

Harvestera darba ražīgums krājas kopšanas cirtēs un izcērtamo koku vidējie stumbru tilpumi dažāda sugu sastāva audzēs

Jānis Pētersons^{1*}, Andris Drēska¹

Pētersons, J., Drēska, A. (2014). Harvestera darba ražīgums krājas kopšanas cirtēs un izcērtamo koku vidējie stumbru tilpumi dažāda sugu sastāva audzēs. *Mežzinātne* 28(61): 153–165.

Kopsavilkums. Šajā pētījumā skaidrots, kā dažāds audžu sugu sastāvs ietekmē harvestera darbu krājas kopšanas cirtēs Latvijā. Apsekotajās priežu un egļu tīraudzēs, kā arī mistrotajās lapu koku audzēs, noteikts vidējais izvācamā koka stumbra tilpums, pēc kura iespējams prognozēt harvestera darba ražīguma izmaiņas.

Pētījumam izmantoti harvestera dati – darba laika uzskaites faili (*.drf), kuros darba ražīgums izteikts kā sagatavotais apaļkoksnes apjoms kubikmetros laika vienībā – stundā ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$). Dati ņemti no 99 krājas kopšanas cismām, 33 priežu tīraudzēm, 33 egļu tīraudzēm un 33 lapu koku mistraudzēm. Visi dati ievākti A/S „Latvijas valsts meži” apsaimniekotajos mežos. Pētījumu rezultātā noskaidrots, ka augstāko darba ražīgumu harvesters uzrāda strādājot priežu tīraudzēs – $3,96 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$, kur vidējā izvācamā koka stumbra tilpums ir $0,092 \text{ m}^3$. Otrs augstākais harvestera darba ražīgums konstatēts jaukto sugu audzēs – $3,67 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$, kur vidējā izvācamā koka stumbra tilpums ir $0,085 \text{ m}^3$, savukārt zemākais ražīguma rādītājs ir egļu tīraudzēs – $3,09 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$, pie vidējā izvācamā koka stumbra tilpuma $0,068 \text{ m}^3$. Būtiskas harvestera darba ražīguma atšķirības ir starp priežu un egļu tīraudzēm. Salīdzinot darba ražīguma aprēķinātās standartnovirzes, redzam, ka mistraudzēs tās ir vislielākās, turpretī egļu tīraudzēs – vismazākās. Tas nozīmē, ka harvestera darba ražīguma rādītāji, kopjot dažādas mistraudzes, svārstās plašā diapazonā, un mežizstrādātājiem būs grūti prognozējams darba ražīgums katrā atsevišķā mistraudzes cismā, turpretī egļu tīraudzēs harvestera darba ražīguma rādītāju izkliedes diapazons ir šaurāks.

Nozīmīgākie vārdi: harvesters, darba ražīgums, krājas kopšana.

...

Petersons, J.^{2*}, Dreska, A.² **Harvester productivity in commercial thinning and average volumes of trees to be cut in the stands with different composition of species.**

Abstract. The study ascertains how different compositions of stand species and average volumes of trees to be cut affect the work of the harvester in commercial thinning under Latvia's conditions.

¹ Latvijas Lauksaimniecības Universitāte, Meža fakultāte, Akadēmijas iela 11, Jelgava, LV-3001, Latvija;

* e-pasts: j.petersons@lvm.lv

² Latvia University of Agriculture, Forest faculty, Akademijas str. 11, Jelgava, LV-3001, Latvia;

* e-mail: j.petersons@lvm.lv

In machine operated commercial thinning one of the most economic parameters is the work productivity of the harvester. According to the definition, work productivity is a measure which shows what amount of product can be produced per unit of time. Harvester work productivity is usually measured as the volume of the product – roundwood harvested per hour ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$). Harvester productivity in commercial thinnings is affected by a variety of factors. Summarizing the findings of several forestry scientists these factors can be divided into 3 big groups: forestry factors, technical factors and operator's factors.

The species of a tree as a factor affecting harvester productivity in commercial thinnings has been researched only partly. Several specialists admit that the work in coniferous stands cause fewer problems than work in deciduous and mixed stands. Thus, it has been approved that harvester productivity in coniferous stands is higher than in deciduous stand under similar conditions. When performing commercial thinning it is very important to develop a target stand model, which significantly depends on the composition of species in the stand. The prevailing view is – the more complex the composition of the tree species of the forest stand before thinning, the quicker the productivity of the machinery decreases, when compared to pure stands.

The data of the harvester – time-tracking files (*.drf) have been used as a basis for the study, where productivity is expressed as the prepared amount of round timber in cubic meters in a unit of time – an hour ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$). The data were collected from about 99 commercial thinning areas which were divided into three types depending on the composition of the species: pure pine stands, pure spruce stands and deciduous tree mixed stands. All the data for the study were collected in the forests managed by JSC “Latvia’s State Forests”.

These thinned stands were selected so that their area would not be less than 2.0 ha. Afterwards these machine operated thinned stands were divided according to their composition of species. The felling sites in which, when divided into compartments, the dominant species differed, and where the forest types differed considerably, were excluded. As a result, the analysis was carried out from 99 commercial thinning sites with a total area of 556.1 ha. This data group accounts for 4.3 % of the annual area harvested in commercial thinnings in JSC “Latvia’s State Forests”. To exclude regional specifics, peculiarities of operators, logging companies and harvesters, the thinned stands were selected uniformly located over the entire territory of Latvia. In the researched felling sites the three most popular makes and models of commercial thinning harvesters in Latvia were used: John Deere 1070, Ponsse Beaver and Valmet 901.4.

The research demonstrates that the harvester showed its highest productivity while working in pure pine stands – $3.96 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$, where the average volume of the stem to be removed is 0.092 m^3 . The second best result was achieved in the mixed stands – $3.67 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$, where the average volume of the stem to be removed is 0.085 m^3 but the lowest rate was demonstrated in pure spruce stands – $3.09 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$ at the average volume of the stem to be removed 0.068 m^3 . Significant differences were observed in the productivity of the harvester between pure pine

and pure spruce stands. Comparing the calculations of standard deviations in the harvester productivity it can be seen that they are the biggest in mixed stands, while the lowest rate is demonstrated in pure spruce stands. Hence it may be concluded that the productivity rates of the harvester can vary in a large range during thinning in different mixed stands, therefore it could be difficult for the loggers to predict the productivity performance in each of the mixed stand felling areas. On the contrary, the range of the harvester's productivity rates in pure spruce stands is smaller.

Key words: harvester, productivity, thinning.

...

Петерсонс, Я.^{3*}, Дрешка, А.³ **Производительность труда харвестера на рубках ухода и средние объёмы стволов срубленных деревьев в насаждениях с различным породным составом.**

Резюме. В данном исследовании выяснено, как различный породный состав лесонасаждения влияет на производительность труда харвестера на рубках ухода в Латвии. В подопытных чистых сосновых и еловых насаждениях и в смешанных лиственных насаждениях был определён средний объём ствола поваленного дерева по которому можно прогнозировать изменения производительности труда харвестера. В процессе исследований использованы компьютерные данные учёта результатов работы харвестера – файл учёта рабочего времени (*drf.), где производительность труда выражается как заготовленный объём круглых лесоматериалов в единицу рабочего времени – час ($\text{м}^3/\text{час}$). Информация собрана на 100 лесосеках, где рубки ухода проводило акционерное общество A/S «Latvijas Valsts Meži» («Латвийские государственные леса»). Использованный лесосечный фонд условно был разделен на три вида, в зависимости от породного состава: чистые сосновые и чистые еловые насаждения и смешанные лиственные насаждения.

В результате исследований установлено, что наибольшую производительность труда харвестер достигает в чистых сосновых насаждениях – $3,96 \text{ м}^3/\text{час}$, где средний объём ствола поваленного дерева имеет $0,092 \text{ м}^3$. Второй наивысший показатель производительности труда харвестера определён в смешанных лиственных насаждениях – $3,67 \text{ м}^3/\text{час}$, где средний объём ствола поваленного дерева имеет $0,085 \text{ м}^3$, в свою очередь самая низкая производительность труда установлена в чистых еловых насаждениях – $3,09 \text{ м}^3/\text{час}$, при среднем объёме ствола поваленного дерева $0,068 \text{ м}^3$.

Производительность труда харвестера имеет существенное различие между чистыми сосновыми и чистыми еловыми насаждениями. Сравнивая производительность труда харвестера, расчёт стандартных отклонений показал, что в смешанных лиственных насаждениях оно самое высокое, а в чистых еловых насаждениях –

³ Латвийский сельскохозяйственный университет, Факультет леса, ул. Академijas 11, Елгава, LV-3001, Латвия; *эл. почта: j.petersons@lvu.lv

самое низкое. Из этого следует, что выполняя рубки ухода в смешанных лиственных насаждениях, производительность харвестера проявляется в большом диапазоне, поэтому лесозаготовителям будет затруднительно прогнозировать производительность труда на той или иной лесосеке. В чистых еловых насаждениях производительность харвестера находится в более узком диапазоне.

Ключевые слова: харвестер, производительность труда, рубка ухода.

Ievads

Mežsaimniecībai Latvijas ekonomikā, salīdzinājumā ar citiem biznesa virzieniem, ir īpaši svarīga nozīme, un tādēļ viens no tās uzdevumiem ir – ar iespējami zemākām izmaksām, ievērojot valstī pastāvošās likumu un noteikumu prasības, saražot augstvērtīgu koksni. Paralēli mašinizācijas ieviešanai mežizstrādes praksē, notiek mežizstrādes mašīnu ražīguma izpēte. Ja galvenās izmantošanas cirtēs mašinizētās tehnoloģijas nodrošina ātru un efektīvu cērtamo koku apstrādi un pārvietošanos smagos braukšanas apstākļos, tad, izdarot kopšanas cirtes, ir būtiski svarīgi lai paliekošā audzes daļa saglabātos vesela un tās turpmākā attīstība būtu perspektīva, izslēdzot atstājamo koku sakņu un virszemes daļas bojājumus un sasniedzot mērķa audzes optimumu (Розинь, 1978; Савельев, 1989; Ovaskainen, 2009).

Veicot kopšanas cirti mašinizēti, viens no svarīgākajiem ekonomiskajiem rādītājiem ir harvestera darba ražīgums – lielums, kas rāda, kādu produkta daudzumu var saražot noteiktā laika vienībā. Harvestera darba ražīgumu parasti mēra kā stundā sagatavotās apalkoksnes apjomu ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$).

Harvestera darba ražīgumu krājas kopšanas cirtēs ietekmē dažādi faktori, kas, apkopojot vairāku mežzinātnieku atziņas, iedalāmi 3 lielās grupās:

- 1) mežsaimnieciskie faktori;
- 2) tehniskie faktori;
- 3) operatora darba faktori.

Iepriekš teiktais liecina, ka harvestera darba ražīgums krājas kopšanas cirtēs ir sarežģīts daudzfaktoru rādītājs. Lielākajā daļā pētījumu, kas saistīti ar tehnikas izmantošanu mežizstrādē, konstatēts, ka mežsaimnieciskos faktorus galvenokārt nosaka mežaudzes taksācijas rādītāji:

- cērtamā koka vidējais stumbra tilpums;
- audzes sugu sastāvs;
- audzes biežība;
- meža augšanas apstākļu tips (grunts noturība, koku savstarpējais izvietojums);
- cērtamā koka stumbra forma.

Tādēļ analizēta sakarība starp cērtamo koku vidējo stumbra tilpumu un mežizstrādes ražīgumu. Praktiski visu mežizstrādē izmantoto tehnisko līdzekļu ražīguma rādītāji cieši korelē ar vidējā koka stumbra tilpumu (m^3). Šo sakarību konstatējuši arī Latvijas valsts mežzinātnes institūta „Silava” pētnieki: ka, palielinoties vidējā koka stumbra tilpumam, palielinās arī harvestera darba ražīgums. To apliecina arī daudzu Ziemeļvalstīs (Brunberg, 1997; Brunberg *et al.*, 2007; Lageson, 1997; Eliasonu, 1998; Siren, 2003) un Ziemeļamerikā veikto pētījumu rezultāti (Kellog & Bettinger, 1994; Landford & Stokes, 1995, 1996; Pulkki, 2003). Modernie harvesteri ir tik efektīvi, ka lielu izmēru

koku apstrādāšana ir tikai nedaudz laikieltīpīgāka salīdzinājumā ar mazāku izmēru koku apstrādi, kas nodrošina darba ražīguma pieaugumu, tomēr šī attiecība nav lineāra. Pie noteikta stumbra tilpuma harvestera darba ražīgums atkal sāk samazināties (Lageson, 1997), kas liecina, ka konkrētajai mežizstrādes mašīnai šādas koku dimensijas ir parāk lielas.

Koku suga, kā harvestera ražīgumu ietekmējošs faktors krājas kopšanas cirtēs, izpētīts tikai daļēji. Vairāki speciālisti atzīst, ka darbs skujkoku audzēs ir mazāk problemātisks nekā lapu koku un mistrota sastāva audzēs. Līdz ar to arī harvestera ražīgums skujkoku audzēs ir lielāks, nekā līdzīgos apstākļos lapu koku audzēs. Veicot kopšanas cirti, īpaši svarīgs ir paredzētās mērķa audzes izveides modelis, ko būtiski nosaka audzes sugu sastāvs. Jo sarežģītāks mežaudzes koku sugu sastāvs pirms kopšanas, jo, salīdzinājumā ar tīraudzēm, straujāk samazinās izmantotās tehnikas darba ražīgums (Uusitalo, 2004).

Ņemot vērā iepriekš minēto, noteikts šī pētījuma mērķis – salīdzināt harvestera darba ražīgumu krājas kopšanas cirtēs dažāda sugu sastāva audzēs.

Materiāls un metodes

Harvestera darba ražīgums saistībā ar audzes raksturojumu analizēts, izmantojot harvesteru darba laika uzskaites failus – *.drf. Katrā konkrētajā cirsma tie automātiski

fiksējas un uzkrājas izmantojamā harvestera datorā, saglabājot gan informāciju par harvestera aktīvo darba laiku un dikstāvēm, gan datus par to, cik vidēji kubikmetru apaļkoksnis sagatavotas konkrētajā laika vienībā – stundā ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) katrā cirsma, dalījumā pa operatoriem u.c.

Šajā pētījumā harvesteru darba laika uzskaites faili iegūti no A/S „Latvijas valsts meži” datu arhīvu serveriem. Vispirms rūpīgi ir atlasītas un izvērtētas mašinizēti izkoptās audzes. Lai izslēgtu reģionālās, operatoru, mežizstrādes firmu un harvesteru ietekmes īpatnības, izraudzītās audzes ir vienmērīgi izvietotas visā valsts teritorijā. Pieņemts, ka pētījumā darba ražīgums analizējams, izmantojot 99 krājas kopšanas cirsmu datus. Izkoptās audzes atlasītas tā, lai to platība nebūtu mazāka par 2,0 ha. Pēc tam tās iedalītas pēc sugu sastāva. Pētījumā netika iekļautas tās krājas kopšanas cirsmas, kurās, sadalījumā pa nogabaliem, atšķirās valdošā suga un meža tips. Analīzei izmantota 99 krājas kopšanas cirsma (kopējā platība 556,1 ha) iegūtā informācija. Šāda ievāktā datu kopa sastāda 4,3 % no ikgadējā A/S “Latvijas valsts meži” izkopto krājas kopšanas cirsmu platības.

Pētītajās cirsma izmantoti trīs Latvijā populārāko krājas kopšanas harvesteru modeļi: *John Deere 1070*, *Ponsse Beaver* un *Valmet 901.4*. Informācija par pētījuma cirsma apkopota 1. tabulā.

1. tabula, Table 1

Pētījumā izmantoto krājas kopšanas cirsma raksturojums
Characterization of the sampling plots in the study area

LVM iecirknis <i>Forest district</i>	Kvartāls <i>Forest block</i>	Nogabals (-i) <i>Compartment(-s)</i>	Platība, ha <i>Area, ha</i>	Sastāvs <i>Species composition</i>	Izcirstā vid. stumbra tilpums, m ³ <i>Cutted average trunk volume, m³</i>	Harvestera ražīgums, m ³ h ⁻¹ <i>Harvester productivity, m³ h⁻¹</i>	Harvestera marka, modelis <i>Harvester make, model</i>
Aknīstes	37	12; 15	7,7	9E1B	0,141	5,23	John Deere 1070
Žiguru	437	15	4,9	9E1B	0,130	4,37	John Deere 1070
Krīvukalna	410	28	2	10E	0,096	4,33	John Deere 1070
Misas	345	11	5,2	9E1B	0,118	4,73	Ponsse Beaver
Aknīstes	246	1	3,1	9E1B	0,110	4,07	Valmet 901.4
Zilokalnu	194	20; 26	4,7	9E1B	0,122	4,86	John Deere 1070
Pededzes	522	6; 9; 10	6,3	9E1B	0,096	3,96	John Deere 1070
Madonas	4	4; 5; 7; 8	3,5	9E1B	0,081	3,64	Valmet 901.4
Limbažu	45	4; 5	3,4	9E1B	0,066	3,21	John Deere 1070
Aknīstes	242	16	4,7	10E	0,066	3,31	Valmet 901.4
Lubānas	322	18	3	9E1B	0,047	2,89	John Deere 1070
Piebalgas	259	13; 22	3,7	9E1B	0,052	3,01	John Deere 1070
Vecumnieku	299	8	2,1	10E	0,048	2,85	John Deere 1070
Ludzas	196	2; 13; 18; 22	9,5	10E	0,064	3,16	John Deere 1070
Lejasciema	445	8	2,1	9E1B	0,061	3,4	John Deere 1070
Apriķu	203	17	3,1	9E1B	0,065	3,11	John Deere 1070
Madonas	310	15	2,5	9E1B	0,051	2,92	Valmet 901.4
Limbažu	134	2; 3	2,1	9E1B	0,045	2,02	John Deere 1070
Silvas	257	2	2,3	9E1B	0,048	2,26	John Deere 1070
Žiguru	315	9; 10; 12	10,3	9E1B	0,065	3,34	John Deere 1070
Mārupes	236	8	2,1	10E	0,051	2,91	John Deere 1070
Pededzes	525	15	4,7	9E1B	0,049	2,36	John Deere 1070
Aknīstes	13	15	3	9E1B	0,049	2,77	Valmet 901.4
Skaistkalnes	373	4	3,7	9E1B	0,071	3,15	John Deere 1070
Pededzes	150	6; 7; 8; 9	9	10E	0,057	3,01	John Deere 1070
Piejūras	344	9; 14; 15	10	9E1B	0,051	2,48	John Deere 1070
Salacgrīvas	153	1	2,1	9E1B	0,053	1,99	John Deere 1070
Ogres	240	14; 17	8	10E	0,051	2,75	John Deere 1070
Krīvukalna	410	26	3,7	10E	0,056	2,85	John Deere 1070
Aknīstes	248	18; 19	6,7	10E	0,048	1,54	Valmet 901.4
Lejasciema	443	15; 16	3	9E1B	0,066	2,85	John Deere 1070
Valmieras	38	5; 9	16,3	10E	0,046	1,33	John Deere 1070
Pededzes	482	5; 7	2,2	9E1B	0,048	1,86	John Deere 1070
Sikšņu	209	7	2,4	10E	0,049	2,6	John Deere 1070
Rēzeknes	100	7; 8; 9; 10	16,7	5B2M2E1A	0,144	5,61	Ponsse Beaver
Melnupes	146	7; 1 8	4,6	3O3E2B1 Ba1A	0,152	6,15	John Deere 1070

1. tabula (turpinājums), Table 1 (continued).

LVM iecirknis <i>Forest district</i>	Kvartāls <i>Forest block</i>	Nogabals (-i) <i>Compartment(-s)</i>	Pla- tība, ha <i>Area, ha</i>	Sastāvs <i>Species composition</i>	Izcirstā vid- stumbra tilpums, m ³ <i>Cutted average trunk volume, m³</i>	Harves- tera raži- gums, m ³ h ⁻¹ <i>Harvester producti- vity, m³ h⁻¹</i>	Harvestera marka, modelis <i>Harvester make, model</i>
Engures	151	12; 22	2,5	6B2E2L	0,155	6,78	Ponsse Beaver
Mārupes	434	3	2,1	5B3A2E	0,135	5,2	John Deere 1070
Krīvukalna	270	17	4,3	5A4B1Ba	0,130	5,67	John Deere 1070
Vēru	208	9; 10; 11; 12	8,5	6B2P1E1Ba	0,147	5,6	John Deere 1070
Rendas	336	1; 5; 6; 13; 20	6,7	6B2M1P1E	0,149	5,93	Ponsse Beaver
Balvu	44	2	7,7	5B4A1E	0,149	5,59	John Deere 1070
Ābeļu	106	3; 4	6,8	6B3A1E	0,133	5,09	John Deere 1070
Balvu	57	9; 10; 17	10	5B4A2E	0,143	5,04	John Deere 1070
Pededzes	215	1	12,9	6B2E1A	0,119	4,26	John Deere 1070
Rūjienas	285	1; 3; 5; 6	5,8	3Ba3E3B1A	0,070	3,52	John Deere 1070
Lubānas	582	2; 7	5,5	5A3Ba2B	0,082	3,72	Valmet 901.4
Venemas	230	16	2	6B2E1M1A	0,108	4,03	John Deere 1070
Limbažu	308	12	5,9	4B3Ba2M1E	0,044	2,22	John Deere 1070
Pededzes	181	1; 2; 5	9,6	5B3L2M	0,096	3,81	John Deere 1070
Rendas	422	20; 21	2,2	5B3M1Ba	0,049	2,36	Ponsse Beaver
Lejasciema	315	14; 15; 16; 17; 23	8,6	6B2E1M1A	0,056	2,99	John Deere 1070
Balvu	160	2; 6; 8; 9; 13	6,4	4B2P2A1 E1M	0,062	3,32	John Deere 1070
Limbažu	467	5	2,5	3Ba3M2- E1B1Os	0,066	3,57	John Deere 1070
Sikšņu	29	1; 2	5,8	5A4B1W	0,054	2,3	John Deere 1070
Ābeļu	161	5; 6	10,8	4B3A3E	0,063	3,81	John Deere 1070
Mārupes	415	22; 23; 24; 29; 30	11,6	4B2A2M1- E1P	0,044	2,14	John Deere 1070
Engures	147	14; 15; 16	1,8	3A3B3P1E	0,053	2,82	Ponsse Beaver
Rendas	425	2	5,4	6B2A1E1P	0,061	3,34	Ponsse Beaver
Limbažu	144	13	5,6	4B2M2E2A	0,051	2,74	John Deere 1070
Lejasciema	440	25; 28; 29	2,7	4B3A2P1E	0,051	2,06	John Deere 1070
Ropažu	309	3; 4	6,6	6B2M1A1E	0,048	2,05	John Deere 1070
Kokneses	232	1; 3; 7; 8; 12	11,4	6B3E1M	0,048	1,96	John Deere 1070
Mārupes	156	4	2,5	5B4A2L	0,044	2,25	John Deere 1070
Sventenes	36	13; 14	5,3	6B2E2P1M	0,046	2,47	John Deere 1070
Ogres	185	5	2,8	3L3A2Ba2B	0,049	2,73	John Deere 1070
Kokneses	200	19; 21	2,1	6B3E1M	0,049	2,78	John Deere 1070
Lejasciema	116	4; 5; 11	6,8	4A4B2E	0,051	0,97	Ponsse Beaver
Ventas	376	2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9	8,4	9P1E	0,180	9,64	Ponsse Beaver
Ventas	374	1; 2; 3; 4; 5; 6; 10; 11	18,5	9P1E	0,130	4,91	John Deere 1070

1. tabula (turpinājums), Table 1 (continued).

LVM iecirknis <i>Forest district</i>	Kvartāls <i>Forest block</i>	Nogabals (-i) <i>Compartment(-s)</i>	Pla- tība, ha <i>Area, ha</i>	Sastāvs <i>Species composition</i>	Izcirstā vid. stumbra tilpums, m ³ <i>Cutted average trunk volume, m³</i>	Harves- tera raži- gums, m ³ h ⁻¹ <i>Harvester producti- vity, m³ h⁻¹</i>	Harvestera marka, modelis <i>Harvester make, model</i>
Silvas	20	3; 10	8,4	9P1E	0,125	4,88	John Deere 1070
Skaistkalnes	203	3; 8	2,4	9P1E	0,118	4,67	Ponsse Beaver
Engures	92	22	4,5	10P	0,143	5,17	John Deere 1070
Jaunjelgavas	61	14; 15	2,8	9P1B	0,092	4,02	Ponsse Beaver
Ventas	31	17; 18; 30	4,3	9P1B	0,094	4,02	Ponsse Beaver
Usmas	129	1; 2	2,8	9P1E	0,113	4,04	John Deere 1070
Lejasciema	198	21; 30; 31; 32; 34; 35	5,4	9P1E	0,110	4,22	John Deere 1070
Rendas	415	5; 6; 7	6,8	10P	0,140	4,3	John Deere 1070
Grobiņas	502	1	2,7	9P1B	0,130	4,74	John Deere 1070
Strenču	449	8; 16; 17; 18; 19	9,2	9P1B	0,083	4,02	Ponsse Beaver
Ventas	209	11; 13	3,7	10P	0,135	4,74	John Deere 1070
Lejasciema	88	34	4,3	9P1E	0,081	3,77	John Deere 1070
Lubānas	171	1	3,1	9P1B	0,093	3,96	Ponsse Beaver
Rendas	415	12; 14; 16	4,8	9P1E	0,122	4,48	John Deere 1070
Alsungas	141	5	2,5	9P1E	0,080	3,58	John Deere 1070
Sikšņu	197	8	2,2	9P1E	0,076	3,74	John Deere 1070
Balvu	78	17; 18; 19	6,2	10P	0,108	4,57	John Deere 1070
Jaunjelgavas	41	10; 12	8,7	9P1B	0,077	3,88	John Deere 1070
Pededzes	608	2; 12; 13; 15; 16	7,5	9P1E	0,071	3,36	Ponsse Beaver
Rendas	478	19	2,1	9P1E	0,120	3,65	John Deere 1070
Griņu	457	15; 22	2,8	9P1E	0,060	2,34	John Deere 1070
Alsungas	382	7; 9	2	9P1E	0,068	3,5	Valmet 901.4
Balvu	11	28	4,4	9P1B	0,065	3,51	John Deere 1070
Ērgemes	49	13	3,8	9P1E	0,059	3,13	John Deere 1070
Ugāles	59	2	5,3	9P1E	0,068	3,65	Ponsse Beaver
Jaunjelgavas	161	2; 3; 4	2,1	9P1E	0,062	3,65	John Deere 1070
Ventas	48	28	2,9	9P1E	0,064	2,84	Ponsse Beaver
Alsungas	132	4; 5; 7	6,9	9P1E	0,060	2,79	Ponsse Beaver
Birzgales	48	4	5,9	9P1E	0,085	3,54	John Deere 1070
Ventas	66	35	3,4	9P1E	0,055	2,73	John Deere 1070
Bauskas	46	2	9,8	9P1E	0,050	2,84	John Deere 1070
Krāslavas	254	1	5,5	9P1B	0,045	2,97	John Deere 1070
Ventas	370	13; 14; 15; 16	4,4	9P1E	0,045	2,37	Ponsse Beaver

Daudzo ierobežojošo kritēriju dēļ atlasītās cirsma pēc sugu sastāva iedalīta 3 grupās:

- 1) priežu tīraudzes (valdošā suga – priede sastāda vismaz 80 %);
- 2) egļu tīraudzes (valdošā suga – egle sastāda vismaz 80 %);
- 3) lapu koku mistraudzes (valdošā suga – lapu koki sastāda no 51–70 %).

Pēc tam šīm cirmām atrasti harvesteru darba laika uzskaites faili, izmantojot datorprogrammu „Silvia”. Iegūtā informācija apkopota, pamatojoties uz cirsma vidējo ražīguma rādītāju harvesteram ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) un vidējā izvācamā koka stumbra tilpumu (m^3), bet izslēdzot harvestera dikstāves, sadalījumu pa operatoriem u.tml. Pēc tam iegūtie dati

statistiski apstrādāti ar datorprogrammu SPSS 17.

Statistikai apstrādei pielietota vienfaktora dispersijas analīze un T-tests. Dispersijas analīze veikta, lai noskaidrotu harvestera darba ražīguma atšķirību būtiskumu audzē saistībā ar sugu sastāvu un vidējo koku stumbra tilpumu. T-tests izmantots, lai aprēķinātu un grafiski attēlotu ticamības intervālu.

Rezultāti

Dispersijas analīzes rezultāti apkopoti 2. tabulā.

Salīdzinot 2. tabulas standartnovirzes, redzam, ka lapu koku mistraudzēm tās ir vislielākās. Tas nozīmē, ka, kopjot šādas

2. tabula, Table 2

Harvestera darba ražīguma ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) salīdzinājums dažāda sastāva audzēs
pēc to izcirstā vidējā stumbra tilpuma (dispersijas analīze)
*Comparison of the productivity of a harvester ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) in stands
of different composition in according to average trunk volume (variation analysis)*

Grupas Groups	Cirsma skaits Number of cuttings	Summa Sum	Vidējais Average	Dispersija Variance	Standart- novirzes Std. deviation
P – tīraudze (Pine) – pure stand	33	134,57	3,958	1,565	1,25081
E – tīraudze (Spruce) – pure stand	33	105,12	3,092	0,834	0,91345
LK – mistraudze Mixed stand	33	124,88	3,673	2,235	1,49515

Variāciju avots Source of variation	SS	df	MS	F	P-vērtība P-value	F crit.
Starp grupām Between groups	13,252	2	6,626	4,289	0,016	3,088
Ar grupām Within groups	152,935	99	1,545			
Kopā Total	166,187	101				

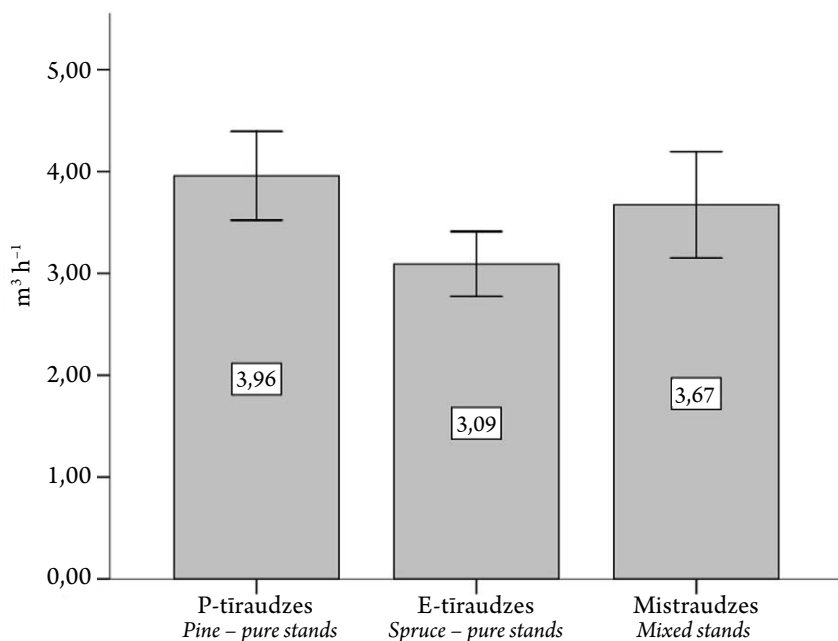
audzes, harvestera darba ražīguma rādītāju uzrādītais diapazons var būt plašs. Turpretī standartnovirzes egļu tīraudzēm ir vismazākās. Tādēļ mežizstrādātājiem tajās būs vieglāk prognozējams sagaidāmais darba ražīgums nekā lapu koku mistraudžu cirsmais.

Apskatot 2. tabulas otro daļu, redzam, ka faktiskā Fišera vērtība ir lielāka par kritisko Fišera vērtību ($F = 4,289 > F_{crit} = 3,088$); tas nozīmē, ka ar 95 % varbūtību ir noraidāma nulles hipotēze, ka harvestera darba ražīgums visu audžu grupās ir vienāds. Tas pats secināms, aplūkojot P-vērtību $0,016 < 0,05$, tādēļ arī šajā gadījumā, ar varbūtību 95 %, nulles hipotēze ir noraidāma.

Veicot gradācijas klašu salīdzinājumu, konstatēts, ka būtiskas harvestera darba ražīguma atšķirības novērojamas starp priežu

un egļu tīraudzēm (2. tabula), kurās arī vidējie izcērtamo koku stumbru tilpumi ir atšķirīgi. Tas redzams arī 1. attēlā ar T-testu aprēķinātajos ticamības intervālos. Mistrotu lapu koku audžu ticamības intervāls sakrīt ar egļu un priežu tīraudžu ticamības intervālu, kas nozīmē, ka harvestera darba ražīgumam mistrotās lapu koku audzēs un skujkoku tīraudzēs būtisku atšķirību nav.

1. attēlā redzam, ka augstākais darba ražīgums harvesteram ir strādājot priežu tīraudzēs, pie vidējā izvācamā koka stumbra tilpuma $0,092 \text{ m}^3$; otrs augstākais – lapu koku mistraudzēs, pie vidējā izvācamā koka stumbra tilpuma $0,085 \text{ m}^3$, bet zemākais – egļu tīraudzēs, kur vidējais izvācamā koka stumbra tilpums ir $0,068 \text{ m}^3$.



1. attēls. Harvestera darba ražīgums saistībā ar audzes sugu sastāvu un vidējo stumbra tilpumu.

Figure 1. Productivity of a harvester depending on the composition of the stand species.

3. tabula, Table 3

Harvestera darba ražīguma ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) salīdzinājums dažāda sastāva audzēs (T-tests)*Harvester productivity ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) comparison in stands of different composition (T-test)*

Audzes veids Type of stand	t	df	Vidējais Average	95 % ticamības intervāls 95 % credibility interval	
				zemākais lowest	augstākais highest
P – tīraudze (Pine) – pure stand	18,451	33	3,95794	3,5215	4,3944
E – tīraudze (Spruce) – pure stand	19,736	33	3,09176	2,7730	3,4105
LK – mīšraudze Mixed stand	14,324	33	3,67294	3,1513	4,1946

Savdabīga situācija Latvijas valsts mežos ir ar lapu koku audzēm, starp kurām ir maz vidēja vecuma tīraudžu: lielākoties sastopamas dažādu kombināciju mīšraudzes, kuras bieži vien izvietojušās mītrās vietās, auglīgās augsnēs, ar lielu sugu daudzveidību. Savukārt arī skujkoku tīraudzēm ir īpatnēja vēsturiska veidošanās, attīstības tendences un vecumstruktūra. Šobrīd kopjamās pārsvārā ir pagājušā gs. 70-tajos un 80-tajos gados mākslīgi atjaunotās skujkoku audzes ar biežību 8–10 tūkst. stādu uz hektāra. Arī jaunaudžu kopšana nav tikusi veikta pietiekami intensīvi, jo tā laika mērķis bija izaudzēt biezas egļu audzes (Epalts, 2005). Tādēļ, veicot krājas kopšanu šādās audzēs, tas negatīvi ietekmē harvesteru darba ražīgumu salīdzinājumā ar priežu un lapu koku audzēm.

Meža augšanas apstākļu tips, kā mežizstrādes mašīnu ražīgumu ietekmējošs faktors, parasti saistāms ar grunts noturību – grunts nestspēju. Daži autori (Epalts, 2002) atzīst, ka tas var ievērojami pazemināt tehnikas ražīgumu, tomēr to galvenokārt no-

saka gadalaiks un klimatiskie apstākļi, respektīvi, šis faktors ne vienmēr ir būtisks. Atšķirīgi ir viedokļi par cērtamo koku stumbra formas ietekmi uz darba ražīgumu. Vairāki pētnieki atzīst, ka stumbra forma ietekmē koku atzarošanu un lietkoksnis sortimentu iznākumu (Uusitalo, 2004). Šī pētījuma dati ievākti no 100 cirsmām, kas vienmērīgi izkliedētas visā Latvijas teritorijā, tādēļ koku stumbru formas īpatnībām nevajadzētu ietekmēt izpētes rezultātus.

Vairāki pētnieki atzīmē audzes biežumu (koku skaitu uz hektāru) kā būtisku mežsaimniecisko faktoru, kas ietekmē tehnikas ražīgumu pirms un pēc izstrādes krājas kopšanas cirtēs, tomēr tas vairāk saistāms ar izmantotās mašīnas tehniskajiem radītājiem – mašīnas gabarītiem, darba agregātu lineārajiem izmēriem u.c. (Савельев, 1989). Minēto faktoru iedarbība vēl pilnībā nav izziņāta, tomēr tas nevarētu būtiski ietekmēt veiktā pētījuma rezultātus, jo izmēģinājumos tika izmantoti principā līdzīgi kopšanas ciršu harvesteri, ar gandrīz vienādiem tehniskajiem parametriem.

Secinājumi

1. Izstrādājot kopšanas cirtes ar harvesteru, augstākais darba ražīgums ir priežu tīraudzēs – $3,96 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, pie vidējā izvācamā koka stumbra tilpuma $0,092 \text{ m}^3$. Otrs augstākais darba ražīgums ir jaukto sugu audzēs – $3,67 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, pie vidējā izvācamā koka stumbra tilpuma $0,085 \text{ m}^3$, bet zemākais – egļu tīraudzēs – $3,09 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, pie vidējā izvācamā koka stumbra tilpuma $0,068 \text{ m}^3$.
2. Veicot gradācijas klašu salīdzinājumu, konstatēts, ka būtiskas harvestera darba ražīguma atšķirības ir starp priežu un egļu tīraudzēm, jo tajās arī izcērtamo koku vidējie stumbra tilpumi ievērojami atšķiras – $0,092 \text{ m}^3$ un $0,068 \text{ m}^3$.
3. Mistroto lapu koku audžu ticamības intervāls sakrīt ar egļu un priežu tīraudžu ticamības intervālu, kas nozīmē, ka harvestera darba ražīgums, izstrādājot mistrotas lapu koku audzes, būtiski neatšķiras no darba ražīguma skujkoku tīraudzēs.
4. Salīdzinot harvestera aprēķinātās darba ražīguma standartnovirzes, konstatēts, ka lielākās tās ir mistraudzēs, bet mazākās – egļu tīraudzēs. Tas nozīmē, ka harvestera darba ražīguma rādītāju izkliedes diapazons, kopjot dažādas mistraudzes, ir visai plašs, tādēļ mežizstrādātājiem būs grūti prognozējams darba ražīgums katrā mistraudzes cirmā salīdzinājumā ar egļu tīraudzēm, kur harvestera darba ražīguma rādītāju izkliedes diapazons ir ievērojami šaurāks.

Literatūra

- Brunberg, T.** (1997). *Basic data for productivity norms for single-grip harvesters in thinning*. Uppsala: The Forestry Research Institute of Sweden, Report 8/1997, 18 p.
- Brunberg, T., Thor, M., Norin, K.** (2007). *Logging productivity and price models in Sweden and Latvia*. Riga: AS Latvijas valsts meži, 16 p.
- Eliasson, L.** (1998). *Analyses of single-grip harvester productivity. Doctoral thesis*. Umea: Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Operational Efficiency, 24 p.
- Epalts, A.** (2002). *Mehanizētas sastāva kopšanas cirtes ietekme uz priežu audzes attīstību. Latvijas Lauksaimniecības Universitātes Raksti 5*: 53–58.
- Epalts, A.** (2005). *Mehanizētās krājas kopšanas cirtes ietekme uz egļu audzes attīstību. Latvijas Lauksaimniecības Universitātes Raksti 14(309)*: 94–99.
- Kellogg, L.D. & Bettinger, P.** (1994). Thinning productivity and cost for mechanized cut-to-length system in the Northwest pacific coast region of the USA. *Journal of Forest Engineering* 5(2): 43–54.
- Lageson, H.** (1997). Effects of thinning type on the harvester productivity and on the residual stand. *Journal of Forest Engineering* 8(2): 7–14.
- Landford, B.J. & Stokes, B.J.** (1995). Comparison of two thinning systems. Part I. Stand and site impacts. *Forest Products Journal* 45(5): 74–79.
- Landford, B.J. & Stokes, B.J.** (1996). Comparison of two thinning systems. Part II. Producti-

- vity and costs. *Forest Products Journal* 46(11/12): 47–53.
- Ovaskainen, H.** (2009). Timber harvester operators working technique in first thinning and importance of cognitive abilities on work productivity. *Dissertationes Forestales* 79: 62 p.
- Pulkki, R.** (2003). Minimizing negative environmental impacts of forest harvesting operations. Ottawa, Ontario: NRC Research Press, p. 581–628.
- Siren, M., Aaltio, H.** (2003). Productivity and costs of thinning harvesters and harwarders. *Journal of Forest Engineering* 14(1): 39–48.
- Uusitalo, J.** (2004). Heartwood and extractive content of Scots pine in southern Finland: models to apply at harvest. *Wood and Fibre Science* 36(1): 3–8.
- Буш, К., Иевинь, И.** (1984). *Экологические и технические основы рубок ухода*. Рига: Зинатне, 172 стр.
- Розинь, Т.** (1978). *Исследование цикла машинного выноса деревьев при рубке леса выборным способом. Автореферат диссертации*. Минск: 26 стр.
- Савельев, А.** (1989). *Разработка технологии рубок ухода на основе исследования доступности деревьев при машинном способе заготовки (на примере лесов I группы Прибалтики). Автореферат диссертации*. Минск: 27 стр.