
Biokurināmā sagatavošanas tehnoloģija no mežizstrādes atliekām kailcirtes izstrādāšanā egļu mežaudzēs

V. Lazdāns^{1*}, A. Lazdiņš¹, A. Zimelis¹

Lazdāns, V., Lazdiņš, A., Zimelis, A. (2009). Technology of biofuel production from slash in clear-cuts un spruce stands. *Mežzinātne / Forest Science* 19(52): 109-121.

Kopsavilkums: Rakstā atspoguļoti projekta “*Extraction of logging residues at LVM*” rezultāti. Projektu izstrādāja *Skogforsk* (Zviedrijas Meža institūts) sadarbībā ar LVMI Silava. Pētījumā noskaidrots, ka harvesteru darba ražīgums, iekļājot ciršanas atliekas kokmateriālu pievešanas ceļos, ir 38,3 m³E₀-h⁻¹ (efektīvajā stundā), turpretim, kraujot tās kaudzītēs starp apaļkoku sortimentiem, ražīgums pieaug par 4% – līdz 40,0 m³E₀-h⁻¹. Pievedējtraktoru ražīgums, strādājot pēc tradicionālās metodes, ir 22,6 m³E₀-h⁻¹, bet novietojot sortimentus starp atlieku kaudzītēm – par 1% mazāks, attiecīgi 22,4 m³E₀-h⁻¹. Mežizstrādes atlieku pievešanas darba ražīgums – 36 ber.m³E₀-h⁻¹.

Apaļkoku sortimentu sagatavošanas un transporta izmaksas (pievešana cismā – 500 m, izvešana – 50 km), savācot arī atliekas, sastādīja 3,38 LVL m³, ieskaitot 1,53 LVL izstrādei, 1,19 LVL – pievešanai un 0,66 LVL – izvešanai. Iekļājot atliekas pievešanas ceļos, mežizstrādes darbu izmaksas pieauga par 0,14 LVL m³, bet pievešanas izmaksas samazinājās par 0,02 LVL m³; attiecīgi, vācot atliekas biokurināmā sagatavošanai, mežizstrādes un pievešanas izmaksas samazinājās par 0,12 LVL m³ jeb 3,5%.

Biokurināmā (šķeldu) sagatavošanas pašizmaksa, pārrēķinot pēc pašreizējām degvielas cenām, izmēģinājumā bija 3,93 LVL ber.m³, tajā skaitā: pievešana – 0,97 LVL, šķeldošana – 1,53 LVL un izvešana – 1,43 LVL. Kopējais degvielas patēriņš 1 ber.m³ šķeldu sagatavošanai un piegādei, neskaitot mežizstrādi, bija 1,89 kg, pārrēķinot uz oglekļa tīrvielu. Tātad 3% oglekļa, ko satur sagatavotais biokurināmais, izmantoti ražošanas procesā, bet teorētiski iegūstamais emisiju apjoms, izmantojot mežizstrādes atlieku šķeldas kurināšanai, sastāda 97%.

Izmēģinājumu ietvaros galvenās atlieku šķeldām konstatētās kvalitātes problēmas bija lielais mitrums un pelnu daudzums. Šie rādītāji ir uzlabojami ciršanas atliekas dažus mēnešus žāvējot kaudzēs augšgala krautuvē. Tādējādi palielinātos arī šķeldu sadegšanas siltums, kas izmēģinājumos sagatavotajā kurināmajā bija 0,76 MWh ber.m³.

Pētījuma rezultāti apliecināja, ka biokurināmā sagatavošanai piedāvātā tehnoloģija Latvijas apstākļiem ir piemērotāka. Izmaksu samazināšanās panākama, optimizējot šķeldošanos darbus, piemēram, izmantojot atlieku saiņotājus audzēs, kur ir liels pievešanas attālums vai aprūtināta ilgstoša atlieku uzglabāšana.

Nozīmīgākie vārdi: egle, biokurināmais, šķeldas, kailcirte.

¹ LVMI “Silava”, Rīgas iela 111, Salaspils, LV-2169, Latvija; e-pasts: valentins.lazdans@silava.lv

•••

Lazdāns, V., Lazdiņš, A., Zimelis, A., LFRI „Silava”. **Technology of biofuel production from slash in clear-cuts un spruce stands.**

Abstract: This article represents results of research project “Extraction of logging residues at LVM (Latvian State Forests)” implemented in cooperation between Joint stock company “Latvijas valsts meži”, SKOGFORSK (The Forestry Research Institute of Sweden) and Latvian State Forestry Research Institute “Silava”. The article is covering issues related to results of comparison of two mechanized harvesting methods – with collection of slash for biofuel production and without biofuel production, when branches and tops were compacted in strip-roads. The study implemented in November, 2005. A scope of the study was to estimate prime costs of solid biofuel production from slash in clear-cuts and to evaluate different working methods and influencing factors related to harvesting and forwarding of slash. Other stages of production, like comminution and road transport of chips were addressed as well. This particular article is targeted to results obtained in spruce dominant forest stand.

Results of the study demonstrated that productivity of harvesting without biofuel production is $38.3 \text{ m}^3 \text{E}_0 \cdot \text{h}^{-1}$ and with biofuel production – $40.0 \text{ m}^3 \text{E}_0 \cdot \text{h}^{-1}$, which means that collection of slash in piles between assortments instead of packaging into strip roads increases productivity of harvester by 4%. Productivity of roundwood forwarder without biofuel production was $22.6 \text{ m}^3 \text{E}_0 \cdot \text{h}^{-1}$ and with biofuel production – $22.4 \text{ m}^3 \text{E}_0 \cdot \text{h}^{-1}$. Accordingly, collecting of slash decreased productivity of forwarding by about 1%.

Productivity of forwarding of slash was $36 \text{ LV m}^3 \text{E}_0 \cdot \text{h}^{-1}$ (LV – loose volume).

Prime costs of production and transport (forwarding – 500 m, road transport – 50 km) of roundwood assortments using “biofuel” method were 3.38 LVL m^3 , including 1.53 LVL harvesting, 1.19 LVL – forwarding and 0.66 LVL – road transport. Working without biofuel production increased harvesting costs by 0.14 LVL, but reduced costs of forwarding of roundwood assortments by 0.02 LVL, respectively, piling of slash between assortments instead of compacting into striproads reduced prime costs of roundwood assortments by 0.12 LVL or 3.5%.

Prime costs of wood chips in calculation to current fuel price would be 3.93 LVL $\text{LV} \cdot \text{m}^3$, including 0.97 LVL – forwarding (500 m), 1.53 LVL – comminution and 1.43 LVL road transport of chips (50 km). Total fuel consumption to produce 1 LVm^3 of wood chips, excluding harvesting, corresponds to 1.89 kg of carbon emissions, in other words, 3% of carbon, which is recovered with biofuel is used in production cycle as emissions from fossil fuels and potential of reduction of emissions is 97%.

High moisture level and ash content is found in the biofuel produced within the scope of study. Both values can be reduced by long term storage of slash in piles at roadside. This would lead also to increasing of net energy content in chips, which in the field study corresponded to 0.76 MWh LVm^3 .

Results of the research demonstrated that technological system for the biofuel

production tested in the field trial is optimal for Latvian conditions. Reduction of costs of biofuel might be reached by optimization of comminution stage, for instance, by using bundling approach in clear-cuts, with long terrain transport distance, complicated storage (drying) or comminution conditions.

Key words: spruce, biofuel, wood chips, clear-cut.

•••

Лазданс В., Лаздыньш А., Зимелис А., ЛГИЛН «Силава». **Заготовка биотоплива из лесосечных отходов при сплошных рубках в еловых насаждениях.**

Резюме: В статье отражены результаты исследования по проекту «Заготовка биотоплива из отходов лесозаготовок в лесах АО «Латвияс валстс межи».

Исследования проводились шведским лесным институтом «Скогфорск» (*Skogforsk*) совместно с латвийским институтом «Силава».

По результатам проведенных исследований установлено, что производительность харвестера на заготовке сортиментов при укладке порубочных остатков на трелевочный волок составляет $38,3 \text{ м}^3 \text{Е}_0 \text{ h}^{-1}$ (час эффективного труда), а при сборе порубочных остатков в кучи между сортиментными пачками, производительность харвестера возрастает на 4% и достигает $40,0 \text{ м}^3 \text{Е}_0 \text{ h}^{-1}$. Производительность сортиментоза при подвозке лесоматериалов по обычной технологии составляет $22,6 \text{ м}^3 \text{Е}_0 \text{ h}^{-1}$, а собирая лесоматериалы уложенные между кучами лесосечных отходов уменьшается на 1% и составляет $22,4 \text{ м}^3 \text{Е}_0 \text{ h}^{-1}$.

Производительность подвозки лесосечных отходов составляет 36 насыпных $\text{м}^3 \text{Е}_0 \text{ h}^{-1}$.

Стоимость заготовки и вывозки лесоматериалов со сбором лесосечных отходов в кучи (расстояние подвозки – 500 м, вывозки – 50 км) составила 3,38 LVL м^3 , в том числе заготовка – 1,53 LVL, подвозка – 1,19 LVL, вывозка – 0,66 LVL.

При укладке лесосечных отходов на трелевочные волокна, стоимость заготовки лесоматериалов возросла на 0,14 LVL м^3 , а стоимость подвозки снизилась на 0,02 LVL м^3 , таким образом стоимость заготовки лесоматериалов при сборе порубочных остатков в кучи уменьшилась на 0,12 LVL м^3 или на 3,5%.

Стоимость производства топливной щепы из порубочных остатков при существующих в период исследований ценах на топливо, составила 3,93 LVL насып. м^3 , в том числе: подвозка – 0,97 LVL, измельчение – 1,53 LVL и вывозка – 1,43 LVL.

Общий расход топлива на заготовку 1 насып. м^3 щепы и доставку его потребителю составил 1,89 кг в перерасчете на чистый углерод (без учета процесса заготовки лесоматериалов).

Таким образом 3% углерода, который содержится в заготовленной топливной щепе, используется в технологическом процессе ее заготовки, а при ее сжигании можем получить на 97% больше тепловой энергии.

Поскольку измельчение порубочных остатков в процессе исследований проводилось сразу после их заготовки, они имели высокую влажность и высокий процент золы. Эти показатели можно уменьшить при хранении порубочных остатков в течении 4-6 месяцев

в кучах в лесу. Щепы из высушенных остатков будет иметь большую теплоотдачу при сжигании, которая в период испытаний составила 0,76 MWh насып.м³.

Проведенные исследования подтвердили, что предложенная технология заготовки биотоплива из лесосечных отходов перспективна для условий Латвии.

Снижение расходов на заготовку биотоплива возможна путем оптимизации процесса измельчения отходов в пунктах их потребления с электрическим приводом дробилок, пакетированием лесосечных отходов для более удобной их транспортировки.

Ключевые слова: ель, биотопливо, щепы, сплошные рубки.

Ievads

Latvijā pēdējos gados strauji augusi interese par biokurināmā sagatavošanu mežizstrādē. A/S "Latvijas valsts meži" (LVM) un privātajos mežos strādājošie mežizstrādes uzņēmumi tikai pirms neilga laika sākuši izmantot kailcirsu atliekas rūpnieciskai enerģētiskās šķeldas ražošanai, bet jau pašlaik žāvēšanai atstātas mežizstrādes atlieku kaudzes ceļmalās ir ierasts Latvijas meža ainavas elements. Kopējais no mežizstrādes atliekām sagatavotais biokurināmā daudzums valstī precīzi nav zināms, taču pieaugošais šī enerģijas veida realizācijas apjoms tikai no LVM mežiem (107,5 tūkst.ber.m³ 2009. gada pirmajā pusē) (LVM, 2009) liecina, ka mežizstrādes atlieku šķeldas kļuvušas par nozīmīgu precī biokurināmā tirgū. LVMI „Silava” sadarbībā ar *Skogforsk* un LVM veikto pētījumu rezultāti ir apliecinājuši, ka biokurināmā sagatavošana no mežizstrādes atliekām kailcirtēs ir ekonomiski izdevīga un ir būtisks papildinājums atjaunojamiem kurināmā resursiem, dodot vidēji 80 m³ enerģētiskās koksnes no 1 ha, iekļaujot arī nelielos malkas sortimentus (izmēģinājumos egļu audzēs malka vidēji sastādīja 9 m³ha⁻¹), tātad biokurināmā daudzums veido 25% no sagatavoto apaļkoku sortimentu apjoma (Thor et al., 2006). Egļu audzēs, ņemot vērā zaru biomasas lielo

īpatsvaru, biokurināmā resursu sagatavošanas ekonomiskais potenciāls ir lielāks nekā citām sugām un sastāda līdz 34% no koka virszemes biomasas (Liepa, Blija, 2008).

Mežizstrādes atlieku savākšanai piemēroti ir augļīgie sausieņu meža tipi (Ln, Dm, Vr, Gr) un āreņi (Am, As, Ap), ja pietiekama ir augsnes nestspēja un mežizstrādes atliekas nav jāiekļāj pievešanas ceļos. Taču ziemā, kad augsne ir sasalusi, atlieku vākšana iespējama arī kūdreņos (Km, Ks, Kp) un slapjajņos (Dms, Vrs, Grs). Meža tipos ar nabadzīgām minerālaugsnēm (Sl, Mr, Av, Gs, Mrs) mežizstrādes atlieku vākšana nav ieteicama, jo rezultātā var samazināties jau tā nelielās organisko vielu un augu barības elementu rezerves augsnē, turklāt mazāks būs arī atlieku apjoms, bet ražošanas izmaksas lielākas. Izvēli, kā rīkoties pārējos meža tipos, noteiks vietējie apstākļi – augsnes nestspēja, krājas apjoms, mežaudzes platība, krautuves atrašanās vieta u.c. faktori.

Mežizstrādes atlieku kopējais apjoms, veicot kailcirtes meža tipos, kas piemēroti biokurināmā sagatavošanai, atbilstoši 2007. gada mežizstrādes apjomiem, var dot pat līdz 443 tūkst.t^{saušnas} biokurināmā gadā (2,2 milj.ber.m³ šķeldu), neskaitot tehnoloģiskos zudumus, kas vidēji sastāda ap 30% no mežizstrādes atlieku faktiskā kopapjoma. Egļu mežaudžu kailcirtēs var

sagatavot ap 67% no kopējā enerģētiskās koksnes apjoma. Resursu aplēse veikta pieņemot, ka mežizstrādes atliekas, pārreķinātas uz saunas tonnām, sastāda 15% no apaļkoksnes apjoma kubikmetros (Thor et al., 2006). Šāds pieņēmums, kas apstiprinājies LVMI „Silava” un *Skogforsk* izmēģinājumos Latvijā, atbilst arī attiecīgajiem rādītājiem Skandināvijas valstīs (Laitila et al., 2008). Tomēr jāatzīmē, ka resursu aprēķinā nav ņemts vērā mežizstrādes laiks un ar to saistītās augsnes nestspējas izmaiņas, atlieku krautuves ierīkošanai piemērotu platību izvietojums kailcirstu tuvumā un kurināmā realizācijas iespējas attiecīgajā teritorijā, kas var atstāt būtisku ietekmi gan uz mežizstrādes atlieku tehnisko, gan ekonomisko pieejamību (Brunberg et al., 1998).

Šajā rakstā skarti jautājumi, kas saistīti ar apaļkoku sortimentu sagatavošanas un pievešanas darba ražīgumu un pašizmaksas kalkulāciju egļu audžu kailcirtēs, vienlaicīgi veicot biokurināmā sagatavošanu no atliekām, lai novērtētu šī kurināmā veida tehnisko un ekonomisko pieejamību un tā ieguvei praksē pielietojamo mežizstrādes tehnoloģiju un

darba metožu efektivitāti.

Materiāli un metodes

Pētījumā salīdzinātas 2 mežizstrādes tehnoloģijas:

- jaunā metode – mežizstrāde ar atlieku savākšanu pārstrādei kurināmajā šķeldā (K metode);
- tradicionālā metode – mežizstrāde ar atlieku ieklāšanu kokmateriālu pievešanas ceļos (T metode).

Atšķirība starp abām metodēm redzama 1. attēlā.

Veicot kokmateriālu sagatavošanu pēc K metodes, mežizstrādes atliekas (zari, galotnes un sīkkoki) savāc kaudzītēs gar kokmateriālu pievešanas ceļu malām, nokraujot starp apaļkoku sortimentiem. Apaļkoku sortimentus izvieto tāpat kā strādājot pēc tradicionālās metodes – nokraujot kaudzēs paralēli pievešanas ceļam vai nedaudz ieslīpi pret to. Garākos sortimentus novieto tuvāk ceļam. Mežizstrādes atliekas pieved pēc tam, kad ir izvesti apaļkoku sortimenti. Strādājot pēc T metodes, zarus un galotnes ieklāj pievešanas



1. attēls. Kreisajā pusē redzama mežizstrādes darbu izpilde pēc K metodes; labajā pusē – pēc T metodes.

Figure 1. K method in left side, T method – in right.

ceļos. Apaļkoku sortimentus novieto gar kokmateriālu pievešanas ceļu malām.

Pētījuma izstrādē bija iesaistīti pieredzējuši harvesteru un pievedējtraktoru operatori, kuri veica darbus pēc abām metodēm. Pielietoto mašīnu raksturojums dots 1. tabulā. Mežizstrādes atlieku pievešanas laikā pievedējtraktors kravas telpas pagarināšanai tika aprīkots ar diviem 45° leņķī atgāžamiem papildus statņiem kravas tilpnes aizmugurējā daļā, bet manipulatora greifers nomainīts ar zaru kausu mežizstrādes atlieku satveršanai un iekraušanai.

Pētījuma vieta – LVM Vidusdaugavas mežsaimniecības Baldones iecirknis.

Izmēģinājumu gaitā laika apstākļi bija stabili, vidējā temperatūra ap +5°C.

Eksperimenta ietvaros izstrādātās eglu audzes raksturojums dots 2. tabulā. Harvestera darba atvieglošanai, pirms kailcirtes tika izzāģēts pamežs un visi sikkoki, līdz 6 cm krūšaugstumā.

Pirms izstrādes 87 paraugkokiem izmērīts augstums un caurmērs; katrai koku sugai uzzīmēta augstuma likne. Pēc tam katram pētījumā iekļautajam kokam noteikts tilpums, izmantojot Brandela tilpuma funkcijas.

Mežizstrādes darba operāciju elementu ilgums noteikts, hronometrējot atsevišķi

1. tabula, Table 1

Pētījumā pielietotās mašīnas
Machines utilized in the study

Mašīna <i>Machine</i>	Izpildāmā operācija <i>Operation</i>
Harvesters Ponsse Ergo <i>Harvester</i>	Kokmateriālu sagatavošana <i>Harvesting of roundwood</i>
Pievedējtraktors Ponsse Buffalo ar pagarinātu rāmi <i>Forwarder with extended frame</i>	Apaļkoku pievešana, mežizstrādes atlieku pievešana <i>Forwarding of slash and roundwood</i>

2. tabula, Table 2

Mežaudzes raksturojums
Characteristics of forest stand

Parametrs / <i>Parameter</i>	Raksturojums / <i>Value</i>
Iecirknis / <i>Forest district</i>	Baldones
Kvartāla Nr. / <i>Forest block No.</i>	115
Meža tips / <i>Stand type</i>	Damaksnis
Koku skaits, gab. ha ⁻¹ / <i>Number of trees per ha</i>	732
Sugu sastāvs (priede : egle : lapu koki), % / <i>Specie distribution (pine : spruce : deciduous), %</i>	P20 : E74 : Ma6
Krāja, m ³ ha ⁻¹ / <i>Growing stock, m³ ha⁻¹</i>	443
Vidējais stumbra tilpums, m ³ / <i>Average volume of stem, m³</i>	0,61
Vidējais caurmērs, cm / <i>Average diameter, cm</i>	25
Vidējais augstums, m / <i>Average height, m</i>	23,5

katra koka apstrādes laiku. Pirms pētījumu uzsākšanas katram kokam piestiprināta atzīme ar koka caurmēra norādi. Tādēļ katra darba operācijas elementa izpildei nepieciešamais laika patēriņš bija saistāms ar kodu, kas apzīmēja sugu, caurmēru un tilpumu. Šķeldošanai un šķeldu vešanai patērētā darba laika noteikšanai tika izmantota vienkāršota hronometrāža – fiksēts darba operāciju uzsākšanas laiks, pārtraukumi, auto kravas iepildīšanas un izkraušanas ilgums, ceļā pavadītais laiks un nobrauktais attālums.

Tika pētīti arī atsevišķi apaļkoku pievešanas darbu elementi, izmantojot iekrāvēja manipulatora izlīces darba ciklu iekraušānā un izkraušānā kā atsevišķus darba elementus. Hronometrāžai izmantoti Allegro CX Field PC lauka datori ar SDI programmatūru.

Pētījumam izvēlētajā egļu audzē darba apstākļi viscaur bija līdzvērtīgi, tomēr atsevišķas izmēģinājumu gaitā konstatētās rezultātu atšķirības iespējams noteikušas pašas mežaudzes īpatnības, nevis mežizstrādes un sortimentu pievešanas metode. Lai pētījuma rezultāti būtu salīdzināmi, atsevišķiem mežizstrādes darba elementiem laika patēriņš tika koriģēts: piemēram, viena koka apstrādei – uz stumbra tilpumu $0,58 \text{ m}^3$. Izmantojot lineārās regresijas analīzi, iegūti vienādojumi viena koka apstrādei (satveršana, nozāģēšana, atzarošana, sagarumošana) patērētā darba laika aprēķinam:

- K-metode: $T=0,044V_1+16,218(R^2=0,57)$,
 - T-metode: $T=0,0473V_1+16,056(R^2=0,64)$,
- kur

T – viena koka apstrādei patērētais laiks (cmin – centiminūte ir 1/100 minūtes)),

V_1 – koka tilpums (m^3).

Veicot apaļkoku pievešanu ar

pievedējtraktoru, darba laika patēriņš elementam “Citas operācijas” noteikts kā viens vidējais lielums, jo nebija iemesla uzskatīt, ka atkarībā no izmantotās metodes varētu rasties rezultātu atšķirības. Lielākā daļa “Citu operāciju” bija īsas apstāšanās krautuvē, lai izdarītu atzīmes par izvedamo sortimentu daudzumu kravā; te ietilpa arī mašīnas buksēšana, sortimentu vai mežizstrādes atlieku neliela pārvietošana. Mežizstrādes atlieku pievešanai patērētā laika koriģēšana netika veikta. Pievešanas attālums bija 250 m vienā virzienā, pievedējtraktora braukšanas ātrums – 50 m min^{-1} ar kravu un 60 m min^{-1} – bez kravas. Attiecīgi pielietotajai darba metodei noteikts vidējais kravas lielums. Arī laika patēriņš izkraušānā un pievedējtraktora manevrēšanai izkraušānā gaitā noteikts kā katras metodes vidējais. Pārējiem darba elementiem laika patēriņa koriģēšana netika izdarīta.

Pašizmaksas analīzei izmantots mašīnas darba stundas izmaksas modelis apvienojumā ar eksperimentā iegūtajiem vidējiem ražīguma rādītājiem. Galvenās aprēķinu sastāvdaļas ir: kapitāla, darbaspēka un ekspluatācijas izmaksas. Aprēķinos izmantoti lauka izmēģinājumos iegūtie darba ražīguma dati. Kā vidējais attālums pievedējtraktoram cirmsā aprēķinos pieņemts 500 m, bet vidējais izvešanas attālums apaļkoku sortimentiem un šķeldām – 50 km.

Rezultāti

Apaļkoku sagatavošanā ar harvesteriem nekoriģētais darba ražīgums, pielietojot T metodi, bija 38,3...39,9 m^3 produktīvajā darba stundā (E_0) (3. tabula), bet K metodei – nedaudz lielāks.

Koriģēšanas rezultātā nedaudz izmainījās laika patēriņa un darba ražīguma

rādītāji: T metodei darba ražīgums – 38,3 m³E₀-h⁻¹; K metodei – 40,0 m³E₀-h⁻¹ (3. tabula), kas ir par 4% augstāks salīdzinājumā ar T metodi.

Apaļkoku pievešanā, nekoriģējot laika patēriņu (neizdarot pielīdzināšanu vienam un tam pašam pievešanas attālumam), darba ražīgums bija 20...26 m³ darba stundā (E₀) (4. tabula), bet vidējais kravas lielums egļu audzē – 12,9 m³.

Koriģētais darba ražīgums, lietojot T metodi, egļu audzē bija 22,6 m³E₀-h⁻¹; K-metodei – 22,4 m³E₀-h⁻¹ (4. tabula), kas ir

par 1% mazāks. Izmantojot K metodi, gandrīz visām darba operācijām laika patēriņš bija lielāks daļēji tādēļ, ka katrā iekraušanas ciklā tika pārvietots mazāks koksnes apjoms. Tāpat arī sortimentu pievešanā, kur plašā sortimentu dažādība prasīja vairāk laika tādu darba operāciju izpildei, kā, piemēram, “izkraušana” un “manevrēšana pie izkraušanas”.

Nekoriģējot laika patēriņu, darba ražīgums mežizstrādes atlieku pievešanā ar pievedējtraktoru bija 37...60 ber.m³ E₀-h⁻¹ (5. tabula). Darba operācijas ar manipulatoru (izlice atlieku satveršanai un atlieku savākšana)

3. tabula, Table 3

Laika patēriņš viena koka apstrādei (cmin) un darba ražīgums mežizstrādē
Time consumption in cmin per tree and productivity of roundwood harvesting

Darba elementi Work elements	Nekoriģētais laiks Uncorrected time		Koriģētais laiks Corrected time	
	K metode K – fuel method	T metode T – traditional method	K metode K – fuel method	T metode T – traditional method
Harvestera pozīciju maiņa / Movement	6,1	6,5	6,1	6,5
Sniegšanās pēc koka / Moving crane	5,0	5,7	5,0	5,7
Koka satveršana / Catching a tree	3,9	4,7	3,9	4,7
Koka nozāgēšana un pievilkšana / Felling	15,0	17,1	15,0	17,1
Atzarošana un sagarināšana / Delimiting and cut to length	41,8	44,6	41,7	43,5
Galotnes sažāgēšana / Cutting of top	3,6	2,9	3,6	2,9
Strēle uz atliekām / Crane on slash	2,7	1,3	2,7	1,3
Darbības ar mežizstrādes atliekām / Operations with slash	4,5	4,9	4,5	4,9
Mašīnas kustība pie šķirošanas / Moving of machine during sorting	2,8	2,8	2,8	2,8
Citas operācijas / Other operations	1,9	1,8	1,9	1,8
Kopējais laika patēriņš, cmin uz 1 koku / Total time consumption per tree in cmin	87,3	92,3	87,3	^{91,2}
Stumbra vidējais tilpums, dm ³ bez mizas / Volume of timber in dm ³ under-bark	580	580	580	580
Darba ražīgums / Productivity				
– koki/E ₀ -h trees per effective hour	69	66	69	66
– m ³ ciešmetros bez mizas/E ₀ -h m ³ under-bark per effective hour	39,9	38,3	40,0	38,3

4. tabula, Table 4

Laika patēriņš ($\text{cm} \text{m}^{-3}$) un darba ražīgums apaļkoku pievešanā ar sortimentvedēju
Time consumption ($\text{cm} \text{m}^{-3}$) and productivity of forwarding of roundwood

Darba elementi <i>Work elements</i>	Nekoriģētais laiks <i>Uncorrected time</i>		Koriģētais laiks <i>Corrected time</i>	
	K metode <i>K – fuel method</i>	T metode <i>T – traditional method</i>	K metode <i>K – fuel method</i>	T metode <i>T – traditional method</i>
Sniegšanās pēc sortimentiem / <i>Moving crane</i>	22	22	22	22
Satveršana / <i>Catching</i>	15	16	15	16
Pieņemšana pie mašīnas / <i>Moving assortment to machine</i>	7	5	7	5
Galū nolidzināšana / <i>Leveling</i>	5	4	8	4
Nokraušana / <i>Loading</i>	30	30	30	30
Sortimentu atbrīvošana / <i>Releasing</i>	19	19	19	19
Kravas sakārtošana / <i>Sorting</i>	7	6	7	6
Braukšana uz priekšu / <i>Driving forward</i>	27	28	27	28
Citas operācijas / <i>Other operations</i>	5	2	3	3
Brauciens ar kravu / <i>Driving with load</i>	21	21	39	39
Brauciens bez kravas / <i>Driving without load</i>	26	36	32	32
Izkraušana / <i>Unloading</i>	54	55	55	55
Manevrēšana pie izkraušanas / <i>Manoeuvring during unloading</i>	7	8	7	7
Kopā, $\text{cm} \text{m}^{-3}$ / <i>Total, $\text{cm} \text{m}^{-3}$</i>	245	250	268	266
Paku skaits kravā / <i>Number of parcels per load</i>	13,6	12,9	13,6	12,9
Apstāšanās skaits uz kravu / <i>Number of stops per load</i>	3,4	3,1	3,4	3,1
Kravas apjoms, m^3 / <i>Volume of load, m^3</i>	13,1	12,6	12,8	12,8
Darba ražīgums, $\text{m}^3 \text{E}_0\text{-h}^{-1}$ / <i>Productivity, $\text{m}^3 \text{per effective hour}$</i>	24,5	24,0	22,4	22,6

egļu audzēs aizņēma vairāk laika nekā vidēji jauktajās un lapu koku audzēs (Thor et al., 2006). Veicot mežizstrādes atlieku pievešanu, vienas kravas apjoms bija 14,3 ber. m^3 .

Egļu audzēs pievedētorktora darba ražīgums, piedodot mežizstrādes atliekas, pēc koriģēšanas samazinājās līdz 36 ber. $\text{m}^3 \text{E}_0\text{-h}^{-1}$ (5. tabula).

Aprēķinātās apaļkoku sortimentu sagatavošanas izmaksas, savācot mežizstrādes atliekas egļu audzē (K metode), pie toreizējām degvielas cenām bija 3,38 Ls m^3 , tajā skaitā apaļkoku sagatavošana – 1,53 LVL, pievešana

ar pievedētorktoru – 1,19 LVL un izvešana – 0,66 LVL. Lietojot T metodi, mežizstrādes izmaksas bija par 0,14 LVL lielākas, bet apaļo sortimentu pievešanas izmaksas – par 0,02 LVL mazākas; savukārt, veicot biokurināmā sagatavošanu no mežizstrādes atliekām, apaļo sortimentu sagatavošanas un piegādes izmaksas attiecīgi samazinājās par 0,12 LVL vai 3,5% uz 1 m^3 .

Šķeldu sagatavošanas izmaksas pie toreizējām degvielas cenām bija 3,93 LVL ber. m^3 , tajā skaitā mežizstrādes atlieku pievešana – 0,97 LVL, šķeldošana –

Laika patēriņš (cmin ber.m^3) un darba ražīgums mežizstrādes atlieku
pievešanā ar sortimentvedēju
Time consumption (cmin LVm^3) and productivity of forwarding of slash

Darba elementi <i>Work elements</i>	Nekoriģētais laiks <i>Uncorrected time</i>	Koriģētais laiks <i>Corrected time</i>
Strēle pie atliekām / <i>Crane on slash</i>	13	13
Atlieku satveršana / <i>Catching</i>	7	7
Atlieku pieešana / <i>Fetching</i>	22	22
Novietošana kravā / <i>Storing into load</i>	15	15
Atlieku atbrīvošana / <i>Releasing</i>	7	7
Kravas sakārtošana / <i>Sorting of load</i>	1	1
Braukšana jaunā stāvvieta / <i>Moving during loading</i>	6	6
Citas operācijas / <i>Other operations</i>	1	1
<i>Brauciens / Moving</i>		
– ar kravu / <i>with load</i>	15	35
– bez kravas / <i>without load</i>	15	29
Izkraušana / <i>Unloading</i>	28	28
Manevrēšana pie izkraušanas / <i>Manoeuvring during unloading</i>	2	2
<i>Kopā / Total</i>		
$\text{cmin ber.m}^3 / \text{cmin LVm}^3$	133	167
Kravas apjoms, $\text{ber.m}^3 / \text{Load volume LVm}^3$	14,3	14,3
Darba ražīgums, $\text{ber.m}^3 \text{E}_0\text{-h}^{-1} / \text{Productivity, LVm}^3 \text{ per efficient hour}$	45,2	36,0

1,53 LVL un šķeldu transportēšana – 1,43 LVL. Kopējais degvielas patēriņš 1 ber.m^3 sagatavošanai, neskaitot mežizstrādē patērēto, atbilda 1,89 kg oglekļa (C) emisijai; tādējādi biokurināmā sagatavošanai patērēts apmēram 3% no C, ko satur sagatavotais biokurināmais. Gandrīz puse no emisijām attiecināma uz šķeldošanu, tādēļ šim etapam ir būtisks energoefektivitātes paaugstināšanas potenciāls, piemēram, koncentrējot mežizstrādes atliekas pie lielākiem pārstrādes termināliem vai tur, kur izmantojami ekonomiskāki lieljaudas drupinātāji, vai arī vedot sasaiņotās atliekas uz patēriņa vietām, kur tās iespējams sasmalcināt, izmantojot elektropiedziņu.

Izvērtējot izmaksu aprēķinu, jāņem vērā, ka tajā nav ietverti: maksājums izmantojamās biomasas (zari) īpašniekam, kā arī administrācijas, uzraudzības, glabāšanas un citi izdevumi, kādi parasti rodas ražošanas procesā. Pilnajā analizē iekļaujamas arī šīs izmaksas. Jāņem vērā, ka izmēģinājumu veikšanas laikā uzņēmumiem, kas sniedza datus par mašīnu uzturēšanas izmaksām, veicot mežizstrādes atlieku sagatavošanu, vēl šajā ziņā nebija pietiekamas pieredzes, tādēļ izmaksu prognoze varētu būt neprecīza.

Pētījuma ietvaros no egļu audzēm iegūtā mežizstrādes atlieku šķeldu kvalitāte novērtēta tūlīt pēc sagatavošanas, un noteikti

šādi parametri: relatīvais mitrums, pelnu saturs, bēruma blīvums un sadegšanas siltums. Analīžu rezultāti apkopoti 6. tabulā. Salīdzinājumam tajā uzrādīti arī lapu koku un jaukta materiāla (galvenokārt, priede un egle) mežizstrādes atlieku šķeldu analīžu dati, kas iegūti LVMI Silava un *Skogforsk* pētījumos (Thor et al., 2006).

Jāatzīmē, ka pētījuma vajadzībām visos 6. tabulas piemēros šķeldošana izdarīta tūlīt pēc mežizstrādes atlieku pievešanas, nevis, kā rūpnieciskās ražošanas apstākļos – pēc 6...12 mēnešus ilgas žāvēšanas kaudzēs. Tādēļ šķeldām konstatēts augsts mitruma saturs. Cīsmā uzglabājamām mežizstrādes atliekām, aplūkojot tās ar speciālu papīru, mitruma saturu var samazināt līdz 35% (Brunberg et al., 1998).

Diskusija

Izmēģinājumu hronometrāžā iegūtie rezultāti nav tieši pielīdzināmi darba ražīgumam ražošanas apstākļos. Pētījumiem, kas plānoti samērā isam laika periodam,

parasti izvēlas vienmērīgu un izvīzītajiem mērķiem piemērotāku audzi; darbos iesaistītie operatori, kuru kvalifikācija parasti ir virs vidējā līmeņa, tiek informēti par konkrēto operāciju uzdevumiem – to izpildei nepieciešamā laika izvērtēšanu –, tādēļ ir motivēti uzrādīt labākos rezultātus visā izmēģinājumu gaitā.

Pētījuma metodika jau paredzēja minimālu rezultātu korigēšanu tikai tiem darba elementiem, kurus ietekmēja koka vai mežaudzes parametri un faktori. Tādēļ, salīdzinot abas darba metodes, lielākā daļa atšķirību atspoguļoja reālās šo metožu īpatnības. Tas arī bija viens no iemesliem, kādēļ pētījumā tika iesaistīti augsti kvalificēti operatori. Tādi ārējie faktori, kā mežaudzes raksturlielumi un laika apstākļi, visā pētījuma gaitā bija pietiekami vienādi, lai datu korigēšana būtu minimāla.

Salīdzinājumā ar līdzīgiem pētījumiem Somijā un Zviedrijā, sortimentu skaits mūsu izmēģinājumā bija ievērojami lielāks (Thor et al., 2006; Brunberg et al., 1998). To

6. tabula, Table 6

Šķeldu kvalitāte
Quality of wood chips

	Jaukts materiāls <i>Mixed material</i>	Lapu koku šķeldas <i>Deciduous</i>	Egļu šķeldas <i>Spruce</i>	Analīžu metode <i>Analytical method</i>
Relatīvais mitrums / <i>Relative moisture</i>	46%	43%	64%	LVS CEN/TS 14774-2
Pelnu saturs / <i>Ash content</i>	1,50%	2,80%	2,70%	LVS CEN/TS 14775
Bērums blīvums, t ber.m ⁻³ / <i>Bulk density, t LVm⁻³</i>	0,36	0,27	0,41	LVS CEN/TS 15103 (pārreķins uz dabiski mitru materiālu / <i>calculation to naturally dry material</i>)
Bērums blīvums, tsausnas ber.m ⁻³ / <i>Bulk density, t dry mass LVm⁻³</i>	0,19	0,16	0,15	LVS CEN/TS 15103
Sadegšanas siltums, MWh m ⁻³ / <i>Net energy content, MWh m⁻³</i>	2,7	2	1,9	LVS CEN/TS 14918

samazinot, ievērojami palielinātos harvestera un pievedējtraktora darba ražīgums.

Harvesteram operatoram daudz pūļu prasīja galotņu sazāgēšana, zaru un galotņu ieklāšana pievešanas ceļā. Šādas darba operācijas, lai uzlabotu mašīnu manevrētspēju, ir pamatotas platībās ar mazu augšnes nestspēju, tomēr efektīvs darba laika ietaupījums (līdz 7%) būtu iegūstams, ja, pabeidzot nozāgētā stumbra apstrādi, galotnes tiktu atstātas mašīnas priekšpusē.

Harvesteram darba joslas platums bija ap 20 m. Šādas joslas priekšrocība ir tā, ka

palielinās izstrādāto apaļkoku koncentrācija, kas savukārt paaugstina pievedējtraktora darba ražīgumu. Tomēr audzēs, kur relatīvi liels stumbru vidējais tilpums, lielāks darba joslas platums saistīts ar papildus laika patēriņu gadījumos, kad apstrādājami lielu dimensiju koki attālāk no mašīnas. Iespējams, darba ražīgums paaugstinātos, ja, izmantojot jaudīgāku harvesteru, tā darba joslas platums būtu ap 15 m. Ļoti plata darba josla dažkārt var apgrūtināt vietas atrašanu sortimentu šķirošanai un to novietošanai pie pievešanas ceļa, lai atvieglotu pievedējtraktora darbu.

Secinājumi

1. Lietojot K metodi, darba ražīgums kokmateriālu sagatavošanā egļu audzē palielinājās par 4%, bet apaļkoku sortimentu pievešanā ar pievedējtraktoru – samazinājās par 1%. Kopumā apaļkoku sortimentu izstrādes operāciju izpildē konstatēts darba ražīguma pieaugums. Ņemot vērā, ka izmēģinājumā iesaistītie operatori iepriekš pārsvarā bija strādājuši pēc T metodes, faktiskā atšķirība starp abām eksperimentā izmantotajām metodēm rūpnieciskās ražošanas apstākļos acīmredzot būtu vēl lielāka.
2. Izvērtējot eksperimenta rezultātus, apaļkoku sortimentu izstrādes un pievešanas ražīgumu varētu palielināt, samazinot izstrādājamo sortimentu skaitu, piemēram, komplektējot dažāda caurmēra skujkoku zāgbaļķu vai papirmalkas sortimentus. Harvesteram operators mašīnas manevrēšanas iespēju palielināšanai daudz pūļu veltīja galotņu sazāgēšanai un zaru ieklāšanai pievešanas ceļā. Atsakoties no šādu darbu izpildes ievērojami samazinātos darba laika (līdz 7%) patēriņš mežizstrādē.
3. Harvesteram darba joslas platums eksperimentā bija 20 m. Strādājot šādos apstākļos, palielinās kokmateriālu koncentrācija tehnoloģisko koridoru malās, kas savukārt paaugstina darba ražīgumu pievešanas operāciju izpildē. Tomēr, ja sortimentu ir daudz un vēl arī izvietojamas mežizstrādes atliekas, var pietrūkt to novietošanai nepieciešamās platības, kas savukārt izraisīs darba ražīguma samazināšanos kā mežizstrādē, tā pievešanā, ko, iespējams, varētu palielināt, izmantojot jaudīgāku harvesteru, kura darba joslas platums būtu 15-16 m.
4. Mežizstrādes atlieku šķeldu sagatavošanas pašizmaksa egļu audzēs sastādīja 3,93 LVL ber.m⁻³, kas ir ievērojami zemāka nekā vidējā šķeldu eksporta cena 2007. gadā (9,25 LVL ber.m⁻³) (Zemkopības ministrija, 2008). Degvielas patēriņš šķeldu izstrādē atbilst 3% no C daudzuma biokurināmajā, attiecīgi, mežizstrādes atlieku emisiju samazināšanas potenciāls, aizstājot fosilo kurināmo, teorētiski sastāda 97%, savukārt faktisko potenciālu nosaka sadedzināšanas iekārtu efektivitāte.

5. Eksperimenta ietvaros no mežizstrādes atliekām sagatavotajām šķeldām ir augsts mitruma un pelnu daudzums, ko varētu samazināt, žāvējot kaudzēs sakrautas atliekas cirms malā vismaz 6 mēnešus. Tas ļautu palielināt arī zemāko sadegšanas siltumu, kas eksperimentā iegūtajās šķeldās, pārreķinot uz berkubikmetriem, bija 0,76 MWh ber.m³.
6. Mežizstrādes atlieku šķeldu sagatavošanas eksperimentā pārbaudītās tehnoloģijas ir Latvijas apstākļiem piemērotākas. Izmaksu samazināšanās panākama, optimizējot šķeldošanas procesu, piemēram, cirmsās, kur liels pievešanas attālums un tādēļ apgrūtināta ilgstoša atlieku uzglabāšana (žāvēšana) ceļa malā vai nav iespējama šķeldošana, būtu izmantojami atlieku saiņotāji, kas ļautu paaugstināt ražošanas efektivitāti un samazināt pievešanas, transportēšanas un šķeldošanas darbu izmaksas.

Literatūra

- AS "Latvijas valsts meži" (2009). Atklāta konkursa "Par enerģētisko šķeldu piegādi 2009.gada I pusgadā" rezultāti. [WWW dokuments]. – URL. <http://www.lvm.lv/files/text/Rezult%C4%81ti.pdf>. [izdrukāts 2009. gada 12. martā].
- Brunberg, B., Andersson, G., Nordén, B., Thor, M. (1998). Uppdragsprojekt Skogsbränsle – sluttrapport (Development project Forest fuel, final report), Skogforsk Redogörelse No. 6., 60 p.
- Laitila, J., Ranta, T., Asikainen, A. (2008). Productivity of Stump Harvesting for Fuel. International Journal of Forest Engineering, 19: 37-47.
- Thor, M., von Hofsten, H., Lundström, H., Lazdāns, V., Lazdiņš, A. (2006). Extraction of logging residues at LVM (research report), SKOGFORSK, The Forestry Research Institute of Sweden, Uppsala, 38 p.
- Zemkopības Ministrija (2008) Meža nozares produkcijas ārējā tirdzniecība. [WWW dokuments]. – URL: <http://www.zm.gov.lv/index.php?sadala=289&id=6183>.
- Liepa, I., Blija, T. (2008). Latvijas egļu mežu koku biomasas struktūra. LLU Raksti Nr. 20: 32.-37. lpp.