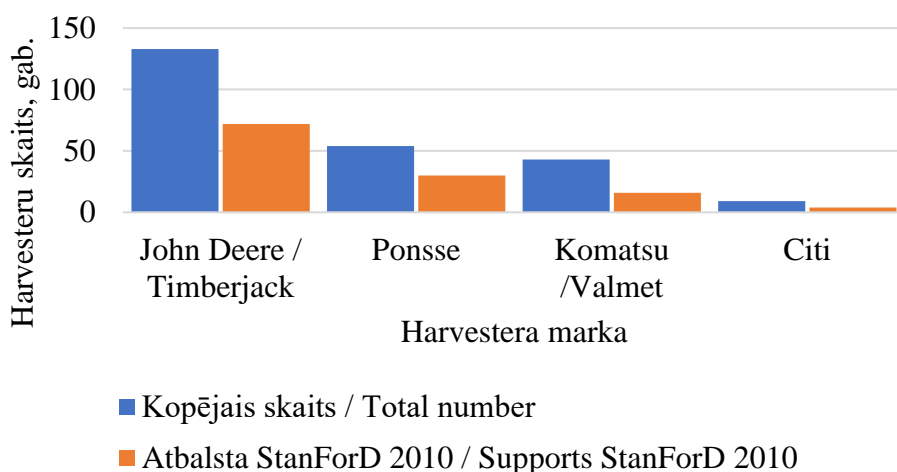
LVM strādājošo harvesteru sadalījums atbilstoši tehnikas ražotāju markām procentuāli attēlots 3.4. attēlā. Visvairāk mežizstrādē izmanto 52% *John Deere* harvesterus, daudz mazāk – 23% *Ponsse* harvesterus, 12% *Komatsu* harvesterus, 6% *Valmet* harvesterus, 3% *Timberjack* harvesterus. Ņemot vērā meža mašīnu īpašnieku nomaiņas, tālākajā analīzē izmantots *John Deere / Timberjack* un *Komatsu / Valmet*. Pārējo ražotāju tehnikas vienības ir uzskaitītas vienā grupā – 3 *Logset* harvesteri, 2 *Ecolog* harvesteri un pa vienam *Jacrac*, *Kobelco*, *Rottne* un *Vimek* harvesteram.



3.4. att. Harvesteru procentuālais sadalījums atbilstoši ražotāju markām

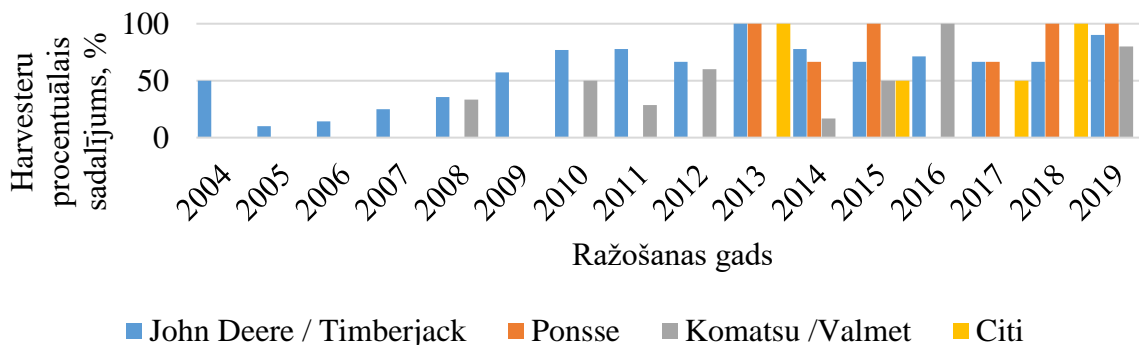
Katrai harvesteru markai ir sava unikāla vadības sistēma un programmatūra, tādēļ analīzes veikšanai nepieciešams aplūkot katru mašīnas marku atsevišķi. Ņemot vērā, ka 2005. gadā kompāniju *Timberjack* nopirka kompānija *John Deere*, mašīnas fiziski palika tādas pašas, tikai mainījās to nosaukums. Turpmāk aprakstā tiek izmantots nosaukums *John Deere/Timberjack*. Savukārt 2010. gadā *Valmet* meža mašīnu nodaļu nopirka kompānija *Komatsu*, un, līdzīgi kā gadījumā ar *John Deere*, turpmāk aprakstā tiek lietots nosaukums *Komatsu/Valmet*.

2019. gada 30. novembrī reģistrētie dati uzrāda, ka 125 no LVM mežizstrādē izmantotajiem harvesteriem atbalsta *StanForD 2010* standartu (3.5. att.). Aplūkojot harvesteru sadalījumu pa ražotāju markām un piesaisti *StanForD 2010* standartam, redzams, ka LVM uzņēmumi veic mežizstrādi ar 133 *John Deere/Timberjack* harvesteriem, no kuriem 72 harvesteri atbalsta *StanForD 2010*. Tātad tie ir 30% no visiem harvesteriem, kas 2019. gadā piedalās LVM mežizstrādē un 54% no *John Deere/Timberjack* harvesteriem, kas piedalās LVM mežizstrādē. No 54 *Ponsse* harvesteriem *StanForD 2010* atbalsta 30 harvesteri, kas veido 13% no visiem LVM mežizstrādē iesaistītajiem harvesteriem un 56% no *Ponsse* harvesteriem. Savukārt no 43 *Komatsu/Valmet* harvesteriem standartu atbalsta 16 harvesteri, kas ir 7% no visiem LVM strādājošiem harvesteriem un 37% no *Komatsu/Valmet* harvesteriem. Vēl – 4 no 9 citu marku *StanForD 2010* atbalstošiem harvesteriem veido 2% no visu harvesteru skaita un 44% no citu harvesteru skaita.



3.5. att. **Harvesteru sadalījums atbilstoši ražotāju markām un *StanForD 2010* atbalstam**

3.6. attēlā redzams harvesteru procentuālais sadalījums, ņemot vērā izlaiduma gadu un to, vai konkrētās tehnikas vienības informācijas sistēma atbalsta standartu *StanForD 2010*.



3.6. att. **LVM strādājošo harvesteru daudzums procentuāli no attiecīgā izlaiduma gada harvesteru skaita, kuru informācijas sistēma atbalsta *StanForD 2010***

Ņemot vērā mežizstrādes tehnikas dīleru sniegto informāciju, teorētiski lai atbalstītu standartu *StanForD 2010*, mašīnu informācijas sistēmas iespējams modernizēt tehnikas modeļiem, kas ražoti sākot ar 2005. gadu. Šādu modernizāciju var iedalīt vairākās grupās. Katra grupa saistāma ar veicamo darbu apjoma un uzstādīšanas izmaksu līmeni:

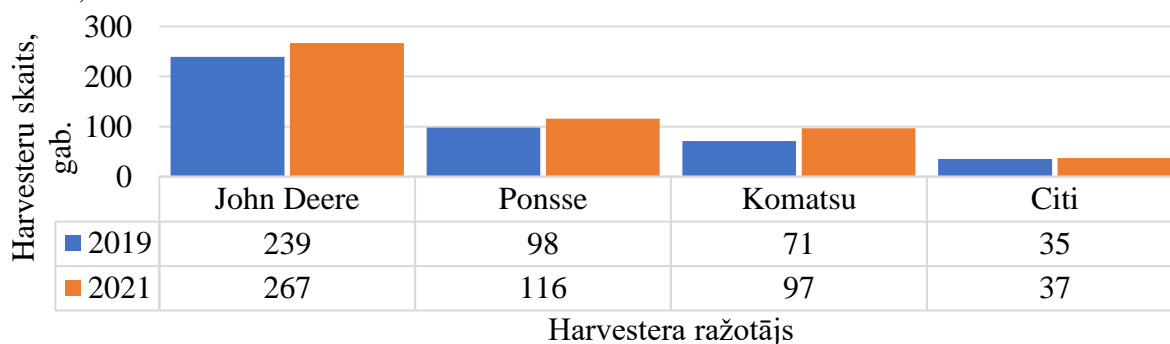
- jāatjauno dators un jāinstalē *StanForD 2010* atbalstoša programmatūra;
- jāuzstāda jaudīgāks dators, jānomaina sistēmu vadības bloki un savienošā elektroinstalācija, jāinstalē *StanForD 2010* atbalstoša programmatūra;

- jāuzstāda jaudīgāks dators, jāuzstāda papildu nepieciešamie iekārtu signāldevēji, jānomaina sistēmu vadības bloki un savienojošā elektroinstalācija, jāinstalē *StanForD 2010* atbalstoša programmatūra;
- jāveic kardināla meža mašīnas pārbūve, kas nav ekonomiski izdevīga morāli un fiziski novecojušai meža mašīnai.

Par informācijas sistēmas modernizāciju un potenciālajām izmaksām tehnikas dīleri konkrētu atbildi nesniedz. Jāvērtē katras konkrētas mašīnas komplektācija. Tikai programmatūras nomaiņa, pēc tehnikas dīleru aplēsēm, izmaksāt 1–2 tūkst. EUR. Ja nepieciešams mainīt vadības blokus un elektroinstalāciju, izmaksas var paaugstināties līdz vairākiem desmitiem tūkstošu EUR. Šādi apjomīgi modernizācijas darbi var būt nepieciešami vecākiem harvesteriem, visbiežāk tiem, kas ražoti pirms 2010. gada. Ņemot vērā, ka mūsdienās tehnika noveco ļoti strauji, vecāku harvesteru modernizācija nebūs rentabla, jo noveco ne tikai informācijas sistēma, bet arī pati mašīna. Pastāvīgu, lielu slodžu iedarbības rezultātā metāls nogurst, un harvesteru īpašniekiem pastāv risks saskarties ar nepieciešamību veikt apjomīgus tehnikas remontdarbus, kuros, iespējams, jāveic dārgu agregātu nomaiņa. Šādos gadījumos Latvijā vērojama situācija, ka harvesteru īpašnieki veic tehnikas maiņu uz jaunāku, tādēļ nav nepieciešams atjaunot informācijas sistēmas, lai nodrošinātu *StanForD 2010* atbalstu.

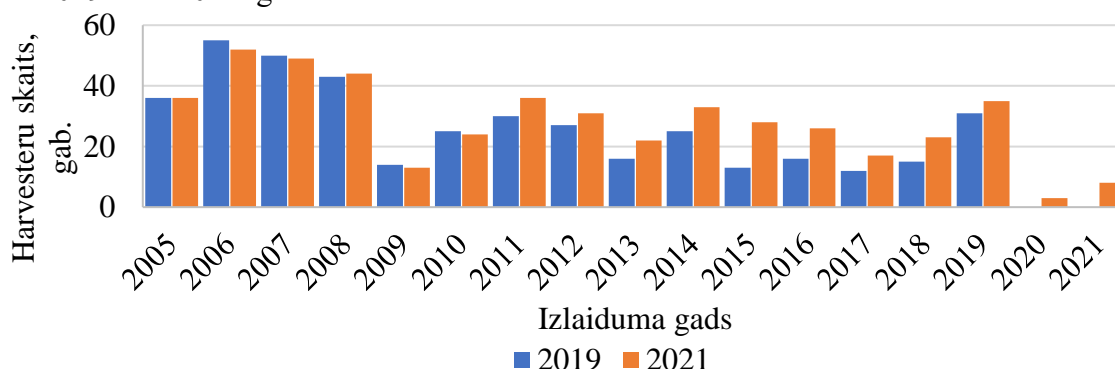
Atbilstoši 2021. gada 30. novembrī saglabātajiem VTUA uzskaites datiem no 2019. gada beigām Latvijā harvesteru skaits palielinājies no 488 līdz 608 vienībām.

3.7. attēlā redzamas VTUA reģistrēto mežizstrādes mašīnu skaita izmaiņas atbilstoši Latvijā izmantoto populārāko harvesteru ražotāju markām, kas ražotas pēc 2005. gada: *John Deere, Ponsse* un *Komatsu*.



3.7. att. Latvijā populārāko ražotāju harvesteru skaita izmaiņas

Vecākais harvesters, kas 2019. gadā uz līguma pamata strādāja LVM, bija ražots 2005. gadā. 3.8. attēlā, sākot ar 2005. gadu, redzamas harvesteru skaita izmaiņas divu gadu periodā no 2019. līdz 2021. gadam.



3.8. att. Harvesteru skaita izmaiņas no 2019. – 2021. gadam

Attēlā redzams, ka divu gadu laikā samazinājies 2006. gadā ražoto harvesteru modeļu skaits. Mežizstrādes uzņēmumi iegādājušies ne tikai jaunus harvesterus, kuru informācijas sistēmas atbalsta standartu *StanForD 2010*, bet mašīnu parku papildinājuši arī ar lietotiem harvesteriem, kas ražoti pēc 2010. gada. Aplūkojot harvesteru skaita izmaiņas, konstatēts, ka

divu gadu periodā par 2% samazinājies līdz 2010. gadam ražoto harvesteru skaits. Savukārt pēc 2010. gada ražoto harvesteru skaits palielinājies par 34%. Ņemot vērā to, ka pēc 2010. gada mežizstrādes mašīnu ražotāji piedāvā informācijas sistēmas ar *StanForD 2010* atbalstošu programmatūru, virkne Latvijas mežizstrādes kompāniju izvēlas atjaunot mašīnu parku, iegādājoties jaunākas mašīnas, lai nebūtu jāinvestē informācijas sistēmu atjaunināšanā. Analizējot mežizstrādes uzņēmumu vadītāju atbildes, noskaidrots, ka mežizstrādes mašīnas noveco gan morāli, gan fiziski, līdz ar to ekonomiskāk ir iegādāties jaunu vai jaunāku mežizstrādes mašīnu ar mazāku nolietojumu.

Salīdzinot harvesteru skaita izmaiņas dinamiku, kas ražoti pēc 2005. gada un teorētiski var atbalstīt standartu *StanForD 2010*, redzams, ka 2019. gadā Latvijā 214 uzņēmumu īpašumā vai valdījumā bija harvesteri. 73 uzņēmumiem bija vairāk par vienu harvesteri, savukārt 2021. gadā harvesteri bija jau 250 uzņēmumiem un 86 uzņēmumiem bija vairāk par vienu harvesteri.

2021. gada 30. novembrī 168 Latvijas mežsaimniecības pakalpojumu sniedzējiem īpašumā vai valdījumā bija viens harvesteris, bet 46 uzņēmumiem īpašumā vai valdījumā bija vairāk par vienu vienas markas harvesteri. Šiem uzņēmumiem pilnīgi pietiek ar konkrētās markas ražotāja datorprogrammu, lai veiktu padziļinātu automātiski iegūto datu apstrādi un operatora darba ražīguma analīzi, kā arī varētu noteikt apmācību nepieciešamību un to efektivitāti. 32 Latvijas uzņēmumu īpašumā vai valdījumā ir divu vai vairāku marku harvesteri; šiem uzņēmumiem automātiski iegūto datu apstrādei nepieciešama katras meža mašīnas markas ražotāja specializētā datorprogramma. Ja pie tehnikas dīlera tiek iegādāts jauns harvesteris, tad datorprogramma tiek iekļauta mašīnas cenā un programmas licence tiek piešķirta kopā ar mašīnas iegādi. Iegādājoties lietotu harvesteri, šī programmas licence par papildu samaksu jāiegādājas no tehnikas dīlera. Uzņēmumos, kuros strādā ar vairāku marku meža mašīnām, nepieciešamas vairākas specializētas datorprogrammas un menedžeriem jāspēj ar šīm programmām strādāt.

3.2. Meža mašīnu operatoru kvalifikācijas celšanas kursu apmeklējuma novērtējums

Analizējot aptaujas datus, redzams, ka vidējais aptaujāto operatoru vecums ir 33 gadi. No visiem respondentiem 18% ir iegūta pamatizglītība, 20% ir vidējā izglītība, 55% ir vidējā profesionālā izglītība un 6% ir augstākā izglītība. 57% aptaujas dalībnieku ir profesionāli operatori, kuri ieguvuši meža mašīnu operatora izglītību. Operatoru vidējais kopējais darba stāžs darbā ar mežizstrādes mašīnām ir 7.6 gadi.

Forvardera operatori

Aptaujāto forvardera operatoru vidējais darba stāžs uz šīs mašīnas ir 6.4 gadi. 3.2. tabulā redzams iegūto rezultātu kopsavilkums.

3.2. tabula

Forvardera operatoru sadalījums vecuma grupās, pēc darba stāža uz attiecīgās mašīnas un iegūtās izglītības līmeņa

Vecuma grupa, gadi	Darba stāžs, gadi		Izglītība			
	Līdz 5	Vairāk par 5	Pamata	Vidējā	Vidējā - profesionālā	Augstākā
Līdz 30	20	20	5	15	15	5
30–40	25	10	5	5	25	–
Vairāk par 41	10	15	10	10	–	5

No aptaujātajiem forvardera operatoriem divi iekļaujas vecuma grupā līdz 30 gadiem, un ir ieguvuši meža mašīnu operatora kvalifikācijas diplomu. Pārējie respondenti ir ieguvuši attiecīgās kategorijas traktortehnikas vadītāja apliecību un savu profesionālo kvalifikāciju

paaugstinājuši, strādājot mežizstrādes uzņēmumā, kā arī apmeklējot kvalifikācijas celšanas kursus.

Harvestera operatori.

Aptaujāto harvestera operatoru vidējais darba stāžs uz šīs mašīnas ir 4.7 gadi.

3.3. tabulā redzams iegūto rezultātu kopsavilkums.

3.3. tabula

Harvestera operatoru sadalījums vecuma grupās, pēc darba stāža uz attiecīgās mašīnas un iegūtās izglītības līmeņa

Vecuma grupa (gadi)	Darba stāžs (gadi)		Izglītība			
	Līdz 5	Vairāk par 5	Pamata	Vidējā	Vidējā - profesionālā	Augstākā
Līdz 30	31	17	–	4	40	4
30–40	28	14	17	11	14	–
Vairāk par 41	3	7	–	–	10	–

Vecuma grupā līdz 30 gadiem 24 aptaujas dalībnieki ir ieguvuši profesionālo kvalifikāciju – meža mašīnas operators. Vecuma grupā no 30 līdz 40 gadiem profesionālā kvalifikācija – meža mašīnas operators – ir 10% respondentu. Pārējie aptaujas dalībnieki savu profesionālo kvalifikāciju ir paaugstinājuši, strādājot mežizstrādes uzņēmumā un apmeklējot kvalifikācijas celšanas kursus.

Analizējot meža mašīnu operatoru mācību centrā pieejamo informāciju, redzams, ka atsevišķu mežizstrādes uzņēmumu operatori kvalifikācijas celšanas kursus apmeklējuši vairākas reizes. Tādēļ anketā tika iekļauts jautājums, cik bieži operatori apmeklē kvalifikācijas celšanas mācības.

Analizējot meža mašīnu operatoru aptaujas rezultātus, redzams, ka vienu un vairāk reizes gadā kvalifikācijas celšanas kursus apmeklē 41% harvestera operatoru. No forvardera operatoriem, kuri apmeklēja kvalifikācijas celšanas kursus vienu un vairāk reizes gadā, 40% ir ar darba stāžu uz konkrētās mašīnas, kas mazāks par 5 gadiem, bet 60% respondentu ir ar darba stāžu, kas lielāks par 5 gadiem. Savukārt harvestera operatoriem – 67% respondentu ir ar darba stāžu uz konkrētās mašīnas, kas mazāks par 5 gadiem un 33% respondentu – ar darba stāžu, kas lielāks par 5 gadiem.

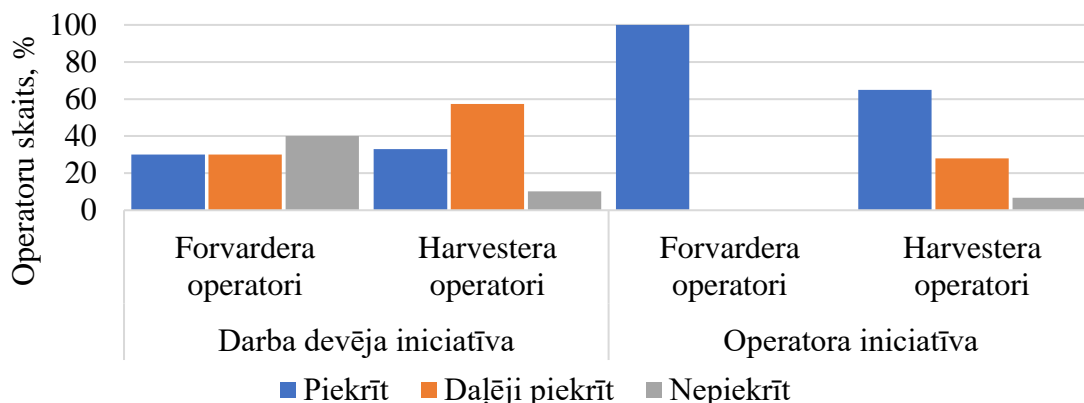
Jaunie operatori, kuriem darba stāžs ar attiecīgo mašīnu mazāks par pieciem gadiem, vairāk pievērš uzmanību savas profesionālās kvalifikācijas paaugstināšanai un darba ražīguma celšanai, pilnveidojot savas darba metodes.

Nemot vērā, ka operatoru atsaucība aptaujai bija zema – uz anketas jautājumiem atbildēja tikai 47% no Meža mašīnu operatoru mācību centrā pēdējo 3 gadu laikā apmācītajiem operatoriem –, jautājumu atbilžu grupas tiek apvienotas. Pēc Likerta skalas veidotās atbildes “Pilnībā piekrītu” un “Daļēji piekrītu” apvienotas kā “Piekrītu”. “Daļēji piekrītu” un “Daļēji nepiekrītu” apvienotas kā “Daļēji”. Atbildes “Nepiekrītu” un “Pilnībā nepiekrītu” apvienotas kā “Nepiekrītu” (A.Geske, A. Grīnfelds, 2020).

Noskaidrots, ka harvestera un forvardera operatoru iniciatīva kvalifikācijas celšanas kursu apmeklējumam būtiski atšķiras ($\chi^2=20.12, p<0.05$). 30% forvardera operatoru norādīja, ka kursus apmeklēja pēc pašu iniciatīvas, 30% daļēji piekrita šim apgalvojumam, bet atlikušie 40% nepiekrita. Savukārt visi aptaujātie forvardera operatori norādīja, ka kursus apmeklēja pēc darba devēja iniciatīvas. Harvesteru operatoru vidū 33% piekrita apgalvojumam, ka kursus apmeklēja pēc pašu iniciatīvas, 57% daļēji piekrita, bet 10% nepiekrita. Apgalvojumam, ka kursus apmeklēja pēc darba devēja iniciatīvas, pilnībā piekrita 65% aptaujāto harvestera operatoru, 28% daļēji piekrita, bet 7% nepiekrita.

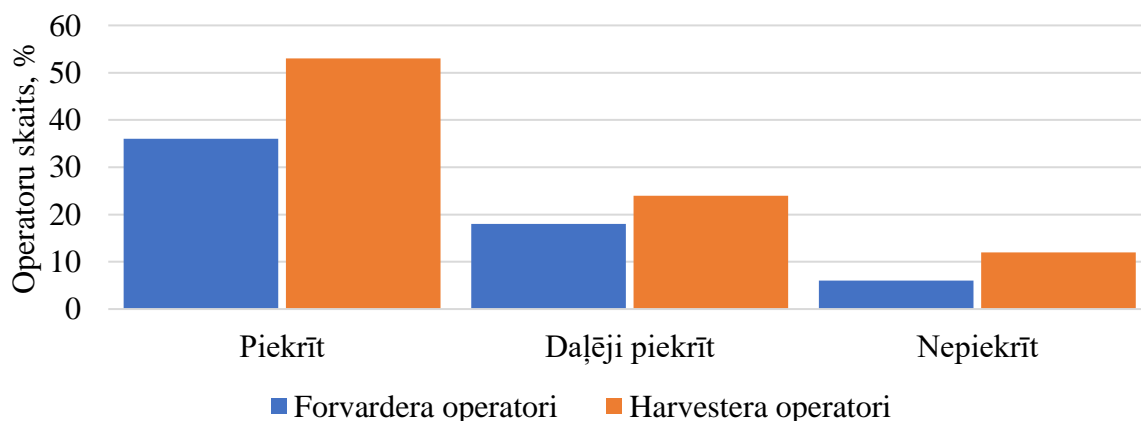
Operatoriem ar darba stāžu līdz 5 gadiem bija tendence biežāk apmeklēt kursus pēc pašu iniciatīvas, savukārt operatoriem ar darba stāžu vairāk nekā 5 gadus pārsvarā apmeklēja kursus

pēc darba devēja iniciatīvas, atšķirības starp šīm respondentu grupām statistiski būtiskas ($p < 0,05$).



3.9. att. Kvalifikācijas celšanas kursu apmeklējums pēc paša vai darba devēja iniciatīvas

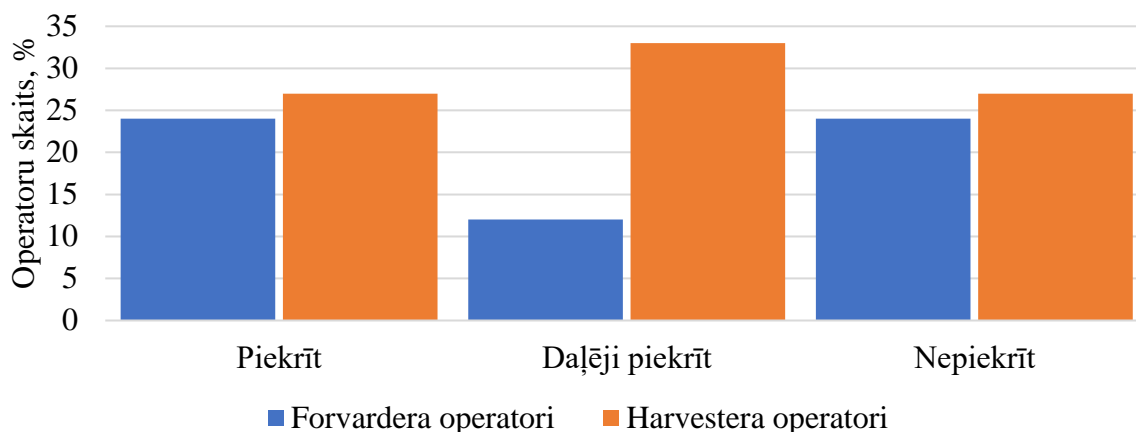
Viens no veiksmīgas individuālo apmācību norises priekšnosacījumiem ir tas, vai pirms apmācībām tiek novērtētas operatoru zināšanas un prasmes. Pēc aptaujas datiem harvestera un forvardera operatoru vērtējums par zināšanu un prasmju pārbaudi pirms apmācībām būtiski neatšķirās ($\chi^2 = 0.47815$, $p > 0.05$). Seši forvardera un divpadsmit harvestera operatori noliedza, ka viņu zināšanas un prasmes (3.10. att.) tikušas pārbaudītas pirms apmācībām. Tomēr 90% harvestera operatoru un 86% forvardera operatoru apstiprināja vai daļēji apstiprināja, ka instruktori novērtēja viņu zināšanas un prasmes. Tā rezultātā apmācību procesā instruktori pievērsa pastiprinātu uzmanību prasmēm, kuras bija nepieciešams pilnveidot.



3.10. att. Operatoru zināšanu un prasmju pārbaude pirms apmācībām

Aptaujājot operatorus, noskaidrots, kurā brīdī instruktors sniedza norādījumus par produktīvāku darba metožu izmantošanu. Tika atklāts, ka 80% forvardera un 80% harvestera operatoru saņēma norādījumus par pieļautajām kļūdām darba procesā un par ieguvumiem no racionālu darba metožu izmantošanas jau apmācību laikā. Tomēr 7% harvestera operatoru šo apgalvojumu noliedza. Forvardera un harvestera operatoru atbildes būtiski neatšķirās ($\chi^2 = 1.8565$, $p > 0.05$).

Apgalvojumam, ka pēc apmācībām tika veikta mācību laikā veikto darbību analīze, forvardera un harvestera operatoru atbildes arī būtiski neatšķirās ($\chi^2 = 4.8366$, $p > 0,05$, 3.11. att.). 40% forvardera un 31% harvestera operatoru piekrita apgalvojumam, ka pēc apmācībām tika veikta mācību procesa analīze, kā rezultātā operatori izprata pieļautās kļūdas. 20% forvardera un 3% harvestera operatoru daļēji piekrita šim apgalvojumam, savukārt četri forvardera un viens harvestera operators tam nepiekrita.



3.11. att. Apmācības procesa analīze pēc apmācību pabeigšanas

Apmācību procesu kopumā pozitīvi novērtēja 75% forvardera operatoru un 66% harvesteru operatoru, savukārt daļēji pozitīvi to novērtēja 25% forvardera operatoru un 31% harvesteru operatoru. Tikai viens harvesteru operators uzskatīja, ka apmācībām nebija nekādas nozīmes. IZanalizējot aptaujas datus, tika secināts, ka daļēji negatīvs un negatīvs apmācību vērtējums visbiežāk sastopams operatoru vidū, kuru vecums ir virs 41 gada un darba stāžs pārsniedz 5 gadus. Vispozitīvākā attieksme pret periodiskajām apmācībām tika novērota operatoru grupā, kuru vecums ir līdz 30 gadiem un darba stāžs nepārsniedz 5 gadus.

3.3. Mežizstrādes efektivitātes paaugstināšanas iespējas, izmantojot *StanForD 2010* standartu

Mežizstrādes efektivitāti var paaugstināt, izmantojot jaunāku un ražīgāku tehniku. Tomēr šāda pieeja nebūs pilnībā efektīva, ja mežizstrādes uzņēmumos netiks pievērsta uzmanība periodiskai meža mašīnu operatoru apmācībai. Aptaujājot mežizstrādes uzņēmumu vadītājus, noskaidrojās, ka vairākos uzņēmumos apmācības tiek organizētas galvenokārt tādēļ, lai uzņēmumi varētu piedalīties AS “Latvijas valsts meži” (LVM) rīkotajos meža izstrādes konkursos. Taču, ja uzņēmumi strādā ar privāto mežu īpašniekiem, operatoru kvalifikācijas celšanas kursi bieži netiek izmantoti.

Lai palielinātu operatoru apmācību efektivitāti uzņēmumos būtu nepieciešams ne tikai nepārtraukti uzskaitīt operatoru darbu, bet arī veikt darba analīzi. Regulāra darba analīze ļauj izsekot operatora ražīguma izmaiņu dinamikai un sniegt ieteikumus par to, kam operatoram jāpievērš uzmanība, vai arī noteikt, kad nepieciešama papildu palīdzība apmācību veidā. Šāda pieeja ļautu arī sniegt precīzāku informāciju apmācību instruktoram par konkrētām jomām, kurām jāpievērš pastiprināta uzmanība.

Ņemot vērā, ka Latvijā periodiskās apmācības pārsvarā tiek organizētas individuāli un vienas dienas garumā, instruktors dažkārt var nepamanīt problēmas, kuru dēļ apmācības ir nepieciešamas.

3.3.1. Operatora apmācību efektivitātes novērtēšana, izmantojot *StanForD 2010* datus

Izmantojot *StanForD 2010* datus izveidots regresijas modelis, kur vērtēta apmācību, koku tilpuma, koku sugas un sortimentu ietekme uz operatoru ražīgumu. Modelis ar regresijas funkciju izskaidro 80% no ražīguma ($R^2=0.78$). Modelis statistiski nozīmīgs ($p<0.05$). Veicot regresijas vienādojuma būtiskuma novērtējumu, visos analīzē iekļautajos faktoros p-vērtība bija mazāka par 0,05, kas norāda uz to, ka regresijas vienādojumi statistiski nozīmīgi izskaidro vidējo ražīguma rādītāju izmaiņas atkarībā no apmācībām, operatora, koku sugas un stumbra tilpuma. Modeļa rezultāti atspoguļoti 3.4. tabulā.

Mainīgo faktoru ietekmes uz stumbra apstrādes laiku regresijas analīzes rezultāti

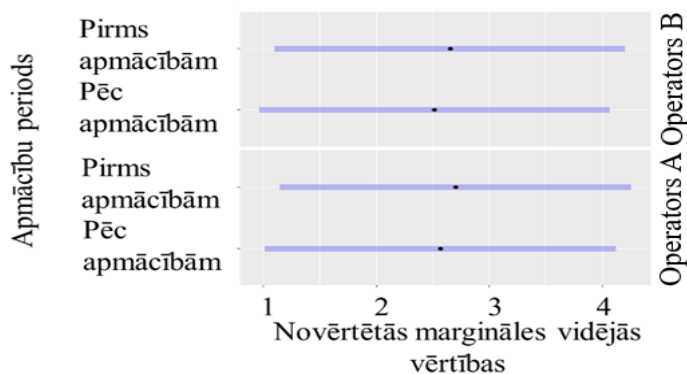
Ietekmējošais faktors	Koeficients	T testa faktiskā vērtība	p-vērtība
Konstante	0.214	0.499	0.612
Apmācības	-0.399	-14.625	$< 2e^{-16}$
Operators	0.160	6.104	$1.04e^{-09}$
EGLE	0.099	2.267	0.018
PRIEDE	0.163	3.038	0.002
Neklasificēts (brāķis)	1.179	2.740	0.006
Tilpums	67.659	433.849	$< 2e^{-16}$

Modelis izskaidro būtisku apmācību, operatora, sugas un tilpuma ietekmi uz ražīgumu ($p < 0.05$). No sortimentiem būtisku ietekmi uz ražīgumu atstāj sortimentu grupa “Nekvalificēts (brāķis)” ($p < 0.05$).

Operatoriem aprēķinot modeļa koriģētos vidējos ražīgumus (emmeans) iegūts, ka operatoram A ražīgums palielinājās: pirms apmācībām – 2.72 (SE = 0.0549, CI: 2.61–2.83), pēc apmācībām: 3.12 (SE = 0.0557, CI: 3.01–3.23). Konfidences intervāli (CI) nepārklājas, norādot uz statistiski būtisku ražīguma pieaugumu. Arī operatoram B būtiski palielinājās: pirms apmācībām – 2.56 (SE = 0.0574, CI: 2.45–2.67), pēc apmācībām: 2.96 (SE = 0.0563, CI: 2.85–3.07). Konfidences intervāli (CI) nepārklājas, norādot uz statistiski būtisku ražīguma pieaugumu.

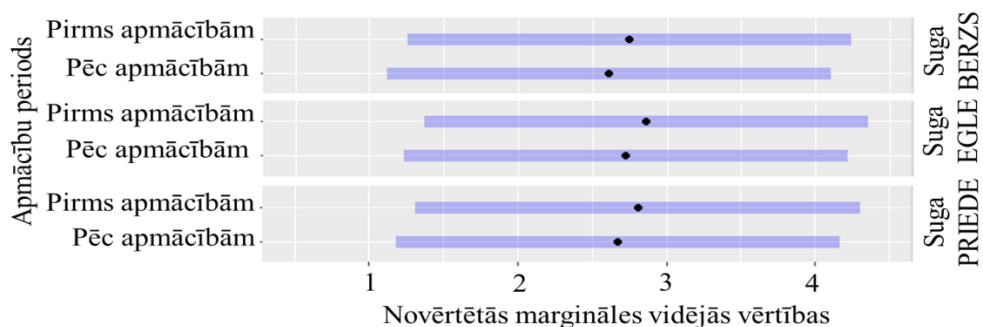
Durbin – Watson testa rezultāti apstiprināja nulles hipotēzi ($p = 1$), ka ražīguma pieaugums veidojās apmācību rezultātā, nevis pateicoties pieredzei. Operatoram A $DW = 2.0581$, kas norāda, ka atlikumos nav autokorelācijas un tie ir praktiski nekorelēti. Operatoram B $DW = 2.0536$, kas norāda, ka arī šeit atlikumos nav autokorelācijas un tie ir praktiski nekorelēti.

Konstatēts, ka ir ietekmētas visu parametru vidējās vērtības (3.12. – 3.13. att.). Attēlos ir redzams, ka apmācības ir devušas pozitīvu ietekmi, kā rezultātā stumbra apstrādes laiks uz vienu nogriežņa vienību ir būtiski samazinājies.



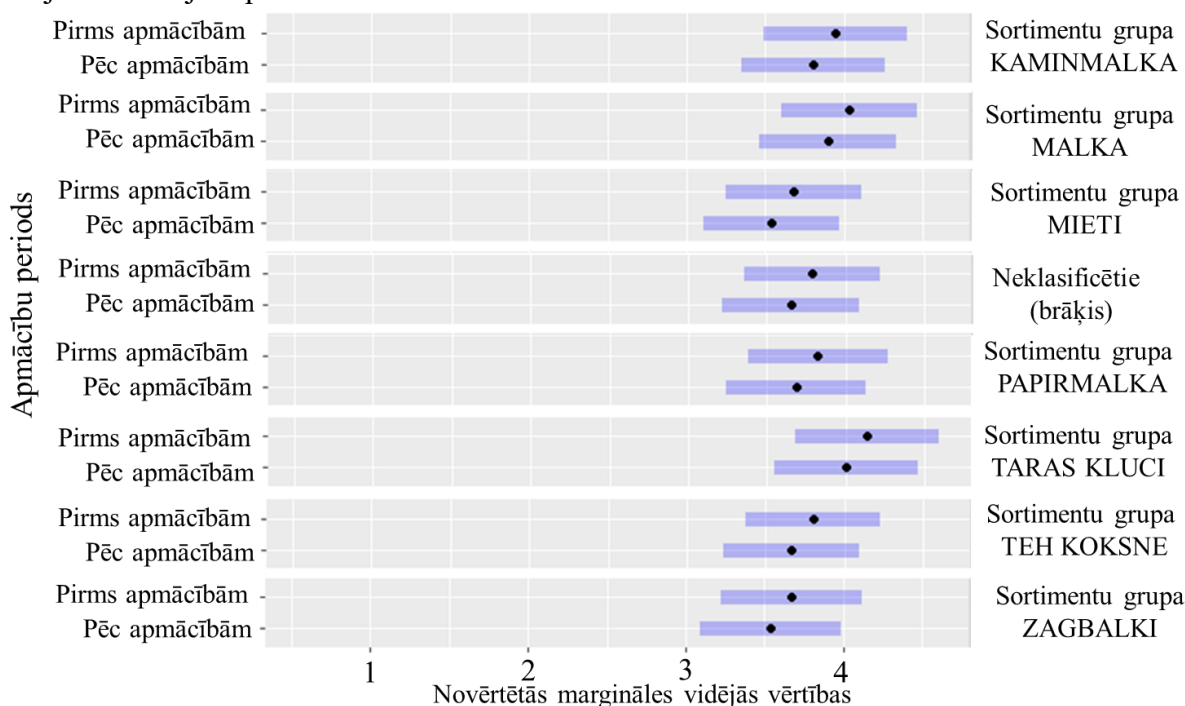
3.12. att. **Operatoru ietekme stumbra apstrādes laika samazinājumā uz vienu sortimenta nogriežņa vienību**

3.12. attēlā redzams, ka apmācības pozitīvi ietekmējušas stumbra apstrādes laiku. Apmācību rezultātā būtiski samazinājies apstrādes laiks uz vienu nogriežņa vienību, kas liecina par ražīguma pieaugumu un efektīvāku darba izpildi pēc apmācībām.



3.13. att. Sugas ietekme stumbra apstrādes laika samazinājumā uz vienu sortimenta nogriežņa vienību

Koku sugu griezumā abiem operatoriem pēc apmācībām ir novērojama stumbra apstrādes laika vidējo marginālo vērtību samazināšanās, kā tas ir redzams 3.13. attēlā. Tas liecina, ka apmācības ir devušas pozitīvu ietekmi, samazinot apstrādes laiku neatkarīgi no koku sugas, tādējādi uzlabojot operatoru darba efektivitāti.

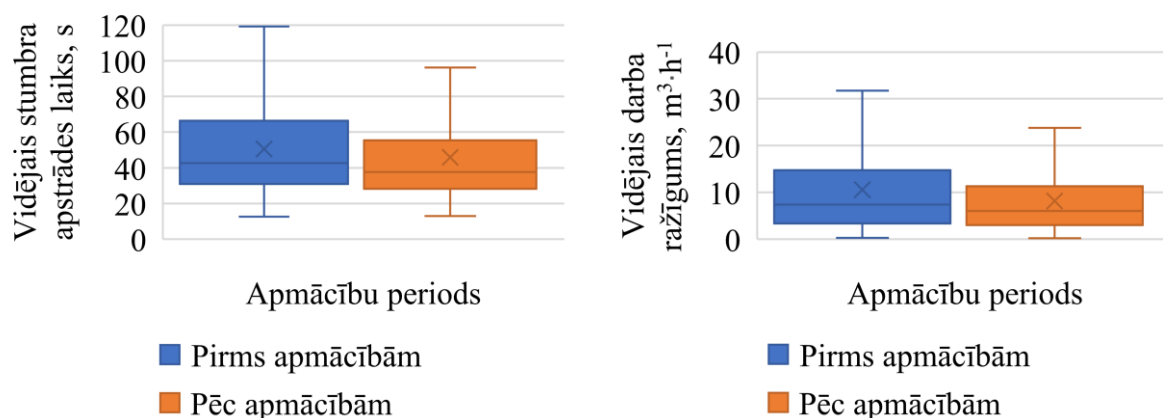


3.14. att. Sortimenta ietekme stumbra apstrādes laika samazinājumā uz vienu sortimenta nogriežņa vienību

Tādus pašus secinājumus var izdarīt, salīdzinot stumbra apstrādes laikus sortimentu griezumā, kā redzams 3.14. attēlā. Tomēr, lai precīzāk novērtētu apmācību efektivitāti un identificētu jomas, kur operatoriem būtu nepieciešams turpināt pilnveidot savu profesionalitāti, ir svarīgi katru operatoru analizēt atsevišķi un veikt detalizētāku datu izpēti.

Analizējot operatoru patērēto vidējo stumbra apstrādes laiku pirms un pēc apmācībām, iegūts, ka operators A, strādājot kopšanas cirtēs, pirms apmācībām vidēji viena stumbra apstrādei patērēja 50.5 ± 0.4 sekundes, savukārt pēc apmācībām vidēji 45.9 ± 0.4 sekundes (3.15. att.). Veicot dispersijas analīzi, tika konstatēts, ka apstrādes laika samazinājums ir statistiski būtisks ($p < 0.05$).

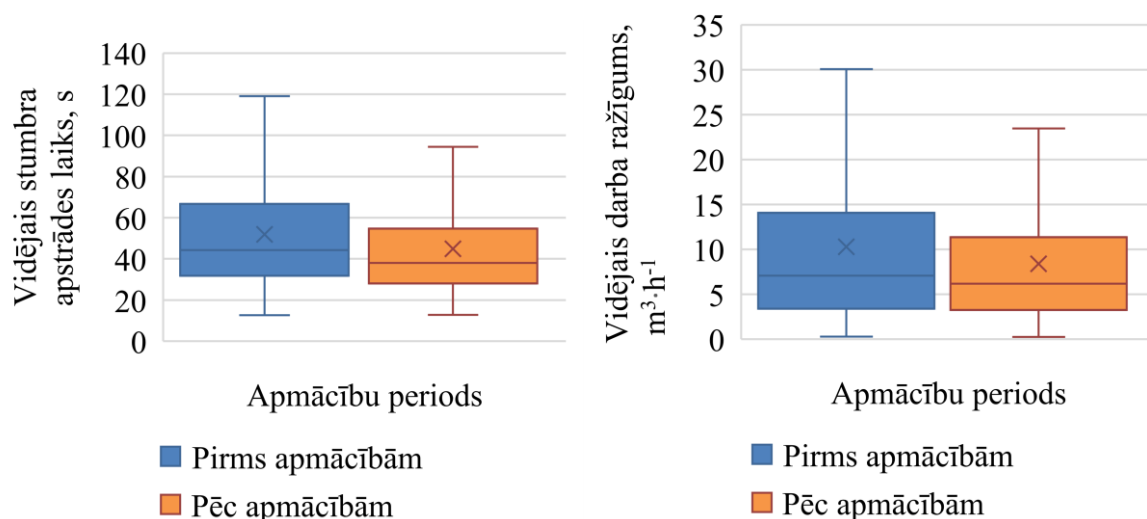
Attiecīgi, vērtējot operatora A darba ražīgumu stumbra līmenī, tas bija 10.57 ± 0.14 $m^3 \cdot h^{-1}$ pirms apmācībām un 8.19 ± 0.09 $m^3 \cdot h^{-1}$ pēc apmācībām. Arī šīs atšķirības ir statistiski būtiskas ($p < 0.05$).



3.15. att. **Operatora A stumbra apstrādes laika un vidējā darba ražīguma izmaiņa visām sugām un tilpumiem pirms un pēc apmācībām**

Operatoram B kopējais vidējais patērētais laiks stumbra apstrādei pirms apmācībām bija 51.9 ± 0.3 sekundes, savukārt pēc apmācībām tas samazinājās līdz 44.8 ± 0.2 sekundēm (3.16. att.). Šis samazinājums ir statistiski būtisks ($p < 0.05$).

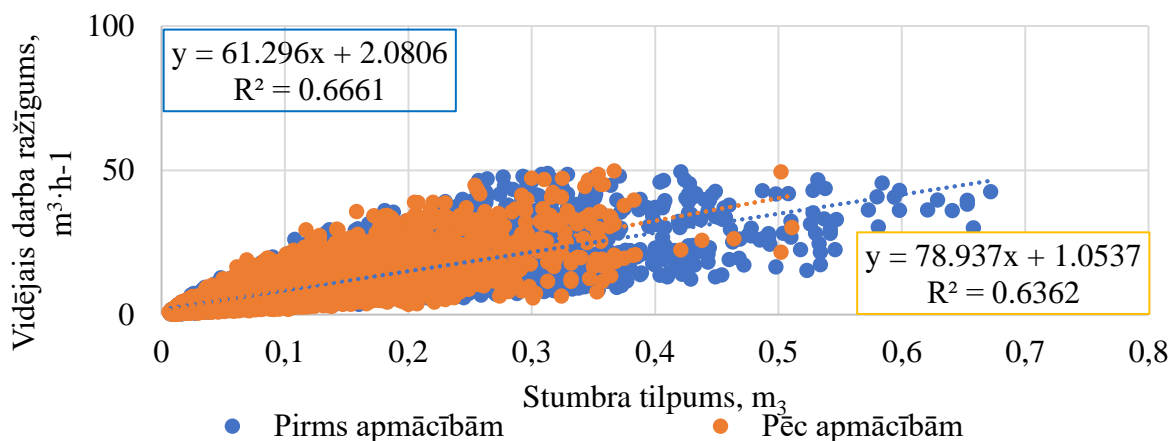
Attiecīgi operatora B kopējais vidējais darba ražīgums pirms apmācībām bija $10.28 \pm 0.12 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, bet pēc apmācībām tas samazinājās līdz $8.39 \pm 0.07 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Arī šis izmaiņas ir statistiski nozīmīgas ($p < 0.05$).



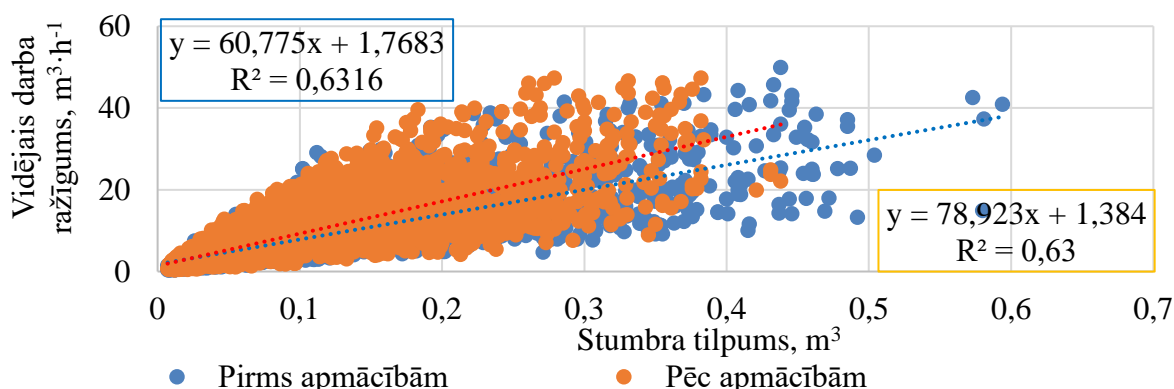
3.16. att. **Operatora B stumbra apstrādes laika un vidējā darba ražīguma izmaiņa visām sugām un tilpumiem pirms un pēc apmācībām**

Ņemot vērā, ka pētāmajā laika periodā pirms un pēc apmācībām abiem operatoriem samazinājās ne tikai stumbra apstrādes laiks, bet arī vidējais darba ražīgums, nepieciešams noskaidrot, kādi faktori ietekmēja šo darba ražīguma samazināšanos.

Operatoru stumbra apstrādes laika un darba ražīguma izmaiņas ir attēlotas 3.17. un 3.18. attēlā. Šajos attēlos redzams, ka operatoram A (3.17. att.) 67% pirms apmācībām un 64% pēc apmācībām izskaidro darba ražīguma datu izmaiņas, pamatojoties uz stumbra tilpumu. Savukārt operatoram B (3.18. att.) attiecīgi 67% pirms apmācībām un 65% pēc apmācībām izskaidro darba ražīguma izmaiņas, balstoties uz stumbra tilpumu. Abiem operatoriem darba ražīguma datu kopas tendences līkne norāda uz darba ražīguma pieaugumu, palielinoties stumbra tilpumam.



3.17. att. **Operatora A darba ražīguma izmaiņa pirms un pēc apmācībām, mainoties stumbra tilpumam**

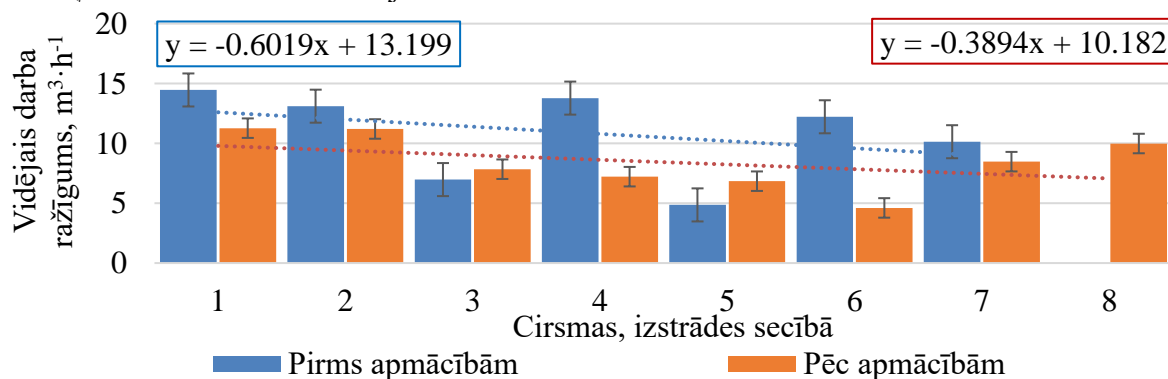


3.18. att. **Operatora B darba ražīguma izmaiņa pirms un pēc apmācībām, mainoties stumbra tilpumam**

Darba ražīguma izmaiņas dinamika 8 cirsmu griezumā pirms apmācībām un pēc apmācībām, neņemot vērā ietekmējošos faktorus, ir attēlota šādi:

- operatoram A darba ražīguma dinamika 8 cirsmu griezumā pirms apmācībām un pēc apmācībām ir redzama 3.19. attēlā;
- operatoram B darba ražīguma dinamika 8 cirsmu griezumā pirms apmācībām un pēc apmācībām ir attēlota 3.20. attēlā.

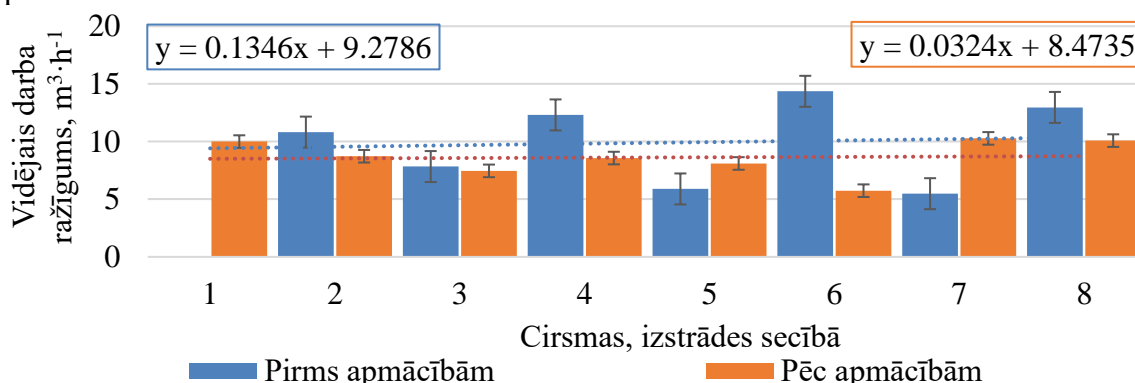
Šie attēli parāda darba ražīguma izmaiņas, ņemot vērā tikai 8 cirsmu griezuma specifiku un neņemot vērā citus ietekmējošos faktorus.



3.19. att. **Operatora A ražīguma izmaiņas dinamika secīgi pa mēnešiem pirms un pēc apmācībām (\pm standartkļūda)**

Aplūkojot ražīguma izmaiņas 16 cirsmu griezumā, redzams, ka operatoram A novērojams stumbra apstrādes laika samazinājums. Tomēr šim samazinājumam ir arī negatīva tendence, proti, darba ražīgumam ir tendence samazināties. Tas liecina, ka, neskatoties uz īsāku apstrādes

laiku, darba ražīgums nav uzlabojies un ir pat samazinājies. Šāda samazinājuma iemesli jāpēta papildus.



3.20. att. **Operatora B ražīguma izmaiņas dinamika secīgi pa mēnešiem pirms un pēc apmācībām** (\pm standartkļūda)

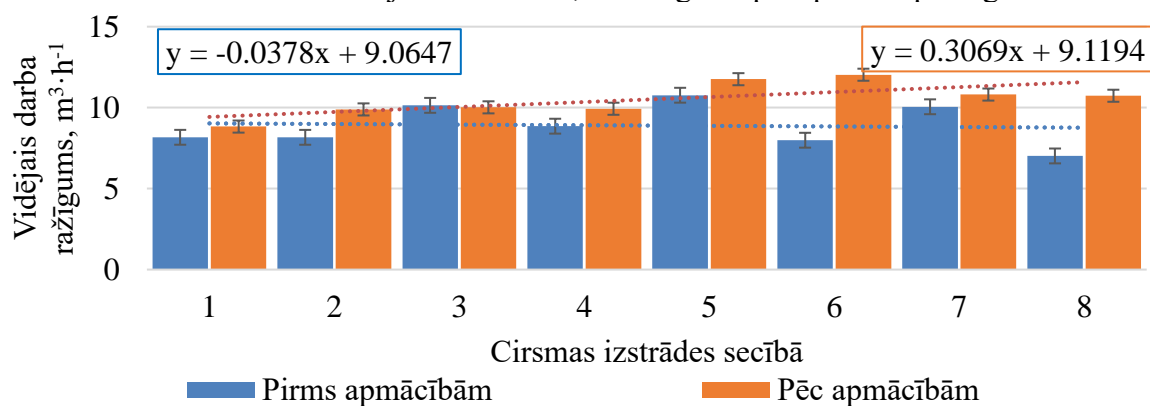
Līdzīga situācija novērojama arī operatoram B 8 cirsmu griezumā: pirms apmācībām tiek novērots ražīguma kritums, tomēr pēc apmācībām ražīgums pieauga. Neņemot vērā atšķirīgus vidējos stumbra tilpumus, 3.20. attēlā redzams, ka operatoram B darba ražīgums saglabā tendenci palielināties gan pirms, gan pēc apmācībām.

Veicot Mann–Whitney U testu, noskaidrots, ka operatoram A apmācību ietekmē ražīguma samazinājums ir statistiski būtisks ($p < 0.05$), savukārt operatoram B ražīguma pieaugums nav statistiski nozīmīgs ($p > 0.05$). Šādu tendenci, ka apmācību laikā var novērot darba ražīguma samazinājumu, piemin arī citi pētnieki, piemēram, Wenhold et al. (2020).

Komunicējot ar mežizstrādes uzņēmumu pārstāvjiem, tika noskaidrots, ka pārsvarā operatoru darba ražīgums tiek noteikts pēc vidējiem rādītājiem, neizdalot specifiskus mainīgos parametrus (apmācības, stumbra tilpums, caurmērs un koka suga). Vairumā gadījumu ražīguma aprēķins tiek veikts, izmantojot visu novākto vai sagatavoto apjomu, neskatoties uz stumbra tilpumu un citiem faktoriem.

Lai izprastu stumbra tilpuma ietekmi uz darba ražīgumu, tika veikta pārrēķina analīze, kurā tiek simulēts, kā darba ražīgums mainītos, ja visi apstrādājamie stumbri būtu ar tilpumu 0.1 m^3 . Operatoram A ražīguma izmaiņu dinamika cirsmu izstrādes secībā ir attēlota 3.21. attēlā.

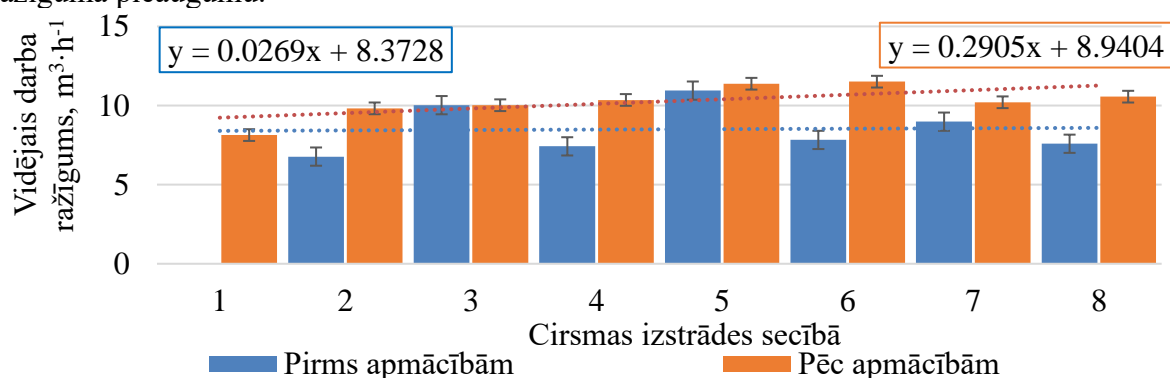
Pārrēķinā redzams, ka pirms apmācībām operatoram A vidējais ražīgums 8 cirsmu griezumā bija $8.89 \pm 0.46 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Šī līkne norāda uz minimālu kritumu, kas var liecināt par nedaudz samazinātu ražīgumu. Pēc apmācībām vidējais ražīgums ir palielinājies līdz $10.50 \pm 0.37 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ un ir novērojama tendence, ka ražīgums pakāpeniski pieaug.



3.21. att. **Operatora A ražīguma izmaiņas dinamika cirsmu izstrādes secībā pirms un pēc apmācībām pēc stumbra tilpuma pārrēķina uz 0.1 m^3** (\pm standartkļūda)

Veicot simulāciju, operatoram B pirms apmācībām 8 cirsmu griezumā tika novērota tendence darba ražīgumam palielināties (3.22. att.). Vidējais darba ražīgums šajā periodā bija

$8.51 \pm 0.58 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Pēc apmācībām darba ražīgums palielinājās līdz $10.25 \pm 0.37 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, un šajā periodā novērojama tendences līknes paaugstināšanās, kas liecina par pakāpenisku darba ražīguma pieaugumu.

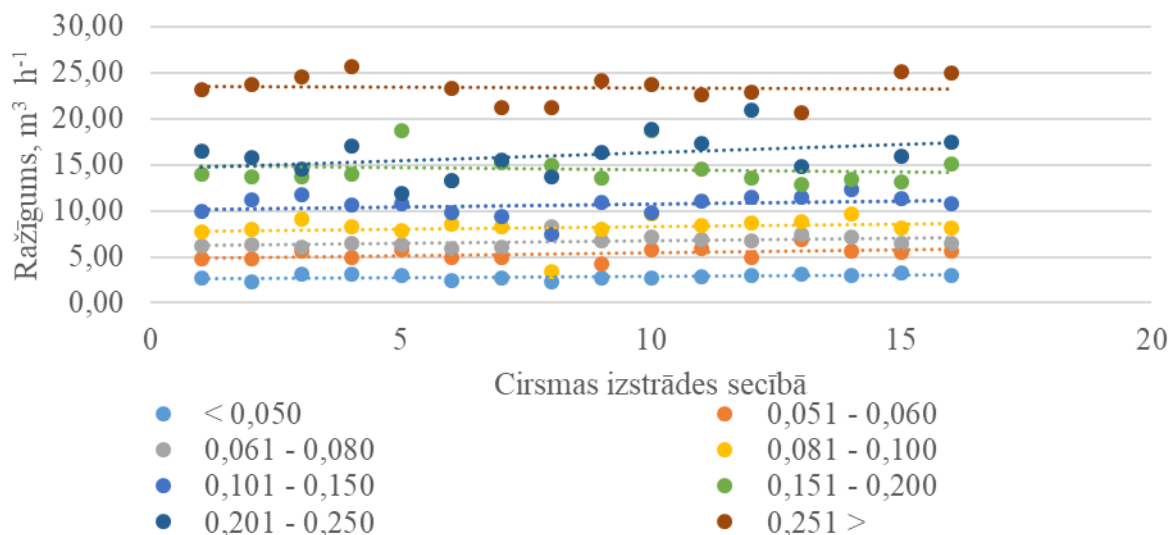


3.22. att. **Operatora B ražīguma izmaiņas cirsma izstrādes secībā pirms un pēc apmācībām pēc stumbra tilpuma pārrēķina uz 0.1 m^3 (\pm standartklūda)**

Veicot darba ražīguma pārrēķinu, izmantojot vienotu stumbra tilpumu, ir redzams, ka pēc apmācībām abiem operatoriem, izslēdzot mainīgo parametru – stumbra tilpumu –, novērojams darba ražīguma pieaugums. Līdz ar to 3.19. un 3.20. attēlā pēc apmācībām novērotais darba ražīguma samazinājums nav pilnīgi korekts.

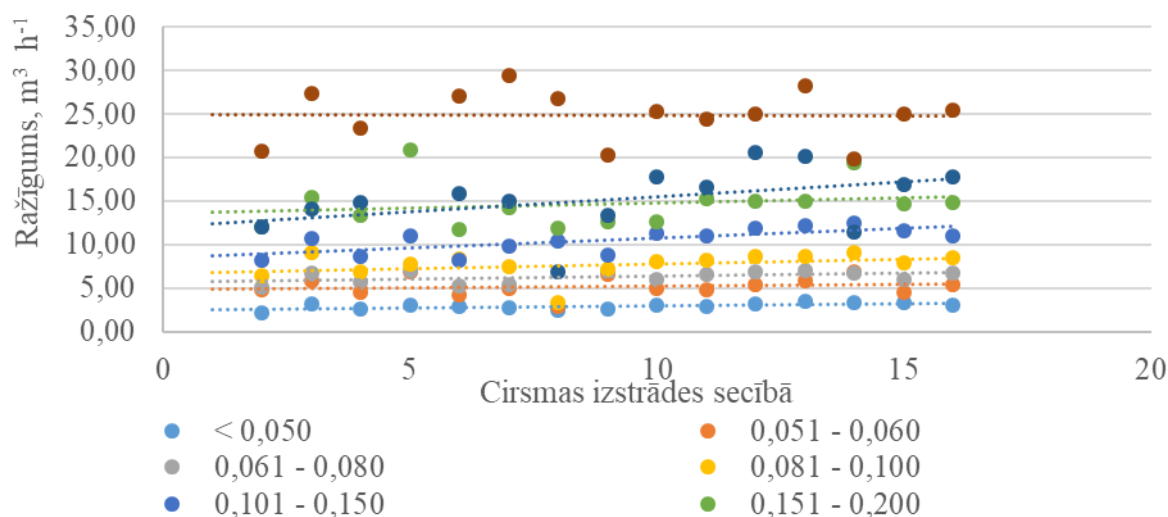
Nemot vērā, ka abiem operatoriem rezultāti pirms un pēc apmācībām būtiski atšķiras ($p < 0.05$), turpmākajā analizē pakāpeniski tiks noskaidrota mainīgo parametru (apmācības, stumbra tilpums, caurmērs un koka suga) ietekme.

Savukārt situācija 8 cirsma griezumā pirms un pēc apmācībām, izdalot stumbra tilpuma grupas, ir savādāka. Operatoram A, izdalot ražīgumu pēc tilpuma grupām, nav vizuāli pamanāma tik strauja ražīguma samazinājuma tendence kā 3.19. attēlā. Drīzāk ražīguma līknes atsevišķās tilpuma grupās uzrāda augšupejošu tendenci (3.23. att.).



3.23. att. **Operatora A darba ražīguma izmaiņas, izdalot stumbra tilpuma grupas**

Arī operatoram B, izdalot ražīgumu pēc tilpuma grupām, grafikā lielākajā daļā tilpuma grupu novērojams ražīguma pieaugums. Tas norāda, ka pēc apmācībām ražīguma uzlabošanās tendence ir vērojama arī šajā operatora grupā, kas papildina iepriekšējo secinājumu par pozitīvo apmācību ietekmi (3.24. att.).



3.24. att. **Operatora B darba ražīguma izmaiņas, izdalot stumbra tilpuma grupas**

3.23. attēlā redzams, ka operatoram A pēc apmācībām ražīgums nedaudz samazinājies, kas saskan ar negatīvo tendences līknes koeficientu 3.19. attēlā, kā arī samazinājusies datu izkliede. Operatoram A ražīgums pirms un pēc apmācībām būtiski atšķiras ($p < 0.05$). Līdzīgs rezultāts novērots arī operatoram B (3.24. att.), kur arī darba ražīgums būtiski atšķiras pirms un pēc apmācībām.

Ņemot vērā iegūtos rezultātus, būtu nepamatoti veikt secinājumus par apmācību efektivitāti, balstoties tikai uz kopējiem vidējiem rādītājiem. Šobrīd nav iespējams precīzi noteikt, kurš mainīgais faktors kompensējis cita mainīgā vērtības izmaiņas.

Lai iegūtu precīzākus secinājumus par apmācību efektivitāti, nepieciešams veikt detalizētāku analīzi, ņemot vērā katra mainīgā faktora ietekmi atsevišķi. Abiem operatoriem ražīguma rādītāji pēc tilpumu grupu izdalīšanas, kas samazina stumbra tilpuma ietekmi, ir apkopoti, un tas ļauj labāk novērtēt apmācību efektu, ņemot vērā precīzākus datus par darba ražīgumu 3.5. tabulā.

3.5. tabula

Operatoru darba ražīguma izmaiņa pirms un pēc apmācībām, apstrādājot bērzu, egli un priedi

Operators	Tilpuma grupa	Periods	Vidējais ražīgums, $m^3 \cdot h^{-1}$	Minimālais ražīgums, $m^3 \cdot h^{-1}$	Maksimālais ražīgums, $m^3 \cdot h^{-1}$	Standartklūda	Mediāna	p-vērtība
A	< 0.050	Pirms	2.97	0.29	0.23	0.05	2.49	0.21
		Pēc	3.05	12.89	12.52	0.04	2.66	
	0.051 – 0.060	Pirms	5.38	1.48	12.78	0.14	5.22	0.01
		Pēc	5.97	1.19	12.79	0.13	5.56	
	0.061 – 0.080	Pirms	6.39	1.82	16.81	0.14	6.25	0.00
		Pēc	7.09	1.35	19.02	0.13	6.66	
	0.081 – 0.100	Pirms	8.41	2.25	20.07	0.22	7.99	0.28
		Pēc	8.70	1.82	19.72	0.16	8.59	
	0.101 – 0.150	Pirms	10.95	2.48	29.49	0.23	10.30	0.09
		Pēc	11.41	1.99	29.68	0.17	11.27	
	0.151 – 0.200	Pirms	14.39	3.58	36.06	0.29	13.93	0.43
		Pēc	14.72	3.65	35.81	0.29	13.82	

3.5. tabulas turpinājums

Operators	Tilpuma grupa	Periods	Vidējais ražīgums, $m^3 \cdot h^{-1}$	Minimālais ražīgums, $m^3 \cdot h^{-1}$	Maksimālais ražīgums, $m^3 \cdot h^{-1}$	Standartklūda	Mediāna	p-vērtība
	0.201 – 0.250	Pirms	16.87	5.26	39.98	0.38	14.93	0.03
		Pēc	18.15	3.83	38.96	0.46	17.64	
	0.250>	Pirms	24.33	6.68	49.48	0.35	23.27	0.62
		Pēc	23.95	5.82	49.82	0.68	22.67	
B	< 0.050	Pirms	2.93	0.29	12.54	0.04	2.50	0.00
		Pēc	3.20	0.23	12.78	0.03	2.80	
	0.051 – 0.060	Pirms	5.31	1.44	13.98	0.11	5.13	0.00
		Pēc	5.82	1.08	14.79	0.09	5.48	
	0.061 – 0.080	Pirms	6.18	1.57	16.81	0.10	5.76	0.00
		Pēc	7.11	1.35	19.02	0.09	6.51	
	0.081 – 0.100	Pirms	8.21	2.25	21.76	0.17	7.63	0.00
		Pēc	8.86	1.82	20.77	0.18	8.50	
	0.101 – 0.150	Pirms	10.47	2.48	29.49	0.16	9.73	0.00
		Pēc	11.68	1.99	29.77	0.12	11.18	
	0.151 – 0.200	Pirms	14.24	3.58	36.06	0.24	13.73	0.00
		Pēc	15.14	3.65	39.59	0.21	14.22	
	0.201 – 0.250	Pirms	16.28	4.84	39.98	0.31	13.74	0.00
		Pēc	18.15	3.83	39.93	0.33	17.28	
	0.250>	Pirms	24.44	4.73	49.88	0.29	23.07	0.83
		Pēc	24.55	5.62	49.82	0.46	22.73	

Kā redzams 3.5. tabulā, operatoram A būtisks ražīguma pieaugums novērojams tilpuma grupās 0.051–0.060 ($p < 0.05$), 0.201–0.250 ($p < 0.05$) un 0.061–0.080 ($p < 0.05$). Tomēr tilpuma grupā 0.151–0.200 novērots nebūtisks ražīguma samazinājums. Savukārt operatoram B būtisks ražīguma pieaugums ir novērojams visās tilpuma grupās ($p < 0.05$), izņemot grupu 0.250>, kur novērojams nebūtisks ražīguma samazinājums ($p > 0.05$).

Aplūkojot abu operatoru ražīgumu pirms un pēc apmācībām, ir nepieciešams veikt padziļinātu analīzi, lai precīzāk noteiktu apmācību ietekmi. Tas ļaus noskaidrot, kādos apstākļos operatoru ražīgums ir pieaudzis vai – tieši otrādi – samazinājies.

Nemot vērā, ka darba ražīguma rādītāji ir atkarīgi no vairākiem mainīgajiem lielumiem, lai noskaidrotu būtiskās izmaiņas iemeslus, nepieciešams izanalizēt ražīguma rādītājus, izdalot atsevišķas mainīgo lielumu komponentes. Tas ļaus detalizētāk izprast faktorus, kas ietekmē ražīguma izmaiņas un palīdzēs precīzāk novērtēt apmācību efektivitāti.

Operatora darba ražīguma analīze, izdalot caurmēru grupas

Lai izprastu pētāmo datu ietekmi un izmaiņas, jāņem vērā sekojošie aspekti:

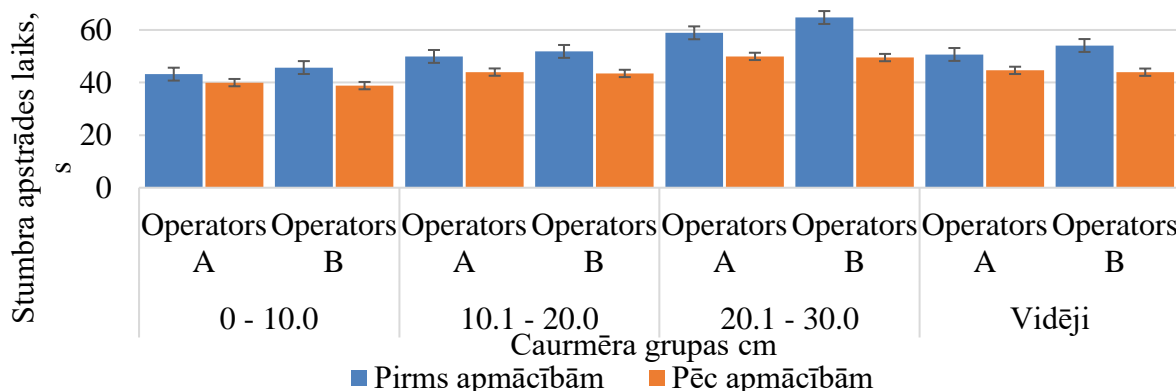
1) datu filtrēšana:

- ir izņemti koki ar caurmēru, kas pārsniedz 30.0 cm. Šis filtrs palīdz fokusēties uz koku caurmēriem, kas ir raksturīgi parastajiem apstākļiem, un novērst iespējamus izkropļojumus, kas varētu rasties no lieliem kokiem;

2) stumbra apstrādes laiks:

- pirms apmācībām: abiem operatoriem stumbra apstrādes laiks varētu būt atšķirīgs atkarībā no sākotnējās prasmes un pieredzes;

- pēc apmācībām: novērotais stumbra apstrādes laika samazinājums norāda uz iespējamo apmācību efektivitāti, jo operatori pēc apmācībām varētu veikt darbus ātrāk un efektīvāk;
- 3) analīze:
- datu apstrāde: atsevišķu grupu analīze var palīdzēt izprast, vai apmācības ietekme ir konsekventa visās grupās un vai ir ievērojamas variācijas;
 - stumbra caurmēra ietekme: ja pēc apmācībām novērojama stumbra apstrādes laika samazināšanās, tas var liecināt par uzlabotu efektivitāti, kas īpaši svarīgi vidējos un mazākos kokiem, kur apmācības efektivitāte varētu būt visredzamākā (3.25. att.).



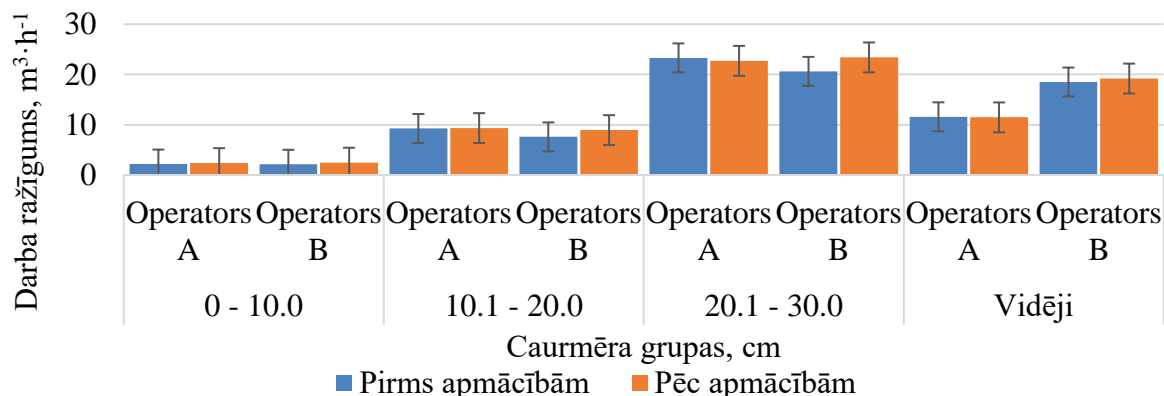
3.25. att. **Stumbra apstrādes laika izmaiņas, izdalot caurmēra grupas** (\pm standartklūda)

Analizētie dati rāda, ka apmācības ir ievērojami uzlabojušas operatoru stumbra apstrādes efektivitāti, kas atspoguļojas apstrādes laika samazinājumā. Šādi dati var palīdzēt novērtēt apmācību efektivitāti un tās ietekmi uz darba ražīgumu. Aplūkojot stumbra apstrādes laiku, noskaidrots, ka:

- operatoram A: stumbra apstrādes laiks ir samazinājies par 14%, kas ir statistiski nozīmīgs ($p < 0.05$); samazinājums ir vislielākais caurmēra grupā 20.1–30.0 cm (18%), kas var liecināt, ka apmācības ir bijušas efektīvākas lielākiem kokiem;
- operatoram B: samazinājums ir ievērojami lielāks – 23% ($p < 0.05$) ar vislielāko samazinājumu caurmēra grupā 20.1–30.0 cm (31%), kas var liecināt par apmācību ļoti efektīvu ietekmi uz lielākiem kokiem.

Aplūkojot atsevišķas caurmēra grupas, konstatēts, ka operatoram A caurmēra grupā 0–10.0 cm stumbra apstrādes laiks samazinājās par 8%, caurmēra grupā 10.1–20.0 cm stumbra apstrādes laiks samazinājās par 14%, bet caurmēra grupā 20.1–30.0 cm stumbra apstrādes laiks samazinājās par 18%. Operatoram B caurmēra grupā 0–10.0 cm stumbra apstrādes laiks samazinājās par 18%, caurmēra grupā 10.1–20.0 cm stumbra apstrādes laiks samazinājās par 19%, bet caurmēra grupā 20.1–30.0 cm stumbra apstrādes laiks samazinājās par 31%.

Tālāk tiek noskaidrots, kā stumbra apstrādes laika samazinājums ietekmē darba ražīgumu. Abu operatoru darba ražīguma izmaiņas attēlotas 3.26. attēlā.



3.26. att. **Darba ražīguma izmaiņas, izdalot caurmēra grupas** (\pm standartklūda)

Analizējot darba ražīguma izmaiņas, ņemot vērā stumbra apstrādes laika samazinājumu, ir svarīgi izprast, kādi faktori varētu ietekmēt darba ražīguma samazināšanos, īpaši attiecībā uz lielākiem stumbriem. Šeit ir detalizēta analīze, kas var palīdzēt izprast novērotās izmaiņas:

Operatora A

1. Vispārējā darba ražīguma samazināšanās:

➤ vidējais darba ražīgums: operatoram A ir novērots vidējais darba ražīguma samazinājums par 1%. Tas ir nepatīkams, ņemot vērā stumbra apstrādes laika samazināšanos, kam teorētiski būtu jāuzlabo ražīgums.

2. Ražīguma izmaiņas caurmēra grupās:

➤ 0–10.0 cm: darba ražīgums palielinājās par 8%, kas liecina par pozitīvu efektu mazākiem stumbriem ($p > 0,05$);

➤ 10.1–20.0 cm darba ražīgums palielinājās par 1%, kas norāda uz nelielu uzlabojumu ($p > 0,05$);

➤ 20.1–30.0 cm: darba ražīgums samazinājās par 3%, kas ir pretējs vēlamajam rezultātam ($p > 0,05$).

Iespējamie iemesli:

➤ tehniskie aspekti: varbūt operatoram A bija grūtības ar lielākiem stumbriem, kas varētu būt saistīts ar harvesteru pozīcijas izvēli;

➤ apmācību efektivitāte: apmācības varbūt nav pilnībā risinājušas problēmas ar lielākiem stumbriem, kas varētu ietekmēt ražīgumu šajās grupās;

➤ caurmēra izmaiņas: lielāki stumbri prasa vairāk laika un uzmanības, kas varētu negatīvi ietekmēt ražīgumu.

Operatora B

1. Vispārējā darba ražīguma pieaugums:

➤ vidējais darba ražīgums: operatoram B ir novērots vidējais darba ražīguma pieaugums par 4%, kas liecina par labāku apmācību efektivitāti.

2. Darbs ražīguma izmaiņas caurmēra grupās:

➤ 0–10.0 cm: darba ražīgums palielinājās par 13% ($p > 0,05$);

➤ 10.1–20.0 cm: darba ražīgums palielinājās par 15% ($p > 0,05$);

➤ 20.1–30.0 cm: darba ražīgums palielinājās par 12% ($p > 0,05$).

Iespējamie iemesli:

➤ tehniskie uzlabojumi: operatoram B var būt labāka tehniskā sagatavotība, kas palīdz uzlabot ražīgumu;

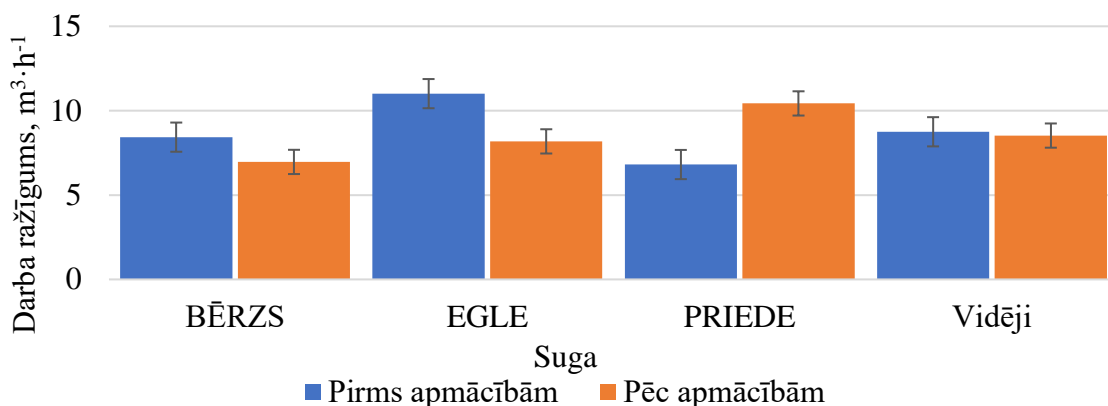
➤ apmācību efektivitāte: apmācības, iespējams, bija efektīvākas operatoram B, kas veicināja labāku rezultātu visās caurmēra grupās.

Sugas ietekme uz darba ražīgumu izdalot katru operatoru atsevišķi

Lai noskaidrotu iemeslus, kāpēc operatoriem ir tieši šādi darba ražīguma izmaiņu rādītāji, tiek aplūkotas stumbra apstrādes laika un darba ražīguma izmaiņas cirsmu izstrādes secībā pirms un pēc apmācībām, kā arī tiek analizēta stumbra apstrādes laika un darba ražīguma izmaiņu dinamika.

Operators A

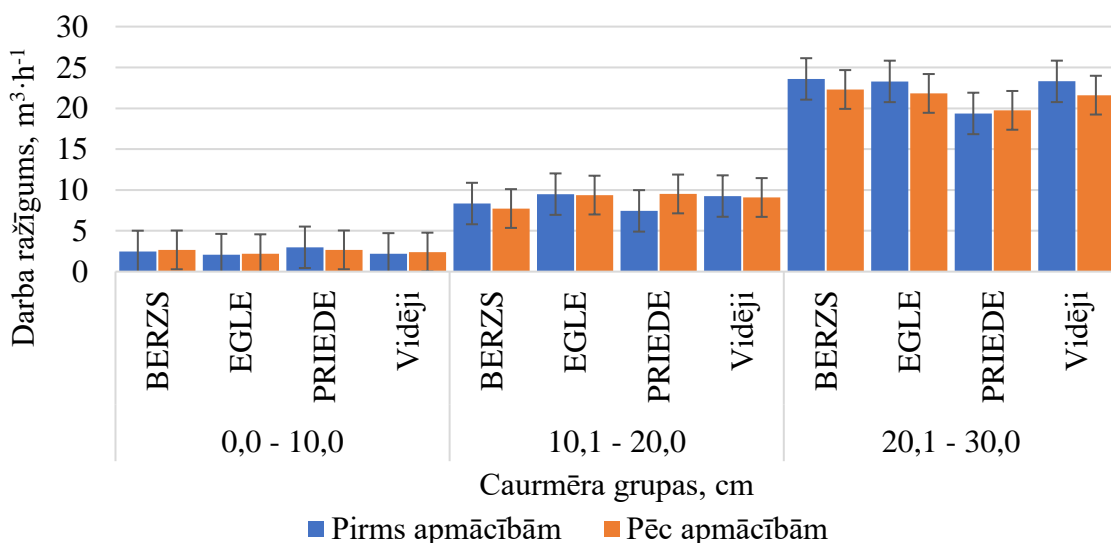
3.27. attēlā redzami operatora A darba ražīguma izmaiņas dati pirms un pēc apmācībām, izdalot koku sugas. Veicot dispersijas analīzi, noskaidrots, ka operatora A darba ražīgumu ietekmē gan koku suga, gan apmācības ($p < 0,05$). Nosakot apmācību un koku sugas mijiedarbības efektu, konstatēts, ka darba ražīguma izmaiņas ietekmē abi minētie faktori un starp tiem pastāv mijiedarbības efekts ($p < 0,05$).



3.27. att. Operatora A darba ražīguma izmaiņas pēc koka sugas (\pm standartklūda)

Aplūkojot darba ražīguma izmaiņas pēc apmācībām, redzams, ka operatora A vidējais darba ražīgums sugu griezumā ir mainījies šādi: apstrādājot bērzu, samazinājās par 30%; apstrādājot egli, samazinājās par 29%; savukārt apstrādājot priedi, palielinājās par 27%. Vidējais darba ražīgums pēc apmācībām, neņemot vērā koku sugu, samazinājās par 29%. Tas liecina, ka apmācībām bija negatīva ietekme. 3.27. attēlā redzams, ka operatoram A problēmas rada bērza un egles apstrāde.

Turpmākajā analizē izdalītas koku sugas un caurmēra grupas, lai noteiktu, kurās caurmēra grupās darba ražīgums ir izmainījies (3.28. att.). Darba ražīguma izmaiņas novērojamas visām trim koku sugām visās caurmēra grupās (D_{1.3}).



3.28. att. Operatora A darba ražīguma izmaiņas pirms un pēc apmācībām, izdalot caurmēra grupu un koku sugu (\pm standartklūda)

Pēc 3.28. attēlā atspoguļotās informācijas redzams, ka vislielākās ražīguma izmaiņas operatoram A novērojamas caurmēra grupā 20.1–30.0 cm ($p > 0,05$). Šajā grupā, kur ir lielākie stumbru tilpumi, ir novērotas vislielākās negatīvās ražīguma izmaiņas, kas galarezultātā pasliktina kopējos rezultātus. Attēlā redzams, ka vislielākais darba ražīguma samazinājums rodas, apstrādājot bērzu un egli šajā caurmēra grupā. Tas liecina, ka nepieciešams izpētīt, kāpēc ražīgums šajā grupā samazinājies. Iespējams, tas saistīts ar sortimentu novērtējumu pirms sagarumošanas. Operatora A procentuālās darba ražīguma izmaiņas atspoguļotas 3.6. tabulā.

Operatora A darba ražīguma izmaiņas apmācību rezultātā

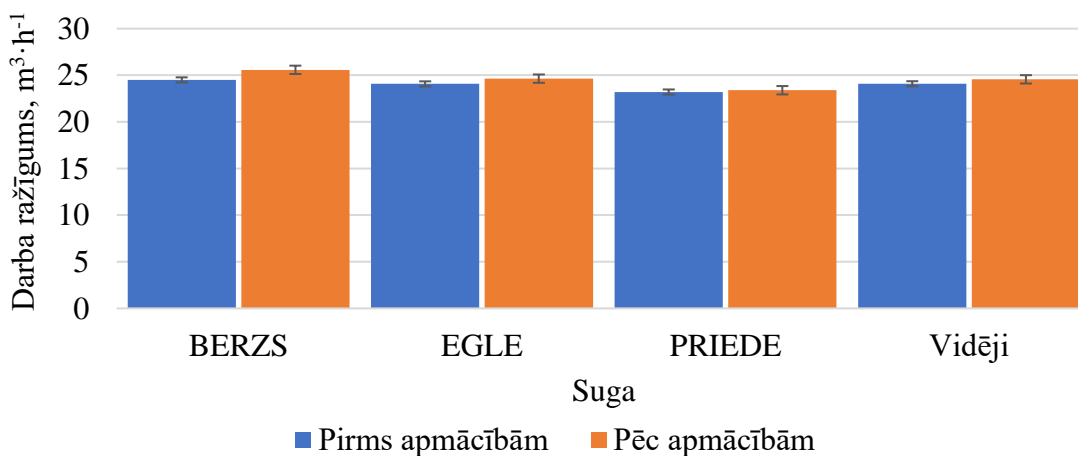
Koku suga	Caurmēra grupa, cm		
	0–10.0	10.1–20.0	20.1–30.0
Bērzs	7%	-8%	-6%
Egle	5%	-1%	-7%
Priede	-12%	22%	2%
Vidēji	9%	-2%	-8%

Aplūkojot procentuālās darba ražīguma izmaiņas, redzams, ka operatoram A pēc apmācībām darba ražīgums samazinājies par 1% ($p>0,05$). Tomēr, detalizētāk analizējot, konstatēts, ka bērzam darba ražīgums samazinājies caurmēra grupās 10.1–20.0 cm un 20.1–30.0 cm ($p>0,05$), savukārt egles darba ražīgums arī samazinājies šajās pašās grupās ($p>0,05$). Priedei darba ražīgums samazinājies, apstrādājot sortimentus caurmēra grupā 0–10.0 cm ($p>0,05$).

Ņemot vērā, ka vidējais darba ražīgums pēc apmācībām samazinājies tikai par 1%, operatoram A būtu nepieciešams veikt padziļinātu analīzi katrai caurmēra grupai. Tas palīdzētu noskaidrot, vai darba ražīguma samazināšanās, apstrādājot kokus noteiktās caurmēra grupās, ir nejauša parādība vai pastāvīga tendence, kas varētu būt saistīta ar pielietotajām darba metodēm vai ar sagatavojamo sortimentu daudzumu un kvalitātes prasībām. Pēdējais aspekts varētu prasīt papildu laiku sortimentu kvalitātes novērtēšanai, kas arī var ietekmēt darba ražīgumu.

Operators B

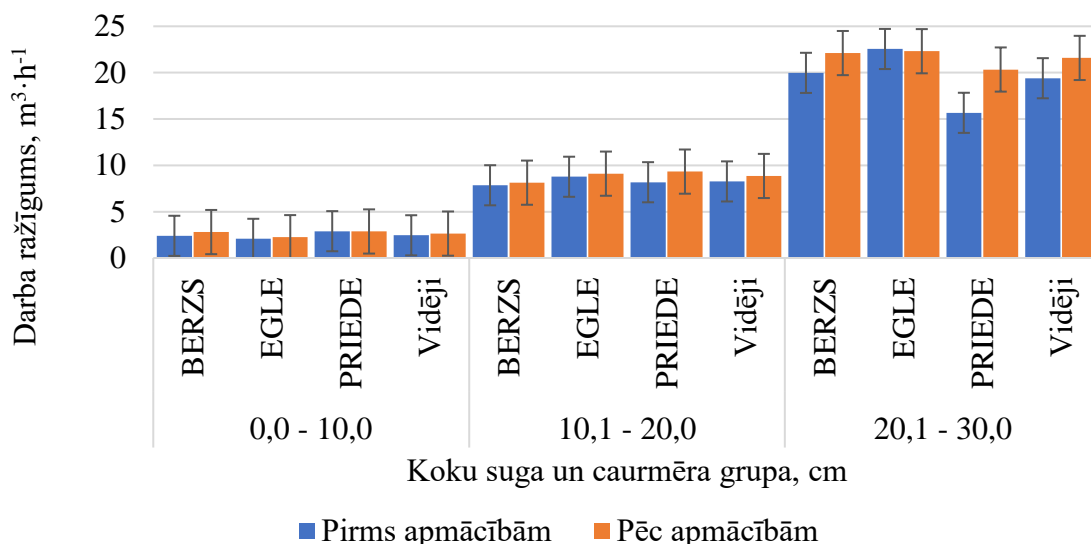
3.29. attēlā attēloti operatora B darba ražīguma izmaiņu dati pirms un pēc apmācībām, izdalot dažādas koku sugas. Pārbaudot darba ražīguma atšķirības koku sugu griezumā, konstatētas būtiskas atšķirības ($p<0,05$), kā arī novērota būtiska apmācību ietekme ($p<0,05$). Tomēr mijiedarbības efekts starp koku sugu un apmācībām nepastāv ($p>0,05$).



3.29. att. **Operatora B darba ražīguma izmaiņas pēc koka sugas** (\pm standartklūda)

Pēc apmācībām operatora B vidējais darba ražīgums palielinājās par 4%, apstrādājot bērzu ($p<0,05$); par 2%, apstrādājot egli ($p>0,05$); par 1%, apstrādājot priedi ($p>0,05$). Vidējais darba ražīgums, neņemot vērā koku sugu, palielinājās par 2% ($p>0,05$).

Turpmākajā analīzē izdalītas koku sugas atsevišķās caurmēra grupās, lai noteiktu, kurās caurmēra grupās darba ražīgums ir mainījies (3.30. att.). Darba ražīguma izmaiņas tiek novērotas visām pētāmajām koku sugām visās caurmēra grupās.



3.30. att. Operatora B darba ražīguma izmaiņas pirms un pēc apmācībām, izdalot caurmēra grupu un koku sugu (\pm standartklūda)

Procentuālā darba ražīguma izmaiņa operatoram B attēlota 3.7. tabulā.

3.7. tabula

Operatora B darba ražīguma izmaiņas apmācību rezultātā

Koku suga	Caurmēra grupa		
	0–10.0 cm	10.1–20.0 cm	20.1–30 cm
Bērzs	15%	3%	10%
Egle	8%	4%	-1%
Priede	-1%	12%	23%
Vidēji	7%	7%	10%

Ievērojot gan koku sugu, gan caurmēra grupas, pēc apmācībām operatoram B:

- caurmēra grupā 0–10.0 cm darba ražīgums palielinājās, apstrādājot bērzu un egli, savukārt, apstrādājot priedi, šajā grupā darba ražīgums samazinājās par 1%, tomēr vidējais darba ražīgums kopumā pieauga par 7% ($p > 0,05$);
- caurmēra grupā 10.1–20.0 cm novērojams darba ražīguma pieaugums visām koku sugām, un kopējais darba ražīgums šajā grupā palielinājās par 7% ($p > 0,05$);
- caurmēra grupā 20.1–30 cm, apstrādājot egli, darba ražīgums samazinājās par 1%, bet vidējais darba ražīgums pieauga par 10% ($p > 0,05$).

Ņemot vērā iegūtos rezultātus, apmācību instruktoram būtu lietderīgi pievērst īpašu uzmanību tām pozīcijām, kur novērots darba ražīguma samazinājums.

Izmantojot atbilstoši standartam *StanForD 2010* automātiski iegūtos datus no harvesteras informācijas sistēmas, tika noskaidrots, ka pēc vienas dienas apmācībām abiem operatoriem darba ražīgums palielinājās attiecīgi par 2% un 40%. Tomēr, veicot nedaudz plašāku analīzi, atklājās, ka pēc apmācībām abiem operatoriem atsevišķās gradācijas klasēs tika novērots darba ražīguma samazinājums. Kā savā pētījumā norādījuši Dvořák et al., operatora uzvedības un lēmumu pieņemšanas īpatnības būtiski ietekmē mašīnu darbību un kopējo efektivitāti (Dvořák J. et al., 2008). Operatora lomas nozīmi mehanizēto procesu efektivitātē savā darbā analizējis arī Malinen (Malinen, 2018), norādot, ka operatora vecums un pieredze var ietekmēt kognitīvās spējas (Kirk et al., 1997). Līdz ar to operatora darba ražīguma pazemināšanās pēc apmācībām, iespējams, saistīta ar instruktora sniegto rekomendāciju apgūšanu.

3.3.2. John Deere harvesteru programmas TimberOffice™ izmantošana operatoru darba ražīguma analizē

Operatoru vidējie darba ražīguma rādītāji attēloti 3.8. tabulā.

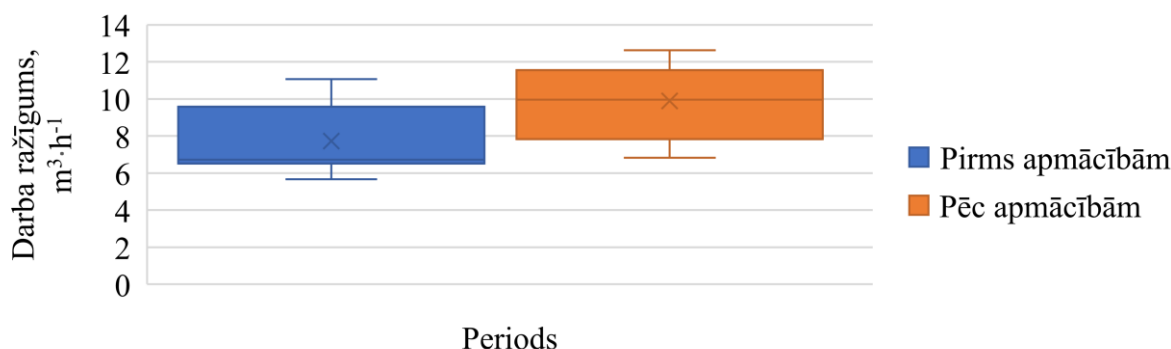
3.8. tabula

Operatoru C un D darba ražīguma rādītāji pirms un pēc apmācībām

Periods	Apstrādātie stumbri, gab.	Vidējais stumbra tilpums, m ³	Vidējais stumbra apstrādes laiks, s	p-vērtība (apmācību ietekme uz stumbra apstrādes laiku apstrādes laiku)	Darba ražīgums, m ³ ·h ⁻¹	p-vērtība (apmācību ietekme uz ražīgumu)
Operators C						
Pirms	7750	0.09±0.01	79.9 ± 4.6	0.04	7.72 ± 0.61	0.02
Pēc	10752	0.12±0.01	80.4 ± 2.5		9.11 ± 0.65	
Operators D						
Pirms	16183	0.09±0.01	50.7 ± 2.7	0.03	7.86 ± 0.57	0.04
Pēc	6139	0.13±0.01	59.8 ± 2.9		13.87 ± 1.15	

Operators C

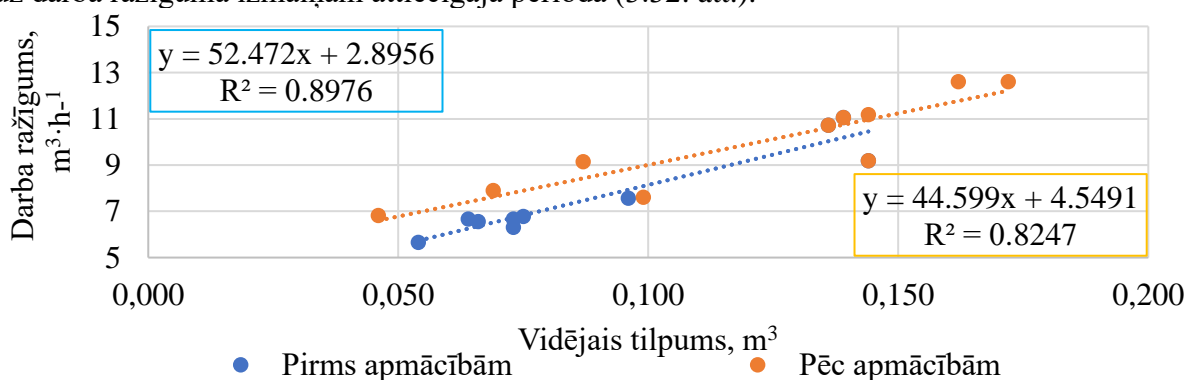
Pēc 3.9. tabulā redzamās informācijas tika veikts Šapiro–Vilkokson tests, lai pārbaudītu datu atbilstību normālajam sadalījumam. Rezultāti rāda, ka pie būtiskuma līmeņa $\alpha = 0.05$ operatoram C darba ražīguma dati atbilst normālam sadalījumam ($p > 0.05$). Tādēļ, lai noteiktu darba ražīguma atšķirību būtiskumu, tika izmantots T tests. Rezultāti parādīja, ka pie būtiskuma līmeņa $\alpha = 0.05$ operatora C stumbra tilpumam pēc apmācībām nav būtiska palielinājuma ($p > 0.05$), bet darba ražīgums ir būtiski palielinājies ($p < 0.05$). Pēc apmācībām operatora C darba ražīgums palielinājās par 28% (3.31. att.).



3.31. att. Operatora C darba ražīguma izmaiņa pēc apmācībām

Lai noskaidrotu, kuram no faktoriem – stumbra vidējam tilpumam vai apmācībām – ir lielāka ietekme, tiek veikta regresijas analīze. Pēc regresijas analīzes operatoram C tiek iegūts kopējais regresijas vienādojums (2.1), kas norāda, ka pie vērtībām $V_p = 0$ un $A_f = 0$, darba ražīgums ir $3.326 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Ņemot vērā, ka būtiskuma līmenis $p < 0.05$, koeficients ir statistiski nozīmīgs. Pie koeficienta vērtības 47.786 un būtiskuma līmeņa $p = 0.05$ stumbra vidējā tilpuma ietekme šajā modelī ir nozīmīga. Savukārt apmācību faktora koeficienta vērtība 0.841 liecina, ka darba ražīgums pēc apmācībām ir augstāks, un ar $p < 0.05$ apmācību ietekme ir statistiski nozīmīga. Regresijas rezultātā iegūtais $R^2 = 0.889$ par 89% izskaidro darba ražīguma datu variabilitāti, un $p < 0.05$ norāda uz modeļa statistisko nozīmīgumu un piemērotību datiem.

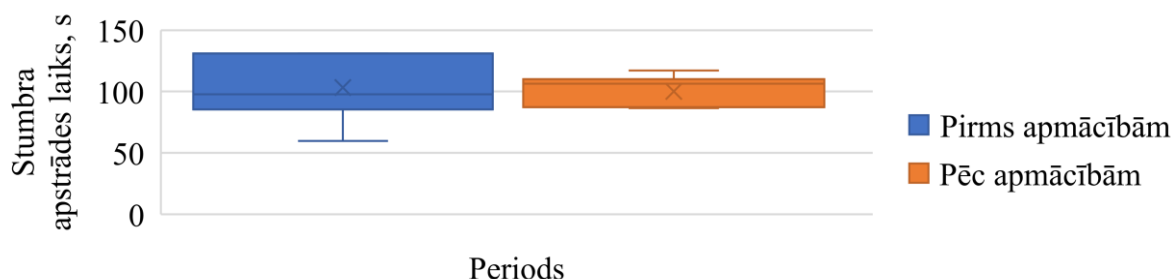
Dotajā situācijā regresijas analizē, nodalot darba ražīgumu pirms un pēc apmācībām, tiek noskaidrots, kuram faktoram – stumbra vidējam tilpumam vai apmācībām – ir lielāka ietekme uz darba ražīguma izmaiņām attiecīgajā periodā (3.32. att.).



3.32. att. **Operatora C apmācības faktora ietekme uz darba ražīgumu**

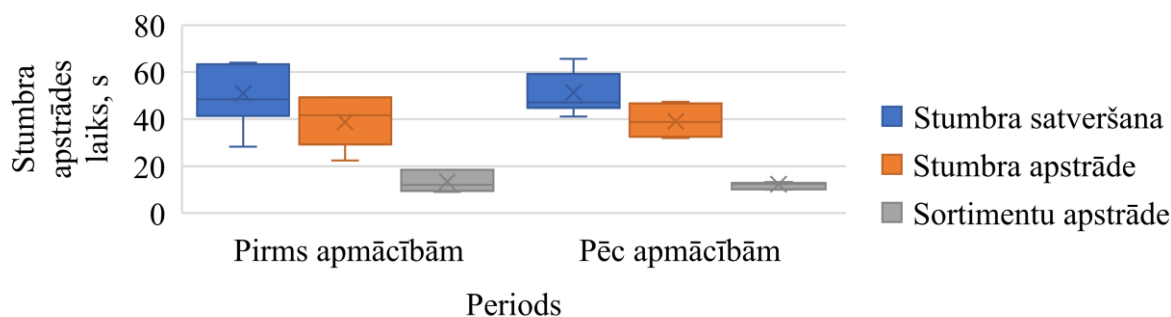
Pirms apmācībām operatoram C stumbra vidējais tilpums ($a = 52.472$) ietekmēja darba ražīgumu vairāk nekā pēc apmācībām ($a = 44.599$). Savukārt pēc apmācībām koeficienta b vērtība palielinājās no 2.8956 līdz 4.5491, kas norāda, ka pie stumbra vidējā tilpuma 0 m^3 darba ražīgums pēc apmācībām ir lielāks. Tas liecina par kopējo darba ražīguma pieaugumu, neatkarīgi no stumbra tilpuma.

Aplūkojot operatora C kopējo vidējo stumbra apstrādes laiku pirms un pēc apmācībām (3.33. att.), redzams, ka pēc apmācībām operatoram C samazinājusies stumbra apstrādes laika vidējā vērtība no 103.1 ± 8.3 sekundēm uz 99.9 ± 4.1 sekundēm. Mediāna palielinājās no 97.7 sekundēm uz 106.4 sekundēm norāda, ka datu sadalījums mainījies un pēc apmācībām lielākā daļa datu koncentrēti ap augstāku vidējo vērtību. Pirms apmācībām dominēja augsta modas vērtība 130.9, kas pēc apmācībām samazinājusies uz 106.4. Standartnovirzes samazinājums no 26.2 uz 12.3 liecina, ka pēc apmācībām dati kļuvuši viendabīgāki, ar mazāku izkliedi, liecinot par stabilāku un viendabīgāku sniegumu. Stumbra apstrādes laiku samazinājums ir būtisks ($p < 0.05$).



3.33. att. **Operatora C stumbra apstrādes laika izmaiņa pirms un pēc apmācībām**

Ņemot vērā harvestera informācijas sistēmas operāciju izpildes laiku reģistrācijas iespējas un ievērojamo stumbra apstrādes laika samazinājumu, turpmāk tiek analizēti rezultāti ar mērķi noskaidrot, kuras operāciju izpildes daļas stumbra apstrādē visvairāk ietekmē kopējo stumbra apstrādi un kurās operācijās operatoram nepieciešams pievērst pastiprinātu uzmanību, lai panāktu turpmāku apstrādes laika samazinājumu (3.34. att.).



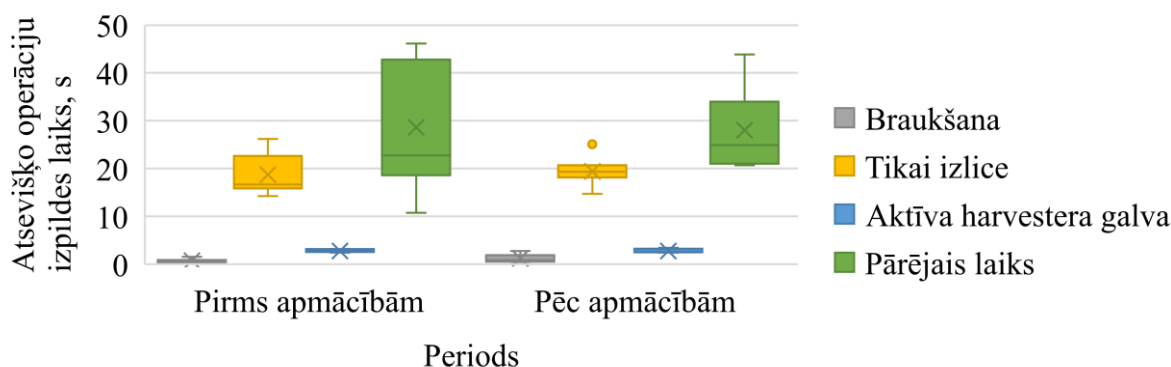
3.34. att. **Operatora C stumbra apstrādes posmu laiku izmaiņas**

Aplūkojot 3.34. attēlu, redzams, ka pēc apmācībām stumbra satveršanas vidējais operācijas izpildes palielinājās no 50.9 ± 3.9 sekundēm uz 51.3 ± 2.8 sekundēm, bet mediāna samazinājās no 48.4 sekundēm uz 47.1 sekundēm. Modas vērtība samazinājās no 63.4 sekundēm uz 47.1 sekundēm, kā arī samazinājās izkliede, ko apliecina standartnovirzes kritums no 3.9 sekundēm uz 2.8 sekundēm. Kopumā iegūtie rezultāti liecina par nelielām izmaiņām stumbra satveršanā pēc apmācībām, uzlabojot precizitāti un rezultātu koncentrāciju, tomēr izmaiņas nav statistiski būtiskas ($p > 0.05$).

Stumbra apstrādes vidējais laiks pēc apmācībām nedaudz palielinājās no 38,8 sekundēm uz 39.1 sekundēm, savukārt gan mediāna, gan moda samazinājās, liecinot, ka vērtības koncentrējas uz zemāko robežu. Tāpat standartnovirzes samazinājums no 10.6 sekundēm uz 6.0 sekundēm norāda uz mazāku rezultātu izkliedi pēc apmācībām. Arī šeit rezultāti liecina par uzlabotu stumbra apstrādes precizitāti un mazāku izkliedi ap vidējo vērtību, taču izmaiņas nav statistiski nozīmīgas ($p > 0.05$).

Sortimentu apstrādes vidējais laiks samazinājās no 13.3 sekundēm uz 12.2 sekundēm, un šis laika samazinājums ir statistiski nozīmīgs ($p < 0.05$). Mediāna nedaudz palielinājās, tuvojoties vidējam rādītājam, savukārt modas vērtība samazinājās. Standartnovirzes ievērojamais kritums no 4.27 uz 2.32 norāda uz mazāku rezultātu izkliedi pēc apmācībām. Kopumā rezultāti liecina par uzlabotu operatora darba precizitāti, kas izpaužas samazinātā izklienē sortimentu apstrādē, un darba efektivitāti apliecina gan vidējās vērtības, gan standartnovirzes un dispersijas samazinājums, kas norāda uz konsekvētākiem rezultātiem pēc apmācībām.

Tā kā stumbra satveršana arī sastāv no vairākām operācijām, tad 3.35. attēlā attēlota stumbra satveršanas operāciju laika izmaiņa pirms un pēc apmācībām.



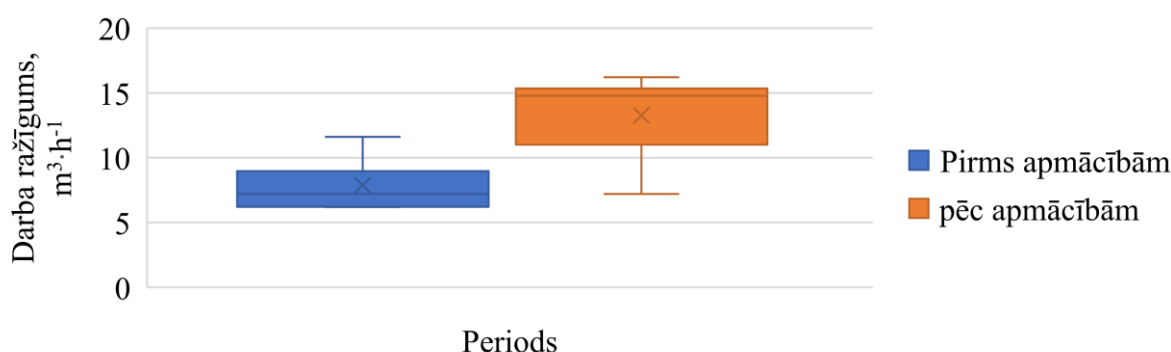
3.35. att. **Operatora C atsevišķo stumbra satveršanas operāciju izpildes laiki**

Aplūkojot 3.35. attēlu, noskaidrots, ka operatoram C pēc apmācībām, izpildot operāciju “stumbra satveršana”, būtiski ($p < 0.05$) palielinājies laiks, kas atvēlēts “braukšanai”, no 0.8 ± 0.1 sekundēm uz 1.2 ± 0.3 sekundēm. Standartnovirzes pieaugums no 0.36 uz 0.89 sekundēm norāda uz datu izklienē palielināšanos, tomēr vērtības joprojām koncentrējas ap zemām vērtībām. Operācijā “tikai izlice” izpildes laiks nedaudz palielinājies no 18.8 ± 1.4

sekundēm uz 19.4 ± 0.9 sekundēm, kas ir nebūtisks pieaugums ($p > 0.05$). Šo laika palielinājumu var vērtēt negatīvi, jo, tiecoties uz darba ražīguma paaugstināšanu, operatoram jācenšas šīs darbības izpildes laiku samazināt. To var panākt, apvienojot darbības un veicot kombinēto operāciju “izlice+braukšana,” tādējādi samazinot divu atsevišķu darbību izpildes laiku vienā. Pozitīvs aspekts ir datu izkliedes samazināšanās šajā darbībā, par ko liecina standartnovirzes samazināšanās no 4.4 uz 2.8 sekundēm.

Operators D

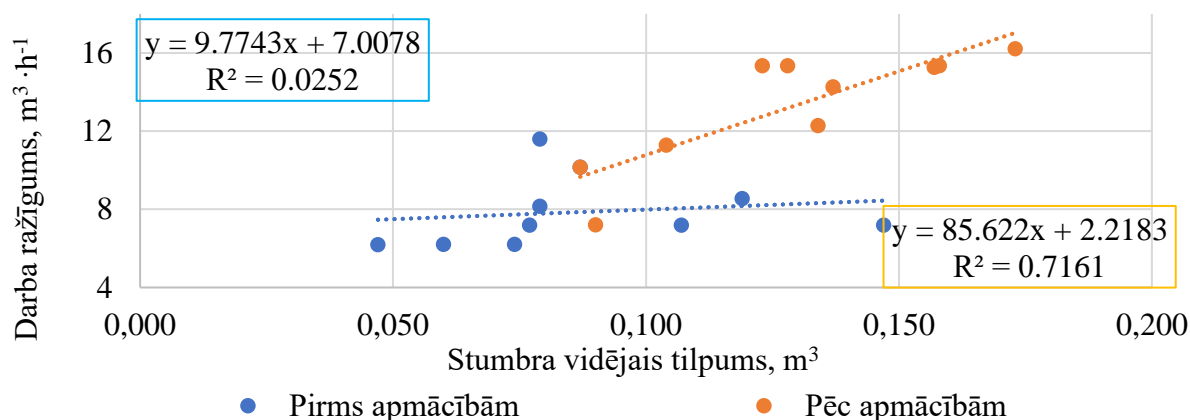
Pēc 3.7. tabulā redzamās informācijas tiek veikts Šapiro–Vilka tests lai pārbaudītu datu atbilstību normālajam sadalījumam. Rezultātā iegūts, ka pie būtiskuma līmeņa $\alpha = 0.05$ operatoram D darba ražīguma dati atbilst normālam sadalījumam ($p > 0.05$). Līdz ar to, lai noteiktu darba ražīguma atšķirību būtiskumu, tiek izmantots parametriskais T tests, kas uzrāda, ka pie būtiskuma līmeņa $\alpha = 0.05$ operatora D darba ražīgums pēc apmācībām būtiski palielinājies ($p < 0.05$). Pēc apmācībām operatoram D darba ražīgums palielinājās par 68% (3.36. att.), tomēr palielinājās arī datu izkliede, norādot uz lielāku rezultātu svārstību pēc apmācībām.



3.36. att. Operators D darba vidējā darba ražīguma izmaiņa pēc apmācībām

Iegūtais regresijas vienādojums (2.2) norāda, ka pie vērtībām $V_v = 0$ un $A_f = 0$, darba ražīgums ir $6.162 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Ņemot vērā, ka būtiskuma līmenis $p < 0.05$, koeficients ir statistiski nozīmīgs. Pie koeficienta vērtības 57.954 un būtiskuma līmeņa $p < 0.05$ stumbra vidējā tilpuma ietekme šajā modelī vērtējama kā nozīmīga. Pie apmācību faktora koeficienta vērtības 3.440 arī darba ražīgums pēc apmācībām ir augstāks, un pie $p < 0.05$ apmācību ietekme vērtējama kā statistiski nozīmīga. Regresijas rezultātā iegūts $R^2 = 0.751$, kas par 75% izskaidro darba ražīguma datu variabilitāti, un arī $p < 0.05$ norāda uz modeļa statistisko nozīmīgumu un piemērotību datiem.

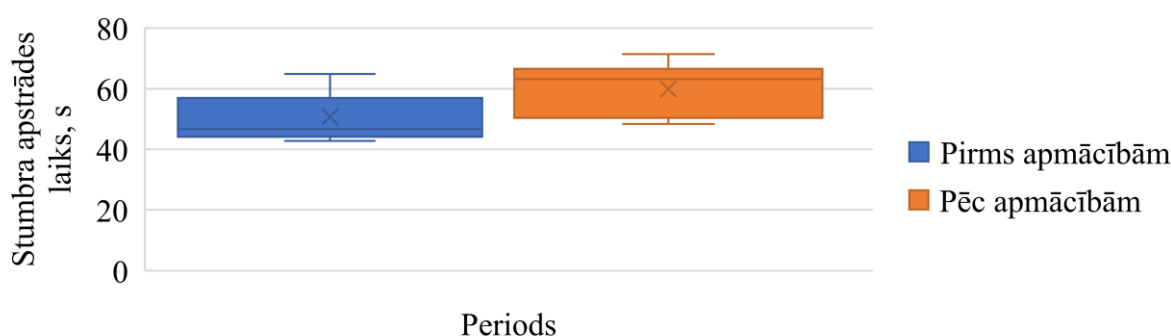
Veicot regresijas analīzi, darba ražīgums tiek analizēts atsevišķi pirms un pēc apmācībām, lai noskaidrotu, kuram faktoram – apmācībām vai stumbra vidējam tilpumam – ir lielāka ietekme uz darba ražīguma izmaiņām attiecīgajā periodā (3.37. att.).



3.37. att. Operatora D apmācības faktora ietekme uz darba ražīgumu

Pirms apmācībām operatoram D stumbra vidējais tilpums ($a = 9.7743$) atstāja mazāku ietekmi uz darba ražīgumu nekā pēc apmācībām ($a = 85.622$). Savukārt pēc apmācībām koeficienta b vērtība samazinājās no 7.0078 uz 2.2183, kas norāda, ka pie stumbra vidējā tilpuma 0 m^3 darba ražīgums pēc apmācībām ir lielāks, kas liek domāt par mazāku kopējo darba ražīguma pieaugumu neatkarīgi no stumbra tilpuma. Ņemot vērā, ka pēc apmācībām pieauga R^2 vērtība līdz 0.7161, tas norāda, ka 71% no darba ražīguma variācijām tiek izskaidrotas ar stumbra vidējā tilpuma izmaiņām.

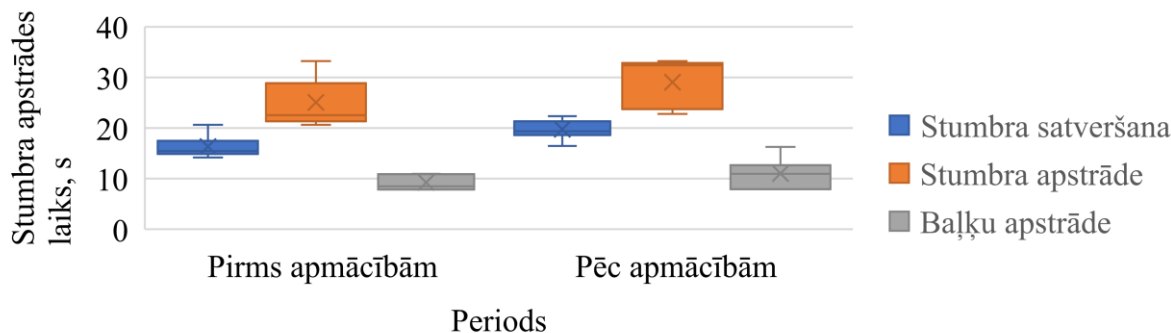
Aplūkojot operatora D kopējo vidējo stumbra apstrādes laiku pirms un pēc apmācībām (3.38. att.), redzams, ka pēc apmācībām operatoram D palielinājusies stumbra apstrādes operāciju izpildes laika vidējā vērtība no 50.7 ± 2.7 sekundēm uz 59.8 ± 2.9 sekundēm. Mediāna palielinājās no 46.7 sekundēm uz 63.2 sekundēm, kas norāda uz datu centru novirzi uz augšu, kā arī palielinājusies modas vērtība no 44.1 uz 50.3 sekundēm. Standartnovirzes pieaugums no 8.5 uz 9.1 norāda uz lielāku datu izkliedi pēc apmācībām, un rezultāti kļuvuši izkliedētāki. Lai gan atsevišķos deskriptīvajos statistikas rādītājos pirms un pēc apmācībām ir izmaiņas, kopumā dispersijās būtiskas atšķirības nav novērojamas ($p > 0.05$).



3.38. att. Operatora D stumbra apstrādes laika izmaiņa pirms un pēc apmācībām

Lai gan pēc apmācībām operatora D darba ražīgums palielinājās, arī stumbra apstrādes laiks palielinājās. Lai gan šis pieaugums nav statistiski būtisks, būtu lietderīgi izpētīt, kas izraisīja stumbra apstrādes laika palielinājumu un kur operators D savā darbā varētu pieļaut kļūdas. Tāpēc tiek veikta turpmākā analīze, līdzīgi kā operatoram C. Saskaņā ar harvestera informācijas sistēmas uzskaiti kopējais stumbra apstrādes laiks tiek sadalīts trīs posmos: stumbra satveršana, stumbra apstrāde un sortimentu apstrāde.

Novērojams, ka operatoram D pēc apmācībām visās trīs stumbra apstrādes pozīcijās palielinājies stumbra apstrādes laiks (3.39. att.). Stumbra satveršanas laiks pieaudzis no 16.4 ± 0.7 s uz 19.7 ± 0.6 s, taču samazinājusies standartnovirze no 2.3 uz 1.9, kas norāda uz mazāku datu izkliedi. Neskatoties uz vidējā stumbra satveršanas laika pieaugumu, rādītāji ir stabilizējušies, norādot uz viendabīgāku un stabilāku operatora veiktspēju stumbru atlasē, harvestera pozicionēšanā un stumbra satveršanā. Laika palielinājums varētu būt saistīts ar precīzāku harvestera pozīcijas izvēli.



3.39. att. Operators D stumbra apstrādes posmu laiki

Stumbra apstrādes vidējais laiks palielinājies no 25.1 ± 1.6 s uz 29.1 ± 1.5 s, taču palielinājums nav statistiski nozīmīgs ($p > 0.05$). Mediāna pieaugusi no 22.5 s uz 32.4 s, ar lielāko daļu vērtību virs vidējās. Nelielais standartnovirzes samazinājums no 4.9 uz 4,7 liecina par nedaudz samazinātu rezultātu izkliedi. Neskatoties uz stumbra apstrādes laika palielinājumu pēc apmācībām, ir redzama neliela tendence uzlabot stumbra apstrādes precizitāti.

Sortimentu apstrādē pēc apmācībām novērojams būtisks apstrādes laika pieaugums no 9.2 ± 0.5 s uz 11.0 ± 0.9 s ($p < 0.05$). Arī šeit palielinājusies standartnovirze no 1.5 uz 3.1 un dispersija no 2.3 uz 9.6, kas norāda uz lielāku apstrādes laika izkliedi un mazāku datu precizitāti.

Bez tālākas analīzes šajā situācijā grūti pieņemt konkrētus secinājumus, jo palielinājuma iemesli var būt dažādi — iespējams, neveiksmīgas apmācības vai operatoram ir grūtības pielāgoties jaunajiem apstākļiem.

Lai gan patērētā laika izmaiņas atsevišķu operāciju izpildē pēc apmācībām nav konstatētas, tomēr procentuālā izteiksmē uzlabojums operatoru darbā ir redzams 3.9. tabulā.

3.9. tabula

Patērētā laika izmaiņas atsevišķu operāciju izpildē, s

Periods	Operācija	Operators C			Operators D		
		Pirms	Pēc	Laika ekonomija %	Pirms	Pēc	Laika ekonomija %
Stumbra satveršana	Braukšana	0.8	1.2	-33	0.99	0.79	20
	Tikai izlice	18.8	19.4	-3	20.39	18.06	11
	Aktīva harvesterā galva	2.8	2.8	0	2.75	2.67	3
	Pārējais laiks	28.6	28.0	2	5.97	5.78	3
Stumbra apstrāde	Padeve + zāģēšana	3.31	3.28	1	4.74	4.50	5
	Padeve + izlice	4.46	4.62	-4	10.55	8.98	15
	Pārējais laiks	8.46	7.17	15	0.41	0.46	-11

Atsevišķās darba operācijās operatoram C patērētais laiks pēc apmācībām samazinājās vidēji par 15% savukārt operatoram D – par 20%. Aplūkojot iegūtos datus, redzams, ka lielākais laika samazinājums operatoram C novērojams operācijai “pārējais laiks” periodā, kad stumbrs tiek satverts. Savukārt operatoram D lielākais laika samazinājums novērojams operācijā “braukšana”, arī periodā, kad tiek satverts koks. Savukārt stumbra apstrādes laikā operatoram C lielākais laika samazinājums rodas, operācijā “pārējais laiks”, kas liecina par mazāk liekām darbībām pēc stumbra apstrādes. Operatoram D lielākais laika samazinājums arī novērojams darbībās, kas saistītas ar stumbra apstrādi.

3.3.3. Ponsse harvesteru programmas Opti 4G izmantošana operatoru apmācību efektivitātes analīzē

Pirms turpmākās datu apstrādes ir jānoskaidro stumbra vidējā tilpuma izmaiņu būtiskums aplūkojamajā periodā. Tiek konstatēts, ka operatoram E vidējais stumbra tilpums mainās 9% robežās uz lielāko pusi, un šīs izmaiņas nav būtiskas ($p > 0.05$). Operatoram F stumbra tilpums aplūkojamajā periodā mainās 9% robežās uz mazāko pusi, un arī šeit izmaiņas nav būtiskas ($p > 0.05$). Savukārt operatoram G vidējais apstrādājamā stumbra tilpums mainās 11% robežās uz lielāko pusi, un arī šeit izmaiņas nav būtiskas ($p > 0.05$). Līdz ar to secinu, ka stumbra tilpuma ietekme uz darba ražīgumu nav būtiska.

Aplūkojamajā periodā darba ražīguma izmaiņu novērtēšanas nolūkā katram operatoram ir sastādīts ražīguma izmaiņu grafiks, kurā atspoguļotas vidējo vērtību, mediānas un datu izkliedes vērtību izmaiņas pa mēnešiem. Attēlos ar indeksiem 1 un 2 ir apzīmēti mēneši pirms apmācībām, savukārt ar indeksiem 3, 4 un 5 ir apzīmēti mēneši pēc apmācībām.

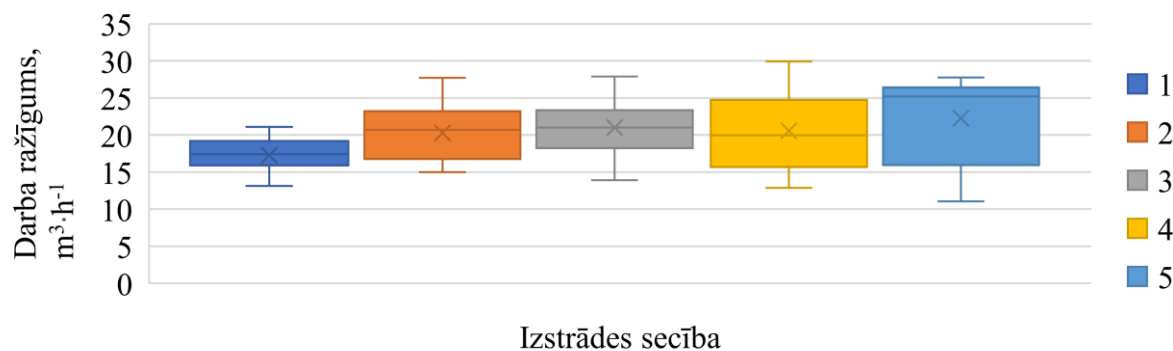
Operatora E darba ražīguma vidējo vērtību izmaiņas izstrādes secībā ir attēlotas 3.40. attēlā.



3.40. att. **Operatora E darba ražīguma izmaiņa pa mēnešiem izstrādes secībā**

Pēc attēlā atspoguļotās informācijas redzams, ka pirms apmācībām operatora E darba ražīgums samazinājās, bet pēc apmācībām novērojams darba ražīguma pieaugums un datu izkliedes samazinājums ap vidējo vērtību. Salīdzinot harvestera informācijas sistēmas aprēķinātos vidējos darba ražīguma rādītājus pirms un pēc apmācībām, iegūts, ka aplūkotajā laika periodā operatora E darba ražīgums vidēji palielinājās no $30.56 \pm 1.59 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ uz $35.15 \pm 1.51 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, kas atbilst 15% pieaugumam. Šis darba ražīguma pieaugums ir būtisks ($p < 0.05$).

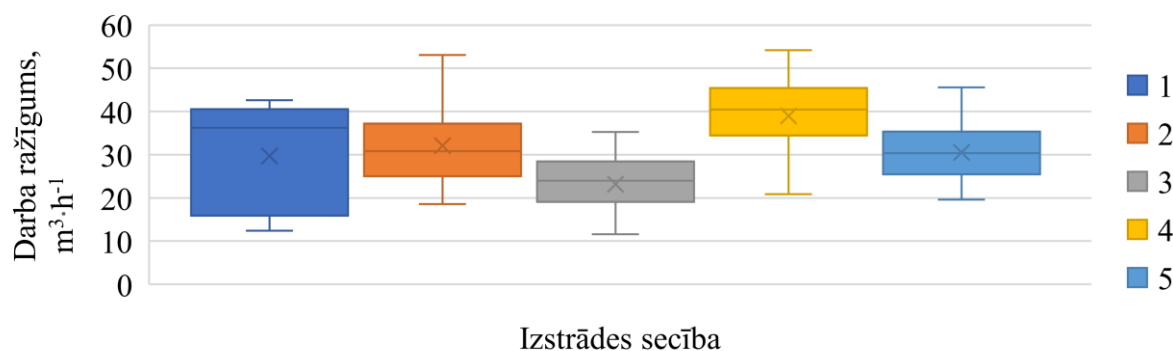
Operatora F darba ražīguma vidējo vērtību izmaiņas izstrādes secībā ir attēlotas 3.41. attēlā.



3.41. att. **Operatora F darba ražīguma izmaiņa pa mēnešiem izstrādes secībā**

Pēc 3.41. attēlā redzamās informācijas redzams, ka operatoram F pēc apmācībām darba ražīgums ir palielinājies, kā arī novērota datu izkliedes palielināšanās ap vidējo vērtību. Trešajā mēnesī pēc apmācībām (indekss 5) novērojams ievērojams mediānas vērtības pieaugums, kas var liecināt par apmācību pozitīvo ietekmi. Operatoram F vidējais darba ražīgums palielinājās no $18.74 \pm 0.64 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ uz $21.13 \pm 0.67 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, kas atbilst 13% pieaugumam. Šis ražīguma pieaugums pēc apmācībām ir būtisks ($p < 0.05$).

Operatora G darba ražīguma vidējo vērtību izmaiņas izstrādes secībā ir attēlotas 3.42. attēlā.

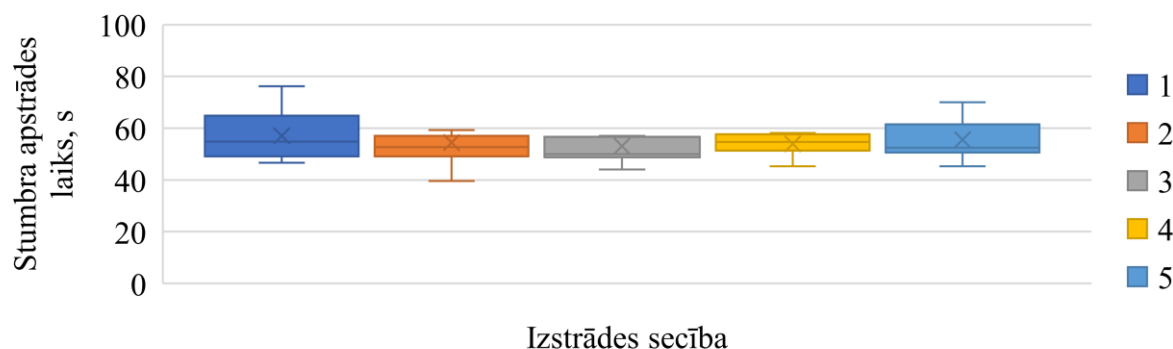


3.42. att. **Operatora G darba ražīguma izmaiņa pa mēnešiem izstrādes secībā**

Operatoram G pēc apmācībām pirmajā mēnesī novērota izkliedes ap vidējo vērtību samazināšanās. Pirmajā mēnesī pēc apmācībām novērots darba ražīguma samazinājums, tomēr nākamo mēnešu laikā ražīgums sāk pieaugt. Tomēr operatora darbā novērojama salīdzinoši liela nestabilitāte, jo darba ražīguma pieaugums nav stabils un pastāv lielas svārstības. Operatoram G vidējais darba ražīgums palielinājās no $31.23 \pm 2.09 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ uz $31.39 \pm 1.51 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, kas ir tikai 0.6% pieaugums. Šis ražīguma pieaugums nav būtisks ($p > 0.05$), kas norāda, ka izmaiņas nav statistiski nozīmīgas.

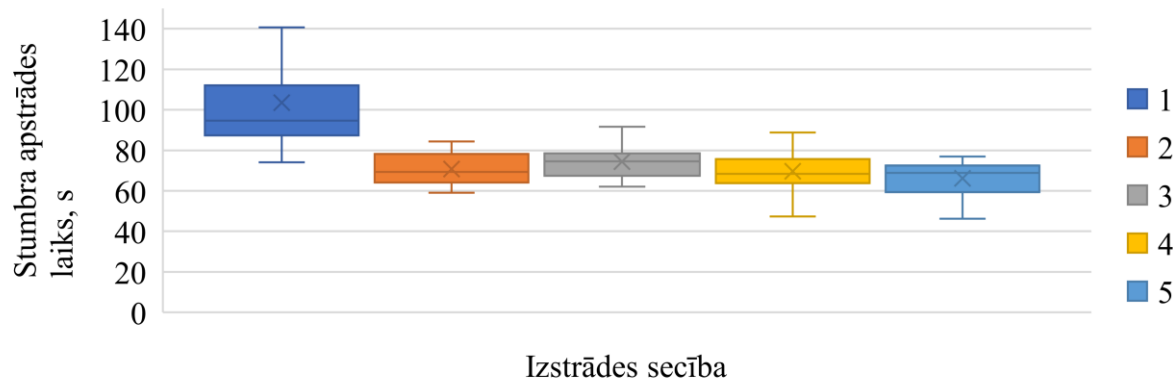
Stumbra apstrādes laika izmaiņas pirms un pēc apmācībām

Lai izprastu darba ražīguma izmaiņas pētāmajā laika periodā, turpmākajā analizē pievērsta uzmanība stumbra apstrādei patērētā laika izmaiņām. Līdzīgi kā analizējot darba ražīgumu, pirmām kārtām tiek apskatīta kopējā stumbra apstrādei patērētā laika izmaiņa pētāmajā laika periodā (3.43. att.).



3.43. att. **Operatora E stumbra apstrādes laika izmaiņa pētāmajā periodā**

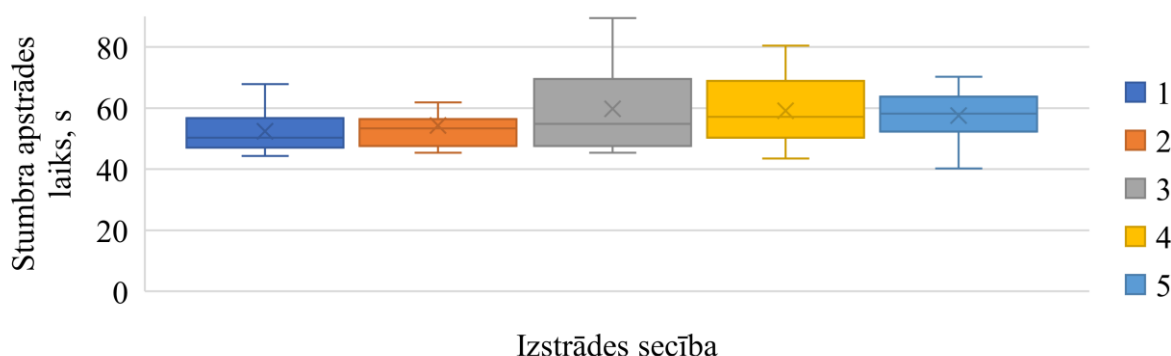
Tas, ka operatoram F ir novērots būtisks stumbra apstrādes laika samazinājums (3.44. att.), ir ļoti pozitīvs rādītājs. Stumbra apstrādes laika samazinājums par 20% ir ievērojams, un būtisks ($p < 0.05$), norādot uz apmācību efektivitāti.



3.44. att. **Operatora F stumbra apstrādes laika izmaiņa pētāmajā periodā**

Pēc apmācībām novērojama datu izkliedes samazināšanās un koncentrēšanās ap vidējo vērtību. Līdz ar to var secināt, ka operatora F stumbra apstrāde kļuvusi vienmērīgāka, un apstrādes laiki kļuvuši koncentrētāki, kas liecina par apmācību pozitīvo ietekmi.

Operatoram G, kurš ir vienīgais no šajā apakšnodaļā analizētajiem operatoriem, apmācības negatīvi ietekmējušas stumbra apstrādes laika rezultātus. Pirmkārt, vidējais stumbra apstrādes laiks palielinājies par 10%, un šis laika pieaugums ir būtisks ($p < 0.05$). Otrkārt, palielinājusies datu izklieve, kas norāda uz lielāku variabilitāti stumbra apstrādes laikā (3.45. att.).



3.45. att. **Operatora G stumbra apstrādes laika izmaiņa pētāmajā periodā**

Nākošajā mēnesī pēc apmācībām operatoram G maksimālais stumbra apstrādes laiks palielinājās par 32%, kas var liecināt par grūtībām pielāgoties jaunajām darba metodēm un izmaiņām darba procesā. Tomēr nākošajos mēnešos novērojama tendence samazināties gan vidējam stumbra apstrādes laikam, gan datu izklievei.

Jāņem vērā arī tas, ka laika pieaugums operatoriem E un G, kā arī stumbra apstrādes laika nestabilitāte operatoram G, var liecināt par vajadzību pēc papildu apmācībām vai atbalsta pasākumiem, lai sasniegtu stabilākus un vienmērīgākus rezultātus. Kopumā analīze norāda, ka apmācības ir bijušas efektīvas, taču ir nepieciešams sniegt atbalstu tiem operatoriem, kuri joprojām saskaras ar problēmām stumbra apstrādē.

Harvestera informācija uzskaita katras operācijas izpildei patērēto laiku, ļaujot salīdzināt un noteikt, kuras darba operācijas izpildot, operators samazina kopējo stumbra apstrādes laiku, vai, tieši pretēji, palielina šo laiku. Šādā veidā ir iespējams noskaidrot, kā pēc apmācībām mainījušies atsevišķu operāciju izpildes laiki, un turpmāk novērot operatoru darbībā, lai rastu risinājumus konkrētu operāciju izpildes ātruma uzlabošanai. Konkrētajā situācijā tas attiecas uz operatoru G, kuram būtiski palielinājies stumbra apstrādes laiks. Par operatoriem E, F un G iegūtās vidējās operāciju izpildes laiku vērtības un izmaiņas pēc apmācībām ir atspoguļotas 3.10. tabulā.

3.10. tabula

Operatoru operāciju izpildes laiku izmaiņas

Operācija	Periods	Operācijas izpildes laiks, s	Operāciju izpildes laika izmaiņa, %	Standartklūda	Minimums, s	Maksimums, s	p-vērtība
Operators E							
Stumbra satveršana	Pirms	21.5	-6	0.9	12.6	33.8	0.34
	Pēc	20.2		0.9	15.8	37.7	

3.10. tabulas turpinājums

Operācija	Periods	Operācijas izpildes laiks, s	Operāciju izpildes laika izmaiņa, %	Standartklūda	Minimums, s	Maksimums, s	p-vērtība
Gāšanas zāģējums	Pirms	5.3	3	0.1	4.0	7.9	0.45
	Pēc	5.4		0.1	4.5	7.1	
Sagarumošana un krautnēšana	Pirms	10.6	6	0.3	8.3	15.2	0.21
	Pēc	11.2		0.4	8.2	16	
Atzarošana	Pirms	11.2	-6	0.4	8	17.5	0.18
	Pēc	10.6		0.2	8.4	13	
Sagarumošana	Pirms	3.5	3	0.1	2.3	4.2	0.31
	Pēc	3.6		0.08	2.7	4.8	
Zaru pārvietošana	Pirms	3.6	-15	0.3	1.4	7	0.19
	Pēc	3.1		0.3	1.4	8.1	
Operators F							
Stumbra satveršana	Pirms	29.1	-15	1.7	16.9	70	0.01
	Pēc	24.7		0.8	15	53.7	
Gāšanas zāģējums	Pirms	7.3	-22	0.3	4.5	13	8.49e ⁻⁰⁸
	Pēc	5.7		0.1	3.6	8	
Sagarumošana un krautnēšana	Pirms	26.7	-29	1.3	5.9	46.9	2.63e ⁻⁰⁹
	Pēc	18.9		0.5	10.2	30.2	
Atzarošana	Pirms	16.7	-15	0.6	10.7	24.4	1.15e ⁻⁰⁵
	Pēc	14.1		0.3	7.2	20.5	
Sagarumošana	Pirms	3.2	12	0.1	1.9	4.6	0.01
	Pēc	3.6		0.09	1.9	5.5	
Zaru pārvietošana	Pirms	4.5	-40	1.0	1.5	33	0.02
	Pēc	2.7		0.1	1.3	7.7	
Operators G							
Stumbra satveršana	Pirms	24.0	3	1.4	14.8	45.4	0.61
	Pēc	24.6		0.9	12.3	50.5	
Gāšanas zāģējums	Pirms	3.7	10	0.1	2.5	4.6	0.01
	Pēc	4.1		0.09	3.1	6.7	
Sagarumošana un krautnēšana	Pirms	8.9	4	0.2	4.3	10.9	0.28
	Pēc	9.3		0.2	5.5	15.1	
Atzarošana	Pirms	8.3	19	0.2	5.7	10.5	1.01e ⁻⁰⁴
	Pēc	9.7		0.3	6.6	13.9	
Sagarumošana	Pirms	2.7	3	0.1	1.5	5.3	0.53
	Pēc	2.8		0.1	1.5	4.5	
Zaru pārvietošana	Pirms	6.0	34	1.1	2.2	33.1	0.17
	Pēc	8.1		0.9	1.9	29.8	

Analizējot 3.11. tabulā atspoguļoto informāciju, redzams, ka operatoram E pēc apmācībām stubbru apstrādes laiki izmainījās nebūtiski ($p > 0.05$). Tomēr, aplūkojot atsevišķo pozīciju izpildes laiku izmaiņas, novērots, ka stubbra satveršanas (-6%), atzarošanas (-6%) un – jo īpaši – zaru pārvietošanas (-15%) laiki pēc apmācībām samazinājās. Tas var liecināt par optimālāku harvesteru pozīcijas izvēli pirms stubbra apstrādes sākuma. Papildus – zaru

pārvietošanas laika samazinājums var liecināt par precīzāku cirsmas izstrādes tehnoloģijas ievērošanu. Pārējo operāciju izpildes ātruma palielinājums nav būtisks.

Operatoram F apmācības devušas vislielāko pozitīvo ieguvumu, jo visi operāciju izpildes laiki būtiski ($p < 0.05$) samazinājušies, kā arī samazinājusies datu izkliede ap vidējo vērtību. Tas liecina, ka operators F ir ņēmis vērā apmācībās sniegtos instruktora padomus un spējis ātri adaptēties jaunajos darba apstākļos. Jāpiebilst, ka šis operators ir gados visjaunākais šajā grupā un ar vismazāko darba pieredzi operatora amatā.

Arī operatoram C stumbra apstrādes laika samazinājums pārsvarā saistīts ar optimālas harvesteru pozīcijas izvēli, jo gāšanas zāģējuma laika samazinājums (-22%) norāda uz pareizu harvesteru galvas novietojumu, kas ļauj precīzi nozāģēto koku pārvietot un veikt stumbra sagarumošanu, veidojot atsevišķas sortimentu kaudzītes. Savukārt tas palielina forvardera operatora darba ražīgumu. Tāpat sagarumošanas un krautnēšanas laika samazinājums (-29%) liecina par efektīvu darbu. Savukārt 40% izpildes laika samazinājums zaru pārvietošanai papildus var liecināt par cirsmu izstrādes tehnoloģijas ievērošanu.

Neskatoties uz operatora G nelielo darba ražīguma pieaugumu, vidējie stumbru apstrādes laiki visās pozīcijās ir palielinājušies (3.42. att.). Īpaši būtisks ir stumbru apstrādes laika palielinājums gāšanas zāģējumā un atzarošanā ($p < 0.05$). Pozīcijas, kurās konstatēts vislielākais stumbra apstrādes laika pieaugums, ir saistītas ar harvesteru pozīcijas izvēli un cirsmas izstrādes tehnoloģijas ievērošanu.

3.4. Operatora apmācību ietekmes uz degvielas patēriņu novērtējums

Viens no parametriem, ko izmanto operatora darba efektivitātes novērtēšanā, ir saražotās produkcijas daudzums laika vienībā. Ar šo parametru nosaka, kā mainās darba ražīgums, cik $m^3 h^{-1}$ ir saražoti. Savukārt, kā otru parametru efektivitātes novērtēšanai izmanto patērētās degvielas daudzumu. Šeit iespējamas vairāku parametru kombinācijas. Salīdzinot degvielas patēriņu stundā ($L \cdot h^{-1}$) var analizēt meža mašīnas noslodzes izmaiņas. Salīdzinot degvielas patēriņa izmaiņas uz saražotās produkcijas tilpuma vienību ($L \cdot m^{-3}$) nosaka, cik ekonomiski operators strādā. Ražošanā šis ir viens no pamata parametriem, kas tiek vērtēts produkcijas pašizmaksas samazināšanā. Kā trešo parametru var pieminēt degvielas patēriņu viena stumbra apstrādei. Šis parametrs praktiski netiek izmantots, jo ietver būtiskus mainīgos faktorus, piemēram, stumbra tilpumu. Nodaļā tiek salīdzināta degvielas patēriņa izmaiņas stundā un uz kubikmetru pirms un pēc apmācībām.

3.4.1. Degvielas patēriņa modeļa izstrāde, izmantojot StanForD 2010 datus

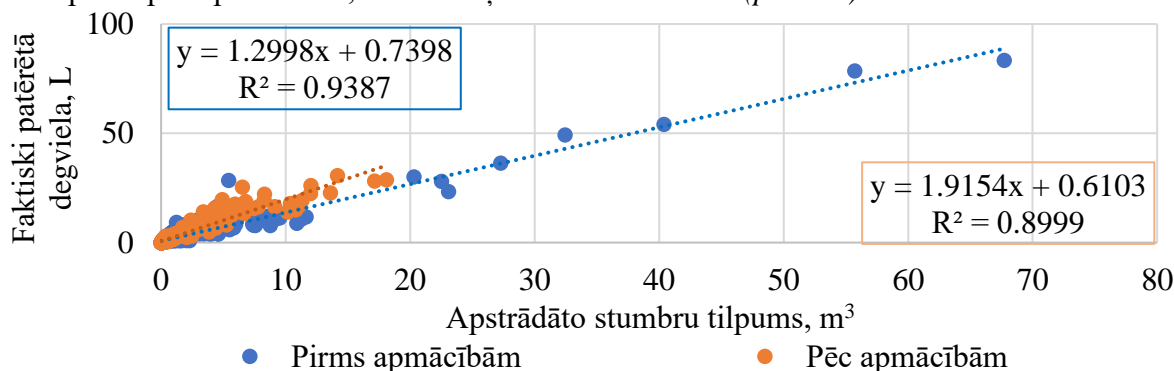
Viens no operatora darba kvalitātes rādītājiem ir darba ražīgums. Tomēr ne mazāk svarīgs faktors mūsdienu mežizstrādē ir mežizstrādes izmaksu samazināšana. Viens no lielākajiem izmaksu elementiem ir degvielas izmaksas, tādēļ ir nepieciešams samazināt degvielas izmaksas, veicot racionālāku operāciju izpildi. Šajā apakšnodaļā tiks izstrādāts modelis degvielas patēriņa prognozēšanai, ņemot vērā cirsmas apstākļus pirms un pēc apmācībām.

Izmantojot *StandForD 2010* .mom failā apkopoto informāciju, tiek iegūts patērētās degvielas daudzums, apstrādāto stumbru tilpums, apstrādāto stumbru skaits, koku suga, kurai šī apstrāde veikta, kā arī pārbraucienos nobrauktais attālums. Degvielas patēriņš tiek noteikts, izmantojot *.mom failu, un analizēti dati cirsmas griezumā. Tiek salīdzināta degvielas patēriņa izmaiņa izstrādājot 8 cirsmas pirms un pēc apmācībām.

Operators A

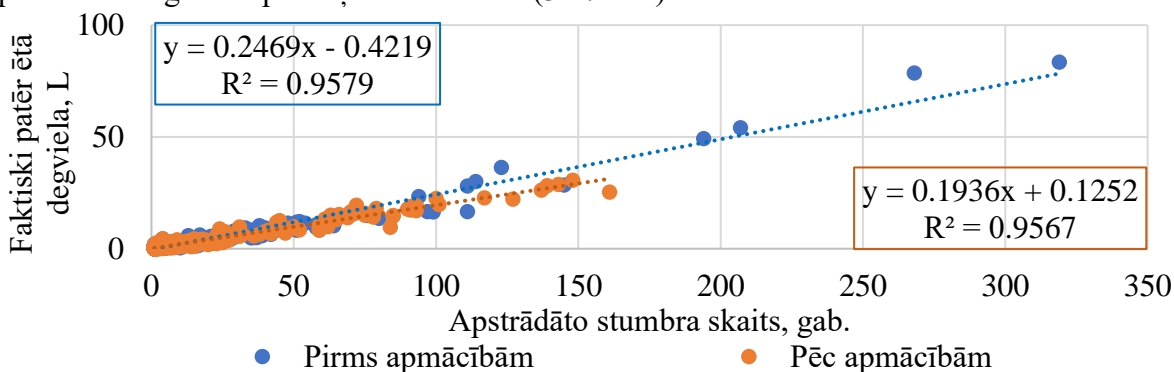
Analizējot operatora A datus pēc visu atlasē koku sugu apstrādes (priede, egle, bērzs), tiek noskaidrota patērētās degvielas daudzuma izmaiņa, mainoties apstrādāto stumbru tilpumam (3.46. att.). Iegūtie regresijas vienādojumi izskaidro 94% patērētās degvielas daudzuma izmaiņas pirms apmācībām un 89% pēc apmācībām. Pēc apmācībām nedaudz

palielinājies regresijas līknes slīpuma koeficients, kas norāda uz stāvāku līkni. To var interpretēt kā patērētās degvielas daudzuma palielinājumu pēc apmācībām pie vienāda apstrādāto koku tilpuma. Savukārt vienādojuma konstante pēc apmācībām ir samazinājusies – no 0,7398 pirms apmācībām uz 0,6103 pēc apmācībām, kas liecina par efektīvāku degvielas izmantošanu pie 0 m³ tilpuma pēc apmācībām, tomēr atšķirības nav būtiskas ($p > 0.05$).



3.46. att. **Patērētās degvielas izmaiņas, mainoties apstrādāto stumbru tilpumam**

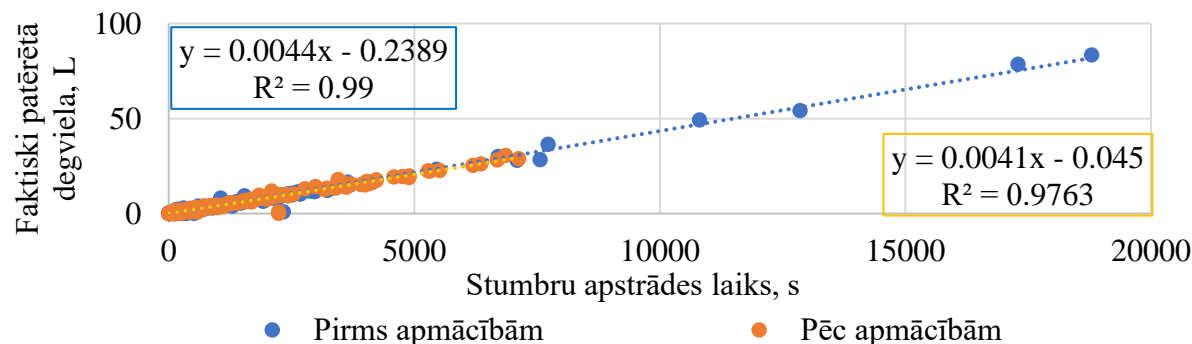
Salīdzinot patērētās degvielas daudzuma izmaiņas, mainoties apstrādāto koku skaitam, iegūts, ka 96% iegūto datu izskaidro patērētās degvielas daudzuma izmaiņas pirms un pēc apmācībām. Šis augstais izskaidrojošais koeficients norāda uz augstu datu variabilitāti un precizitāti degvielas patēriņa modelēšanā (3.47. att.).



3.47. att. **Patērētās degvielas daudzuma izmaiņas, mainoties apstrādāto stumbru skaitam**

No attēlā redzamajiem regresijas vienādojumiem secināts, ka pēc apmācībām samazinājusies līknes slīpuma koeficienta vērtība, kas norāda uz patērētās degvielas daudzuma samazināšanos, apstrādājot vienādu stumbru skaitu. Savukārt vienādojuma nobīdes vērtība (konstante) pirms apmācībām bija negatīva, bet pēc apmācībām kļuva pozitīva, kas norāda uz citu faktoru klātbūtni, kas ietekmē degvielas patēriņa izmaiņas papildus apmācībām.

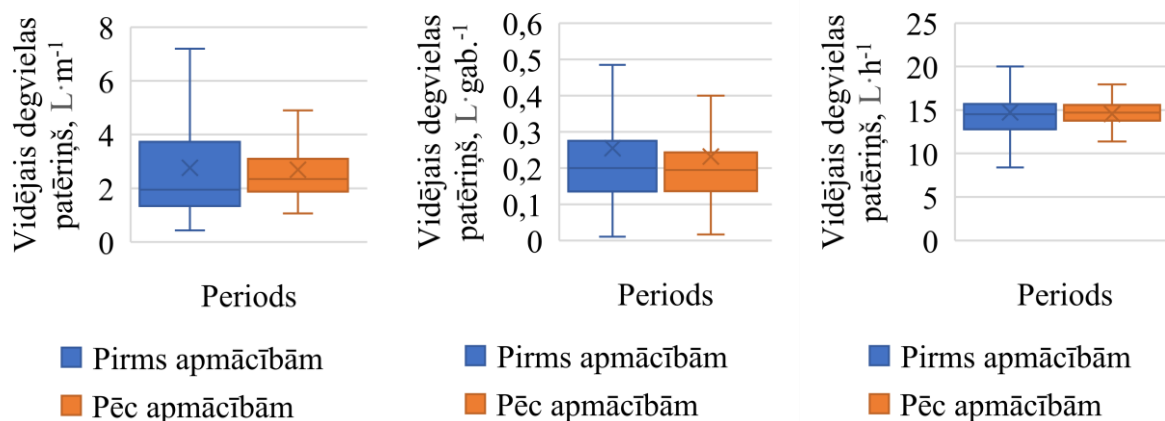
Vēl viens degvielas patēriņa mērs ir degvielas patēriņš laika vienībā. Šim nolūkam izveidots regresijas modelis, kurā salīdzināts degvielas patēriņš litros sekundē ($L \cdot s^{-1}$) pirms un pēc apmācībām (3.48. att.).



3.48. att. **Patērētās degvielas daudzuma izmaiņa laika vienībā**

Pēc regresijas attēlā iegūtajiem vienādojumiem varam secināt, ka apmācību rezultātā degvielas patēriņš uz laika vienību samazinājies, neskatoties uz nelielu modeļa precizitātes samazinājumu (R^2). Tomēr būtiskais vienādojuma konstantes samazinājums liecina, ka neatkarīgi no stumbru apstrādes laika ievērojami samazinājies degvielas patēriņš laika vienībā.

Salīdzinot degvielas patēriņa izmaiņas pirms un pēc apmācībām, iegūtas diagrammas, kurās atspoguļotas vidējās degvielas patēriņa izmaiņas laika periodā pirms un pēc apmācībām attiecībā pret apstrādāto stumbru tilpumu, apstrādāto stumbru skaitu un stumbra apstrādes laiku vienībā (3.49. att.).



3.49. att. Degvielas patēriņa izmaiņa periodā

3.49. attēlā varam secināt, ka apmācības operatoram bijušas veiksmīgas, jo vidējais degvielas patēriņš uz kubikmetru (m^3) pēc apmācībām samazinājās no $2.76 \pm 0.11 \text{ L} \cdot m^{-3}$ līdz $2.69 \pm 0.08 \text{ L} \cdot m^{-3}$, un šis degvielas patēriņa samazinājums ir būtisks ($p < 0.05$). Tāpat samazinājusies datu izkliede ap vidējo vērtību. Kopumā pēc apmācībām degvielas patēriņš uz apstrādāto m^3 samazinājās vidēji par 2%.

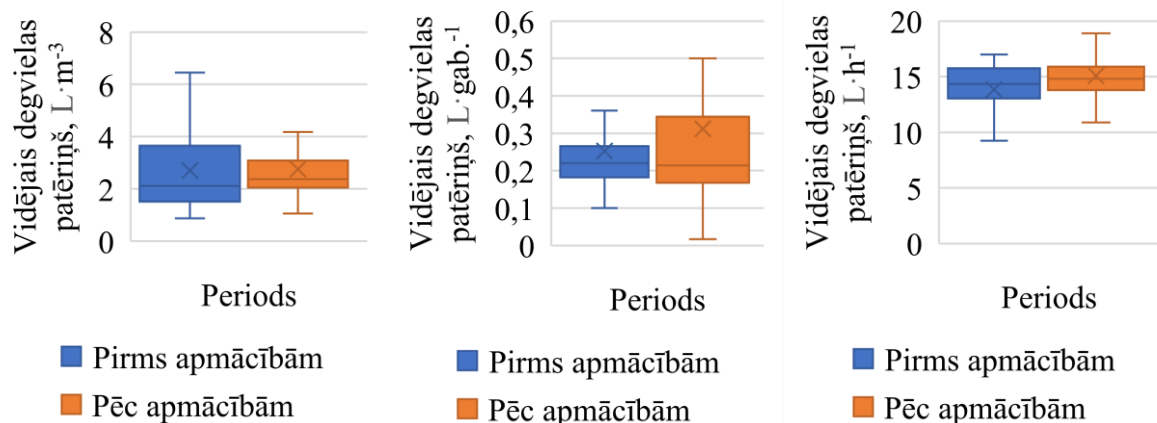
Aplūkojot degvielas patēriņu uz vienu stumbru, noskaidrots, ka vidējais degvielas patēriņš samazinājās no $0.25 \pm 0.01 \text{ L} \cdot \text{gab.}^{-1}$ pirms apmācībām līdz $0.23 \pm 0.01 \text{ L} \cdot \text{gab.}^{-1}$ pēc apmācībām. Arī šajā griezumā tiek novērots būtisks degvielas patēriņa samazinājums ($p < 0.05$), kā arī samazinājusies datu izkliede ap vidējo vērtību. Šajā rakursā degvielas patēriņš pēc apmācībām samazinājās par 9%.

Trešajā aplūkotajā rakursā, proti, degvielas patēriņš laika vienībā, redzams, ka apmācības devušas pozitīvu efektu attiecībā uz degvielas patēriņa samazinājumu. Degvielas patēriņš būtiski samazinājās ($p < 0.05$) no $14.73 \pm 0.41 \text{ L} \cdot h^{-1}$ pirms apmācībām līdz $14.55 \pm 0.31 \text{ L} \cdot h^{-1}$ pēc apmācībām, kas sastāda 1% degvielas samazinājumu. Tāpat kā abos iepriekšējos gadījumos, novērojams datu izkliedes samazinājums ap vidējo degvielas patēriņa vērtību. Abos pēdējos gadījumos tiek uzrādīta mainīga, samazināta modus vērtība, t.i., no 0.5 uz 0.1 un no 15 uz 2.95, kas liecina par biežāk sastopamo zemāko degvielas patēriņa vērtību pēc apmācībām.

Ņemot vērā būtisko degvielas patēriņa samazinājumu, tālāk tiek apskatīta degvielas patēriņa izmaiņa pirms un pēc apmācībām, izdalot apstrādātās koku sugas.

Priede

Aplūkojot priedes apstrādes vidējā degvielas patēriņa izmaiņas trīs griezumos, novērojams degvielas patēriņa pieaugums (3.50. att.).



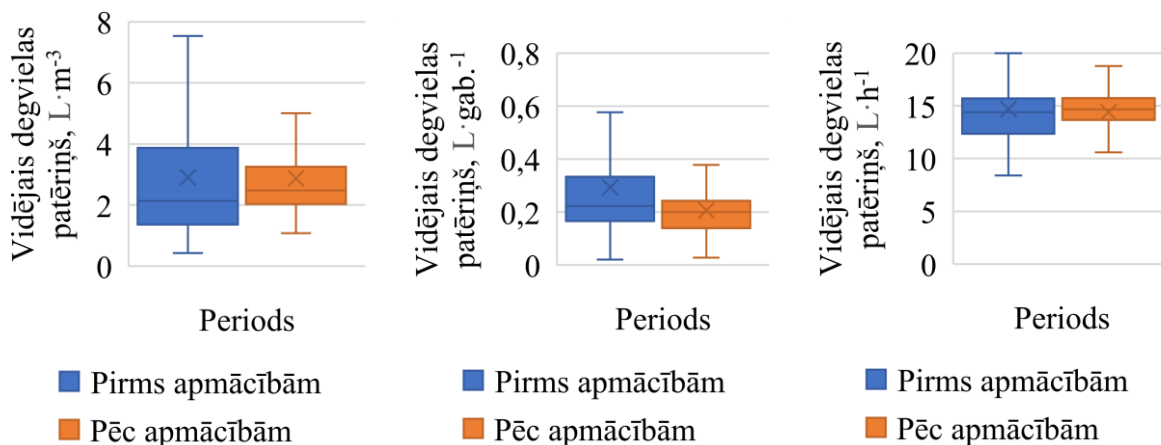
3.50. att. Degvielas patēriņa izmaiņa periodā, apstrādājot priedi

Aplūkojot vidējā degvielas patēriņa izmaiņas, apstrādājot vienu priedes m³, pēc apmācībām novērojams nebūtisks degvielas patēriņa pieaugums ($p > 0.05$). Degvielas patēriņš pieauga no $2.70 \pm 0.23 \text{ L} \cdot \text{m}^{-3}$ pirms apmācībām līdz $2.75 \pm 0.16 \text{ L} \cdot \text{m}^{-3}$ pēc apmācībām. Tomēr pēc apmācībām samazinājusies datu izkliede ap vidējo vērtību un palielinājusies datu precizitāte. Apstrādājot priedi, degvielas patēriņš palielinājās par 2% uz apstrādātās produkcijas m³.

Neskatoties uz pozitīvo tendenci pirmajā grafikā, otrajā grafikā, kur tiek aplūkota degvielas patēriņa izmaiņa pēc apmācībām, novērojams būtisks degvielas patēriņa pieaugums ($p < 0.05$). Degvielas patēriņš uz apstrādājamo stumbru pieauga no $0.25 \pm 0.03 \text{ L} \cdot \text{gab.}^{-1}$ pirms apmācībām līdz $0.31 \pm 0.03 \text{ L} \cdot \text{gab.}^{-1}$ pēc apmācībām, kas sastāda 23% degvielas patēriņa kāpumu. Iegūtajos rezultātos novērots būtisks datu izklijes pieaugums.

Egle

Aplūkojot degvielas patēriņa izmaiņas, apstrādājot egli, pēc apmācībām visos aplūkotajos gadījumos samazinājusies datu izkliede un degvielas patēriņa rādītāji vairāk koncentrējas ap vidējo vērtību (3.51. att.). Par to liecina arī standartnovirzes vērtības, kas pēc apmācībām visos trīs gadījumos samazinās. Apstrādājot egli, pēc apmācībām samazinājās degvielas patēriņš uz stumbru no $0.29 \pm 0.02 \text{ L} \cdot \text{gab.}^{-1}$ uz $0.20 \pm 0.01 \text{ L} \cdot \text{gab.}^{-1}$, degvielas patēriņš samazinājās būtiski ($p < 0.05$). Degvielas patēriņš stundā samazinājās no $14.70 \pm 0.56 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ pirms apmācībām uz $14.37 \pm 0.60 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ pēc apmācībām, arī šajā aspektā samazinājums ir būtisks ($p < 0.05$). Arī degvielas patēriņš uz tūluma vienību samazinājās no $2.91 \pm 0.15 \text{ L} \cdot \text{m}^{-3}$ pirms apmācībām uz $2.87 \pm 0.14 \text{ L} \cdot \text{m}^{-3}$ pēc apmācībām. Arī šeit novērojams būtisks degvielas patēriņa samazinājums ($p < 0.05$).

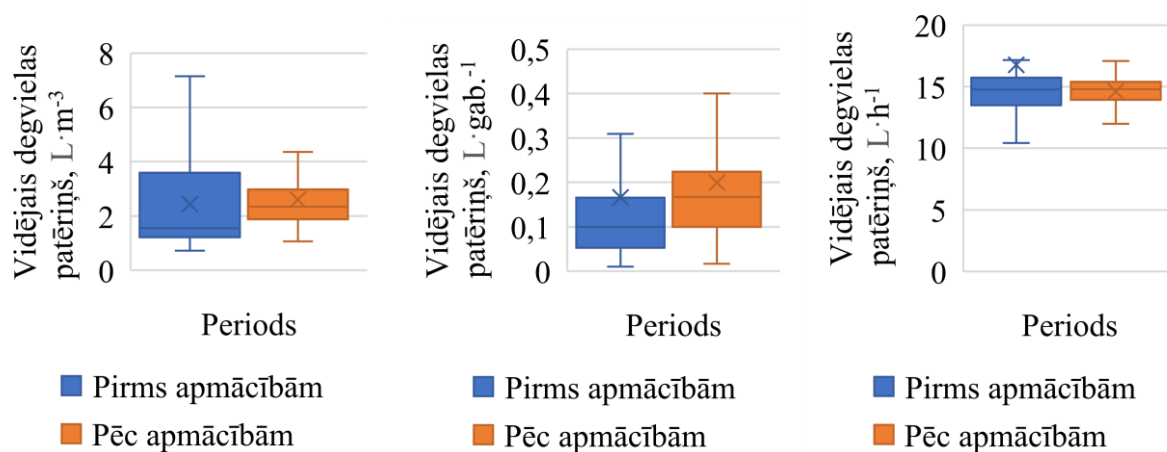


3.51. att. Degvielas patēriņa izmaiņa periodā, apstrādājot egli

Lai gan pēc apmācībām mediāna 3.51. attēla labajā grafikā pieaugusi virs vidējās vērtības, tas vērtējams pozitīvi, jo harvesteru motora tiek pilnīgāk noslogots, kā rezultātā samazinās degvielas patēriņš litros uz m³. Kopumā, aplūkojot egles apstrādi, secināms, ka apmācības devušas pozitīvu rezultātu un degvielas patēriņš pēc apmācībām ir samazinājies.

Bērzs

Degvielas patēriņa izmaiņas, apstrādājot bērzu, aplūkojamas 3.52. attēlā. Apstrādājot bērzu, degvielas patēriņš uz stumbru pieauga no $0.17 \pm 0.02 \text{ L} \cdot \text{gab.}^{-1}$ pirms apmācībām līdz $0.20 \pm 0.01 \text{ L} \cdot \text{gab.}^{-1}$ pēc apmācībām. Dispersijas samazinājums pēc apmācībām norāda uz degvielas patēriņa izlīdzsvarošanu. Konstatēts būtisks degvielas patēriņa samazinājums ($p < 0.05$).



3.52. att. Degvielas patēriņa izmaiņa periodā, apstrādājot bērzu

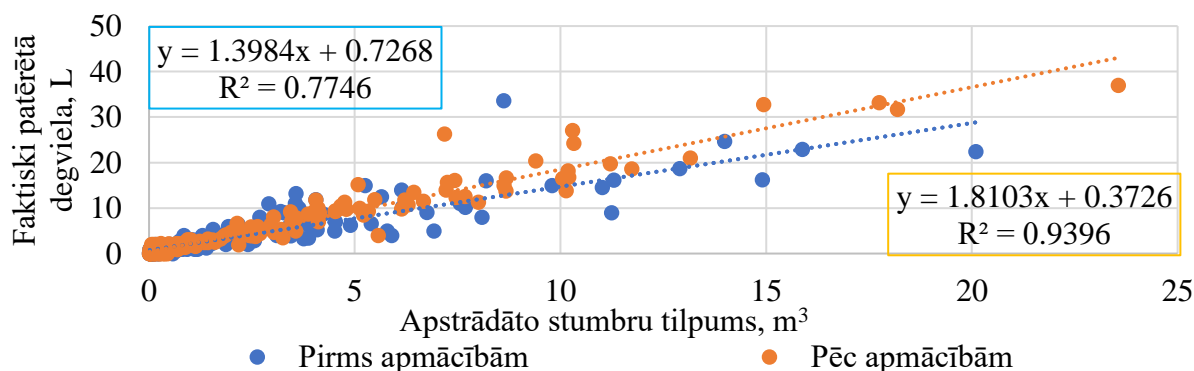
Salīdzinot degvielas patēriņa izmaiņas laika vienībā ($\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$), novērots, ka degvielas patēriņš samazinājās no $16.8 \pm 1.4 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ pirms apmācībām līdz $14.6 \pm 0.4 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ pēc apmācībām. Standartnovirzes samazinājums no 12.3 uz 3.7 liecina par degvielas patēriņa datu izkliedes samazinājumu, kas rezultējās vienmērīgākā un mazāk mainīgā degvielas patēriņā laika vienībā. Dispersijas būtiski atšķiras ($p < 0.05$).

Tomēr šis efekts atstāj negatīvu ietekmi uz degvielas patēriņu uz tilpuma vienību, jo harvesteru motora parametri tiek izmantoti neefektīvi. Salīdzinot degvielas patēriņu uz tilpuma vienību, konstatēts, ka datu izkliede ir samazinājusies, bet vidējais degvielas patēriņš pēc apmācībām palielinājās no $2.4 \pm 0.2 \text{ L} \cdot \text{m}^{-3}$ uz $2.6 \pm 0.1 \text{ L} \cdot \text{m}^{-3}$. Šeit arī degvielas patēriņa palielinājums ir būtisks ($p < 0.05$).

Kopumā apmācības pozitīvi ietekmēja degvielas patēriņu, apstrādājot bērzu, padarot degvielas patēriņu vienmērīgāku un mazāk izkliedētu.

Operators B

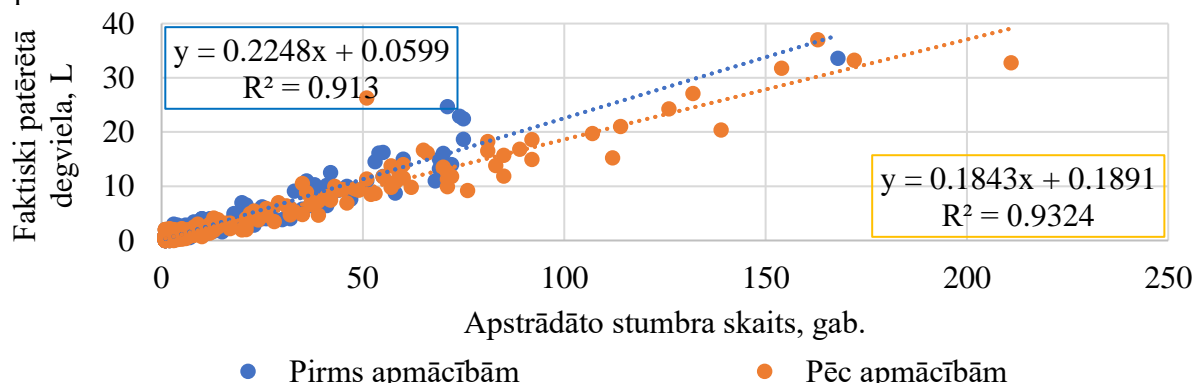
Analizējot operatora B degvielas patēriņa izmaiņas, mainoties stumbru tilpumam (3.53. att.), iegūts, ka pirms apmācībām regresijas modelis izskaidroja 77% degvielas patēriņa izmaiņu dispersijas, kas bija saistīts ar stumbra tilpuma izmaiņām. Pēc apmācībām modelis izskaidro 94% degvielas patēriņa izmaiņu dispersijas ar stumbra tilpuma izmaiņām. Pēc apmācībām novērots palielinājums slīpuma koeficienta vērtībā, kas norāda uz stiprāku lineāru attiecību starp degvielas patēriņu un stumbra tilpumu. Papildus palielinājies determinācijas koeficients pēc apmācībām, kas liecina, ka modelis tagad daudz labāk izskaidro degvielas patēriņa variāciju, ņemot vērā stumbra tilpumu. Tas norāda uz pozitīvu korelāciju starp apmācībām un modeļa precizitāti.



3.53. att. **Patērētās degvielas izmaiņas, mainoties apstrādāto stumbru tilpumam**

Salīdzinot regresijas analīzes līknes, kur novērtēta patērētās degvielas izmaiņa, mainoties apstrādāto stumbru skaitam (3.54. att.), iegūts, ka pēc apmācībām novērots determinācijas koeficienta pieaugums, kas norāda uz labāku modeļa spēju izskaidrot variācijas degvielas patēriņā, ņemot vērā apstrādāto stumbru skaitu. Līknes slīpuma koeficienta samazinājums no 2.2248 pirms apmācībām uz 0.1843 pēc apmācībām liecina par degvielas patēriņa samazinājumu uz katru apstrādāto stumbru, kas norāda uz efektīvāku degvielas izmantošanu. Tomēr konstantes palielinājums no 0.0599 uz 0.1891 var norādīt, ka pastāv citi faktori, kas ietekmē degvielas patēriņu papildus apstrādātajiem stumbriem.

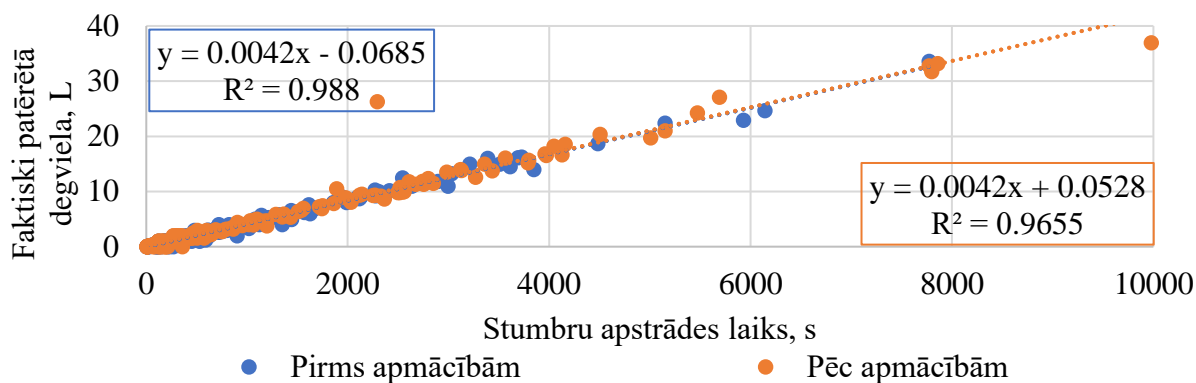
Kopējais secinājums ir, ka apmācības uzlabojušas degvielas izmantošanas efektivitāti, jo degvielas patēriņš uz katru apstrādājamo stumbru ir samazinājies. Tajā pašā laikā determinācijas koeficienta pieaugums liecina par modeļa precizitātes uzlabošanos pēc apmācībām.



3.54. att. **Patērētās degvielas daudzuma izmaiņas, mainoties apstrādāto stumbru skaitam**

Aplūkojot operatora B stumbra apstrādes laika izmaiņu ietekmi uz degvielas patēriņu pirms un pēc apmācībām, noskaidrots, ka apmācības nav būtiski mainījušas apstrādes laika izmaiņu koeficientu (3.55. att.). Tas norāda, ka attiecība starp stumbra apstrādes laiku un degvielas patēriņu ir palikusi nemainīga. Tomēr pēc apmācībām konstatēta pozitīva un loģiskāka konstantes vērtība, kas norāda uz uzlabojumiem modelī.

Lai gan determinācijas koeficients ir nedaudz samazinājies, tas saglabājas ļoti augsts, kas norāda uz stipru saistību starp stumbra apstrādes laiku un degvielas patēriņu. Tas nozīmē, ka modelis joprojām spēj labi izskaidrot degvielas patēriņa variācijas, ņemot vērā apstrādes laiku, pat pēc apmācībām.

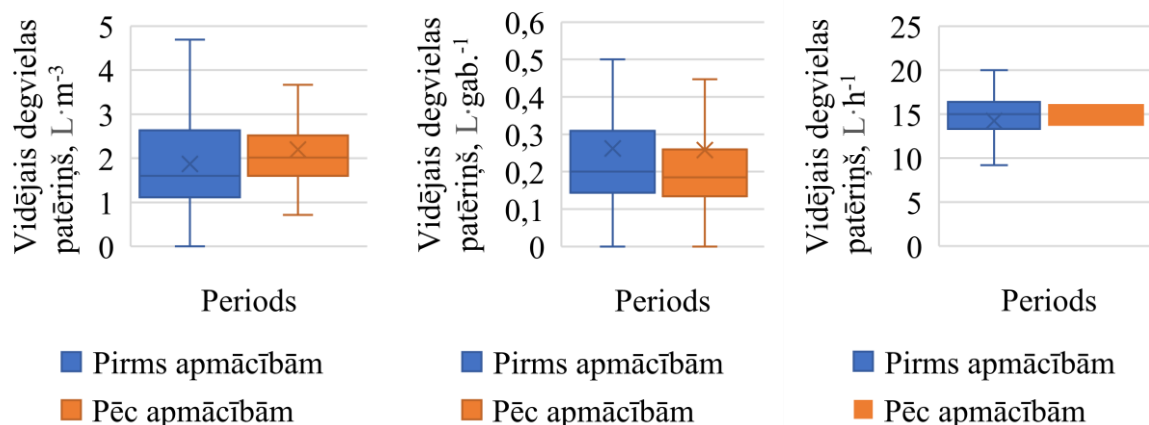


3.55. att. **Patērētās degvielas daudzuma izmaiņa laika vienībā**

Salīdzinot degvielas patēriņa izmaiņas pirms un pēc apmācībām iegūtas diagrammas, kurās atspoguļotas vidējās degvielas patēriņa izmaiņas laika periodā pirms un pēc apmācībām uz apstrādāto stumbru tilpumu, apstrādāto stumbru skaitu un stumbra apstrādes laiku vienībā (3.56. att.).

Aplūkojot vidējo degvielas patēriņa rādītāju izmaiņas pēc apmācībām, secināts, ka vidējais degvielas patēriņš uz kubikmetru ($l \cdot m^{-3}$) ir nedaudz pieaudzis no $1.87 \pm 0.09 L \cdot m^{-3}$ pirms apmācībām līdz $2.20 \pm 0.07 L \cdot m^{-3}$ pēc apmācībām. Lai gan degvielas patēriņš pieaudzis par 18%, šis pieaugums nav statistiski nozīmīgs ($p > 0.05$). Samazinājusies arī datu izkliede, ko apliecina standartnovirzes samazināšanās no 1.16 uz 1.14.

Degvielas patēriņa pieaugums varētu norādīt uz tehnikas izmantošanas maiņu vai jaunu stumbru apstrādes metožu pielietošanu, kas prasa lielāku operatora uzmanību un vairāk resursu.



3.56. att. **Degvielas patēriņa izmaiņa periodā**

Savukārt, analizējot degvielas patēriņu uz apstrādāto stumbru, tas samazinājies no $0.26 \pm 0.02 L \cdot gab^{-1}$ pirms apmācībām uz $0.25 \pm 0.01 L \cdot gab^{-1}$ pēc apmācībām, kas ir samazinājums par 2%. Šis samazinājums ir statistiski nozīmīgs ($p < 0.05$). Samazinājusies arī degvielas patēriņa datu izkliede, kas norāda uz precīzāku operatora darbu pēc apmācībām.

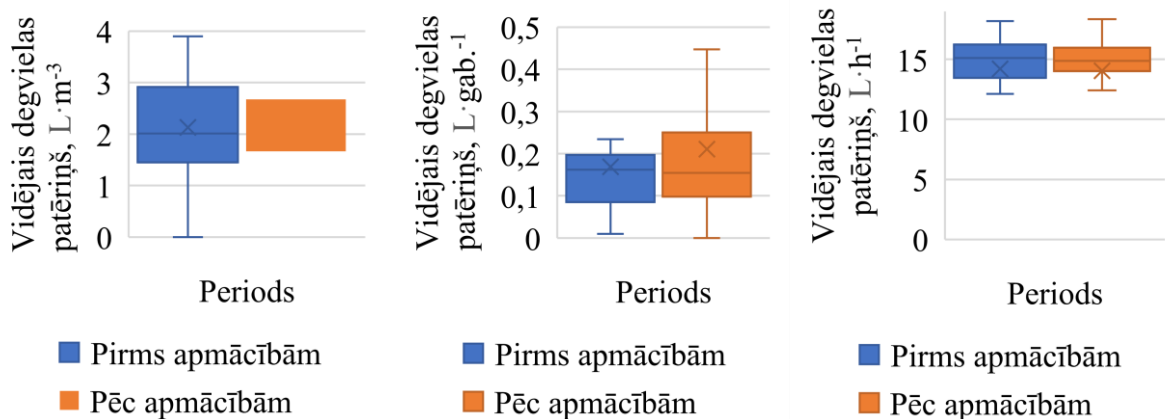
Degvielas patēriņš laika vienībā palielinājies no $14.2 \pm 0.4 L \cdot h^{-1}$ pirms apmācībām līdz $14.8 \pm 0.3 L \cdot h^{-1}$ pēc apmācībām, kas veido 4% pieaugumu. Tomēr šis pieaugums nav statistiski nozīmīgs ($p > 0.05$). Šo degvielas patēriņa palielinājumu var vērtēt pozitīvi, jo tas liecina par lielāku harvesteru motora noslodzi un efektīvāku tehnikas izmantošanu. Pēc apmācībām arī šajā gadījumā samazinājusies datu izkliede.

Degvielas patēriņa izmaiņas varētu norādīt uz jaunu darba metožu ieviešanu pēc apmācībām, kas veicinājušas uzlabojumus tehnikas izmantošanā un precizitātē.

Līdzīgi kā operatoram A, arī operatoram B iespējams pasekot līdzi, kā degvielas patēriņu ietekmējušas apmācības izdalot atsevišķas koku sugas.

Priede

Aplūkojot degvielas patēriņa izmaiņas trīs gradāciju grupās, apstrādājot priedi, iegūtie rezultāti atspoguļoti 3.57. attēlā.



3.57. att. Degvielas patēriņa izmaiņa periodā, apstrādājot priedi

Aplūkojot degvielas patēriņa izmaiņas priedes apstrādē, konstatēts, ka vidējais degvielas patēriņš uz kubikmetru nedaudz palielinājies no $2.12 \pm 0.22 \text{ L}\cdot\text{m}^{-3}$ pirms apmācībām līdz $2.17 \pm 0.12 \text{ L}\cdot\text{m}^{-3}$ pēc apmācībām. Šis pieaugums nav statistiski nozīmīgs ($p > 0.05$) un sastāda 2%. Pēc apmācībām uzlabojusies datu precizitāte un samazinājusies izkliede ap vidējo vērtību, tomēr degvielas patēriņa pieaugums uz tilpuma vienību vērtējams kā negatīva parādība. Tas varētu norādīt uz operatora lēnāku un, iespējams, izsvērtāku lēmumu pieņemšanu.

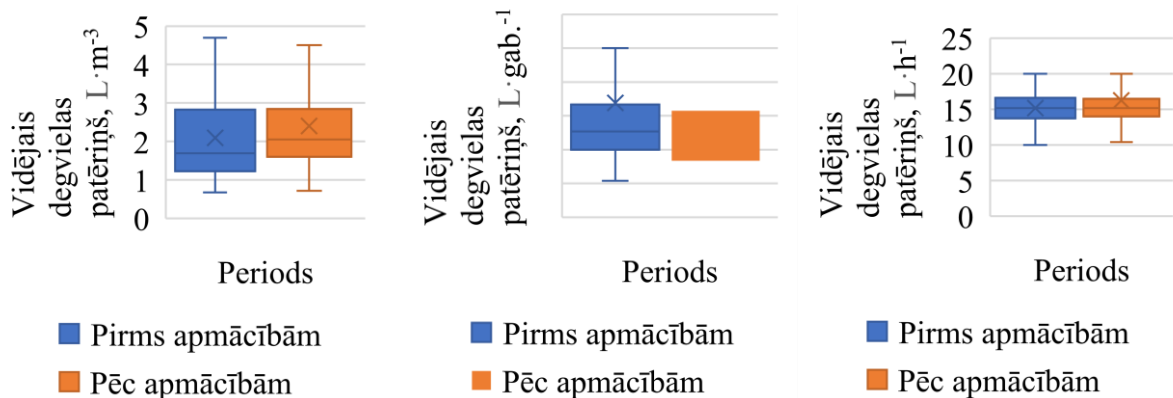
Degvielas patēriņa pieaugums uz apstrādājamo stumbru arī ir novērojams. Šajā pozīcijā vidējais degvielas patēriņš palielinājies no $0.16 \pm 0.03 \text{ L}\cdot\text{gab.}^{-1}$ pirms apmācībām līdz $0.21 \pm 0.03 \text{ L}\cdot\text{gab.}^{-1}$ pēc apmācībām, kas veido 24% pieaugumu un ir statistiski nozīmīgs ($p < 0.05$). Pieaugusi arī datu izkliede, kas norāda uz svārstībām lēmumu pieņemšanā, apstrādājot stumbrus.

Neskatoties uz nebūtisku degvielas patēriņa samazinājumu laika vienībā ($p > 0.05$) no $14.20 \pm 1.01 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ pirms apmācībām līdz $14.05 \pm 0.57 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ pēc apmācībām jeb par 1%, šis fakts vērtējams negatīvi. Palielinājusies motora noslodze neatbilstošā darba režīmā noved pie stundas degvielas patēriņa samazinājuma, bet degvielas patēriņš uz izstrādāto kubikmetru pieaug, kā to var redzēt arī 3.57. attēlā.

Pozitīvi vērtējama datu izkliedes samazināšanās, kas norāda uz precīzāku izkliedi ap vidējo vērtību un lielāku datu kopas precizitāti.

Egle

Aplūkojot degvielas patēriņa izmaiņas trīs gradāciju grupās, apstrādājot egli, iegūtie rezultāti atspoguļoti 3.58. attēlā.



3.58. att. Degvielas patēriņa izmaiņa periodā, apstrādājot egli

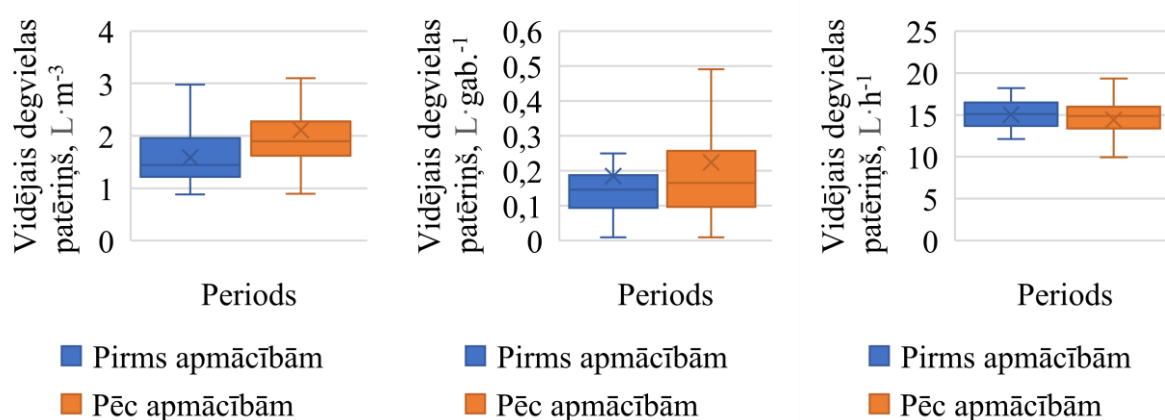
Aplūkojot apmācību rezultātā radušās vidējā degvielas patēriņa izmaiņas, apstrādājot egli, konstatēts, ka vidējais degvielas patēriņš uz tilpuma vienību palielinājies no $2.09 \pm 0.12 \text{ L}\cdot\text{m}^{-3}$ pirms apmācībām līdz $2.41 \pm 0.12 \text{ L}\cdot\text{m}^{-3}$ pēc apmācībām. Lai arī degvielas patēriņš uz kubikmetru pieaudzis par 15%, šīs izmaiņas nav statistiski nozīmīgas ($p>0.05$). Kopumā ir samazinājusies datu izkliede, taču degvielas patēriņa centrālā tendence ir pieaugusi.

Vidējais degvielas patēriņš uz stumbru pēc apmācībām būtiski samazinājies ($p<0,05$), ar vidējo samazinājumu no $0,34 \pm 0,03 \text{ L}\cdot\text{gab.}^{-1}$ pirms apmācībām līdz $0.32\pm 0.03 \text{ L}\cdot\text{gab.}^{-1}$, kas sastāda 5% samazinājumu. Šīs izmaiņas norāda, ka operatoram B egles apstrāde pēc apmācībām noritējusi efektīvāk, lai gan nedaudz palielinājusies datu izkliede.

Analizējot degvielas patēriņu laika vienībā, konstatēts, ka tas būtiski palielinājies ($p<0.05$) no $15.17 \pm 0.32 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ pirms apmācībām līdz $16.26 \pm 0.43 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ pēc apmācībām, kas veido 7% pieaugumu. Tajā pašā laikā ir novērojama neliela datu izkļedes samazināšanās ap vidējo vērtību, kas liecina par vienmērīgāku degvielas patēriņu pēc apmācībām.

Bērzs

Pēc apmācībām operatoram B ir bijis nedaudz grūtāk pielāgoties un uzlabot savus rādītājus bērza apstrādē. Šajā segmentā arī tiek novērotas izmaiņas (3.59. att.).



3.59. att. Degvielas patēriņa izmaiņa periodā, apstrādājot bērzu

Aplūkojot operatora B veikto bērza apstrādi, novērojams būtisks degvielas patēriņa pieaugums pēc apmācībām. Vidējais degvielas patēriņš uz tilpuma vienību palielinājies par 33%, no $1.58 \pm 0.09 \text{ L}\cdot\text{m}^{-3}$ pirms apmācībām līdz $2.11 \pm 0.11 \text{ L}\cdot\text{m}^{-3}$ pēc apmācībām ($p<0.05$). Šis pieaugums ir statistiski nozīmīgs, un palielinātās dispersijas un standartnovirzes norāda uz datu izkļedes pieaugumu.

Aplūkojot degvielas patēriņu uz stumbru, novērojams 21% pieaugums, taču tas nav statistiski nozīmīgs ($p>0.05$). Arī šeit palielinātās dispersijas un standartnovirzes vērtības norāda uz lielāku izkliedi.

Vidējais degvielas patēriņš stundā ir nedaudz samazinājies, no $15.04\pm 0.66 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ pirms apmācībām uz $14.41 \pm 0.44 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ pēc apmācībām, t.i., samazinājums par 4% ($p>0.05$), kas nav statistiski būtisks. Samazinātā dispersija un standartnovirze norāda uz vienmērīgāku degvielas patēriņu laika vienībā.

Kopumā var secināt, ka bērza apstrādes laikā pēc apmācībām operators B ir koncentrējies uz stumbra apstrādes kvalitāti, kas izraisījis palielinātu degvielas patēriņu uz stumbru un m^3 . Tajā pašā laikā motora noslodze nedaudz pasliktinājusies, kā rezultātā samazinājies degvielas patēriņš stundā.

3.4.2. Degvielas patēriņa izmaiņu analīze pēc apmācībām, izmantojot John Deere degvielas patēriņa datus no TimberOffice™

Operators C

Novērtējot vidējā stumbra tilpuma ietekmi uz degvielas patēriņu ($L \cdot h^{-1}$), tika veikta regresijas analīze un, novērtējot degvielas patēriņa izmaiņas, iegūts sekojošs vienādojums:

$$D = 13,4189 + 15,3468 * v_{vid.}, \quad (3.4.)$$

kur D – degvielas patēriņš, $L \cdot h^{-1}$;

$v_{vid.}$ – vidējais stumbra tilpums, m^3 .

Iegūtais regresijas modelis ir statistiski nozīmīgs, par ko liecina ļoti mazā p-vērtība ($p=8.34e^{05} < 0,05$).

Novērtējot vidējā stumbra tilpuma ietekmi uz degvielas patēriņu ($L \cdot m^{-3}$), tika veikta regresijas analīze un, novērtējot degvielas patēriņa izmaiņas $l m^{-3}$, iegūts sekojošs vienādojums:

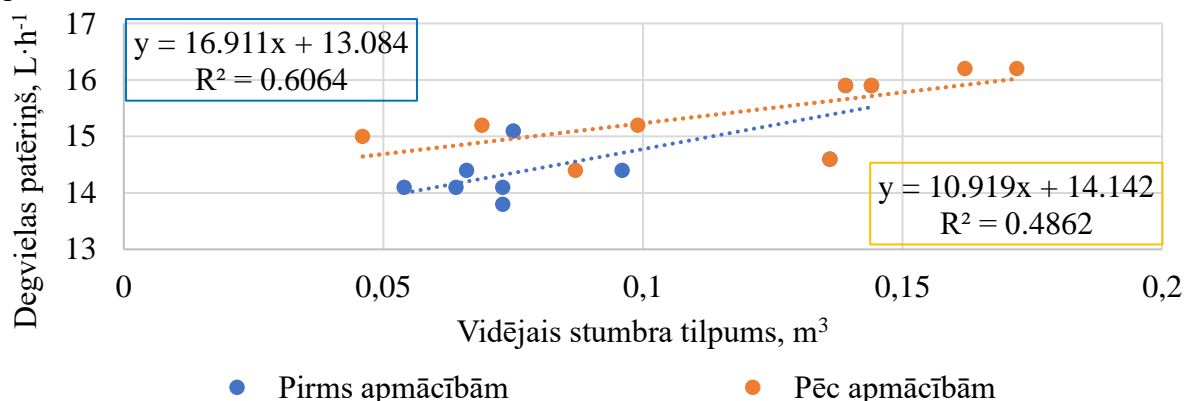
$$D = 2,9648 - 7,0517 * v_{vid.} \quad (3.5.)$$

kur D – degvielas patēriņš, $L \cdot m^{-3}$;

$v_{vid.}$ – vidējais stumbra tilpums, m^3 .

Noskaidrots, ka starp vidējo koksnes tilpumu un vidējo degvielas patēriņu pastāv nozīmīga negatīva attiecība, kas norāda, ka, palielinoties stumbra tilpumam, degvielas patēriņš samazinās. Iegūtais regresijas modelis izskaidro 31% no degvielas patēriņa dispersijas, un gan regresijas līknes koeficients, gan slīpuma koeficients ir statistiski nozīmīgi.

Lai izvērtētu apmācību ietekmi uz degvielas patēriņu, tika ņemtas vērā stumbra tilpuma izmaiņas. Izveidoti regresijas grafiki, kas parāda degvielas patēriņa izmaiņas pirms un pēc apmācībām, izteikti litros stundā ($L \cdot h^{-1}$), un šie rezultāti attēloti 3.60. attēlā.

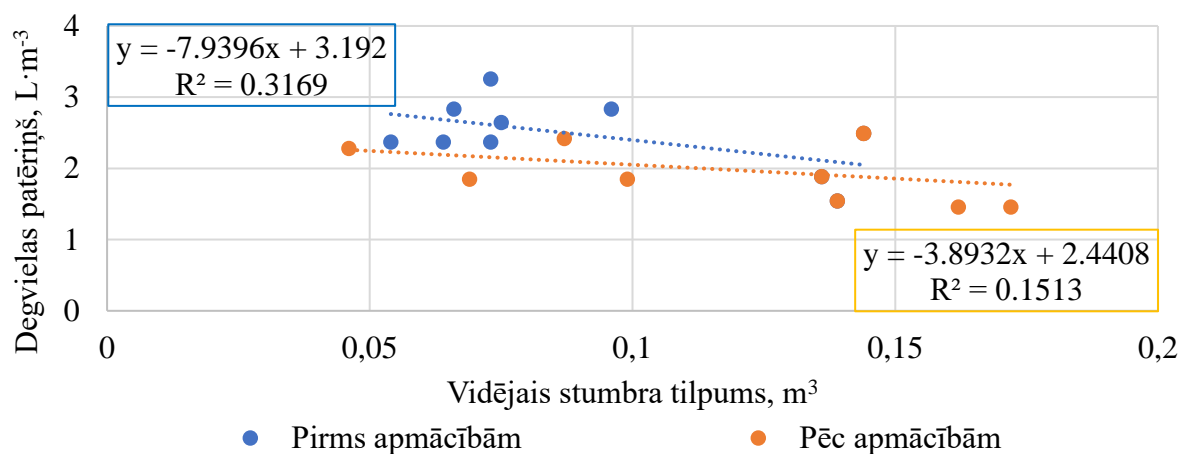


3.60. att. Degvielas patēriņa izmaiņas $L \cdot h^{-1}$ apmācību ietekmē

3.60. attēlā redzamā informācija norāda, ka apmācību rezultātā samazinājies regresijas līknes slīpuma koeficients, kas var liecināt par degvielas patēriņa optimizāciju uz vienu stundu attiecībā pret stumbra tilpumu. Tas nozīmē, ka operatoram ir izdevies vienmērīgāk un efektīvāk noslogot tehniku.

Palielinātā konstantes vērtība norāda, ka sākotnējais degvielas patēriņš ir nedaudz pieaudzis, kas varētu būt saistīts ar apmācību laikā ieviestajām izmaiņām, kas sākotnēji prasa vairāk degvielas, bet ar laiku uzlabojas darba efektivitāte. Pazeminātā R^2 vērtība varētu norādīt, ka degvielas patēriņu ietekmē arī citi faktori, kas regresijas modelī nav iekļauti. Var pastāvēt iespēja, ka operators izmanto dažādas darba metodes, kas palielina variāciju degvielas patēriņā.

Kopumā stundas degvielas patēriņa izmaiņas liecina par pozitīvu apmācību ietekmi, jo samazinājusies atkarība no stumbra tilpuma. Tālāk degvielas patēriņa ietekmi uz apstrādātā tilpuma vienību litros var aplūkot 3.61. attēlā, kas sniegs pilnīgāku priekšstatu par izmaiņām un optimizācijas rezultātiem.

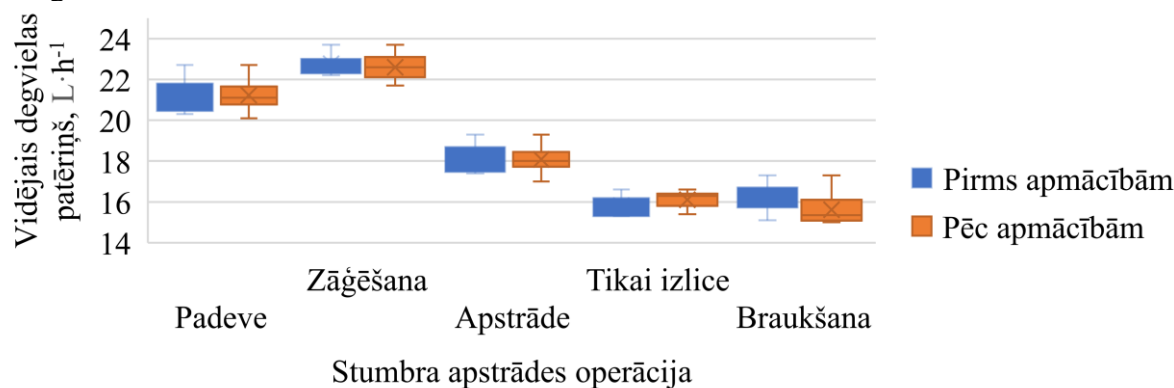


3.61. att. Degvielas patēriņa izmaiņas $L \cdot m^{-3}$ apmācību ietekmē

Šajā attēlā apstiprinās iepriekš novērotā tendence, ka apmācības ir samazinājušas negatīvo korelāciju starp vidējo stumbra tilpumu un degvielas patēriņu. Tas liecina par efektīvāku motora enerģijas izmantošanu, neatkarīgi no stumbra tilpuma. Samazinātais līknes slīpuma koeficients pēc apmācībām norāda uz to, ka operators spēj efektīvāk izmantot tehniku ar mazāku degvielas patēriņu uz vienu apstrādājamo kubikmetru.

Turklāt samazinātais slīpuma koeficients uzrāda kopējo efektivitātes uzlabojumu, kas atspoguļojas samazinātā sākotnējā degvielas patēriņā uz m^3 pēc apmācībām. Zemāka (R^2) vērtība var norādīt uz to, ka pēc apmācībām degvielas patēriņu ietekmē arī citi faktori, kas modelī nav iekļauti, iespējams, saistīti ar operatora tehnikas pielietojuma uzlabošanu. Tas liecina, ka degvielas patēriņš kļūst stabilāks un mazāk atkarīgs no stumbra tilpuma, kas varētu norādīt uz labāku darba tehnikas kontroli un vadīšanu.

Analizējot degvielas patēriņu, *John Deere* ražotāja programma neizdala atsevišķas stumbra tilpuma grupas, bet degvielas patēriņš ir apskatīts atsevišķās operāciju fāzēs pirms un pēc apmācības. Iegūtajos rezultātos statistiski būtiska apmācību ietekme uz degvielas ekonomiju nav konstatēta ($p > 0.05$). Vidējais degvielas patēriņš izmainījās no $18.86 \pm 0.40 L \cdot h^{-1}$ pirms apmācībām uz $18.73 \pm 0.40 L \cdot h^{-1}$ pēc apmācībām, kas ir samazinājums par 1%, un to var uzskatīt par ļoti nenožīmīgu degvielas ekonomiju. Dispersijas un standartnovirzes izmaiņas pēc apmācībām ir ļoti līdzīgas, kas liecina par līdzīgu degvielas patēriņa izkliedi pirms un pēc apmācībām. Tomēr pēc apmācībām vidējā degvielas patēriņa izkliede nedaudz palielinājās. Pīrsona korelācijas koeficients (0.941) rāda ļoti augstu pozitīvu korelāciju starp kopējo un vidējo degvielas patēriņu pirms un pēc apmācībām (3.8. tabula). Ņemot vērā šos rezultātus, ir grūti spriest par apmācību efektivitāti. Programma *Timbermatic* apkopo kopējo degvielas patēriņu un degvielas patēriņu atsevišķās stumbra apstrādes operācijās. Degvielas patēriņa izmaiņas ($L \cdot h^{-1}$) pirms un pēc apmācībām atsevišķās stumbra apstrādes operācijās operatoram C ir grafiski attēlotas 3.62. attēlā.



3.62. att. Degvielas patēriņa izmaiņas atsevišķās stumbra apstrādes operācijās

Tomēr, salīdzinot degvielas patēriņa rādītājus pirms un pēc apmācībām, procentuālā degvielas ekonomija bija pietiekami maza, kā arī rezultātu grafiki bija salīdzinoši līdzīgi, tāpēc papildus analīzei rezultāti ir atspoguļoti 3.11. tabulā.

3.11.tabula

Operatora C degvielas patēriņa izmaiņas pirms un pēc apmācībām

Operācija	Apmācību periods	Vidējais degvielas patēriņš, L·h ⁻¹	Standartnovirze	Degvielas ekonomija, %	Pārsona korelācijas koeficients	p-vērtība
Kopā vidēji	Pirms	18.86 ± 0.40	2.835	-1	0.941	0.16
	Pēc	18.72 ± 0.40	2.862			
Padeve	Pirms	21.18 ± 0.26	0.827	0	-0.287	0.48
	Pēc	21.21 ± 0.27	0.806			
Zāģēšana	Pirms	22.76 ± 0.15	0.465	-1	-0.263	0.29
	Pēc	22.61 ± 0.20	0.636			
Apstrāde	Pirms	18.23 ± 0.22	0.683	-1	-0.312	0.35
	Pēc	18.09 ± 0.21	0.661			
Tikai izlice	Pirms	15.82 ± 0.15	0.478	2	0.269	0.06
	Pēc	16.11 ± 0.13	0.412			
Braukšana	Pirms	16.24 ± 0.22	0.685	-4	0.108	0.03
	Pēc	15.61 ± 0.23	0.714			

Saskaņā ar 3.12. tabulas datiem novērojams, ka apmācību ietekme uz degvielas patēriņu operatoram C bija mainīga. Vienīgā stumbru apstrādes operācija, kurā degvielas patēriņš būtiski samazinājās par 4%, bija “Braukšana” ($p < 0.05$). “Zāģēšanā” un “Apstrādē” degvielas patēriņš samazinājās aptuveni par 1%, “Padeves” laikā tas nemainījās, savukārt operācijas “Tikai izlice” laikā degvielas patēriņš palielinājās par 2%. Salīdzinot ar iepriekš aplūkotajām darba ražīguma izmaiņām, pēc apmācībām operatoram palielinājās operāciju izpildes laiks operācijā “Tikai izlice”, kas, iespējams, ietekmēja arī degvielas patēriņa palielinājumu.

Operators D

Operatoram D izveidots regresijas modelis, lai novērtētu vidējā stumbra tilpuma ietekmi uz degvielas patēriņu L·h⁻¹. Novērtējot degvielas patēriņa izmaiņas, iegūts sekojošs regresijas vienādojums:

$$D = 14.3083 + 7.0304 * v_{vid.} \quad (3.6)$$

kur D – degvielas patēriņš, L·h⁻¹;

$v_{vid.}$ – vidējais stumbra tilpums, m³.

Operatoram D vidējā stumbra tilpuma izmantošana degvielas patēriņa modeļa prognozēšanai nav efektīva, jo pastāv vāja korelācija un zems izskaidrotās variācijas koeficients ($R^2 = 8\%$) un augsta p-vērtība ($p > 0.05$). Modelis nesniedz precizitāti un efektivitāti degvielas patēriņa prognozēšanai, tādēļ nepieciešams apsvērt citu modelēšanas pieeju.

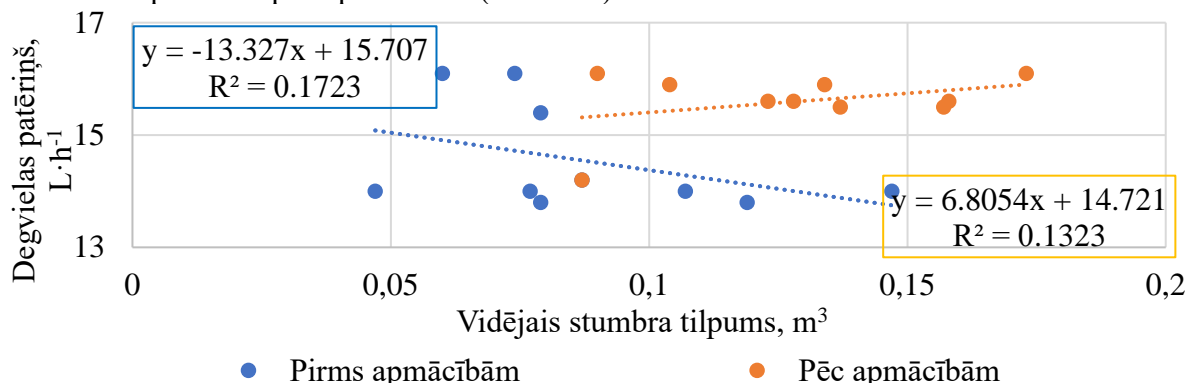
Novērtējot vidējā stumbra tilpuma ietekmi uz degvielas patēriņu L·m⁻³, tika veikta regresijas analīze un, novērtējot degvielas patēriņa izmaiņas L·m⁻³, iegūts sekojošs regresijas vienādojums:

$$D = 2.6998 - 8.4506 * v_{vid.} \quad (3.7)$$

kur D – degvielas patēriņš, L·m⁻³;

$v_{vid.}$ – vidējais stumbra tilpums, m³.

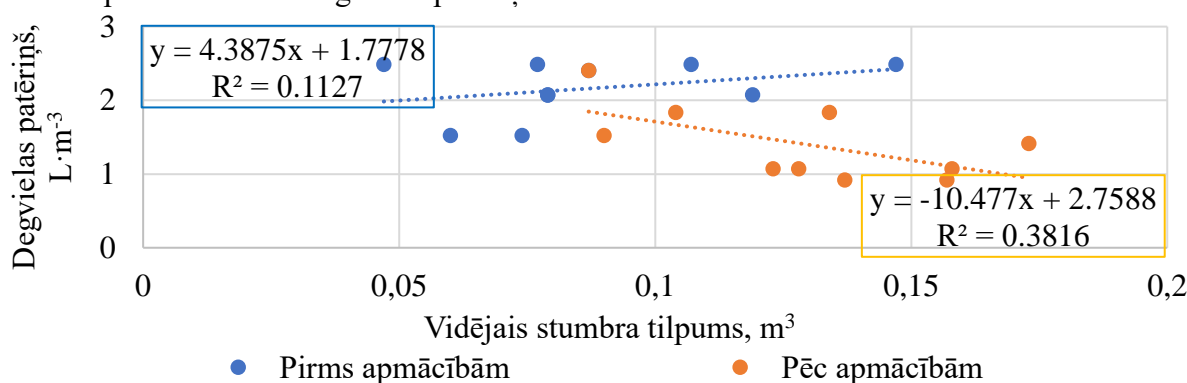
Iegūtā $R^2 = 0.2688$ vērtība izskaidro tikai 26% no degvielas patēriņa variācijām, kas nozīmē, ka pastāv citi faktori, kas ietekmē degvielas patēriņu. Negatīvais koeficients norāda uz negatīvu saistību starp vidējo stumbra tilpumu un degvielas patēriņu uz m^3 . Palielinoties vidējam stumbra tilpumam, degvielas patēriņš uz m^3 samazinās. Šajā modelī vidējais stumbra tilpums degvielas patēriņa analīzē ir statistiski nozīmīgs ($p < 0,05$). Aplūkojot apmācību ietekmi uz degvielas patēriņu, grafiski tiek attēlotas degvielas patēriņa izmaiņas laika vienībā uz kubikmetru pirms un pēc apmācībām (3.63. att.).



3.63. att. Degvielas patēriņa izmaiņas $L \cdot h^{-1}$ apmācību ietekmē

Aplūkojot abu regresijas līkņu vienādojumus, saskatāmas būtiskas līknes izmaiņas. Pirms apmācībām degvielas patēriņš ($L \cdot h^{-1}$), palielinoties stumbra tilpumam, samazinājās, kas norāda uz neefektīvu motora jaudas izmantošanu. Iespējams, apmācību laikā šī problēma tika apspriesta ar operatoru, jo pēc apmācībām novērojams degvielas patēriņa līknes kāpums. Tomēr jāatzīmē šī modeļa vājums, jo R^2 vērtība samazinās no 0.1723 pirms apmācībām līdz 0.1323 pēc apmācībām.

Tā kā degvielas patēriņš ($L \cdot h^{-1}$) raksturo motora jaudas izmantošanu, ir jāaplūko, kā izmainās degvielas patēriņš uz tilpuma vienību. Grafiskais attēlojums ir redzams 3.64. attēlā. Attēlā redzamā degvielas patēriņa tendence pirms apmācībām rāda, ka, palielinoties stumbra tilpumam, palielinājās arī degvielas patēriņš, un zemā R^2 vērtība liecina, ka attiecība starp stumbra tilpumu un degvielas patēriņu ir vāji izteikta. Savukārt pēc apmācībām stumbra tilpuma pieaugums korelē ar degvielas patēriņa samazinājumu. Augstāka R^2 vērtība norāda, ka stumbra tilpums ir nozīmīgāks faktors degvielas patēriņa izmaiņā. Līdz ar to var secināt, ka apmācības devušas pozitīvu efektu degvielas patēriņa samazināšanā

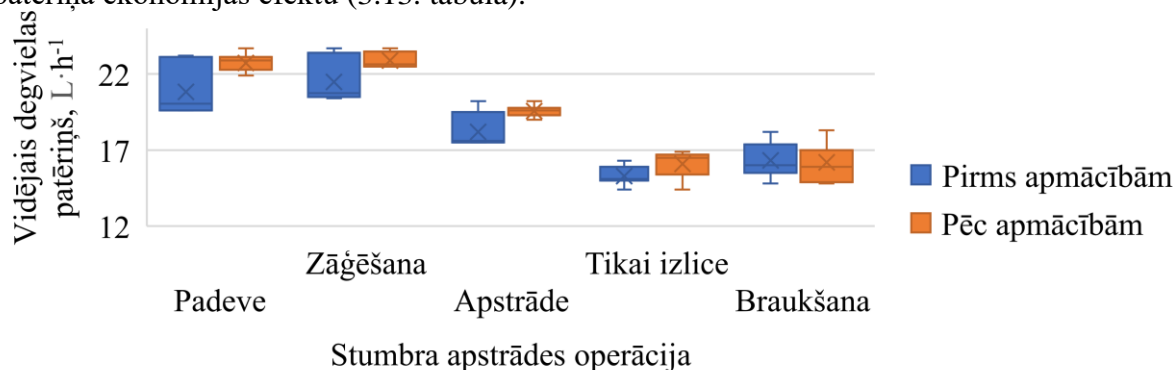


3.64. att. Degvielas patēriņa izmaiņas $L \cdot m^{-3}$ apmācību ietekmē

Salīdzinot regresijas vienādojumus pirms un pēc apmācībām, apmācību efektu apstiprina regresijas vienādojumu slīpuma koeficienta izmaiņa no pozitīva uz negatīvu, kas norāda, ka, palielinoties stumbra tilpumam, degvielas patēriņš uz tilpuma vienību samazinās. Tas apliecina degvielas patēriņa efektivitāti un ievērojamu degvielas patēriņa ekonomijas uzlabojumu.

Arī operatoram D, izmantojot programmas *Timbermatic* apkopoto informāciju, tiek salīdzināta degvielas patēriņa izmaiņa pirms un pēc apmācībām atsevišķām stumbra apstrādes operācijām (3.65. att.). Aplūkojot attēlu, redzams, ka pēc apmācībām operatoram D operācijās

“Padeve”, “Zāģēšana” un “Apstrāde” samazinājusies datu izkliede, kas liecina par vienmērīgāku darba izpildi pēc apmācībām. Novērojams, ka visās operācijās, izņemot “Braukšana”, būtiski palielinājies degvielas patēriņš laika vienībā. Ņemot vērā iepriekš aplūkotos rezultātus degvielas patēriņā uz tilpuma vienību, tas norāda uz pozitīvu degvielas patēriņa ekonomijas efektu (3.13. tabula).



3.65. att. Degvielas patēriņa izmaiņas atsevišķās stumbra apstrādes operācijās

Ņemot vērā iepriekš aplūkotos rezultātus degvielas patēriņā uz tilpuma vienību, tas norāda uz pozitīvu degvielas patēriņa ekonomijas efektu (3.12. tabula).

3.12. tabula

Operatora D degvielas patēriņa izmaiņas pirms un pēc apmācībām

Operācija	Apmācību periods	Vidējais degvielas patēriņš, l h ⁻¹	Standartnovirze	Degvielas ekonomija, %	Pirsona korelācijas koeficients	p-vērtība
Kopā vidēji	Pirms	14.54±0.29	0.941	7	-0.471	0.01
	Pēc	15.60±0.17	0.564			
Padeve	Pirms	20.83±0.52	1.635	9	-0.052	0.01
	Pēc	22.73±0.18	0.576			
Zāģēšana	Pirms	21.49±0.44	0.465	7	0.433	0.01
	Pēc	22.89±0.16	0.511			
Apstrāde	Pirms	18.20±0.34	1.078	7	0.189	0.00
	Pēc	19.56±0.12	0.388			
Tikai izlice	Pirms	15.29±0.18	0.564	5	-0.025	0.02
	Pēc	16.09±0.25	0.799			
Braukšana	Pirms	16.33±0.36	1.142	-1	-0.279	0.42
	Pēc	16.20±0.39	1.262			

3.4.3. Degvielas patēriņa analīze, izmantojot Ponsse degvielas patēriņa datus no Ponsse Opti 4G

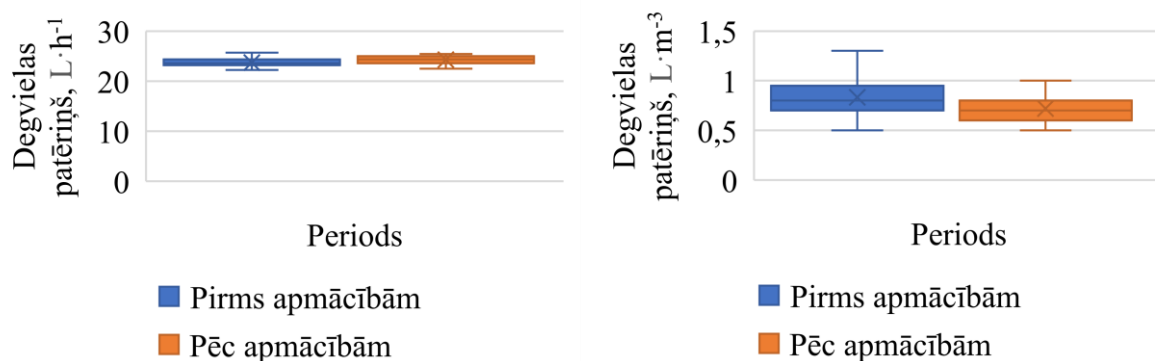
Operators E

Programma Ponsse Manager reģistrē kopējo degvielas patēriņu aplūkojamajā laika periodā, neizdalot degvielas patēriņu atsevišķu operāciju izpildē. Līdz ar to analīzei iegūstam kopējo degvielas patēriņu, kas ir pietiekami, lai novērtētu kopējo degvielas patēriņa izmaiņu tendenci pirms un pēc apmācībām. Lai raksturotu degvielas patēriņa izmaiņas un apmācību

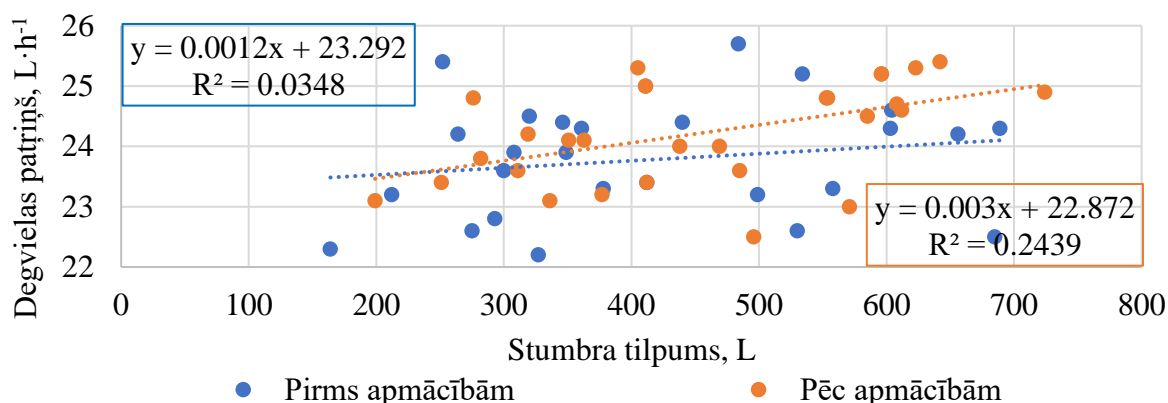
efektivitāti, tiek aplūkoti divi parametri: degvielas patēriņš laika vienībā un degvielas patēriņš uz tilpuma vienību.

3.66. attēla kreisajā pusē redzams, ka operatoram E pēc apmācībām būtiski ($p < 0,05$) palielinājies vidējais degvielas patēriņš ($L \cdot h^{-1}$) par 2%, kā arī samazinājusies datu izkliede. Savukārt attēla labajā pusē redzams, ka pēc apmācībām būtiski ($p < 0,05$) samazinājies degvielas patēriņš uz m^3 , samazinājums sastāda 14%, kā arī pēc apmācībām samazinājusies datu izkliede ap vidējo vērtību.

Aplūkojot šos parametrus kopā, var secināt, ka pēc apmācībām operatora E harvesters tika noslogots pilnvērtīgāk un strādāja ar lielākiem motora darba apgrīzieniem, kā rezultātā palielinājās degvielas patēriņš stundā. Tā rezultātā iespējams apstrādāt vairāk stumbrus, un degvielas patēriņš uz kubikmetru samazinājās.

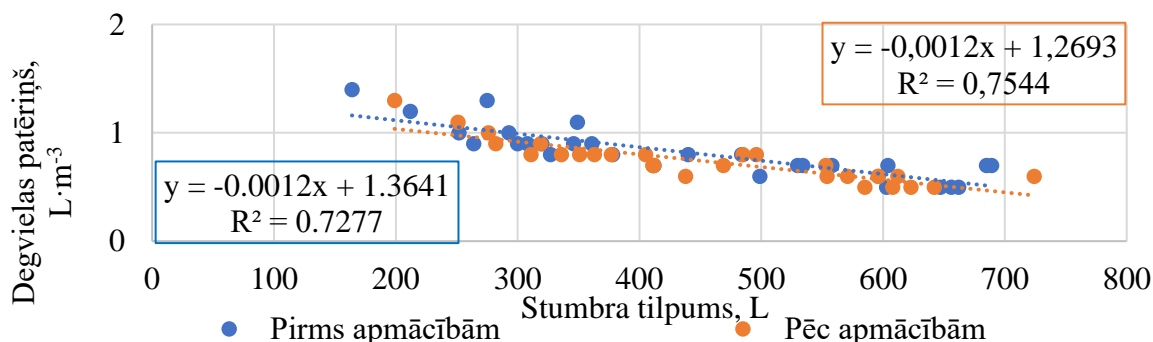


3.66. att. Operatora E degvielas patēriņa izmaiņa pēc apmācībām



3.67. att. Operatora E degvielas patēriņa $L \cdot h^{-1}$ izmaiņa, mainoties stumbra tilpumam

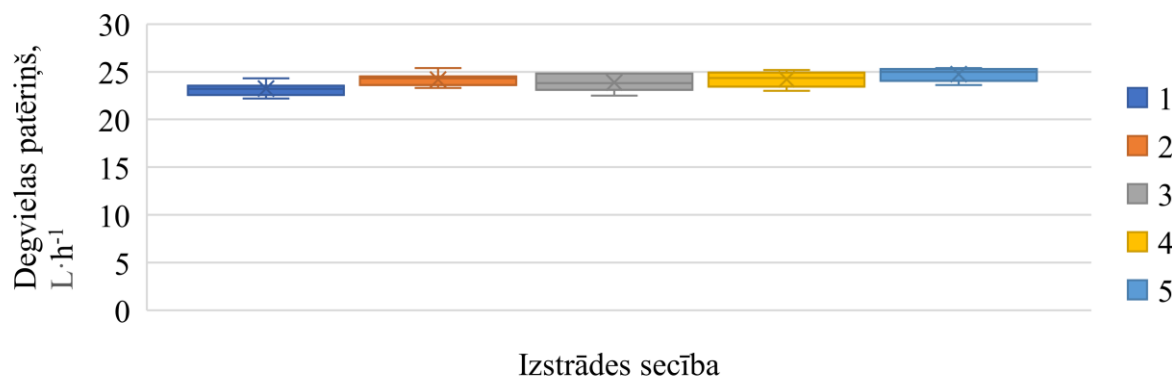
Aplūkojot degvielas patēriņa izmaiņas uz tilpuma vienību, pēc 3.68. attēlā attēlotās informācijas var secināt, ka, palielinoties stumbra tilpumam, degvielas patēriņš samazinās. Cits svarīgs faktors ir tas, ka pēc apmācībām degvielas patēriņš uz tilpuma vienību operatoram E arī samazinās.



3.68. att. Operatora E degvielas patēriņa $L \cdot m^{-3}$ izmaiņa, mainoties stumbra tilpumam

Pēc apmācībām operatoram E degvielas patēriņš uz tilpuma vienību samazinājās vienmērīgi neatkarīgi no stubra tilpuma, kā arī uzlabojās korelācija starp degvielas patēriņu un stubra tilpumu.

Aplūkojot degvielas patēriņa izmaiņas (3.69. att.), operatoram E laika periodā divus mēnešus pirms apmācībām (attēlā 1 un 2) un trīs mēnešus pēc apmācībām (attēlā 3; 4 un 5) novērojama šāda tendence: pirmajā mēnesī pēc apmācībām degvielas patēriņš stundā samazinājās, bet nākošajos mēnešos pakāpeniski palielinājās. Mēnesi pirms apmācībām samazinājās degvielas patēriņa svārstības, un nākošajos mēnešos pēc apmācībām svārstības kļuva stabilas ar tendenci samazināties, ko apliecina standartnovirzes vērtības. Datu izkliedes diapazons pēc apmācībām nedaudz palielinājās, taču nākošajos mēnešos izkliedei bija tendence samazināties un nostabilizēties vienmērīgā līmenī



3.69. att. Operatora E degvielas patēriņa $L \cdot h^{-1}$ izmaiņas dinamika

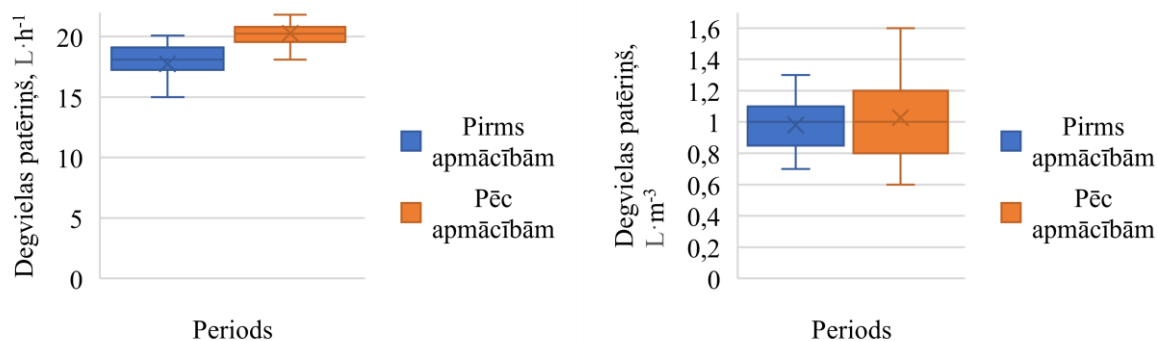
Stundas degvielas patēriņa ietekme uz degvielas patēriņu, apstrādājot vienu kubikmetru, attēlota 3.70. attēlā. Pēc programmā *Ponsse Manager* iegūtās informācijas secināms, ka operatoram E pirms apmācībām vidējais degvielas patēriņš uz kubikmetru palielinājās, bet pēc apmācībām degvielas patēriņam novērojama tendence samazināties. Pēc apmācībām novērojama datu izkliedes samazināšanās, kas liecina par stabilāku un prognozējamu degvielas patēriņu. Kopumā var secināt, ka apmācības operatoram E devušas pozitīvu ietekmi uz degvielas patēriņa samazināšanu.



3.70. att. Operatora E degvielas patēriņa $L \cdot m^{-3}$ izmaiņas dinamika

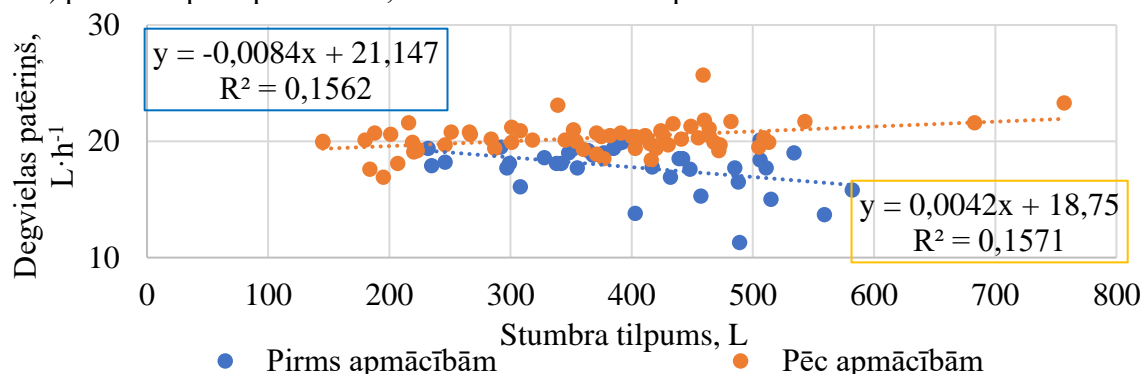
Operators F

Analizējot operatora F apmācību rezultātā notikušās degvielas patēriņa izmaiņas, konstatēts, ka pēc apmācībām degvielas patēriņš stundā palielinājās par 14% (3.71. att.). Šāds degvielas patēriņa pieaugums uzskatāms par būtisku ($p < 0.05$), un tas var liecināt par motora noslodzes palielināšanos. Tomēr, aplūkojot 3.71. attēla labās puses grafiku, redzams, ka degvielas patēriņš uz kubikmetru pēc apmācībām palielinājās par 5%. Tiesa, šis palielinājums nav būtisks ($p > 0.05$). Šādas degvielas patēriņa izmaiņas varētu liecināt par nelielu operatora nekonsekvenci lēmumu pieņemšanā.



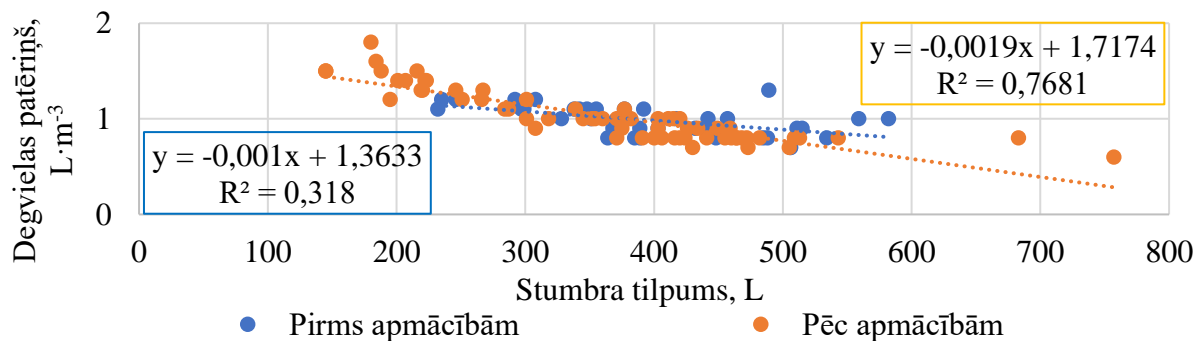
3.71. att. Operatora F degvielas patēriņa izmaiņa pēc apmācībām

Operatora F degvielas patēriņa izmaiņas attiecībā pret stumbra tilpumu pirms un pēc apmācībām attēlotas regresijas analizē. 3.72. attēlā redzamas degvielas patēriņa izmaiņas ($L \cdot h^{-1}$) pirms un pēc apmācībām, mainoties stumbra tilpumam.



3.72. att. Operatora F degvielas patēriņa $L \cdot h^{-1}$ izmaiņa, mainoties stumbra tilpumam

Pirms apmācībām novērojama degvielas patēriņa ($L \cdot h^{-1}$) samazināšanās, palielinoties stumbra tilpumam. Savukārt apmācību laikā veiktie ieteikumi ļāvuši operatoram nedaudz palielināt stundas degvielas patēriņu, kas liecina par efektīvāku motora jaudas izmantošanu. Ņemot vērā zemo R^2 vērtību abos gadījumos, redzama zema saikne starp stumbra tilpuma izmaiņām un degvielas stundas patēriņu. Šajā gadījumā apmācības nebūs vienīgās, kas ietekmēs stundas degvielas patēriņu. Apmācību ietekme uz degvielas patēriņu ($L \cdot m^{-3}$) redzama 3.73. attēlā. Aplūkojot abus regresijas vienādojumus, redzams, ka operatoram F pēc apmācībām straujāk samazinās degvielas patēriņš uz apstrādājamā stumbra kubikmetru, kas liecina par lielāku efektivitāti pēc apmācībām. Pēc apmācībām nedaudz palielinājusies sākotnējā degvielas patēriņa vērtība uz kubikmetru, kad stumbra tilpums ir $0 m^3$, kas varētu liecināt par palēninātu stumbra apstrādes lēmumu pieņemšanas ātrumu. Savukārt pēc apmācībām būtiski palielinājusies R^2 vērtība, kas liecina par efektivitātes palielināšanos, apstrādājot lielāka diametra stumbus.



3.73. att. Operatora F degvielas patēriņa $L \cdot m^{-3}$ izmaiņa, mainoties stumbra tilpumam

Kopumā var secināt, ka apmācības uzlabojušas operatora F degvielas patēriņa efektivitāti, samazinot degvielas patēriņu uz kubikmetru straujāk ar lielākiem stumbra tilpumiem un uzlabojot lineāro saikni starp stumbra tilpuma izmaiņām un degvielas patēriņu.

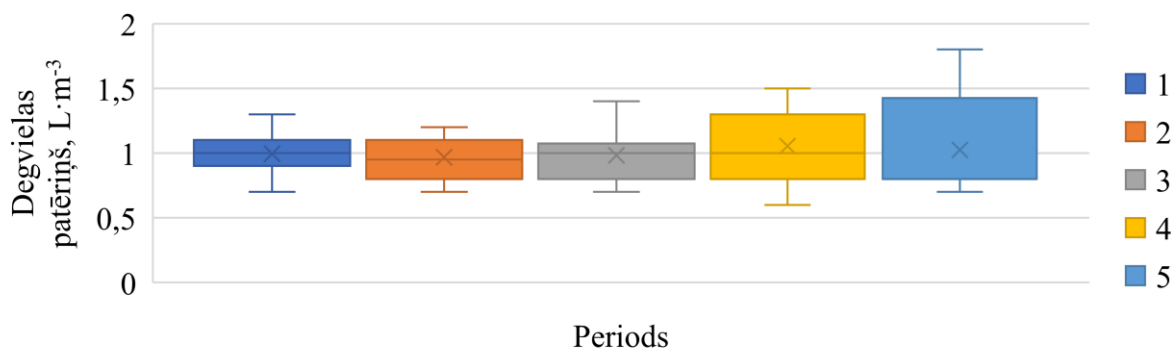
Turpinot analīzi, tiek aplūkota stundas degvielas patēriņa izmaiņu dinamika laika periodā no 2 mēnešiem pirms apmācībām līdz 3 mēnešiem pēc apmācībām. Degvielas patēriņa ($L \cdot h^{-1}$) izmaiņu dinamika attēlota 3.74. attēlā.



3.74. att. **Operatora F degvielas patēriņa $L \cdot h^{-1}$ izmaiņas dinamika**

Kopumā pēc apmācībām vidējais stundas degvielas patēriņš palielinājies, kas var liecināt par efektīvāku tehnikas izmantošanu un darba efektivitātes uzlabošanu. Standartnovirzes izmaiņas norāda uz dažām svārstībām degvielas patēriņā, tomēr vidējie rādītāji vienmērīgi pieauga un datu izkliede samazinājās.

Otrs aplūkojamais faktors – degvielas patēriņš uz kubikmetru – attēlots 3.75. attēlā. Attēlā redzamā tendence parāda, ka operatoram F pēc apmācībām vidējais degvielas patēriņš uz kubikmetru nedaudz palielinājās, kā arī pēc apmācībām novērojama datu izkļedes palielināšanās. Tomēr pozitīvi vērtējams, ka pēc apmācībām lielākā daļa datu koncentrējas zemāko vērtību diapazonā. Kopumā šie rezultāti norāda uz degvielas patēriņa pieaugumu un lielākām variācijām pēc apmācībām, kas var tikt saistītas ar izmaiņām darbības veidā un tehnikas izmantošanā, ņemot vērā apmācībās sniegtās instrukcijas.

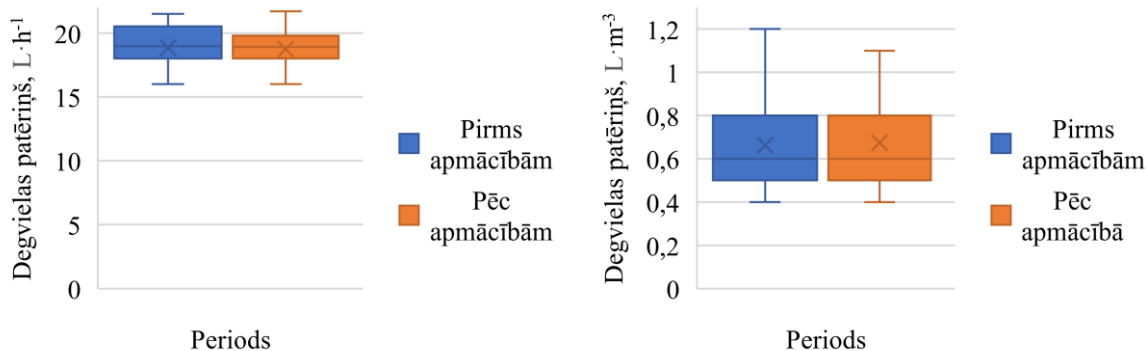


3.75. att. **Operatora F degvielas patēriņa $L \cdot m^{-3}$ izmaiņas dinamika**

Šajā gadījumā, lai noteiktu operatora darbības izmaiņas, nepieciešams veikt turpmāku novērošanu, iegūstot datus ilgākā laika posmā, un turpināt datu analīzi.

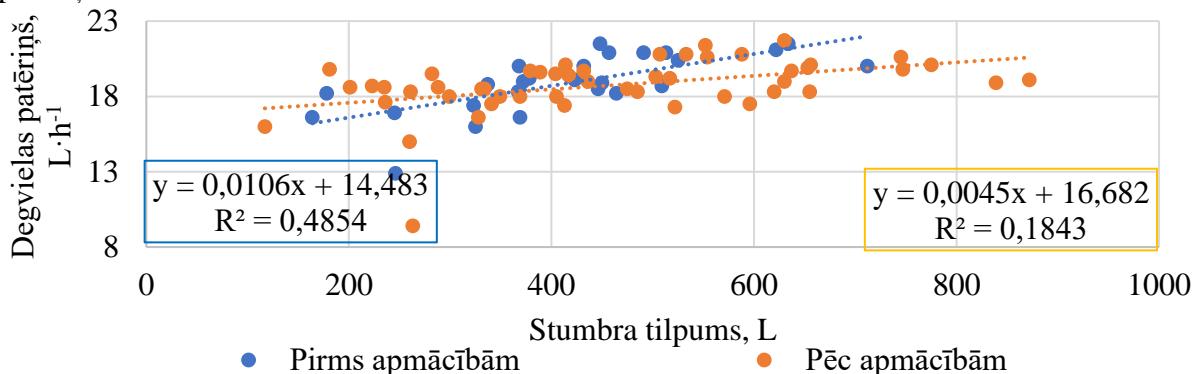
Operators G

Operatoram G, aplūkojot vidējos degvielas patēriņa rādītājus pirms un pēc apmācībām litros stundā un litros uz kubikmetru, iegūti sekojoši rezultāti: degvielas patēriņš laika vienībā ir samazinājies par 2%, taču šis samazinājums nav būtisks ($p > 0.05$). Savukārt degvielas patēriņš uz tilpuma vienību palielinājies par 2%, arī šis palielinājums nav būtisks ($p > 0.05$). Operatoram G stundas degvielas patēriņa samazinājums un vienlaicīgi degvielas patēriņa palielinājums uz kubikmetru tiek vērtēti kā negatīva tendence. Vienīgais pozitīvais aspekts ir datu izkļedes samazināšanās pēc apmācībām litros stundā (3.76. att.).



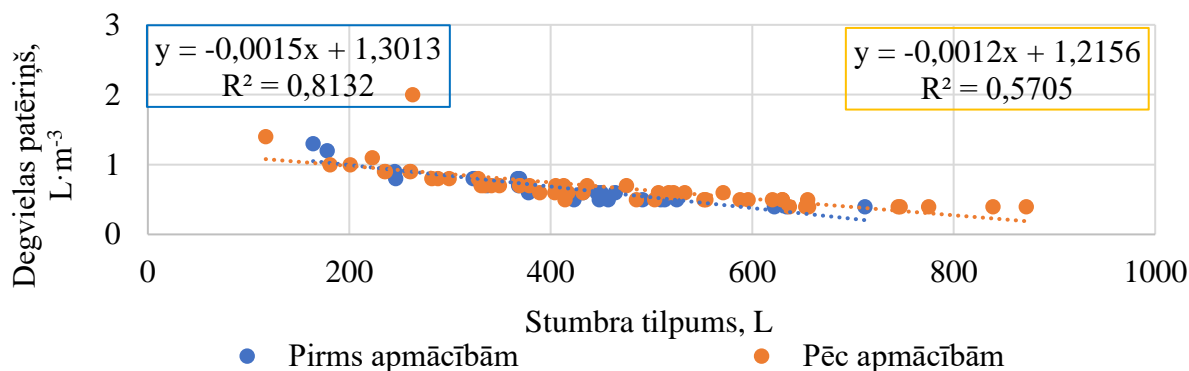
3.76. att. Operatora G degvielas patēriņa izmaiņa pēc apmācībām

Aplūkojot regresijas rezultātus operatoram G, kā izmainās degvielas patēriņš laika vienībā, mainoties stumbra tilpumam pirms un pēc apmācībām (3.77. att.), redzams, ka pēc apmācībām katrs stumbra tilpuma pieaugums par vienu vienību palielina degvielas patēriņu par 0,0045 L·h⁻¹. Šis koeficients ir samazinājies salīdzinājumā ar periodu pirms apmācībām. Savukārt līknes sākuma koeficients ir palielinājies salīdzinājumā ar periodu pirms apmācībām, norādot to, ka pie stumbra tilpuma 0 m³ sākotnējais degvielas patēriņš būtu 16,682 L·h⁻¹. Regresijas koeficients R² pēc apmācībām samazinājies no 0,4854 uz 0,1843, norādot, ka pēc apmācībām stumbra tilpuma izmaiņas kļuvušas mazāk svarīgas, nosakot degvielas patēriņu laika vienībā. Iespējams, ka citi faktori kļuvuši nozīmīgāki un vairāk ietekmē stundas degvielas patēriņu.



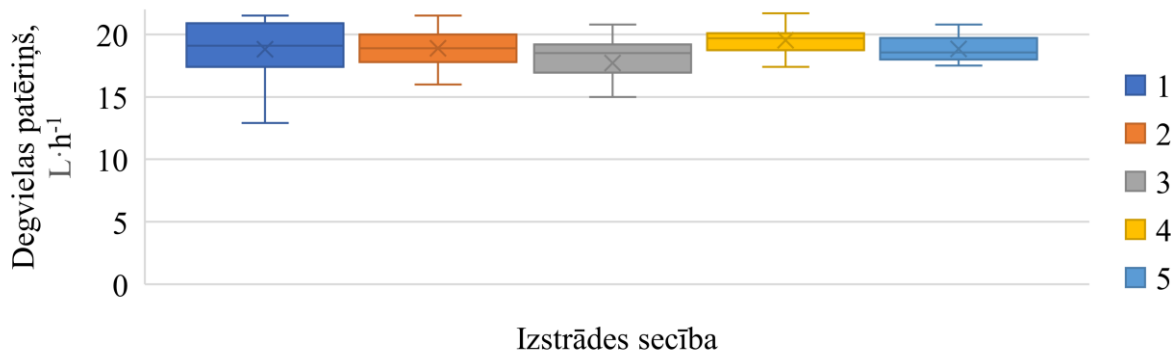
3.77. att. Operatora G degvielas patēriņa L·h⁻¹ izmaiņa, mainoties stumbra tilpumam

Aplūkojot degvielas patēriņa izmaiņas uz tilpuma vienību, redzams, ka pēc apmācībām operatoram G degvielas patēriņa samazinājums, palielinoties stumbra tilpumam par vienu vienību, ir mazāks nekā pirms apmācībām. Savukārt sākotnējais degvielas patēriņš pie stumbra tilpuma 0 m³ pēc apmācībām ir samazinājies no 1.30 L·m⁻³ uz 1.21 L·m⁻³. Tomēr arī R² koeficients ir kļuvis vājāks, norādot, ka pēc apmācībām ir parādījušies citi faktori, kuru ietekme uz degvielas patēriņu kļuvusi nozīmīgāka. Apkopojot rezultātus, var secināt, ka apmācības palīdzējušas samazināt degvielas patēriņu uz kubikmetru, padarot to mazāk atkarīgu no stumbra tilpuma, un samazināt sākotnējo degvielas patēriņu. Tomēr modeļa izskaidrojošā spēja ir samazinājusies, norādot uz citu faktoru ietekmi (3.78. att.).



3.78. att. Operatora G degvielas patēriņa $L \cdot m^{-3}$ izmaiņa, mainoties stumbra tilpumam

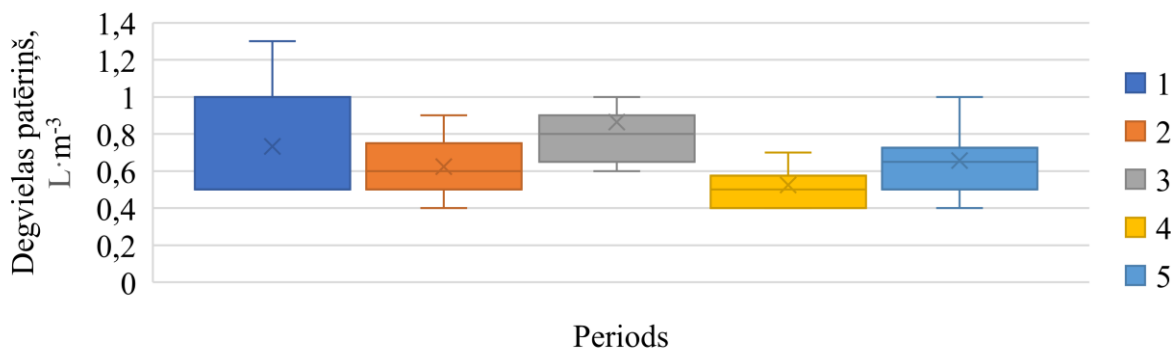
Aplūkojot degvielas patēriņa izmaiņu dinamiku pirms un pēc apmācībām, vispirms tiek apskatīts stundas degvielas patēriņa izmaiņu laika periods (3.79. att.). Vidējais degvielas patēriņš laika vienībā pirmajā mēnesī pēc apmācībām samazinājās, bet pēc tam palielinājās, tomēr uzrāda svārstīgu tendenci un nav stabils. Tomēr pēc apmācībām novērojama zināma svārstīguma samazināšanās, kā arī mazāka datu izkliede.



3.79. att. Operatora G degvielas patēriņa $L \cdot h^{-1}$ izmaiņas dinamika

Kopumā apmācības operatoram G pozitīvi ietekmējušas stundas degvielas patēriņu, padarot rādītājus stabilākus, tomēr pirmajā periodā novērojamas lielākas svārstības, kas vēlāk stabilizējas.

Aplūkojot degvielas patēriņa dinamiku litros uz tilpuma vienību, novērojams, ka pēc apmācībām operatoram G vidējais degvielas patēriņš kopumā ir mainīgs, kas var norādīt uz dažādām izmaiņām apmācību rezultātā. Standartnovirze un kļūda pēc apmācībām paliek līdzīga, norādot uz līdzīgu izkliedi degvielas patēriņā. Pieminams, ka pēc apmācībām pieauga diapazons un variācija, kas vēlāk samazinājās, norādot uz lielāku stabilitāti degvielas patēriņā uz kubikmetru (3.80. att.).



3.80. att. Operatora G degvielas patēriņa $L \cdot m^{-3}$ izmaiņas dinamika

Apkopojot rezultātus, apmācības izraisīja dažādas izmaiņas degvielas patēriņā, sākotnēji palielinot izkliedi un ekstremālās vērtības, bet vēlāk – stabilizējot degvielas patēriņu un samazinot izkliedi. Tas norāda uz pakāpenisku efektivitātes uzlabošanos un stabilitātes pieaugumu pēc apmācībām.

SECINĀJUMI

1. Laika posmā no 2019. līdz 2021. gadam StanForD 2010 atbalstošās tehnikas īpatsvars Latvijas harvesteru flotē palielinājies par 30%. Tomēr detalizēts vecuma un ražotāju vērtējums atklāj, ka vairāk nekā puse sērijveida mašīnu, kas formāli atbilst standartam, nespēj nodrošināt pilnu datu telemetrijas paketi sensoru kalibrācijas ierobežojumu dēļ. Šāds rezultāts uzsver nepieciešamību ne vien palielināt atbilstību skaitliskā izpratnē, bet arī veikt kvalitatīvu mašīnu datu plūsmas validāciju un sertificētu atjauninājumu ieviešanu, lai nodrošinātu metodoloģiski korektu datu iegūšanu ražošanas procesa monitoringam.
2. Meža mašīnu operatoru kvalifikācijas paaugstināšana nodrošina ne tikai ražīguma un tehnikas izmantošanas efektivitātes pieaugumu, bet arī saudzīgāku mežizstrādi (mazāk paliekošo koku un augsnes bojājumu) un sagatavotā materiāla kvalitāti (vidējais degvielas patēriņš pēc apmācībām samazinājās par $9,4 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\text{SD} = 3,1 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$; $p < 0,01$), bet darba ražīgums pieauga par 11 % ($p < 0,05$)). Šobrīd Latvijā operatoru apmācības nodrošina visi tehnikas izplatītāji, un lielākā daļa aptaujāto meža mašīnu operatoru (75% forvardera operatoru un 66% harvestera operatoru) apmācību procesu vērtē kā pozitīvu pieredzi, tomēr atzīst, ka apmācību metodiskā pieeja varētu būt mērķtiecīgāka. Lai apmācību procesu padarītu efektīvāku, vispirms ir jāanalizē harvesteru sistēmas sniegtā informācija, kurā ir identificējamās galvenās problēmas, kam pievērst uzmanību apmācību procesa plānošanā.
3. Automatizēti iegūtu .hpr un .mom datņu integrācija darba plānošanā sniedz statistiski nozīmīgu izmaksu samazinājumu: vidējās izmaksas uz sagatavoto m^3 koksnes samazinājās par 4,8 % ($p < 0,05$), turklāt degvielas patēriņa elastība pret sagatavotā stumbra tilpumu saruka no $0,43 \text{ L}\cdot\text{m}^{-3}$ līdz $0,29 \text{ L}\cdot\text{m}^{-3}$, kas norāda uz ražošanas procesa stabilitātes pieaugumu. Šie rezultāti apstiprina darba tēzi, ka StanForD 2010 datu lietojums spēj ne tikai uzlabot atsevišķu operatoru sniegumu, bet arī optimizēt uzņēmuma līmeņa loģistikas un resursu sadali
4. Pētījumā konstatēts, ka 70% operatoru pēc apmācībām degvielas patēriņš samazinājās par 10% un vairāk, savukārt 30% operatoru degvielas patēriņš palielinājās. Degvielas patēriņa izmaiņas ir skaidrojamas ar to, ka operatoriem nepieciešams atšķirīgs laiks pielāgoties jaunajiem apstākļiem, kā arī efektīvu tehnikas potenciāla izmantošanu. Ja vienlaicīgi ar degvielas patēriņa pieaugumu neuzlabojas ražīgums, nepieciešama atkārtota kļūdu analīze un papildu apmācība.
5. Pētījumā iekļautajiem operatoriem pirms un pēc apmācībām, kurās izmantoti automātiski identificēto kļūdu analīzes rezultāti, iegūtie ražīguma rezultāti būtiski ($p < 0,05$) atšķiras, līdz ar to pētījumā izvirzītā tēze apstiprinās, un harvesteru automātiski iegūtos datus var izmantot operatoru apmācību efektivitātes analīzē, apmācību plānošanā un efektivitātes novērtēšanā.

REKOMENDĀCIJAS

Praksei orientētā rekomendācija, ko var īstenot nekavējoties, ir telemetrijas kvalitātes nodrošināšana visā harvesteru flotē: katru reizi, kad tiek ieviests vai atjaunināts StanForD 2010 atbalsts, jāveic sensora kalibrācijas audits un dati jāvalidē, izmantojot atsevišķu kontrolmērījumu sēriju. Tas garantēs, ka iegūtā .hpr un .mom datu straume ir salīdzināma starp dažādām mašīnām un laika periodiem, tā novēršot kļūdainu secinājumu risku turpmākajos analītiskajos līmeņos. Otrs praktiskais solis ir individualizēta operatoru mentoringa sistēmas ieviešana: izmantojot reāllaika degvielas patēriņa, zāģējuma precizitātes un darba ražīguma rādītājus, jāveido personalizēti mācību moduļi, kurus pielāgo katra operatora kompetences līmenim un darba gaitas dinamikai, nevis jāturpina balstīties tikai uz periodiskām klātienē apmācībām. Trešais ieteikums praksē skar plānošanas disciplīnu: uzņēmuma ikdienas kokmateriālu plūsmas un loģistikas optimizācijā StanForD 2010 datiem jāieņem līdzvērtīga loma ar ekonomiskajiem un tirgus indikatoriem, tādējādi risinot ne vien mikro-, bet arī makroefektivitātes jautājumus - novēršot degvielas izmaksu pieauguma un minimizējot stāvēšanas laikus.

Turpmāko pētījumu kontekstā vispirms nepieciešams paplašināt izlasē iekļauto tehnoloģisko platformu un uzņēmumu spektru, it īpaši iekļaujot nelielus mežizstrādes uzņēmumus, kuru darbībā līdz šim bijusi limitēta piekļuve pilnai StanForD 2010 funkcionalitātei. Šāda paplašināšana ļaus novērtēt, cik lielā mērā tirgus struktūra un mēroga ekonomijas ietekmē ieguvumus no datu integrācijas. Otrkārt, jāveic paplašināts operatoru apmācības efektivitātes novērtējums, sadarbojoties ar profesionālās izglītības iestādēm un sekojot vienai un tai pašai operatoru komandai vairākus gadus, lai kvantitatīvi fiksētu prasmes pasliktināšanās vai uzlabošanās tempus un to mijiedarbību ar tehnoloģisko inovāciju cikliem. Treškārt, lietderīgi izstrādāt mašīnmācīšanās modeļus, kas, balstoties uz StanForD 2010 un attālās izpētes (piemēram, LiDAR) datu sintēzi, spēj prognozēt darba maiņas laikā sagaidāmo degvielas patēriņu un ražīgumu konkrētam meža posmam, tādējādi atbalstot taktisko resursu plānošanu un riska vadību klimata pārmaiņu apstākļos.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Alam, M., Walsh, D., Strandgard, M., & Brown, M. (2014). A log-by-log productivity analysis of two Valmet 475EX harvesters. *International Journal of Forest Engineering*, 25(1), 14–22. <https://doi.org/10.1080/14942119.2014.891668>
2. Arhipova, I., & Bāliņa, S. (2003). Statistika ekonomikā. *Risinājumi Ar SPSS Un Microsoft Excel*. Rīga, Datorzinību Centrs, 349.
3. Arlinger, J., & Möller, J. (2010). Introduction to StanForD 2010. In *Skogforsk*.
4. Arlinger, J., & Möller, J. J. (2014). Time studies based on automatic data collection. *Proceedings of the 5th Forest Engineering Conference, Gerardmer, France*, 23–26.
5. Arlinger, J., Möller, J. J., Sorsa, J. A., & Räsänen, T. (2012). Introduction to StanForD 2010. Structural descriptions and implementation recommendations. In *Skogforsk*. Skogforsk (published draft).
6. AS “Latvijas Valsts meži”. (2022). *Apaļo kokmateriālu kvalitātes apraksts* (Vol. 12). AS “Latvijas valsts meži.” https://www.lvm.lv/images/lvm/koksnes_produkta/aktualitates_un_piedavajumi/2021/2021_10_04_istermina_vsn/3_pielikums_apalo_kokmaterialu_kvalitates_apraksts.pdf
7. Barth, A., & Holmgren, J. (2013). Stem taper estimates based on airborne laser scanning and cut-to-length harvester measurements for pre-harvest planning. *International Journal of Forest Engineering*, 24(3), 161–169. <https://doi.org/10.1080/14942119.2013.858911>
8. Bhuiyan, N., Möller, J., Hannrup, B., & Arlinger, J. (2016). Arealberäkning samt registrering av kranvinkel för identifiering av stickvägsträd och beräkning av gallringskvot. In *Report from Skogforsk* (Vol.899). https://www.skogforsk.se/cd_20190114161523/contentassets/6eda4307138347648171f87e3d9a3885/automatisk-gallringsuppfoljning-arealberakning-samt-registrering-av-kranvinkel-for-identifiering-av-sticktrad-och-berakning-av-gallringskvot-arbetsrapport-899-2016.pdf
9. Bolding, M. C., Kellogg, L. D., & Davis, C. T. (2009). Productivity and costs of an integrated mechanical forest fuel reduction operation in southwest Oregon Mid-Atlantic Sustainable Biomass for Value-added Products Consortium (MASBio) View project Assessing the Characteristics and Supporting Factors that Lead to Logging Machine Value Loss View project. *Forest Products Journal*, 59(3), 35–46. <https://www.researchgate.net/publication/253038009>
10. Brewer, J., Talbot, B., Belbo, H., Ackerman, P., & Ackerman, S. (2018). A comparison of two methods of data collection for modelling productivity of harvesters: Manual time study and follow-up study using on-board-computer stem records. *Annals of Forest Research*. <https://doi.org/10.15287/afr.2018.962>
11. Brown, M., Strandgard, M., Acuna, M., Walsh, D., & Mitchell, R. (2011). Improving Forest Operations Management through Applied Research. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 32(2), 471–480. www.afca.
12. Brunberg, T. (1991). Underlag för produktionsnormer för beståndsgående engreppsskördare i gallring - en litteraturstudie. Summary: Productivity norms for stand-operating single-grip harvesters in thinning - a study of the literature. In *SkogsForsk* (p. 23). The Forestry Research Institute of Sweden.
13. 1965 In *Arbetsrapport från Skogforsk 789*. (Arbetsrapport).
14. Brunberg T., Lazdinsh A., Lazdāns V., Thor M., & Wilhelmsson L. (2007). *Logging with 5 and 13 assortments at Latvijas Valsts Meži, Latvia – studies and analyses*. https://www.lvm.lv/images/lvm/sortFinal_report_071221.pdf
15. Brunberg, T., Thelin, A., & Westerling S. (1989). Underlag för produktionsnormer för engreppsskördare i gallring. Summary: Basic data for productivity standards for single-grip harvesters in thinning. In *SkogsForsk* (p. 25). The Forestry Research Institute of Sweden.,
16. CAN IN AUTOMATION. (2011). *History of CAN technology*. <https://www.can-cia.org/can-knowledge/can/can-history>

17. Ceļu satiksmes likums. . (1997). In <https://likumi.lv/doc.php?id=45467>: Vol. 274/276. Latvijas Vēstnesis.
18. Da Cruz, F. (1987). *Kermit, a file transfer protocol*. Digital Press. <https://kermitproject.org/onlinebooks/kermitbook.pdf>
19. Delmaire, M., & Labelle, E. R. (2022). Use of Harvester Data to Estimate the Amount of Merchantable Non-Utilized Woody Material Remaining after Mechanized Cut-to-Length Forest Operations. *Forests*, 13(6), 945. <https://doi.org/10.3390/f13060945>
20. Dvořák J., Malkovský Z., & Macků J. (2008). Influence of human factor on the time of work stages. *Journal of Forest Science*, 54(1), 24–30.
21. Elferts, D. (2012). Praktiskā biometrija. In *Piemēri darbā ar programmu R. Pieejama <http://dendro.daba.lv/R/gramata>*.
22. Eliasson, L. (1998). *Analyses of single-grip harvester productivity*. https://www.researchgate.net/profile/Lars-Eliasson/publication/325897172_Analyses_of_Single-Grip_Harvester_Productivity/links/5b2b9457aca272821e46157b/Analyses-of-Single-Grip-Harvester-Productivity.pdf
23. Eliasson, L., Grönlund, Ö., Lundström, H., & Sonesson, J. (2020). Harvester and forwarder productivity and net revenues in patch cutting. *International Journal of Forest Engineering*, 1–8. <https://doi.org/10.1080/14942119.2020.1796433>
24. Eriksson, M., & Lindroos, O. (2014). Productivity of harvesters and forwarders in CTL operations in northern Sweden based on large follow-up datasets. *International Journal of Forest Engineering*, 25(3), 179–200. <https://doi.org/10.1080/14942119.2014.974309>
25. Gellerstedt, S. (1997). Mechanised cleaning of young forest — The strain on the operator. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20(2), 137–143. [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(96\)00046-7](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(96)00046-7)
26. Gerasimov, Y., Senkin, V., & Väättäinen, K. (2012). Productivity of single-grip harvesters in clear-cutting operations in the northern European part of Russia. *European Journal of Forest Research*, 131(3), 647–654. <https://doi.org/10.1007/s10342-011-0538-9>
27. Glade, D. (1999). Single- and double-grip harvesters - Productive measurements in final cutting of shelterwood. *Journal of Forest Engineering*, 10(2), 63–74.
28. Gülci, N., Yüksel, K., Gülci, S., Serin, H., Bilici, E., & Akay, A. E. (2021). Analysis of a feller-buncher productivity: a case study of whole-tree harvesting from Marmara region, Turkey. *Ann. For. Res*, 64(1), 99–110. <https://doi.org/10.15287/afr.2021.2033>
29. Häggström, C. (2015). *Human factors in mechanised cut-to-length forest operation* [Swedish University of Agricultural Sciences]. <https://publications.slu.se/?file=publ/show&id=67031>
30. Hånell, B., Nordfjell, T., & Eliasson, L. (2000). Productivity and Costs in Shelterwood Harvesting. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15(5), 561–569. <https://doi.org/10.1080/028275800750173537>
31. Holmgren, J., Barth, A., Larsson, H., Olsson, H., & others. (2012). Prediction of stem attributes by combining airborne laser scanning and measurements from harvesters. *Silva Fenn*, 46(2), 227–239.
32. Holopainen, M., Vastaranta, M., Rasinmäki, J., Kalliovirta, J., Mäkinen, A., Haapanen, R., Melkas, T., Yu, X., & Hyyppä, J. (2010). Uncertainty in timber assortment estimates predicted from forest inventory data. *European Journal of Forest Research*, 129, 1131–1142.
33. Holtzsch, M. A., & Lanford, B. L. (1997). Tree diameter effects on cost and productivity of cut-to-length systems. *Forest Products Journal*, 47(3), 25–30.
34. Ivanovs, J., Kaleja, S., & Lazdins, A. (2019). LiDAR datu izmantošana koku augstuma novērtēšanai. In *Ziņojums*. www.silava.lv
35. Jankovský, M., Messingerová, V., Ferenčík, M., & Allman, M. (2016). Objective and subjective assessment of selected factors of the work environment of forest harvesters and forwarders. *Journal of Forest Science*, 62(No. 1), 8–16. <https://doi.org/10.17221/120/2014-JFS>

36. Johansson, K. H., Törngren, M., & Nielsen, L. (2005). Vehicle Applications of Controller Area Network. In *Handbook of Networked and Embedded Control Systems* (pp. 741–765). Birkhäuser Boston. https://doi.org/10.1007/0-8176-4404-0_32
37. Kärhä, K., Esa, R., & Seppo-Ilmari, G. (2004). Productivity and Cutting Costs of Thinning Harvesters. *International Journal of Forest Engineering*, 43, 43–56.
38. Kariniemi, A. (2006). Operator-specific model for mechanical harvesting—cognitive approach to work performance. *Helsingin Yliopiston Metsävarojen Käytön Laitoksen Julkaisuja*, 38, 45–67.
39. Kariniemi A. (2006). *Operator-specific model for mechanical harvesting—Cognitive approach to work performance*. University of Helsinki.
40. Kellogg, L. D., & Bettinger, P. (1994). Thinning Productivity and Cost for a Mechanized Cut-to-Length System in the Northwest Pacific Coast Region of the USA. *Journal of Forest Engineering*, 5(2), 43–54. <https://doi.org/10.1080/08435243.1994.10702659>
41. Kemmerer, J., & Labelle, E. R. (2021). Using harvester data from on-board computers: a review of key findings, opportunities and challenges. *European Journal of Forest Research*, 140(1). <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01313-4>
42. Kiencke, U., Dais, S., & Litschel, M. (1986). Automotive serial controller area network. *SAE Transactions*, 823–828.
43. Kiljunen, N. (2002). Estimating Dry Mass of Logging Residues from Final Cuttings Using a Harvester Data Management System. *International Journal of Forest Engineering*, 13(1), 17–25. <https://doi.org/10.1080/14942119.2002.10702452>
44. Kirk, P. M., Byers, J. S., Parker, R. J., & Sullman, M. J. (1997). Mechanisation Developments Within the New Zealand Forest Industry: The Human Factors. *Journal of Forest Engineering*, 8(1), 75–80.
45. Köppler, L. (2017). Automatisk gallringsuppföljning - utvärdering av stickvägslängd beräknad från skördarnas produktionsdata. In *Arbetsrapport* (p. 42). Sveriges lantbruksuniversitet. www.slu.se/sbt
46. Lageson, H. (1997). Effects of thinning type on the harvester productivity and on the residual stand. *Journal of Forest Engineering*, 8(2), 7–14.
47. Larsson, M. (2017). Precision i automatisk gallringsuppföljning. In *Arbetsrapport*. Sveriges lantbruksuniversitet. www.slu.se/sbt
48. Lindroos, O. (2008). The Effects of Increased Mechanization on Time Consumption in Small-Scale Firewood Processing. *Silva Fennica*, 42(5), 791–805. <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf42/sf425791.pdf792>
49. Lindroos, O. (2010). Scrutinizing the Theory of Comparative Time Studies with Operator as a Block Effect. *International Journal of Forest Engineering*, 21(1), 20–30. <https://doi.org/10.1080/14942119.2010.10702587>
50. Liski, E., Jounela, P., Korpunen, H., Sosa, A., Lindroos, O., & Jylhä, P. (2020). Modeling the productivity of mechanized CTL harvesting with statistical machine learning methods. *International Journal of Forest Engineering*, 31(3), 253–262. <https://doi.org/10.1080/14942119.2020.1820750>
51. Makkonen, O. (1954). Metsätöiden vertailevan aikatutkirnuks-periaate. Summary: The principle of comparative time studies in forest work. *Acta For.Fenn.*, 61(14).
52. Malinen, J. (2018). Productivity of Cut-to-Length Harvesting by Operators' Age and Experience (15-22). In *Croat. j. for. eng* (Vol. 39).
53. Maltamo, M., Bollandsas, O. M., Vauhkonen, J., Breidenbach, J., Gobakken, T., & Naesset, E. (2010). Comparing different methods for prediction of mean crown height in Norway spruce stands using airborne laser scanner data. *Forestry*, 83(3), 257–268. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpq008>
54. Manner, J., Palmroth, L., Nordfjell, T., & Lindroos, O. (2016). Load level forwarding work element analysis based on automatic follow-up data. *Silva Fennica*, 50(3). <https://doi.org/10.14214/sf.1546>

55. *Noteikumi par traktortehnikas un tās piekabju valsts tehnisko apskati un tehnisko kontroli uz ceļiem*, (2022) (testimony of Ministru kabineta noteikumi Nr. 203). <https://likumi.lv/ta/id/331225-noteikumi-par-traktortehnikas-un-tas-piekabju-valsts-tehnisko-apskati-un-tehnisko-kontroli-uz-celiem>
56. Murphy, G., Wilson, I., & Barr, B. (2006). Developing methods for pre-harvest inventories which use a harvester as the sampling tool. *Australian Forestry*, 69(1), 9–15. <https://doi.org/10.1080/00049158.2006.10674982>
57. Nakagawa, M., Hamatsu, J., Saitou, T., & Ishida, H. (2007). Effect of Tree Size on Productivity and Time Required for Work Elements in Selective Thinning by a Harvester. *International Journal of Forest Engineering*, 18(2), 24–28. <https://doi.org/10.1080/14942119.2007.10702547>
58. Natov, P., Dvořák, J., & Jankovský, M. (2020). *Guidelines for Scaling Timber by Harvesters in the Czech Republic 2018*. Czech University of Life Sciences Prague. www.fld.czu.cz
59. Neruda, J., & Valenta, J. (2003). Factors of the efficiency of harvesters and forwarders in logging. In *Austro2003: High Tech Forest Operations for Mountainous Terrain*.
60. Nicholls, A., Bren, L., & Humphreys, N. (2004). Harvester Productivity and Operator Fatigue: Working Extended Hours. *International Journal of Forest Engineering*, 15(2), 57–65. <https://doi.org/10.1080/14942119.2004.10702497>
61. Nurminen, T., Korpunen, H., & Uusitalo, J. (2006). Time Consumption Analysis of the Mechanized Cut-to-length Harvesting System. *Silva Fennica*, 40(2), 335–363. <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf40/sf402335.pdf>
62. Nuutinen, Y., Väätäinen, K., Asikainen, A., Prinz, R., Nuutinen, J. H., Väätäinen, Y., Asikainen, K., & Heinonen, R. &. (2010). Operational Efficiency and Damage to Sawlogs by Feed Rollers of the Harvester Head. *Silva Fennica*, 44(1), 121–139. <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf44/sf441121.pdf>
63. Nuutinen, Y., Väätäinen, K., Heinonen, J., Asikainen, A., & Röser, D. (2008). The accuracy of manually recorded time study data for harvester operation shown via simulator screen. *Silva Fennica*, 42(1). <https://doi.org/10.14214/sf.264>
64. Olivera, A., Visser, R., Acuna, M., & Morgenroth, J. (2016). Automatic GNSS-enabled harvester data collection as a tool to evaluate factors affecting harvester productivity in a Eucalyptus spp. harvesting operation in Uruguay. *International Journal of Forest Engineering*, 27(1), 15–28. <https://doi.org/10.1080/14942119.2015.1099775>
65. Ovaskainen, H. (2005). Comparison of harvester work in forest and simulator environments. *Silva Fennica*, 39(1), 89–101.
66. Ovaskainen, H. (2009). Timber harvester operators' working technique in first thinning and the importance of cognitive abilities on work productivity. In *Dissertationes Forestales* (Vol. 79).
67. Ovaskainen, H., Uusitalo, J., & Väätäinen, K. (2004). Characteristics and Significance of a Harvester Operators' Working Technique in Thinnings. *International Journal of Forest Engineering*, 15(2), 67–77. <https://doi.org/10.1080/14942119.2004.10702498>
68. Pagnussat, M. B., Silva Lopes, E. da, & Robert, R. C. G. (2021). Machine availability and productivity during timber harvester machine operator training. *Canadian Journal of Forest Research*, 51(3), 433–438. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0164>
69. Pagnussat, M., Lopes, E., Silva, P., Diniz, C. C., & Watzlawick, L. (2014). Desempenho de operadores de diferentes idades no treinamento com simulador virtual forwarder. *Enciclopédia Biosfera*, 10(18).
70. Palander, T., Nuutinen, Y., Kariniemi, A., & Väätäinen, K. (2013). Automatic time study method for recording work phase times of timber harvesting. *Forest Science*. <https://doi.org/10.5849/forsci.12-009>
71. Palander, T., Ovaskainen, H., & Tikkanen, L. (2012). An adaptive work study method for identifying the human factors that influence the performance of a human-machine system. *Forest Science*, 58(4), 377–389. <https://doi.org/10.5849/forsci.11-013>

72. Peltola, A. (2003). IT-time for Mechanised Forest Work Study. . *2nd Forest Engineering Conference* , 107–112.
73. Pētersons, J., & Drēska, A. (2014). Harvester darba ražīgums krājas kopšanas cirtēs un izcērtamo koku vidējie stumbru tilpumi dažāda sugu sastāva audzēs. *Mežzinātne*, 28(61), 153–165.
74. Prinz, R., Spinelli, R., Magagnotti, N., Routa, J., & Asikainen, A. (2018). Modifying the settings of CTL timber harvesting machines to reduce fuel consumption and CO2 emissions. *Journal of Cleaner Production*, 197, 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.210>
75. Prinz, R., Väättäinen, K., & Routa, J. (2021). Cutting duration and performance parameters of a harvester's sawing unit under real working conditions. *European Journal of Forest Research*, 140(1), 147–157. <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01320-5>
76. Purfürst, F. T. (2010). Learning curves of harvester operators | Krivulje usavršavanja vozača harvester. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 32(2), 89–97.
77. Purfürst, F. T., & Erler, J. (2011). The Human Influence on Productivity in Harvester Operations. *International Journal of Forest Engineering*. <https://doi.org/10.1080/14942119.2011.10702606>
78. Purfürst, T., & Erler, J. (2006). The precision of productivity models for the harvester - do we forget the human factor. *Proceedings of the International Precision Forestry Symposium. 68 Precision Forestry in Plantations, Semi-Natural and Natural Forests*, 465–475. <https://www.researchgate.net/publication/286182093>
79. Puttock, D., Spinelli, R., & Hartsough, B. R. (2005). Operational Trials of Cut-To-Length Harvesting of Poplar in a Mixed Wood Stand. *International Journal of Forest Engineering*, 16(1), 39–49. <https://doi.org/10.1080/14942119.2005.10702506>
80. Rasinmäki, J., & Melkas, T. (2005). A method for estimating tree composition and volume using harvester data. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 20(1), 85–95. <https://doi.org/10.1080/02827580510008185>
81. Sarmulis, Z., & Saveļjevs, A. (2015). *Meža darbi un tehnoloģijas*. Studentu biedrība “Šalkone.” <http://www.mf.llu.lv/getfile.php?id=2297>
82. Sherwin, L. M., Owende, P. M. O., Kanali, C. L., Lyons, J., & Ward, S. M. (2004). Influence of forest machine function on operator exposure to whole-body vibration in a cut-to-length timber harvester. *Ergonomics*, 47(11), 1145–1159. <https://doi.org/10.1080/00140130410001702141>
83. Siipilehto, J., Lindeman, H., Vastaranta, M., Yu, X., & Uusitalo, J. (2016). Reliability of the predicted stand structure for clear-cut stands using optional methods: airborne laser scanning-based methods, smartphone-based forest inventory application Trestima and pre-harvest measurement tool EMO. *Silva Fennica*, 50(3). <https://doi.org/10.14214/sf.1568>
84. Sirén, M. (1998). *Hakkuukonetyö, sen korjuujälki ja puustovaurioiden ennustaminen*. (Vol. 694). Metsäntutkimuslaitos.
85. Sirén, M. (1998). *Hakkuukonetyö, sen korjuujälki ja puustovaurioiden ennustaminen. [One-grip harvester operation, its silvicultural result and possibilities to predict tree damage]*. The Finnish Forest Research Institute.
86. Skogforsk. (2007). Standard for Forest Data and Communications. *Skogforsk*.
87. Spinelli, R., & Visser, R. (2008). Analyzing and Estimating Delays in Harvester Operations. *International Journal of Forest Engineering*, 19(1), 36–41. <https://doi.org/10.1080/14942119.2008.10702558>
88. Stendahl, J., & Dahlin, B. (2002). Possibilities for Harvester-based Forest Inventory in Thinnings. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 17(6), 548–555. <https://doi.org/10.1080/02827580260417206>
89. Strandgard, M., & Mitchell, R. (2015). Automated time study of forwarders using GPS and a vibration sensor. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 36(2), 175–184.
90. Strandgard, M., Walsh, D., & Acuna, M. (2013). Estimating harvester productivity in Pinus

- radiata plantations using StanForD stem files. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 28(1), 73–80. <https://doi.org/10.1080/02827581.2012.706633>
91. Strubergs, A., Lazdins, A., & Sisenis, L. (2020). Evaluation of compliance of existing forest machine information systems for the implementation of the standard stanford 2010. *Research for Rural Development*, 35. <https://doi.org/10.22616/rrd.26.2020.010>
 92. Strubergs, A., Lazdins, A., & Sisenis, L. (2021). Use of stanford2010 data for determination of effect of harvester operator periodic training on productivity and fuel economy. *Engineering for Rural Development*, 20. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF252>
 93. Strubergs, A., Lazdins, A., & Sisenis, L. (2022). Use of ctl harvester .hpr and .mom files to analyze impact of operator training on productivity. *ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT*, 432–437. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF148>
 94. *Traktortehnikas reģistrācijas dati Latvijas Republikā* . (n.d.). Retrieved February 22, 2022, from <https://data.gov.lv/dati/lv/dataset/traktortehnikas-registracijas-dati-latvijas-republika>
 95. Wenhold, R., Ackerman, P., Ackerman, S., & Gagliardi, K. (2020). Skills development of mechanized softwood sawtimber cut-to-length harvester operators on the Highveld of South Africa. *International Journal of Forest Engineering*, 31(1), 9–18. <https://doi.org/10.1080/14942119.2019.1578561>
 96. Zimelis A., Okmanis M., & Lazdiņš A. (2015). *Logset H5 harvestera darba ražīgums krājas kopšanas cirtēs*.