

PĀRSKATS

PAR AS "LATVIJAS VALSTS MEŽI" PĒTĪJUMA

ATJAUNOJAMO ENERGORESURSU PRODUKTU RAŽOŠANAS,
PĀRSTRĀDES UN LOĢISTIKAS RŪPnieciskais PĒTĪJUMS

DARBU IZPILDI

Pārskata nosaukums **APAĻO KOKMATERIĀLU UN
ŠĶELDU PIEGĀDES RAŽĪGUMA
SĀLĪDZINĀJUMS JAUNAUDŽU
KOPŠANĀ**

Līguma Nr. 3.5.5-5.1-000p-101-12-8

Pārskata Nr. 2014/02

Pārskata versija 1.0

Izpildes laiks 03.01.2013 - 30.12.2013

Izpildītājs Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava"

Projekta vadītājs

A. Lazdiņš

KOPSAVILKUMS

Pētījuma mērķis ir novērtēt daļēji atzarotu sīkkoku un veselu stumbru šķeldošanas un šķeldu piegādes ražīgumu, kā arī izstrādāt vienādojumu daļēji atzarotu sīkkoku kravas lieluma un krāvuma blīvuma aprēķināšanai atkarībā no vidējā transportējamo kokmateriālu tievgaļa vai resgaļa caurmēra lapkoku un skujkoku audzēs, transportējot patērētājam jaunaudžu kopšanā sagatavoto biokurināmo.

Pētījuma rezultātus plānots izmantot biokurināmā pašizmaksas modelēšanā, salīdzinot šķeldu un daļēji atzarotas sīkkoksnes piegādes scenārijus.

Pētījumā secināts, ka apaļo kokmateriālu caurmērs būtiski ietekmē kravu tilpīguma koeficientu. Pieaugot sīkkoku caurmēram, kravas tilpīguma koeficients palielinās. Lapkoku sīkkoku kravu tilpīguma koeficients ir būtiski mazāks, nekā skujkoku sīkkoku kravām.

Vidējais produktīvais laiks kokvedēja kravas iekraušanai skujkoku audzēs ir 36 min., bet izkraušanai – 19 min. Lapkoku audzēs iekraušana aizņēma būtiski vairāk laika (75 min. produktīvā laika), bet izkraušana mazāk (9 min. produktīvā laika). Gaidīšanas laiks ir iekļauts iekraušanas un izkraušanas laikā. Kravas lieluma novērtēšanai atkarībā no apaļkoku caurmēra izstrādāti lineārās regresijas vienādojumi lapkoku un skujkoku audzēm.

Kravas lielumu atkarībā no vidējā apaļkoku nogriežņa caurmēra raksturo lineāras regresijas vienādojumi, kas atšķiras skujkokiem un lapkokiem. Būtiski, ka atbilstoši abiem vienādojumiem, kravu pārkraušana ar sīkkokiem (maksimāli pieļaujamās masas pārsniegšana) praktiski nav iespējama, līdz ar to maksimāli efektīvai auto sastāva izmantošanai kravas telpa ir jāpalielina. Turpretim, pārvadājot svaigi šķeldotu materiālu 90-110 m³ lielās puspiekabēs vai konteineros, pastāv liels maksimāli pieļaujamās masas pārsniegšanas risks, tāpēc šis materiāls noteikti pirms transportēšanas jāžāvē, lai nepārsniegtu maksimāli pieļaujamās masas ierobežojumus.

Vidējais patērētais produktīvais laiks 1 šķeldu kravas (110 ber. m³) sagatavošanai no veseliem stumbriem ir 59 minūtes, savukārt, šķelidojot tehnoloģiskās malkas sortimentu – 63 minūtes, tajā skaitā kravas noseģšanai un mašīnu nomaiņai. Izkraušanās laiks uz sāniem izgāžamiem konteineriem (110 ber. m³) un kravas mašīnām ar puspiekabēm ar kustīgo grīdu (90-95 ber. m³) ir 20 min., ieskaitot manevrēšanu izkraušanās laikā.

Neatkarīgi no sortimentu dimensijām, izdevīgāka ir šķeldu piegāde patērētājam, taču pie noteiktas cenu starpības par apaļkoksnī un sašķeldoto materiālu, izdevīgāka var būt arī apaļo kokmateriālu piegāde. Taču pirms daļēji atzarotās sīkkoksnes piegāžu organizēšanas ir jāizvērtē pieejamie kravu noseģšanas varianti, lai novērstu koksnes atlūzu nonākšanu uz ceļa, it īpaši, piegādājot sīkkoksni no lapkoku audzēm.

Saturs

Kopsavilkums	2
Ievads	5
Metodika	6
Ceļu transports.....	6
Kokvedēji.....	6
Šķeldu vedēji.....	6
Šķeldotāji.....	7
Darba laika uzskaitē.....	7
Aprīkojums.....	7
Ceļu transportam paredzētā un sašķeldotā materiāla svēršana.....	8
Ceļu transports.....	9
Šķeldotāji un šķeldu vedēji.....	9
Biomasu raksturojošo rādītāju noteikšana.....	10
Šķeldu paraugu ievākšana un sagatavošana.....	10
Mitruma satura noteikšana.....	11
Šķeldu bēruma blīvuma noteikšana.....	11
Koksnes frakciju noteikšana šķeldās.....	12
Pelnu satura noteikšana.....	12
Sikkoku un šķeldu transporta salīdzināšana.....	12
Izmaksas ietekmējošo faktoru analīze.....	13
Darba rezultāti	16
Darba laika uzskaites kopsavilkums.....	16
Kokvedēji.....	16
Šķeldotāji un šķeldu vedēji.....	20
Ražīguma aprēķini.....	24
Kokvedēji.....	24
Šķeldotāji un šķeldu vedēji.....	27
Kopsavilkums par darba ražīguma rādītājiem.....	28
Izmaksu un ieņēmumu analīze.....	29
Pašizmaksu ietekmējošo faktoru analīze.....	29
Transporta sistēmas analīze.....	30
Šķeldu kvalitāte.....	33
Ieteikumi praksei un secinājumi	35
Literatūra	36

Attēli

Att. 1: Piekrauts daļēji atzarotu lapkoku sikkoku sastāvs.....	6
Att. 2: Šķeldu vedējs (104 m3).....	6
Att. 3: Šķeldotājs Bruks 1001 uz Timberjack 1410 bāzes.....	7
Att. 4: Hronometrāžā izmantotais laukdators Allegro CX.....	8
Att. 5: Kravas mašīnu svēršanai izmantotie svāri CAS RW-15P, kopskats un darbam sagatavotas platformas.....	8
Att. 6: Šķeldu paraugs no 2. kravas (veselu koku šķeldas lapkoku audzē).....	10
Att. 7: Šķeldu paraugs no 7. kravas (daļēji atzaroti sikkoki) lapkoku audzē.....	11
Att. 8: Darba laika elementu procentuālais sadalījums kokvedēju iekraušanā.....	16
Att. 9: Darba laika elementu procentuālais sadalījums kokvedēju izkraušanā.....	17
Att. 10: Neto apaļkoku kravas masa.....	18
Att. 11: Vidējā caurmēra un skujkoku sikkoku kravas tilpīguma koeficienta sakarība.....	19
Att. 12: Vidējā caurmēra un skujkoku lapkoku kravas tilpīguma koeficienta sakarība.....	19
Att. 13: Darba laika elementu procentuālais sadalījums malkas sortimenta šķeldošanā.....	20
Att. 14: Darba laika elementu procentuālais sadalījums veselu stumbru šķeldošanā.....	21

Att. 15: Darba laika patēriņš vienā krāna ciklā salīdzinājumā pa audzēm.....	21
Att. 16: Neto šķeldu kravas masa.....	22
Att. 17: Caurmēra un stera masas sakarība skujkoku kravās.....	25
Att. 18: Caurmēra un stera masas sakarība lapkoku kravās.....	25
Att. 19: Skujkoku sīkkoku nogriežņu caurmērs un kravas tilpums pie konstantas masas.....	26
Att. 20: Lapkoku sīkkoku nogriežņu caurmērs un kravas tilpums pie konstantas masas.....	27
Att. 21: Šķeldu vedēju kravas apjoma ber. m3 salīdzinājums, automašīnu faktiski masai nepārsniedzot 52 tonnas.....	28
Att. 22: Nogriežņa caurmēra un kravas apjoma sakarība.....	31
Att. 23: Sīkkoku caurmēra un kravas apjoms kubikmetros.....	31
Att. 24: Skujkoku sīkkoku 1 m3 transportēšanas izmaksas atkarībā no kokmateriālu nogriežņa caurmēra.....	32
Att. 25: Lapkoku sīkkoku caurmēra un kravas masa tonnas.....	32
Att. 26: Lapkoku sīkkoku caurmērs un kravas apjoms kubikmetros.....	33
Att. 27: Lapkoku sīkkoku transportēšanas izmaksas.....	33
Att. 28: Šķeldu fracionālais sadalījums.....	34

Tabulas

Tab. 1: Iekraušanas darba laika uzskaites elementi.....	9
Tab. 2: Izkraušanas darba laika uzskaites elementi.....	9
Tab. 3: Šķeldotāja darba laika uzskaites elementi.....	10
Tab. 4: Pašizmaksas aprēķinu gaita.....	13
Tab. 5: Darba laika uzskaites kopsavilkums iekraušanai, min.....	17
Tab. 6: Darba laika uzskaites kopsavilkums izkraušanai, min.....	17
Tab. 7: Darba laika uzskaites kopsavilkums.....	22
Tab. 8: Koeficienti šķeldošanas ražības pārrēķiniem, raksturojot vienu kravu.....	23
Tab. 9: Darba laika patēriņš 1 kravas sagatavošanai.....	23
Tab. 10: Produktīvā darba laika patēriņš 1 tonnas sausnes sagatavošanai.....	23
Tab. 11: Produktīvā darba laika patēriņš 1 ber m ³ šķeldu sagatavošanai.....	24
Tab. 12: Darba stundas izmaksas dažādām meža mašīnām.....	29
Tab. 13: Pašizmaksas kopsavilkums.....	29
Tab. 14: Šķeldu kvalitātes rādītāju kopsavilkums.....	34

IEVADS

Pētījuma mērķis ir iegūt empīriskus datus par atzarotu sīkkoku un veselu stumbru šķeldošanas un šķeldu piegādes ražīgumu, kā arī izstrādāt vienādojumu daļēji atzarotu sīkkoku kravas lieluma un krāvuma blīvuma aprēķināšanai atkarībā no vidējā transportējamo kokmateriālu tievgaļa vai resgaļa caurmēra lapkoku un skujkoku audzēs, transportējot patērētājam jaunaudžu kopšanā sagatavoto biokurināmo. Iegūtos rezultātus paredzēts izmantot biokurināmā pašizmaksas modelēšanā, salīdzinot šķeldu un daļēji atzarotas sīkkoksnes piegādes scenārijus, vērtējot biokurināmā sagatavošanas iespējas jaunaudžu kopšanā.

Pētījumā izvērtētie darba etapi ir daļēji atzarotu sīkkoku piegāde patērētājam ar kokvedējiem (vienādi aprēķinu koeficienti pielietoti biokurināmajam un pārējiem sortimentiem), daļēji atzaroto apaļkoku sortimenta un veselu stumbru sortimenta šķeldošana un šķeldu transportēšana. Pētījumos vērtēts meža darbu operāciju ražīgums, kravu masa un sagatavotā kurināmā kvalitāte.

Pētījumā piedalījās pieredzējuši kravas mašīnu šoferi un šķeldotāju operatori, līdz ar to var uzskatīt, ka iegūtie rezultāti atspoguļos vidējos rādītājus ražošanā. Neplānotas grūtības radās ar daļēji atzarotu sīkkoku piegādi patērētājam; pētījumā konstatēts, ka, braucot pa vispārējas nozīmes ceļiem, šādas kravas vēlams pārsegt ar tīklu, lai novērstu koku atlūzu izkrišanu no kravas un neradītu apdraudējumu citiem satiksmes dalībniekiem.

Šķeldošanas etapā neplānoti novērtētas 2 darba metodes – kad šķeldotājs uzpilda vispirms savu konteineru, ko pārber šķeldu vedējā, jo mašīnas nevar nostāties blakus, un otra metode, kad šķeldotājs pūš materiālu tieši šķeldu vedēja konteinerā. Izmēģinājumos izmantots Latvijai neraksturīgs 110 m³ lieks šķeldu konteineravedējs, kas izgāž kravu uz sāniem.

METODIKA

Ceļu transports

Kokvedēji

Pētījumā izmantoti dažādi kokvedēji ar kopējo sastāva tilpumu 64 m^3 . Kokvedējiem bija 7-8 asis. Pašizmaksas aprēķins veikts atbilstoši Volvo D13K kokvedējam ar piekabi MST un Loglift 96s iekrāvēju. Dzinēja jauda 415 ZS (309 kW). Degvielas patēriņš aptuveni $30 \text{ L } 100 \text{ km}^{-1}$ vai 15 L stundā. Apkopes izmaksas pieņemtas atbilstoši jaunas mašīnas rekomendētajiem apkopju intervāliem un izmaksām pie auto dīlera. Izmaksās paredzēts, ka, neatkarīgi no slodzes, apriepojumu maina vidēji reizi 2 gados. Automašīnai ir 12 ātrumu automātiska ātrumkārbā vai 14 ātrumu manuāla ātrumkārbā.

Izmēģinājumos sīkkoku piegāde notika 2013. gada pavasarī uz Inčukalnu (SIA Graanuul Invest kokskaidu granulu rūpnīca, piegādāti skujkoki) un 2013. gada rudenī uz SIA Latgran Jēkabpils granulu rūpnīcu (piegādāti lapkoki, Att. 1).



Att. 1: Piekrauts daļēji atzarotu lapkoku sīkkoku sastāvs.

Šķeldu vedēji

Šķeldu transportēšanai izmantoja divas kravas mašīnas kas aprīkotas ar šķeldu pārvadāšanai piemērotiem konteineriem (Att. 2). Šķeldu vedēja pašmasa 27 tonnas. Kopējais konteineru tilpums – 104 m^3 .



Att. 2: Šķeldu vedējs (104 m^3).

Šķeldotāji

Pašizmaksas aprēķinos iekļauti izmēģinājumi, kuros šķeldošanu veica Bruks 1001 šķeldotājs, kam kā bāzes traktora izmantots Timberjack 1410 pievedējtraktors (Att. 3).



Att. 3: Šķeldotājs Bruks 1001 uz Timberjack 1410 bāzes.

Darba laika uzskaitē

Aprīkojums

Pētījuma ietvaros veikta šķeldošanas un ceļu transporta darba laika uzskaitē. Biokurināmā kvalitātes rādītāji noteikti šķeldošanas laikā ievāktiem biomasas paraugiem.

Darba laika uzskaitē veikta ar specializētu triecienu un mitruma izturīgu laukdatoru Allegro CX (Att. 4), kas aprīkots ar darba laika hronometrāžas programmu SDI.



Att. 4: Hronometrāžā izmantotais laukdators Allegro CX.

Līdzīgi kā iepriekšējos pētījumos, arī šajā darba laika uzskaitē nav atsevišķi uzskaitīts degvielas patēriņš, pieņemot ražotāja dotos vidējos rādītājus.

Ceļu transportam paredzētā un sašķeldotā materiāla svēršana

Šķeldu vedēju un kokvedēju svēršanai izmantoja firmas CAS ražojuma svarus RW-15P (Att. 5). To svēršanas diapazons ir 15 000 kg, iedaļas vērtība 10 kg, platformas izmēri 900 x 500 x 39 mm. Svari sastāv no vadības bloka un 2 svaru platformām. Svaru platformas, savukārt, veicot šķeldu vedēja kravas svēršanu, uzstāda uz zemē ierakstām koka platformām, kas izlīdzina slodzi un pasargā svaru mehānismu no netīrumiem. Lai atvieglotu šķeldu vedēju šoferu darbu, abpus svariem ar krāsainu 5 m garu lentu iezīmēts taisns ceļa posms, kurā šoferim jāizlīdzina šķeldu vedējs, lai abi vienas ass riteņi uz platformām uzbrauktu vienlaicīgi. Izņēmums ir kravas, kas piegādātas uz Graanul invest, kas nosvērtas ar uzņēmuma rīcībā esošajiem svariem.



Att. 5: Kravas mašīnu svēršanai izmantotie svari CAS RW-15P, kopskats un darbam sagatavotas platformas.

Svēršana notiek katram riteņim atsevišķi un šķeldu vedēja masu veido visu riteņu svērumu summa. Svēršanas laikā šķeldu vedējs apstājas uz svaru platformām. Vispirms tika svērts

piekrauts šķeldu vedējs, tad tukšs. Piezīmēs pierakstīja svēršanas laiku, kravas numuru. Svēršanas laiks netika iekļauts darba laika uzskaitē.

Ceļu transports

Ceļu transporta darba laika uzskaiti veido apaļo kokmateriālu iekraušana un izkraušana, ko uzskaitīta izmantojot divus laukdatorus. Ar vienu uzskaita kokvedēja uzkraušanai patērētais darba laiks augšgala krautuvē, ar otru – darba laiku, kas patērēts, izkraujot apaļos kokmateriālus. Darba laika uzskaites elementi doti Tab. 1 un Tab. 2. Darba laika uzskaiti veic arī kravas sakārtošanas laikā pie izslēgta dzinēja, tādējādi kokvedēja darba laika uzskaitē nav ciešas sakarība ar nostrādātajām motorstundām.

Tab. 1: Iekraušanas darba laika uzskaites elementi

Darba laika kategorija	Saīsinājums	Skaidrojums
Informatīvie lauki	piezīmes	dažādas piezīmes, tajā skaitā par pārtraukumiem, pārbraucieniem, koridora maiņu un taml.
	krautuve	krautuves numurs
Produktīvais darba laiks	sagat	sagatavošanās darbam pēc ierašanās pie krautnes
	parviet	pārbraucieni krautnē
	sniedz	sniegšanās pēc sortimentiem
	satver	sortimentu satveršana
	iekrauj	sortimentu pievilksana un iekraušana
	karto	kravas kārtošana
	cits	citas ar darbu saistītas operācijas
	sakart	teritorijas sakārtošana un kravas nostiprināšana pēc iekraušanās
Neproduktīvais darba laiks	remon	neparedzēti remontu
	stop	ar darbu nesaistītas operācijas

Tab. 2: Izkraušanas darba laika uzskaites elementi

Darba laika kategorija	Saīsinājums	Skaidrojums
Informatīvie lauki	izkrautās kasetes	izkrauto kasešu skaits (maks. 4)
	piezīmes	Dažādas piezīmes, tajā skaitā par pārtraukumiem, pārbraucieniem, krautuves maiņu un taml.
	krautuve	krautuves numurs, no kuras ved sortimentus
Produktīvais darba laiks	uzstādīšanas	sagatavošanās darbam
	novakaksanas	darba vietas sakārtošana un atstāšana pēc izkraušanās
	sniegšanas	sniegšanās pēc sortimentiem
	satveršana	satveršana
	izkrašanas	izcelšana un novietošana krautnē
	cits	citas ar darbu saistītas operācijas
Neproduktīvais darba laiks	stop	ar darbu nesaistītas operācijas
	sver	svēršanas laiks tajos gadījumos, kad kokmateriālus svēra

Šķeldotāji un šķeldu vedēji

Šķeldu transporta darba laika uzskaitē ietver šķeldošanai un šķeldu tālākam transportam patērēto darba laiku. Šķeldu vedēja darba laiku veido darba laiks, kāds tiek patērēts vienas kravas šķeldu sagatavošanai. Šķeldotāja darba laiku veido vienas šķeldu kravas sagatavošanai patērētais laiks, kam pieskaitīts šķeldu vedēja nomainītais laiks.

Šķeldotāja un šķeldu vedēja darba laika uzskaites elementi un cita informācija, kas fiksēta hronometrāžas laikā, parādīta Tab. 3. Izkraušanās laiks noteikts kā kopējais laiks 1 kravai, tajā skaitā gaidīšanas, sagatavošanās un darba vietas sakārtošanas laiks.

Šķeldošanai patērētā darba laika uzskaitē veikta katrai šķeldu kravai atsevišķi, tajā skaitā noteikts krāna ciklu skaits šķeldu kravas sagatavošanai.

Tab. 3: Šķeldotāja darba laika uzskaites elementi

Darba laika kategorija	Saīsinājums	Skaidrojums
Informatīvie lauki	piezīmes	Dažādas piezīmes, tajā skaitā par pārtraukumiem, pārbraucieniem, krautuves maiņu un taml.
	krautuve	krautuves numurs
Produktīvais darba laiks	gatavojas	sagatavošanās darbam, iekārtas uzstādīšana
	sniedzas	sniegšanās pēc sortimentiem vai zariem
	satver	sortimentu vai zaru satveršana
	pievelk	sortimentu vai zaru pievilkšana un uzlikšana uz lafetes
	pietur	sortimentu vai zaru pieturēšana uz lafetes šķeldošanas laikā
	brauc	pārbraucieni pa krautuvi (šķeldotāja bāzes mašīna)
	cits	citas ar darbu saistītas operācijas
	maina kravu	šķeldotāja šķeldu kravas izbēršana šķeldu vedējā
Neproduktīvais darba laiks	stop	ar darbu nesaistītas operācijas
	līdzina	līdzina kravu

Biomasu raksturojošo rādītāju noteikšana

Sagatavotā biokurināmā raksturošanai šķeldošanas laikā mežā ievākti šķeldu paraugi, kuriem noteikts frakciju sastāvs, mitrums, bēruma blīvums un oglekļa saturs.

Šķeldu paraugu ievākšana un sagatavošana

Šķeldu paraugi ievākti šķeldošanas laikā no 01.11.2013. līdz 04.11. 2013., ievācot vidēji 30 L lielus paraugus no 9 šķeldu kravām. Analīze veikta 1 vidējam šķeldu paraugam no katras šķeldu kravas. Izmēģinājumos sagatavoja gan veselu sīkkoku šķeldas (Att. 6), gan daļēji atzarotu sīkkoku šķeldas (Att. 7)



Att. 6: Šķeldu paraugs no 2. kravas (veselu koku šķeldas lapkoku audzē).



Att. 7: Šķeldu paraugs no 7. kravas (daļēji atzaroti sīkkoki) lapkoku audzē.

Mitruma saturs noteikšana

Šķeldu mitrums noteikts atbilstoši CEN/TS 14774-2:2004 standartam, žāvējot apmēram 1 kg šķeldu paraugu, kas iegūts ar kvartēšanas metodi, 105 °C temperatūrā līdz nemainīgai masai. Absolūtais mitruma saturs koksne aprēķināts ar 1. vienādojumu, savukārt relatīvais mitruma saturs aprēķināts izmantojot 2. vienādojumu (Swedish Standards Institute, 2005a).

$$W_a = \frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1} * 100, \text{ kur}$$

W_a – absolūtais mitruma saturs koksne, %; (1)

M_1 – tukša konteineru masa, g;

M_2 – konteineru un parauga masa pirms žāvēšanas, g;

M_3 – konteineru un parauga masa pēc žāvēšanas, g.

$$W_r = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} * 100, \text{ kur} \quad (2)$$

W_r – relatīvais mitruma saturs, %.

Šķeldu bēruma blīvuma noteikšana

Koksnes bēruma blīvumu noteikts atbilstoši CEN/TS 15103:2006 standartam. Bēruma blīvums noteikts 10 l konteinerā, uzpildot to nedaudz virs atzīmes un 3 reizes nometot uz koka virsmas (paletes) no 15 cm augstuma, lai sablietētu materiālu. Pēc tam liekās šķeldas novāc un konteineru ar šķeldām nosver ar precizitāti līdz 10 g. Blīvuma noteikšanu atkārto 2 reizes un, ja iegūtais rezultāts atšķiras par 5 %, to atkārto vēl 3. reizi. Aprēķinos izmanto vidējo no 2 tuvākajiem rezultātiem. Šķeldu bēruma blīvumu dabiski mitra koksnei aprēķina ar 5. vienādojumu. Pārreķins uz absolūti sausu koksni veikts ar 3. vienādojumu (Swedish Standards Institute, 2006).

$$D_{ar} = \frac{M_2 - M_1}{V} * 1000, \text{ kur}$$

D_{ar} – dabiski mitras koksnes bēruma blīvums, kg m^{-3} ; (3)

M_2 – konteineru un šķeldu masa, kg ;

M_1 – konteineru masa, kg ;

V – konteineru tilpums, 10 l .

$$D_{dm} = \frac{(M_2 - M_1) * (100\% - W_r)}{V} * 1000, \text{ kur} \quad (4)$$

D_{dm} – absolūti sausas koksnes bēruma blīvums, kg m^{-3} .

Koksnes frakciju noteikšana šķeldās

Dažādu koksnes frakciju saturs šķeldās noteikts atbilstoši CEN/TS 15149-2:2006 standartam, izmantojot vibrējošo sietu metodi. Sijāšanai izmantotas gaissausas šķeldas (mitruma saturs ap 20%), kopējais izsijātā parauga tilpums 90 L. Pārreķinos uz absolūti sausu biomasu pieņemts, ka mitruma saturs visās šķeldu frakcijās ir vienāds. Noteiktās šķeldu frakcijas ir > 63 mm, 63-45 mm, 45-16 mm, 16-3,15 mm un < 3,15 mm (CEN, 2005).

Pelnu satura noteikšana

Pelnu satura noteikšana veikta atbilstoši standartam SIS-CEN/TS 14775:2004, sadedzinot sasmalcinātus un izžāvētus koksnes paraugus 550 °C temperatūrā. Sadedzināšanas ilgums – 120 minūtes. Pirms sadedzināšanas un pēc sadedzināšanas paraugi nosvērti uz analītiskajiem svariem ar precizitāti līdz 0,1 mg. Pelnu saturu absolūti sausā koksne aprēķina ar 5. vienādojumu (Swedish Standards Institute, 2005b).

$$A_d = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} * 100\% * \frac{100\%}{100\% - W_r}, \text{ kur}$$

A_d – pelnu saturs koksnes sausnā, %;

m_1 – tiģeļa masa, g ;

(5)

m_2 – tiģeļa un testējamā parauga masa, g ;

m_3 – tiģeļa un pelnu masa, g ;

W_r – relatīvai mitrums, %.

Mitruma saturs noteikts pirms pelnu analīzes, izmantojot Precīza mitruma noteikšanas svarus.

Sīkkoku un šķeldu transporta salīdzināšana

Apaļo kokmateriālu vidējais caurmērs un citi skaitliskie lielumi noteikti pēc kontrolpaku mērījumu datiem, kas tālāk attiecināti uz visu automašīnas kravu.

Tilpīguma koeficienta un pārējo iegūto rādītāju salīdzināšanai skujkoku un lapkoku apaļajiem kokmateriāliem veica aprēķinus pie vienāda caurmēra, kā rezultātā tika noteikti caurmēra rādījumi no 4,5 līdz 8,0 cm ar intervālu 0,5 cm. Tilpīguma koeficientu nolasiņa no sakarībām, kas veidojās aprēķina rezultātā. Tilpīguma koeficientam lietoti divi skaitļi aiz komata (0,55).

Kokvedēju kravu salīdzināšanai izmantots kravas masas rādītājs un kravas tilpuma rādītājs pēc kraujmēra jeb tilpums steros. Kravas tilpumu steros kā mērvienību izmanto, lai noteiktu maksimālo kokvedējā iekraujamās kravas tilpumu.

Izmaksas ietekmējošo faktoru analīze

Pašizmaksas aprēķins veikts saskaņā ar Tab. 4 doto pašizmaksas aprēķina gaitu. Tabulā ievadītie skaitļi doti kā piemērs, kas raksturo izmantotās formulas. Pašizmaksas aprēķins veikts šķeldu vedējam, šķeldotājam un kokvedējam.

Tab. 4: Pašizmaksas aprēķinu gaita

Rādītājs	Saīsinājums	Harvesters	Pievedējtraktors	Šķeldotājs	Šķeldu vedējs
Investīcijas					
Sākotnējās investīcijas, EUR	A	200 000	140 000	270 000	97 500
Nolietojuma periods, gadi	B	5	5	3	5
Aizdevuma procentu likme, %	C	8	8	8	8
Atlikusi vērtība, EUR	D	$P = 0,15 * M$			
Investīciju koeficients	E	$Q = \frac{\frac{O}{100} * (1 + \frac{O}{100})^N}{(1 + \frac{O}{100})^N - 1}$			
Investīcijas, EUR gadā	F	$R = Q * (M - P)$			
Atalgojums					
Algas likme, EUR stundā	G	5	5	5	5
Soc. nodoklis, %	H	24,09			
Darba dienas gadā	I	277	287	162	210
Maiņas ilgums, stundas	J	8	8	8	8
Virsstundas maiņā, stundas	K	-	-	2	2
Virsstundu atalgojums, EUR stundā	L	$X = S$			
Maiņu skaits dienā	M	3	3	2	2
Lietderības koeficients	N	0,73	0,76	0,67	0,85
Tehnikas pārvietošana, reizes gadā	O	50	50	50	-
Pārbrauciena ilgums, stundas	P	3,6	3,6	3,6	-
Virsstundas gadā	Q	$AC = U * W * Y$			
Normālās darba stundas gadā	R	$AD = U * V * Y$			
Motorstundas gadā	S	$AE = (AD + AC) * Z - AA * AB$			
Atalgojums par normālo darbu, EUR gadā	T	$AF = S * AD$			
Atalgojums par virsstundām, EUR gadā	U	$AG = X * AC$			
Sociālais nodoklis, EUR gadā	V	$AH = (AF + AG) * T$			
Atalgojums kopā, EUR adā	W	$AH = (AF + AG) * T$			
Operacionālās izmaksas					

Rādītājs	Saisinājums	Harvesters	Pievedējtraktors	Šķeldotājs	Šķeldu vedējs
Degviela, EUR L ⁻¹	X	AJ = B			
Smērvielas, EUR 400 g ⁻¹	Y	4,17			
Degvielas patēriņš, L ber. m ³	Z	-	-	0,7	-
Degvielas patēriņš motorstundā, L	AA	12	8	68	15
Degvielas patēriņš, L 100 km ⁻¹	AB	-	-	-	40
Smērvielas, g motorstundā	AC	0,45	0,45	0,6	0,05
Remonti, EUR motorstundā	AD	1,83	1,40	7,14	2,10
Šķeldotāja naži, EUR ber. m ³	AE	-	-	-	-
Pārvietošanās izmaksas, Ls pārbrauciens	AF	90	90	90	
Apdrošināšana, EUR gadā	AG	2 100	2 100	2 100	2 100
Degvielas izmaksas, EUR gadā	AH	AT = AM * AJ * AE			
Smērvielas, EUR gadā	AI	AT = AO * AK * AE			
Remonti, EUR gadā	AJ	AV = AP * AE			
Tehnikas pārvešana, EUR gadā	AK	AW = AR * AA			
Operacionālās izmaksas kopā, EUR gadā	AL	AX = AW + AV + AU + AT			
Kopējās izmaksas, tūkst. EUR gadā	AM	$AY = \frac{AX + AI + AS}{1000}$			
Izmaksas darba stundā, EUR	AN	$AZ = \frac{AY}{AC + AD}$			
Izmaksas motorstundā, EUR	AO	$BA = \frac{AY}{AE}$			
EUR ber. m ³ (tonna ¹)	AP	$BB = \frac{AY * 1000}{BM}$			
Darba ražīgums					
Iekraušana, min kravai	AQ	-	14	-	36
Izkraušana, min kravai	AR	-	4	-	19
Gaidīšanas laiks min kravai	AS	-	-	-	10
Vidējais ātrums ² , m min ⁻¹ ; km h ⁻¹	AT	-	58	-	50
Attālums vienā virzienā ³ , m; km	AU	-	BG = C	-	BG = D
Braukšanas laiks, min	AV	$BH = \frac{BG * 2}{BF}$ (pievedējtraktors) $BH = \frac{BG * 2}{BF} * 60$ (kravas mašīnas)			

¹ Pievedējtraktoram izmaksas izteiktas EUR tonnā.

² Kravas mašīnai (šķeldu un celmu vedējs) – km h⁻¹; pievedējtraktoram – m min⁻¹.

³ Kravas mašīnai (šķeldu un celmu vedējs) – km; pievedējtraktoram – m.

Rādītājs	Saisinājums	Harvesters	Pievedējtraktors	Šķeldotājs	Šķeldu vedējs
Mašīnas darba laiks kravai, min	AW	$BI = BH + BC + BD + BE$			
Mašīnas darba laiks kravai, stundas	AX	$BJ = \frac{BI}{60}$			
Vidējā krava ⁴ , ber. m ³ (sausnas tonnas)	AY	-	5,8	-	BK = H
Darba ražīgums, ber. m ³ (tonnas ⁵) motorstundā	AZ	9,7	$BL = \frac{BK}{BJ}$	78,5	$BL = \frac{BK}{BJ}$
Ražošana, ber. m ³ gadā	BA	$BM = BL * AE * J$			
Krāja, ber. m ³ ha ⁻¹	BB	154,2			
Kopējais darba laiks, ha	BC	$BO = \frac{\frac{BN}{J}}{Z}$			
Ražošana, ha gadā	BD	$BP = \frac{BM}{BN}$			
Ietekme uz vidi					
Degvielas patēriņš, L gadā	BE	$BQ = AM * AE$			
Degvielas patēriņš, L ber. m ³	BF	$BR = \frac{BQ}{BM}$			
Oglekļa emisijas, kg ber. m ³	BG	$BS = BR * K * L$			
Oglekļa saturs koksnē, kg ber. m ³	BH	$BT = \frac{1}{J}$			
Oglekļa bilance	BI	$BU = \frac{BT}{BS}$			

⁴ Sausnas tonnās izsaka pievedējtraktora kravu.

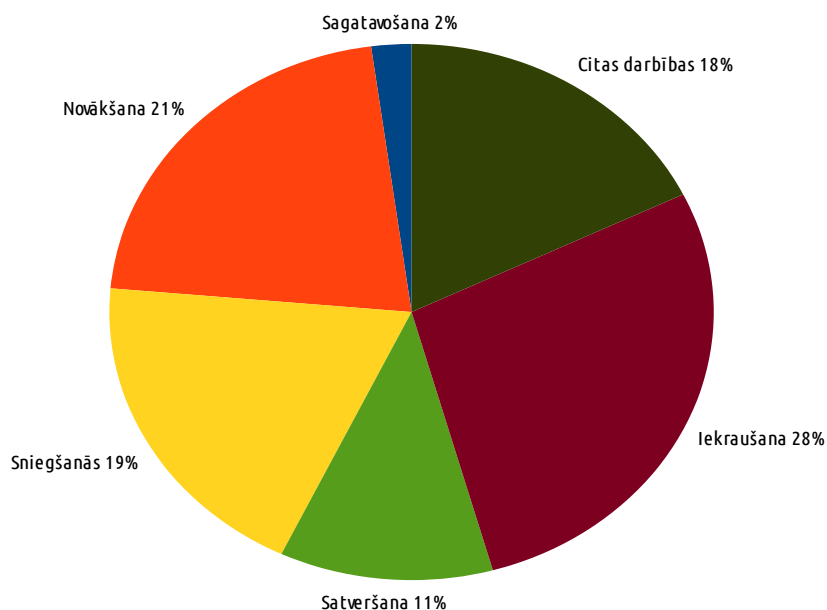
⁵ Sausnas tonnas ekskavatora un pievedējtraktora darba ražīguma apzīmēšanai.

DARBA REZULTĀTI

Darba laika uzskaites kopsavilkums

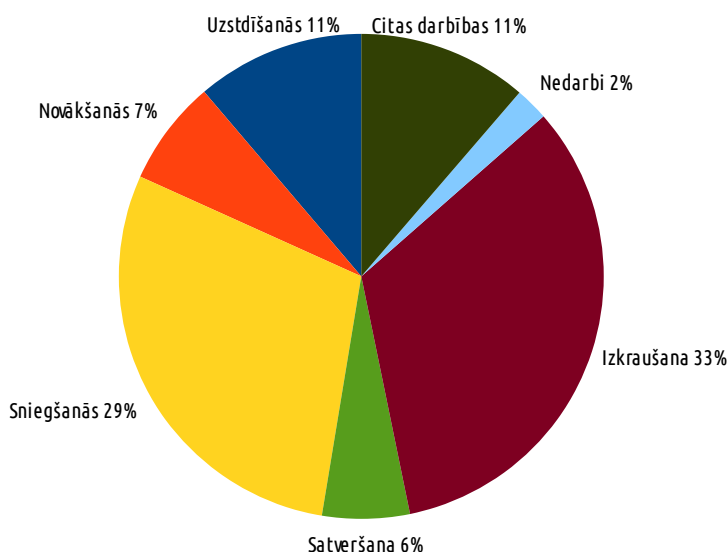
Kokvedēji

Pētījumā ietvaros atsevišķi uzskaitīts darba laiks apaļo kokmateriālu iekraušanai un izkraušanai. Kokvedēja iekraušanā (Att. 8) visvairāk laika tiek tērēts sortimenta pievilkšanai un iekraušanai, ko darba laika uzskaitē apzīmē ar "iekraušana", kam seko laiks, ko patērē darba vietas sakārtošanai pēc izkraušanas darbu pabeigšanas. Salīdzinoši daudz laika patērē, sniedzoties pēc apaļajiem kokmateriāliem, bet vismazāk laika patērē, lai sagatavotos darbam.



Att. 8: Darba laika elementu procentuālais sadalījums kokvedēju iekraušanā.

Izkraušanā visvairāk laika nepieciešams apaļo kokmateriālu novietošanai, kam seko sniegšanās pēc kokmateriāliem. Vismazāk laika tiek tērēts ar darbu nesaistītām operācijām (Att. 9).



Att. 9: Darba laika elementu procentuālais sadalījums kokvedēju izkraušanā.

Kopumā pētījuma ietvaros gala patērētājam izvestas 17 kravas apaļo kokmateriālu. Lielākā daļa, jeb 11 kravas izvestas uz SIA "Graanul Pellets", pārējās 6 kravas izvestas uz SIA "Latgran". Kokvedēju iekraušanas darba laika uzskaitē veikta vien 2 no 11 skujkoku sīkkoku kravām, kas izvestas uz SIA "Graanul Pellets". Darba laika uzskaites kopsavilkums dots Tab. 5. Lapkoku kravām, kas izvestas uz SIA "Latgran", veikta kopējā produktīvā laika uzskaitē. Vidēji iekraušanai patērētas 60 minūtes, 18 minūtes aizņem vietas sakārtošana un lietderīgā laika īpatsvars iekraušanā ir 87 %. Lapkoku audzēs iekraušanās aizņēma būtiski vairāk laika.

Tab. 5: Darba laika uzskaites kopsavilkums iekraušanai, min.

Krava	Uzstādīšana, min.	Novākšana, min.	Sniegšanās, min.	Satveršana, min.	Izkraušana, min.	Nedarbi, min.	Citas darbības, min.
1	0,28	8,24	8,69	4,29	13,11	0	4,24
3	1,25	7,09	5,11	3,87	6,82	0	8,46
Visas kravas	0,77	7,67	6,9	4,08	9,97	0	6,35

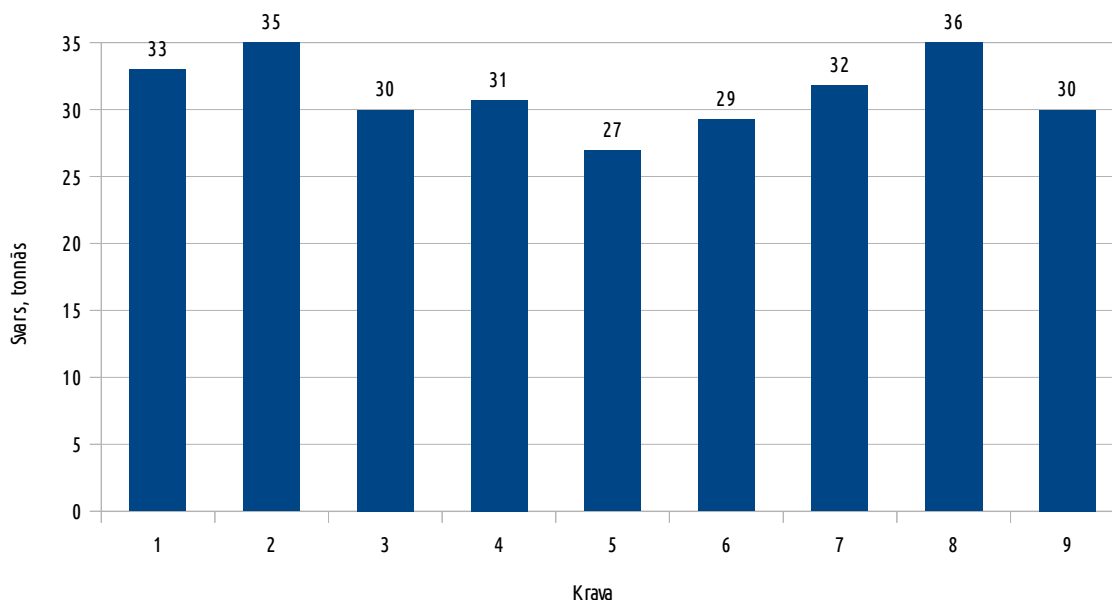
Kokvedēju izkraušanas darba laika uzskaitē veikta 9 no 11 uz SIA "Graanul Pellets" izvestajām kravām. Darba laika uzskaites kopsavilkums dots Tab. 6. Kokvedēju izkraušana SIA "Latgran" aizņēma vidēji 9 minūtes un 3 minūtes vietas sakārtošanai, kopā 112 min. uz 1 kravu.

Tab. 6: Darba laika uzskaites kopsavilkums izkraušanai, min.

Krava	Uzstādīšana, min.	Novākšana, min.	Sniegšanās, min.	Satveršana, min.	Izkraušana, min.	Nedarbi, min.	Citas darbības, min.	Kopā, min.
1	1,28	0,5	5,61	1,18	7,51	0	1,65	** Expression is faulty **
2	0,13	2,59	7,22	1,28	6,41	0	0,75	** Expression is faulty **
3	0,79	1,88	5,1	1,04	6,24	0	1,18	** Expression is faulty **
4	2,28	0,74	5,8	1,09	6,21	0,55	5,58	** Expression is faulty **
5	2,87	0,33	5,13	0,83	5,86	0	0	** Expression

Krava	Uzstādīšana, min.	Novākšana, min.	Sniegšanās, min.	Satveršana, min.	Izkraušana, min.	Nedarbi, min.	Citas darbības, min.	Kopā, min.
								is faulty **
6	2,81	0,52	5,54	1,13	7,17	0,68	0,8	** Expression is faulty **
7	4,02	1,59	6,2	1,27	6,87	0	3,86	** Expression is faulty **
8	1,86	0,75	5,13	1,29	6,19	0,76	2,38	** Expression is faulty **
9	3,51	3,39	5,12	1,04	5,55	1,89	3,51	** Expression is faulty **
Visas kravas	2,17	1,37	5,65	1,13	6,45	0,43	2,19	19,38

Analizējot svēruma datus par 9 no 11 uz SIA "Graanul Pellets" izvestajām kravām, secināts, ka vidējās apaļo kokmateriālu kravas masa, kas izvesta gala patērētājam ir 31 tonna dabiski mitra materiāla (mitruma saturs 43 %), kas atbilst 13,5 sausnas tonnām (Att. 10). Produktīvā darba laika īpatsvars ir 99 %.

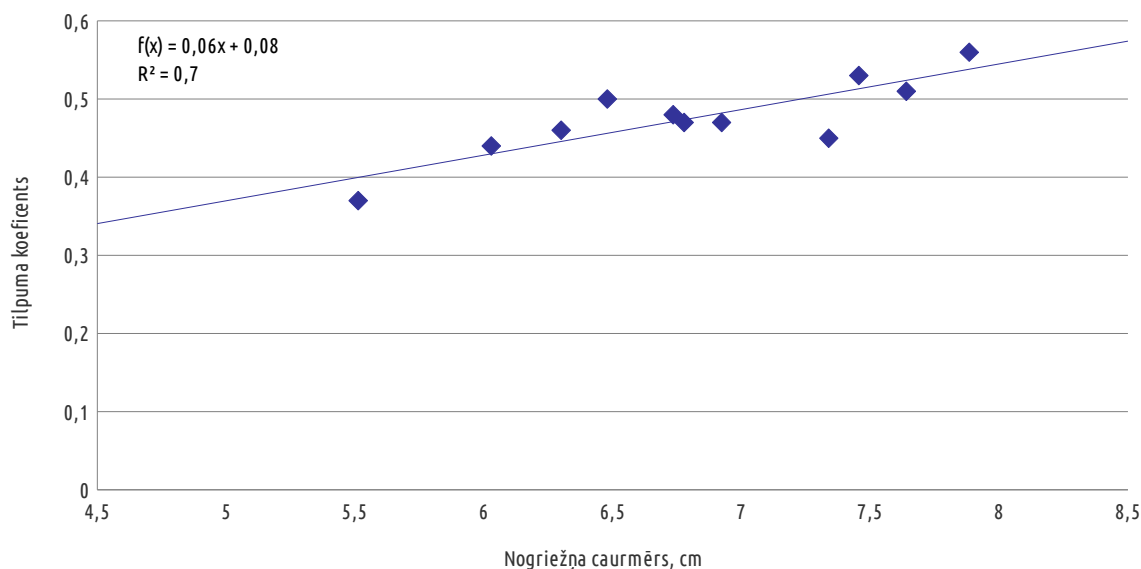


Att. 10: Neto apaļkoku kravas masa.

Kopā uz SIA "Graanul Pellets" nogādātas 342 tonnas koksnes (316 m³ zem mizas un 348 m³ virs mizas). Mitruma saturs no šīs koksnes sagatavotajās šķeldās bija 43 %, attiecīgi, sausnas saturs materiālā ir 195 tonnas. No sīkkoksnes sagatavoti 972 ber. m³ šķeldu, tajā skaitā 854 ber. m³ (88 %) augstvērtīgu mizotu šķeldu. Pārrēķinu koeficients skujkoku šķeldām no kubikmetriem zem mizas uz berkubikmetriem atbilstoši šī izmēģinājuma rezultātiem ir 3,07 un, ja uzskaita tikai mizoto šķeldu – 2,70. Pārrēķinu koeficients no sausnas tonnām uz berkubikmetriem šķeldu ir 5,0.

Uz SIA "Latgran" aizvestas 142 tonnas koksnes (170 m³ virs mizas vai 79 tonnas sausnas). Pēc sašķeldošanas ieguva 391 ber. m³ šķeldu (relatīvais mitruma saturs 44 %). Pārrēķinu koeficients lapkoku šķeldām no kubikmetriem zem mizas uz berkubikmetriem atbilstoši šī izmēģinājuma rezultātiem ir 2,3. Pārrēķinu koeficients no sausnas tonnām uz berkubikmetriem šķeldu ir 4,9.

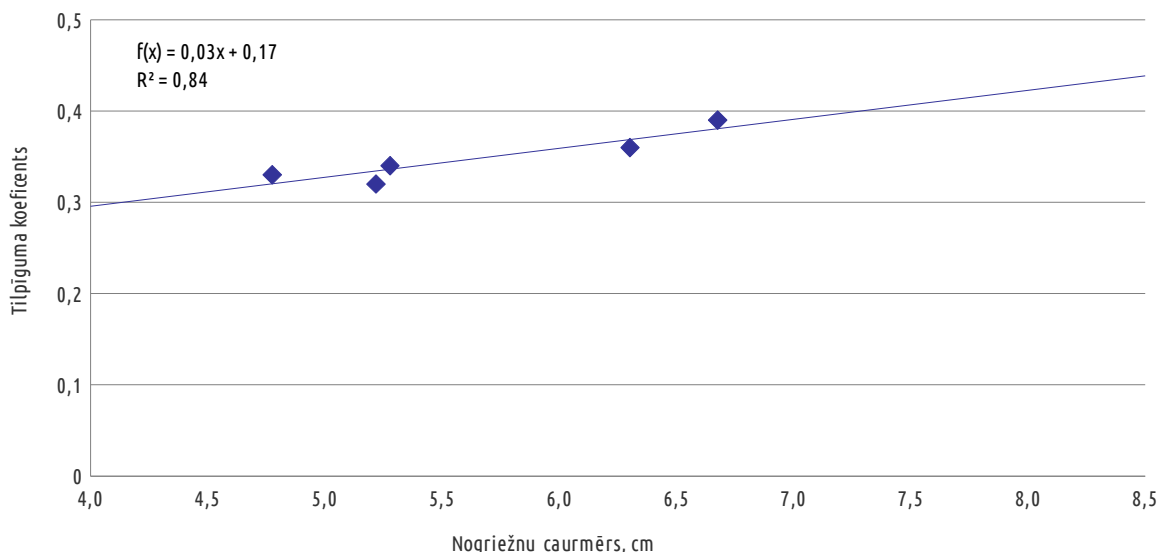
Salīdzinot kontrolpaku datus ir vērojama cieša sakarība starp nogriežņa vidējo caurmēru un tilpīguma koeficientu – palielinoties nogriežņa vidējam caurmēram palielinās tilpīguma koeficients (Att. 11). Šo sakarību raksturo lineārs vienādojums ar determinācijas koeficientu ($R^2 = 0,7038$). Pēc šīs sakarības var secināt, ka palielinoties caurmēram pieaugs arī kravas masa.



Att. 11: Vidējā caurmēra un skujkoku sīkkoku kravas tilpīguma koeficienta sakarība.

Att. 11 regresijas līkne rāda, kā nogriežņa caurmēram pieaugot par pa 0,5 cm, tilpīguma koeficients palielinās par 0,029 vienībām. Pie nogriežņa caurmēra 5cm tilpīguma koeficients ir 0,37, bet pie 8 cm caurmēra 0,55.

Salīdzinot kontrolpaku datus, ir vērojama sakarība starp nogriežņa vidējo caurmēru un tilpīguma koeficientu arī lapkoku audzēs – palielinoties nogriežņa vidējam caurmēram palielinās tilpīguma koeficients (Att. 12). Šo sakarību raksturo lineārs vienādojums ar determinācijas koeficientu ($R^2 = 0,7385$). Tāpat kā skujkoku sīkkoku gadījumā, pēc šīs sakarības var secināt ka palielinoties caurmēram pieaugs arī kravas masa. Sakarā ar mazo atkārtojumu skaitu iegūtajam rezultātam var būt liels nenoteiktības līmenis. Tilpīguma koeficienta un apaļkoku nogriežņu caurmēra sakarības labākai raksturošanai lapkoku audzēs nepieciešams lielāks mērījumu skaits.



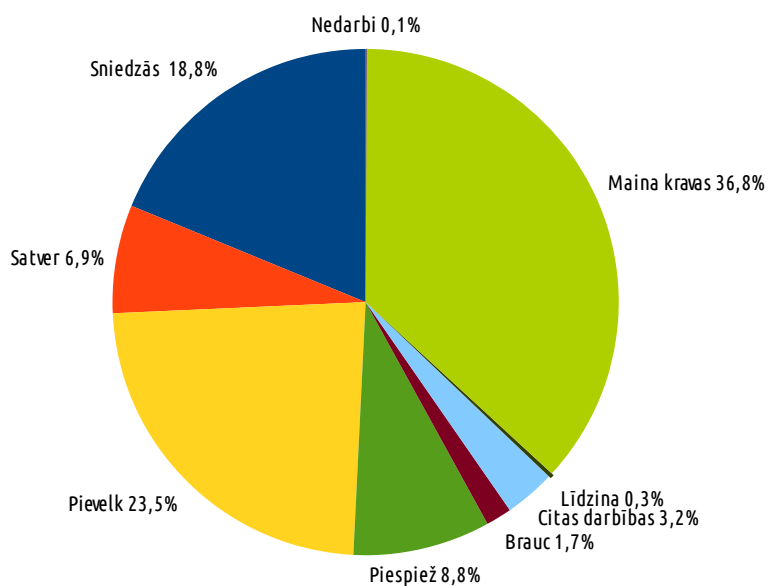
Att. 12: Vidējā caurmēra un lapkoku kravas tilpīguma koeficienta sakarība.

Att. 12 redzams kā mainoties nogriežņa caurmēram mainās tilpīguma koeficients; attiecīgi, caurmēram palielinoties par 0,5 cm tilpīguma koeficients palielinās par 0,01 vienībām. Pie 4,5 cm caurmēra tilpīguma koeficients ir 0,32, bet pie 8 cm caurmēra tilpīguma koeficients ir 0,39. Šie rādījumi ir gaužām zemi, salīdzinot ar skujkoku sīkkokiem, kur attiecīgi pie vidējā nogriežņa caurmēra 8cm tilpīguma koeficients ir 0,55.

Šķeldotāji un šķeldu vedēji

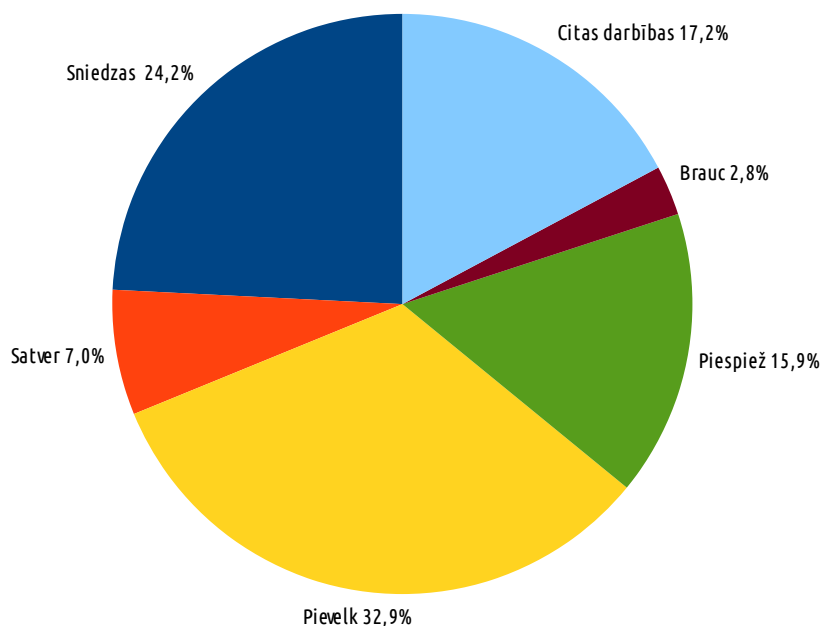
Pētījumā atsevišķi veikta darba laika uzskaitē apaļos lapkoku kokmateriālu šķeldošanai, kas konkrētajā gadījumā bija tehnoloģiskā malka, un sagatavotu lapkoku stubru šķeldošanai. Darba laika uzskaitē veikta nepārtraukti diennakts gaišajā un tumšajā laikā.

Šķeldojot apaļos kokmateriālus, darba laika uzskaitē uzskaitītas 10 dažādas darbības. Papildus ierastajiem šķeldošanas darba laika uzskaites elementiem, atsevišķi izdalīta operācija "maina kravas", kas parasti, veicot šķeldošanas darba laika uzskaiti, netiek īpaši izdalīta, jo šķeldotājs sagatavoto materiālu pa izvades cauruli pūš tieši šķeldu vedējā. Pētījuma laikā visās objektos, kurās veikta šķeldošana, nebija iespējams nodrošināt šķeldu vedēja piekļuvi šķeldošanas vietai, tādēļ sākotnēji sagatavotās šķeldas tika pūstas konteinerī, ar kuru aprīkots šķeldotājs, kas tālāk tika pievestas šķeldu vedējam un izbērtas. Tādējādi lielāko daļu lapkoku kokmateriālu šķeldošanai patērētā kopējā darba laika aizņēma tieši šķeldotāja kravu maiņa, kam sekoja šķeldojamā materiāla pievilkšana un sniegšanās pēc tā. Vismazāk no kopējā darba laika tērēts ar darbu nesaistītām operācijām un kravu līdzināšanai (Att. 13).



Att. 13: Darba laika elementu procentuālais sadalījums malkas sortimenta šķeltošanā.

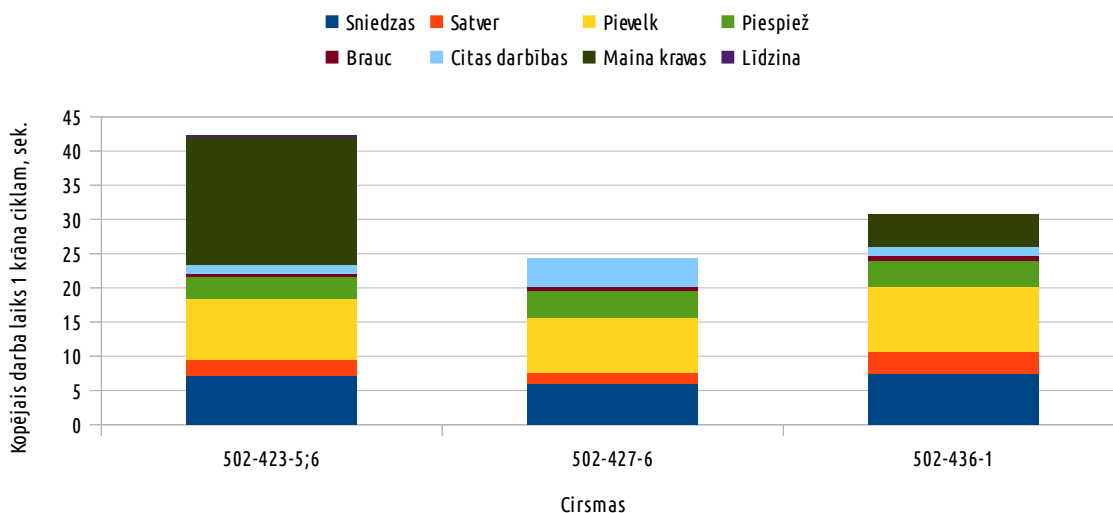
Analizējot lapkoku stumbru šķeltošanas darba laika elementu īpatsvaru kopējā darba laikā, secināts, ka visvairāk kopējā darba laika tērēts pievelkot materiālu, kam seko sniegšanās pēc šķeltojamā materiāla un citas ar tiešo darbu saistītas darbības. Vismazāk laika aizņēmuši pārbraucieni šķeltošanas laikā (Att. 14).



Att. 14: Darba laika elementu procentuālais sadalījums veselu stumbru šķeltošanā.

Analizējot darba laika patēriņu vienam krāna ciklā salīdzinājumā pa objektiem, jāsecina, ka statistiski būtiskas ($p < 0,05$) atšķirības nepastāv (Att. 15). objektos, kurās bijis nepieciešams pievest sašķeldoto materiālu, krāna ciklam patērētajā darba laikā vērojams liels šķeldu kravu

pievešanai patērētā darba laika īpatsvars. Turpmākajos pašizmaksas aprēķinos pieņemts, ka materiāls nav jāpieved, t.i. šķeldotājs pūs materiālu tieši piekabē. Saskaņā ar pētījuma rezultātiem šķeldu pārkraušana samazina ražīgumu gandrīz par 30 %. Tas nozīmē, ka korektai krautuves vietas izvēlei ir būtiska nozīme un, plānojot sīkkoku pievešanu, jārēķinās ne tikai ar pievedējtraktora nobraucamo attālumu, bet arī ar papildus izmaksām šķeldošanai, ja nav iespējama šķeldu iepūšana tieši šķeldu vedēja kravas kastē.



Att. 15: Darba laika patēriņš vienā krāna ciklā salīdzinājumā pa audzēm.

Šķeldošanas kopējā darba laika uzskaites kopsavilkuma sadalījumā pa audzēm dots Tab. 7.

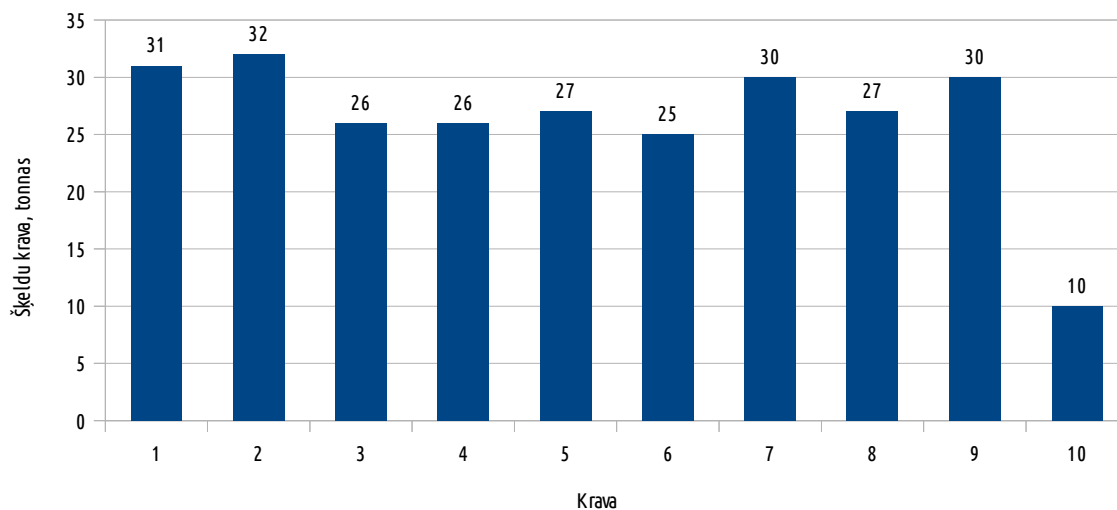
Tab. 7: Darba laika uzskaites kopsavilkums

Audzis kods	Sniedzās, min.	Satver, min.	Pievelk, min.	Piespiež, min.	Brauc, min.	Citas darbības, min.	Maina kravas, min.	Remonts, min.	Līdzina, min.	Nedarbi, min.
502-423-5;6	87,11	29,29	108,79	38,93	6,93	14,73	229,35	0	1,83	0
502-427-6	33,95	9,79	46,13	22,34	3,89	24,13	0	0	0	0
502-436-1	44,34	19,16	55,68	22,42	4,66	7,97	27,96	0	0	0,45
Kopā	165,4	58,24	210,6	83,69	15,48	46,83	257,31	0	1,83	0,45

Objektos 502-423-5;6 un 502-436-1 šķeldots tehnoloģiskās malkas sortiments (3 līdz 10 krava), savukārt objektā 502-427-6 šķeldoti veseli stumbri (1 līdz 2 krava). Apkopotie kravu svērumu dati parāda, ka vidējā neto šķeldu krava no objekti, kurā šķeldoti veseli stumbri ir 31,5 tonnas, savukārt no objektiem, kurās šķedots tehnoloģiskās malkas sortiments – 27,3 tonnas (Att. 16).

Kopumā nepilnu 10 šķeldu kravu (Att. 16) jeb 264 tonnu dabiski mitras koksnes (vidējais koksnes mitruma saturs 41 %) šķeldošanai patērētas 14 darba stundas (Tab. 9).

Šķeldošanā piedalījās divi operatori ar vairāku gadu darba pieredzi šķeldošanā. Viens operators šķeldoja katru otro kravu. Statistiski būtiskas atšķirības patērētajā darba laikā vienas šķeldu kravas sagatavošanai starp operatoriem konstatētas netika ($p < 0,05$). Saskaņā ar operatoru atzinumu sīkkoku šķeldošana notiek jūtami ātrāk, nekā mežizstrādes atlieku šķeldošana un rada mazāku slodzi uz tehniku. Tas nozīmē, ka arī degvielas patēriņš sīkkoku šķeldošanā var būt mazāks.



Att. 16: Neto šķeldu kravas masa.

Vidējā neto šķeldu krava (3 līdz 9 krava), kas sagatavota sašķeldejot apaļos kokmateriālus, ir 16,5 sausnas tonnas (pie vidējā koksnes mitruma 40 %), kas atbilst 96 ber m³ dabiski mitru šķeldu. Vidējā neto šķeldu krava (1 līdz 2 krava) no veselajiem stumbriem ir 16,8 sausnas tonnas (pie vidējā mitruma 47 %), kas atbilst 110 ber m³ dabiski mitru šķeldu. Pārrēķinot uz uz pilnu kravu (110 ber. m³), šķeldejot apaļos kokmateriālus augšgala krautuvē, kravas masa atbilst 19 tonnām sausnas vai 31 tonnai dabiski mitra materiāla. Dažādi koeficienti kravu raksturošanai doti Tab. 8

Tab. 8: Koeficienti šķeldošanas ražības pārrēķiniem, raksturojot vienu kravu

Variants	Kravas lielums				Pārrēķinu koeficienti šķeldu apjoma noteikšanai, ber. m ³		
	tonnas sausnas	dabiski mitras tonnas	m ³	ber. m ³	no tonnām sausnas	no kravas tonnām	no m ³
Daļēji atzarotu sikkoku šķeldošana	19	31	41	110	5,79	3,55	2,68
Veselu stumbru šķeldošana	16,8	31,7	37	110	6,55	3,47	2,97

Vienas kravas sagatavošanai patērētais kopējais darba laiks sadalījumā pa darba operācijām dots Tab. 9.

Tab. 9: Darba laika patēriņš 1 kravas sagatavošanai

Krava	Sniedzās, min.	Satver, min.	Pievelk, min.	Piespiež, min.	Brauc, min.	Citas darbības, min.	Maina kravas, min.	Līdzina, min.	Nedarbi, min.	Kopā, min.
1	14,9	3,9	14,6	15,7	1,2	4,4	0	0	0	54,7
2	15,1	4,4	25,9	2,4	1,3	14,3	0	0	0	63,4
3	11,6	4,3	18,7	22,4	2,5	10,6	0	0	0	70,1
4	25,3	10,3	30,6	5,8	2	6,3	20,7	0	0,5	101,5
5	15	4,7	19,9	22,2	0,7	6,7	70,5	0,2	0	139,9
6	12,2	3,6	15,4	12,9	0,1	4,5	53,3	0	0	102
7	22,6	7,2	27,2	0,1	2,4	0	37,7	0,6	0	97,8
8	19	6,7	22	0,8	2,6	0	32,1	1	0	84,2

Krava	Sniedzās, min.	Satver, min.	Pievelk, min.	Piespiež, min.	Brauc, min.	Citas darbības, min.	Maina kravas, min.	Līdzina, min.	Nedarbi, min.	Kopā, min.
9	22,7	7,9	26,7	1,2	1,7	0	43,1	0	0	103,3
10	6,8	5,2	9,6	0,3	1	0	0	0	0	22,9
Kopā	16,52	5,82	21,06	8,38	1,55	4,68	25,74	0,18	0,05	83,98

Lai varētu veikt datu analīzi salīdzinot apaļo kokmateriālu un stuburu šķeldošanai patērēto darba laiku, turpmākajos aprēķinos netiek ieskaitīts darba laiks, ko šķeldotājs patērējis pievedot šķeldu vedējam sašķeldoto materiālu.

Kopsavilkums produktīvā darba laika sadalījumam 1 sausnas tonnas sagatavošanai dots Tab. 10.

Tab. 10: Produktīvā darba laika patēriņš 1 tonnas sausnes sagatavošanai

Krava	Sniedzās, min.	Satver, min.	Pievelk, min.	Piespiež, min.	Brauc, min.	Citas darbības, min.	Kopā, min.
1	0,9	0,2	0,9	1	0,1	0,3	3,4
2	0,9	0,3	1,5	0,1	0,1	0,8	3,7
3	0,8	0,3	1,2	1,5	0,2	0,7	4,7
4	1,7	0,7	2,1	0,4	0,1	0,4	5,4
5	0,9	0,3	1,2	1,4	0,1	0,4	4,3
6	0,8	0,2	1,1	0,9	0	0,3	3,3
7	1,2	0,4	1,5	0	0,1	0	3,2
8	1,1	0,4	1,2	0,1	0,2	0	3
9	1,2	0,4	1,4	0,1	0,1	0	3,2
Kopā	1,06	0,36	1,34	0,61	0,11	0,32	3,8

Kopsavilkums ar produktīvā darba laika patēriņu 1 ber m³ šķeldu sagatavošanai dots Tab. 11.

Tab. 11: Produktīvā darba laika patēriņš 1 ber m³ šķeldu sagatavošanai

Krava	Sniedzās, min.	Satver, min.	Pievelk, min.	Piespiež, min.	Citas darbības, min.	Kopā, min.
1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	** Expression is faulty **
2	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1	** Expression is faulty **
3	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	** Expression is faulty **
4	0,3	0,1	0,3	0,1	0,1	** Expression is faulty **
5	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	** Expression is faulty **
6	0,1	0,0	0,2	0,2	0,1	** Expression is faulty **
7	0,2	0,1	0,3	0,0	0,0	** Expression is faulty **
8	0,2	0,1	0,2	0,0	0,0	** Expression is faulty **
9	0,2	0,1	0,3	0,0	0,0	** Expression is faulty **
Kopā	0,17	0,07	0,22	0,1	0,06	** Expression is faulty **

Ražīguma aprēķini

Kokvedēji

Produktivitātes aprēķinos nav iekļauta laiks, ko kokvedējs patērē ceļā no augšgala krautuves līdz gala patērētājam.

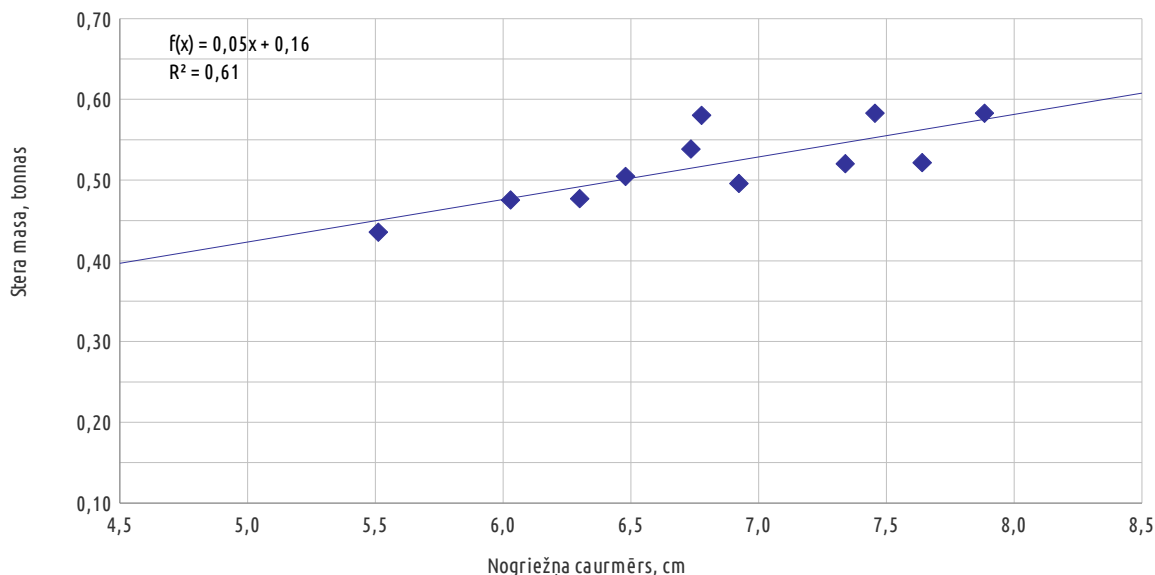
Vidējais produktīvais darba laiks, ko kokvedēja patērē 1 kravas iekraušanai ir 36 min., savukārt, kravas izkraušanai – 19 min.

Saskaņā ar pētījumā iegūtajiem rādītājiem, kokvedējā iespējams iekraut 23 saunas tonnas vai 32 m³ koksnes, savukārt izkraut- 43 saunas tonnas vai 61 m³ koksnes.

Sīkkoku transportā lietoto automašīnu sastāvu pašmasa ir 20,9-22,7 tonnas, kas nozīmē ka maksimāli pieļaujamā kravas masa, attiecīgi, ir 31,1 un 29,3 tonnas. Kokvedēja sastāva maksimālais kravas tilpums ir atkarīga no kūleņu platuma, kūleņu augstuma un sortimentu garuma. Sortimentu garums ietekmē paku izvietojumu automašīnas sastāva, sīkkoku transportēšanas gadījumā var izvietot 2 pakas uz kravas automašīnas un 2 pakas uz piekabes. Sīkkoku transportējošās automašīnas ir aprīkotas ar kūleņiem kuru platums ir 2,30 m un augstums 2,50 m. Sīkkoku sortiments tika gatavots ar garumu 3,00 m. No tā izriet ka maksimālais kokvedēja sastāva kravas tilpums ir 69 steri (virs kūleņiem kraut ir aizliegts). Tātad sīkkoku transportēšanai ar kokvedēju ir divi ierobežojumi: kravas masa un kravas tilpums steros (kraujmērs). Kravas maksimālās masas ierobežojums ir saistīts ar kravas automašīnas faktiskās masas ierobežojumu.

Lai noteiktu kokvedēja kravas iespējamo tilpumu un svaru tiek veidota caurmēra un stera masas sakarību, (izmantojot kontrolpaku mērījumu datus). Sakarība parādīta Att. 17, sakarību raksturo lineārs vienādojums ar determinācijas koeficientu ($R^2 = 0,6127$).

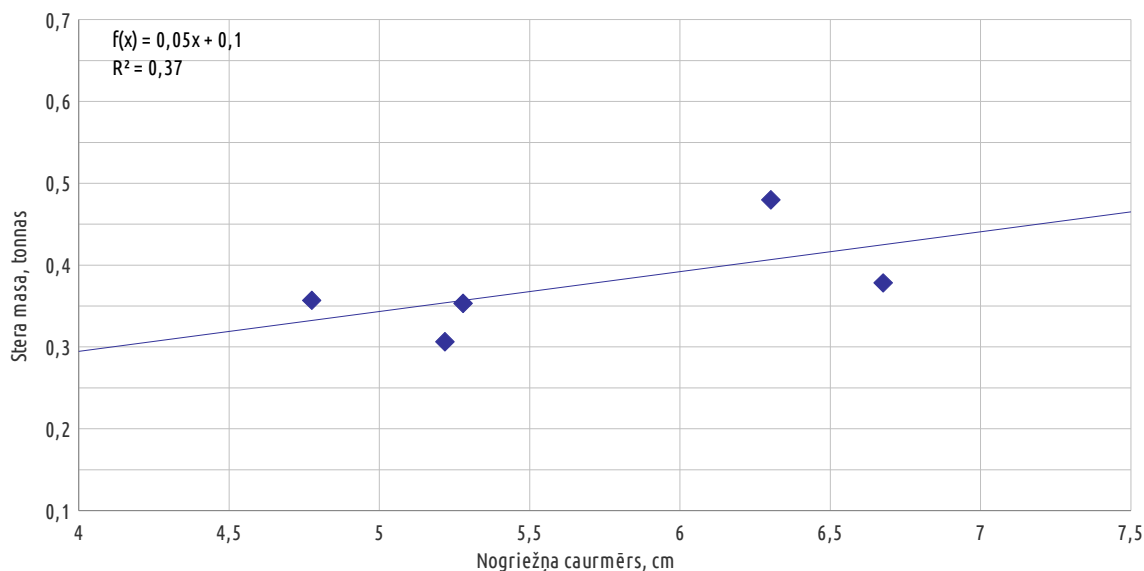
Att. 17 regresijas līknē līknē redzams ka nogriežņa caurmēram pieaugot par 0,5 cm viena stera masa pieaug par 0,026 tonnām jeb par 26 kg. Pie nogriežņa caurmēra 5 cm viena stera masa ir 0,42 tonnas, nogriežņa caurmēram pieaugot līdz 8 cm masa attiecīgi pieaug līdz 0,58 tonnām.



Att. 17: Caurmēra un stera masas sakarība skujkoku kravās.

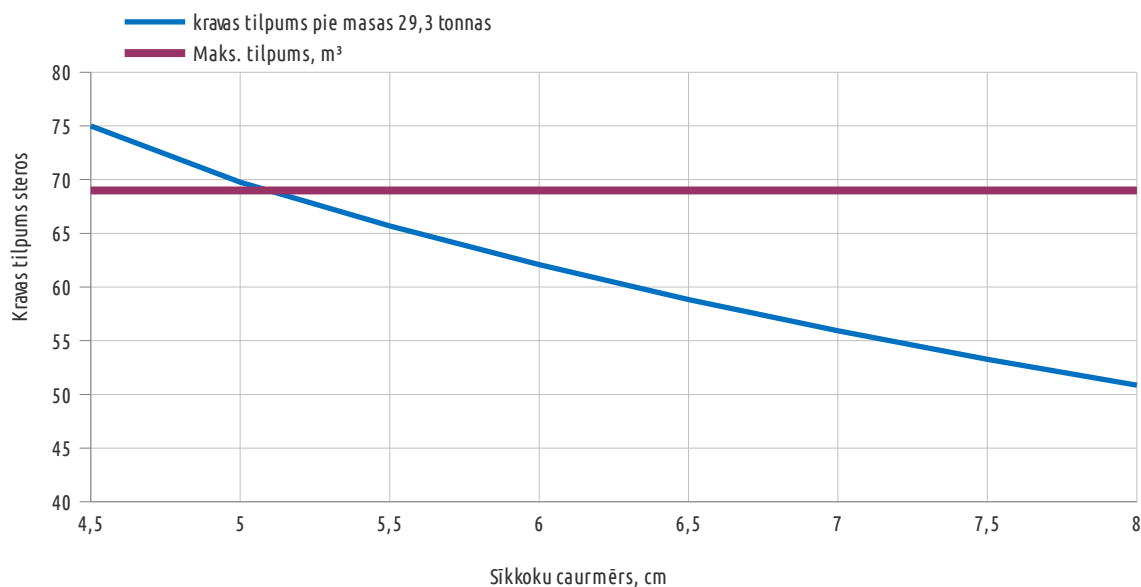
Lapkoku sīkkoku transportēšanai ar kokvedēju uz tā paša pamata kā skujkoku sīkkoki tiek veidota vidējā caurmēra un stera masas sakarība (Att. 18). Grafikā redzams, ka šo sakarību raksturo lineārs regresijas vienādojums ($R^2 = 0,37$), bet ir redzama mazāka X ass ietekme uz Y

asi (caurmēra ietekme uz stera masu) kā tas bija redzams skujkoku sīkkoku gadījumā. Ja būtu pieejami vairāku kravu dati, varētu novērot precīzākas tendences. Att. 18 tendences līknē redzams, ka nogriežņa caurmēram pieaugot par 0,5 cm viena stera masa pieaug par 0,01 tonnām jeb par 10 kg. Pie nogriežņa caurmēra 4,5 cm viena stera masa ir 0,33 tonnas, nogriežņa caurmēram pieaugot līdz 7 cm masa attiecīgi pieaug līdz 0,38 tonnām.



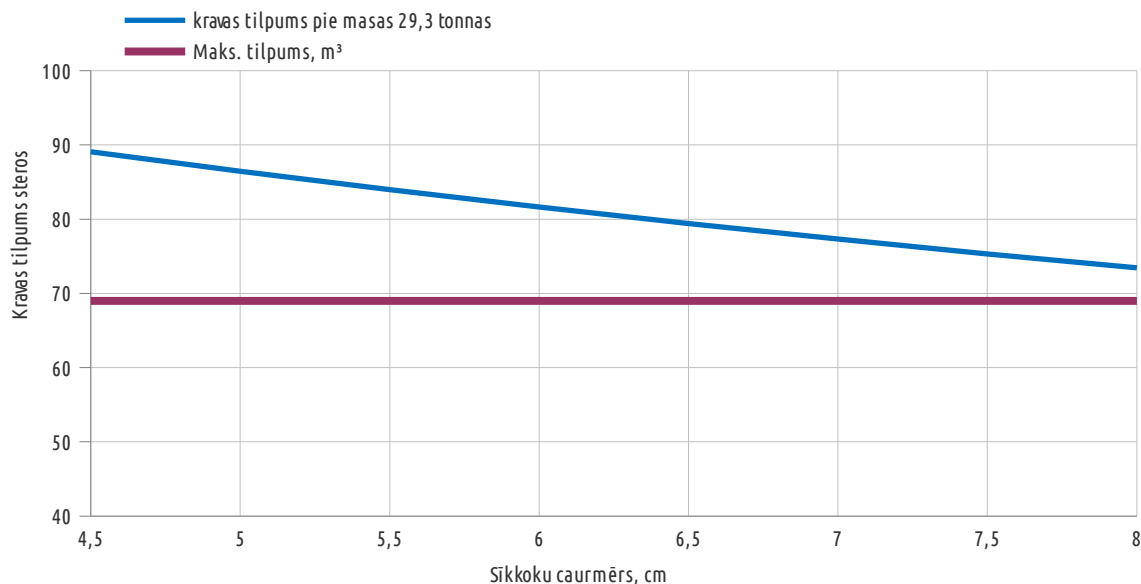
Att. 18: Caurmēra un stera masas sakarība lapkoku kravās.

Kokvedēja kravas aprēķināšanai vidējā kokvedēja sastāva pašmasa tiek pieņemta 22,7 tonnas un attiecīgi kravas masa 29,3 tonnas. Šādā gadījumā izveidots grafiks (Att. 19), kurā parādīts skujkoku sīkkoku nogriežņu caurmērs un kravas tilpums. Grafikā redzamā līkne ar kravas tilpumu pie kravas masas 29,3 tonnām ir cieši saistīta ar sortimenta caurmēru. Sīkkoku vidējam caurmēram pieaugot līdz 8 cm, tilpīguma koeficients ir 0,55, ar šo blīvuma pieaugumu arī skaidrojams kraujmēra samazinājums. Kravas masa šajā gadījumā ir konstanta. Ierobežojošs lielums arī ir kravas tilpums steris (69 steri), sīkkokus ar vidējo caurmēru 4,5 un 5 cm nevar nodrošināt kravas pilnu masu 29,3 tonnas, dēļ sīkkoku mazā tilpīguma koeficienta (nav kur kraut).



Att. 19: Skujkoku sīkkoku nogriežņu caurmērs un kravas tilpums pie konstantas masas.

Lapkoku sīkkoku tilpīguma koeficients ir mazāks kā skujkoku sīkkokiem, tādēļ transportējot lapkoku sīkkokus ar kokvedēju ir samazināts kravas masa un netiek pilnībā izmantota kokvedēja kravnesība. Attiecīgi, tiek transportēts mazāks apjoms ar sīkkokiem, samazinot kokvedēja kravas izmantošanas lietderību un palielinot transporta izmaksas uz vienu vienību (svara, tilpuma vienību). Transportējot lapkoku sīkkokus, neatkarīgi no caurmēra kokvedēja kravas tilpums ir konstants 69 steri (Att. 20).



Att. 20: Lapkoku sīkkoku nogriežņu caurmērs un kravas tilpums pie konstantas masas.

Šķeldotāji un šķeldu vedēji

Produktivitātes aprēķinos nav iekļauta kravu maiņa, kad tehnisku iemeslu dēļ nav iespējams sagatavoto šķeldu uzreiz bērt šķeldu vedējā, bet ir nepieciešams izmantot konteineri, ar kuru aprīkots šķeldotājs, kuru attiecīgi šķeldotājam jātransportē līdz šķeldu vedējam un jāizber.

Šķeldošanai izmantojot veselus stumbrus vidēji produktīvajā stundā iespējams sagatavot 1,0 kravas jeb 17 sausnas tonnas, kas atbilst 112,6 ber m³ dabiski mitra materiāla (mitruma saturs 47 %). Šķeldošanai izmantojot tehnoloģiskās malkas sortimentu, vidēji produktīvajā stundā iespējams sagatavot 0,9 kravas jeb 10 sausnas tonnas, kas atbilst 93,8 ber m³ dabiski mitra materiāla (mitruma saturs 40 %).

Vidējais produktīvā laika īpatsvars kopējā patērētajā darba laikā vienas kravas sagatavošanā no veselajiem stumbriem ir 100 %, bet no tehnoloģiskās malkas sortimenta 99 %.

Vidējais patērētais produktīvais laiks 1 šķeldu kravas sagatavošanai no veseliem stumbriem ir 59 minūtes, savukārt kā šķeldu izejmateriālu izmantojot tehnoloģiskās malkas sortimentu vidēji 63 minūtes.

Vidējais produktīvā darba laika patēriņš 1 sausnas tonnas sagatavošanai no veselajiem stumbriem ir 3,5 minūtes, bet no tehnoloģiskās malkas sortimenta 3,8 minūtes.

Lai sagatavotu 1 ber m³ dabiski mitru šķeldu (mitruma saturs 47 %) no veseliem stumbriem, jāpatērē vidēji 0,5 minūtes produktīvā darba laika, bet šķelidojot tehnoloģiskās malkas sortimentu (mitruma saturs 40 %) - 0,7 minūtes.

Šķeldas transportā bieži tiek izmantoti speciālas kravas mašīnas un piekabes, kas paredzētas vieglu, liela tilpuma beramkravu pārvadājumiem. Priekšrocība šāda veida tehnikai ir liels kravas nodalījuma tilpums.

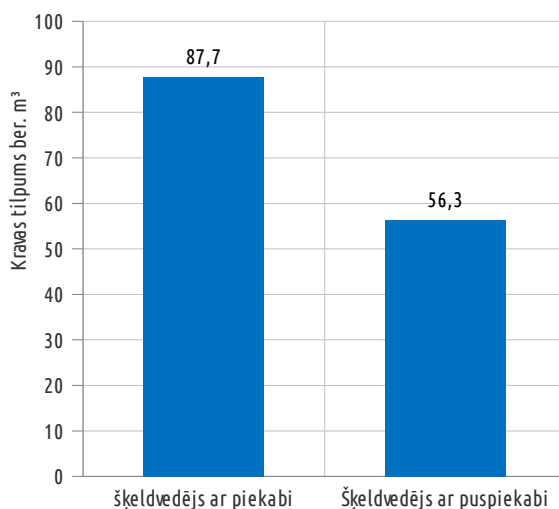
Pētījumā praktiski tika izmantots šķeldu konteineravedējs ar piekabi, kam kravas izbēršana notiek pēc pašizgāzēja principa un teorētiska līmenī kā salīdzinājumu apskatīju šķeldu vedēju ar puspiekabi, kam kravas izbēršana notiek ar kustīgo grīdu.

Šķeldu konteineravedēja ar piekabi viena no priekšrocībām ir līdzīgie tehniskie mezgli un tehnikas gabarīti ar kokvedēju automašīnām (meža autoceļu piemērotība). Bet kā trūkumu var minēt salīdzinoši lielu tehnikas pašmasu. Veicot tukšu automašīnu sastāvu svērumus tika konstatēts ka pašmasa ir 26,2-29,2 tonnas (Att. 21).

Šķeldu vedējs ar puspiekabi un kustīgo grīdu ir šķeldu piegādē biežāk izmantojamā tehnika. Šķeldu vešanai izmantot speciālas puspiekabes ar kustīgo grīdu un standarta vilcēju. Seglu vilcēja savienojums ar šķeldas vešanai piemērotu puspiekabi galvenā priekšrocība ir maza pašmasa un liels tilpums, no tehniskajām specifikācijām gūti dati: Seglu vilcēja Scania R420 LA6x4 pašmasa ir 8780 kg un puspiekabes Knapen K100 (93 m³) pašmasa 7650 kg. Summējot šos lielumus, iegūst komplekta pašmasu – 16 430 kg jeb 16,5 tonnas. Ņemot vērā maksimālā svāra ierobežojumu uz Latvijas autoceļiem – šāda komplekta mazā pašmasa ļauj vest 35,5 tonnu kravu (Att. 21).

Šķeldu vedēju ar puspiekabi raksturojošie lielumi: tilpums 93 m³, pieļaujamā kravas masa līdz 35,5 tonnām. Šķeldu vedēju ar piekabi raksturojošie lielumi: tilpums 70-110 m³, pieļaujamā kravas masa līdz 22,8 tonnām. Sīkkoku šķeldas 1 ber. m³ masa ir 0,4 tonnas (vidējais rādītājs no svērumu datiem). Abu šķeldu vedēju faktiskais kravas tilpuma salīdzinājums redzams Att. 21. Attēlā redzams ka šķeldu vedēja ar puspiekabi maksimālais kravas tilpums ir 88 ber. m³, bet šķeldu vedējam ar piekabi maksimāli pieļaujamais kravas tilpums ir 56 ber. m³. Jāņem vērā, ka, mainoties šķeldu īpašībām, piemēram, šķelidojot skujkoku biomasu, samazinoties mitruma saturam vai mainoties frakcionālajam sastāvam, maksimāli pieļaujamās kravas apjoms var pieaugt vai vēl vairāk samazināties. Ņemot vērā, ka jautājums par maksimāli pieļaujamās kravas tilpumu ir būtisks, nepieciešama lielāka empīriskā materiāla bāze. Visdrošākais risinājums ir kravas mašīnu aprīkošana ar svāriem, lai mazinātu pārkraušanas risku.

Pētījumā izmantotais konteineravedējs ar 2 uz sāniem izgāžamiem konteineriem Latvijas apstākļos nav bieži izmantots. Tomēr, ņemot vērā, ka darba laika uzskaites dati iegūti tieši ar šo mašīnu, arī turpmākie aprēķini veikti, balstoties uz šāda veida iekārtu tehniskajiem rādītājiem.



Att. 21: Šķeldu vedēju kravas apjoma ber. m³ salīdzinājums, automašīnu faktiski masai nepārsniedzot 52 tonnas.

Kopsavilkums par darba ražīguma rādītājiem

Vidējais produktīvais darba laiks, ko kokvedēja patērē 1 kravas iekraušanai skujkoku audzēs ir 36 min., savukārt, kravas izkraušanai – 19 min. Vidējais braukšanas ātrums saskaņā ar šoferu atzinumu ir 50 km stundā. Lapkoku audzēs sīkkoku iekraušanai patērēts būtiski vairāk laika – 75 min., bet izkraušana notikusi ātrāk – 9 min., ko varēja ietekmēt specifiski vietējie apstākļi.

Šķeldošanai izmantojot veselus stumbrus vidēji produktīvajā stundā iespējams sagatavot 1 kravu jeb 17 sausnas tonnas, kas atbilst 112,6 ber m³ dabiski mitra materiāla (mitruma saturs 47 %). Divu 55 m³ lielu konteineru piešķeldošanai patērē 59 min. darba laika, tajā skaitā mašīnu nomaīņa.

Šķeldošanai izmantojot tehnoloģiskās malkas sortimentu, vidēji produktīvajā stundā iespējams sagatavot 0,9 kravas jeb 10 sausnas tonnas, kas atbilst 93,8 ber m³ dabiski mitra materiāla. Divu 55 m³ lielu konteineru piešķeldošanai patērē 70 min. darba laika, tajā skaitā mašīnu nomaīņa.

Lai sagatavotu 1 ber m³ dabiski mitru šķeldu (mitruma saturs 47 %) no veselīgiem stumbriem, jāpatērē vidēji 0,5 minūtes produktīvā darba laika, bet, šķelidojot tehnoloģiskās malkas sortimentu – 0,7 minūtes.

Izmaksu un ieņēmumu analīze

Pašizmaksu ietekmējošo faktoru analīze

Aprēķinos izmantoti iepriekšējos izmēģinājumos iegūtie rezultāti par izstrādes un pievešanas darba ražīgumu, kā arī pētījuma etapā par šķeldošanu, šķeldu transportu un apaļo kokmateriālu transportu iegūtie darba ražīguma rādītāji. Tāpat izmantoti iegūtie dati par pievedējtraktora vidējo kravas masu un kokvedēja vidējo kravas tilpumu un masu. Aprēķinos pieņemts vienāds pievešanas attālums (150 m) un ceļu transporta attālums (50 km), atbilstoši vidējiem rādītājiem projektā.

Pētījumā salīdzināts apaļo kokmateriālu un šķeldu piegādes scenārijs, tāpēc izmaksu analīzē iekļauts arī šķeldotāja un šķeldu vedēja darba stundas izmaksu aprēķins. Vidējās darba

stundas izmaksas kokvedējam un šķeldu vedējam parādītas Tab. 12.

Daļēji atzarotu apaļo kokmateriālu gadījumā piegāde iespējama šķeldu un apaļo kokmateriālu veidā, veselīgiem stumbriem – tikai šķeldu veidā.

Apaļo kokmateriālu transporta scenārijā izmantots kravas tilpīguma koeficients.

Šķeldu transporta scenārijā izmantots bēruma blīvums, kas iegūts laboratoriski, veicot šķeldu blīvuma noteikšanu. Aprēķinos pieņemts, ka laboratoriski noteiktais šķeldu bēruma blīvums atbilst mežā šķeldu vedējā iepūstu šķeldu bēruma blīvums.

Tā kā šķeldojot mežā šķeldas šķeldu vedējā tiek iepūstas ar spēku, to bēruma blīvums ir lielāks, kā laboratoriskajos izmēģinājumos noteikts. Aprēķinos izmantotie šķeldu bēruma blīvuma rādītāji būtiski ietekmē šķeldu pašizmaksu, pieaugot šķeldu bēruma blīvumam, samazinās to transportēšanas pašizmaksa.

Tab. 12: Darba stundas izmaksas dažādām meža mašīnām

Rādītājs	Kokvedējs	Šķeldotājs	Šķeldu vedējs
Izmaksas plānotajā darba stundā	€ 35	€ 115	€ 42
Izmaksas produktīvajā darba stundā (E ₁₅)	€ 41	€ 124	€ 42

Salīdzinot kokvedēju un šķeldu vedēju transporta izmaksas (50 km 1 virzienā), jāsecina, ka izmaksas 1 m³ šķeldu transportēšanai ir zemākas kā apaļo kokmateriālu transportēšanai. Šķeldota materiāla transportēšana izmaksā 2,57 EUR m⁻³ jeb 1,28 EUR ber m⁻³, savukārt izmantojot kokvedēju – 6,02 EUR m⁻³ jeb 3,02 EUR ber m⁻³. Pieaugot šķeldu bēruma blīvumam, šķeldu transporta pašizmaksu iespējams samazināt. Šķeldu pašizmaksas kopsavilkums dots Tab. 13.

Tab. 13: Pašizmaksas kopsavilkums

Pozīcija	Šķeldošana	Šķeldu transports	Sīkkoku transports
Investīcijas	€ 52 231	€ 15 972	€ 20 175
Personāls	€ 31 729	€ 15 248	€ 15 248
Operacionālās izmaksas	€ 242 036	€ 44 064	€ 33 610
Plānotā peļņa	€ 16 300	€ 3 764	€ 3 452
Kopā, EUR gadā	€ 342 296	€ 79 048	€ 72 484
Ražīgums, m³ E15-h⁻¹	48,3	13,8	6,7
Biokurināmais, EUR m⁻³			
sīkkoku scenārijs			€ 6,02
šķeldu scenārijs	€ 2,57	€ 3,21	
Biokurināmais, EUR ber. m⁻³			
sīkkoku scenārijs			€ 3,01
šķeldu scenārijs	€ 1,28	€ 1,61	

Analizējot biokurināmā pašizmaksu sīkkoksnes transportēšanas scenārijā izmaksas uz 1 m³ apaļkoksnes sortimentu ir 34,37 EUR, bet uz 1 ber. m³ šķeldu – 17,68 EUR. Šķeldu transportēšanas scenārijā izmaksas uz 1 m³ apaļkoksnes sortimentu ir 35,13 EUR (iekļaujot šķeldošanas izmaksas- 3,21 EUR), bet uz 1 ber. m³ šķeldu – 17,57 EUR (iekļaujot šķeldošanas izmaksas- 1,61 EUR). Šķeldu transportēšanas scenārijs paredz pašizmaksas samazinājumu 3,45 EUR m⁻³ jeb 1,72 EUR ber.m⁻³.

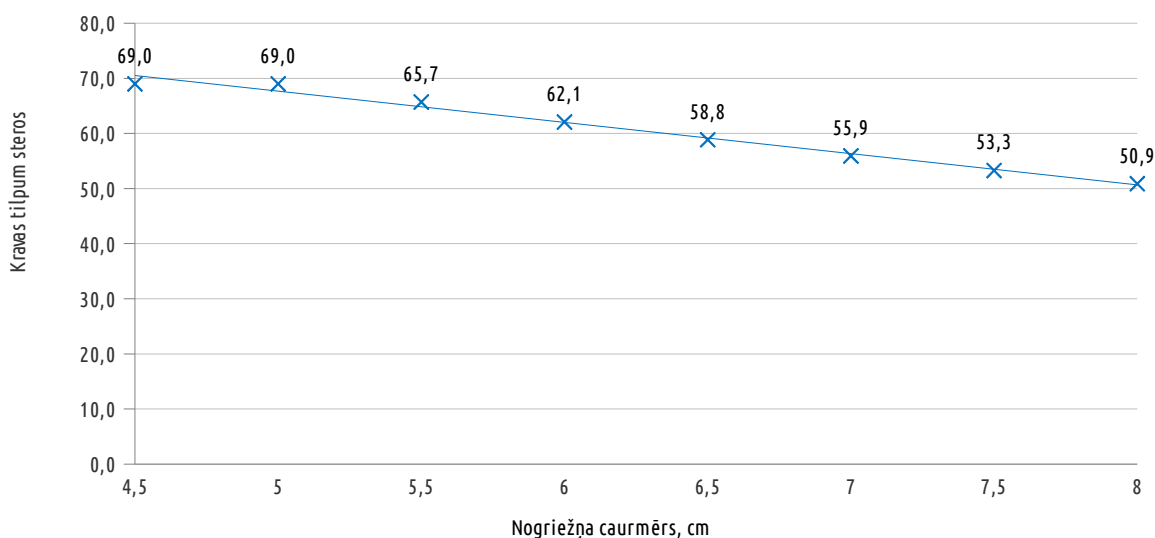
Transporta sistēmas analīze

Sistēmas analīze veikta apaļo kokmateriālu sortiment caurmēram un tā ietekmei uz kravas masu un tilpumu. Aprēķinu pamatā ir kokmateriālu caurmēra un tilpīguma koeficientu

sakarība – pieaugot sortimenta caurmēram, pieaug tilpīguma koeficients. Pieņemot maksimālos ierobežojošos rādītājus – kokvedēja kravas masu 29,3 tonnas (maksimālā iespējamā kravas masa) un kravas izmēru – 69 steri (kravas ģeometriskās dimensijas) var veikt caurmēra ietekmes analīzi.

Skujkoku sīkkokiem ir salīdzinoši liels tilpīguma koeficients, kas skaidrojams ar koku augšanas īpašībām – eglei ir taisns un slaidis stumbrs un egle labāk atzarojas, tādēļ sīkkoki var veidot blīvu krāvumu. Darbā secināts, ka, vidējam caurmēram pieaugot virs 5 cm (Att. 22), tilpīguma koeficienta ietekmē kravas ģeometriskai izmērs samazinās (masa paliek konstanta 29,3 tonnas). Tātad pilnībā tiek izmantots automašīnas potenciāls.

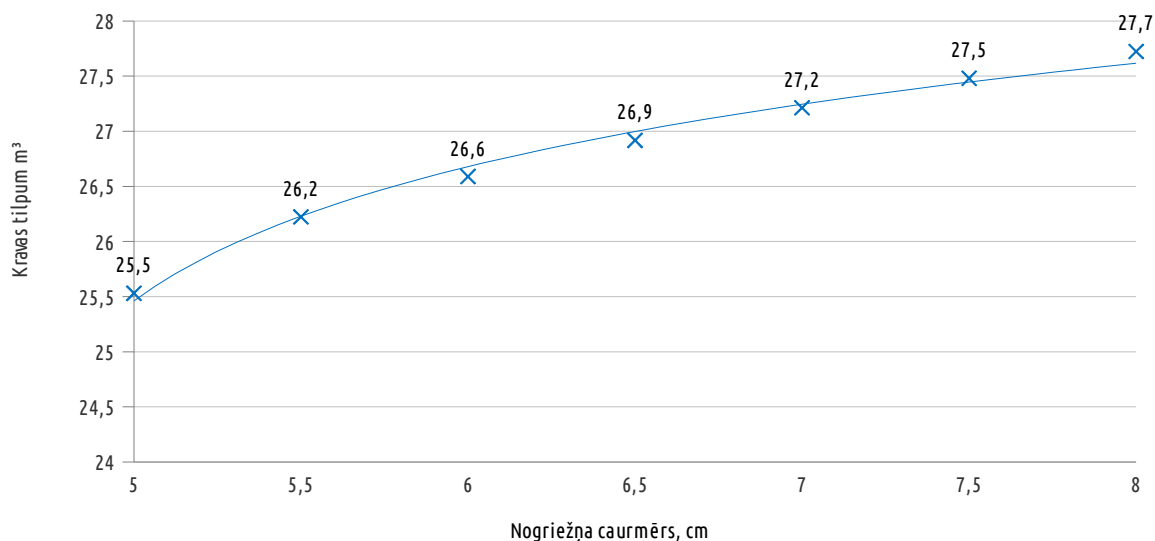
Skujkoku sīkkokiem ar vidējo caurmēru 4,5 cm ir mazs tilpīguma koeficients (0,34), tādēļ pie pilnībā piekrauta kokvedēja sastāva, netiek sasniegta maksimālā kravas masa 29,3 tonnas un netiek izmantots viss automašīnas potenciāls.



Att. 22: Nogriežņa caurmēra un kravas apjoma sakarība.

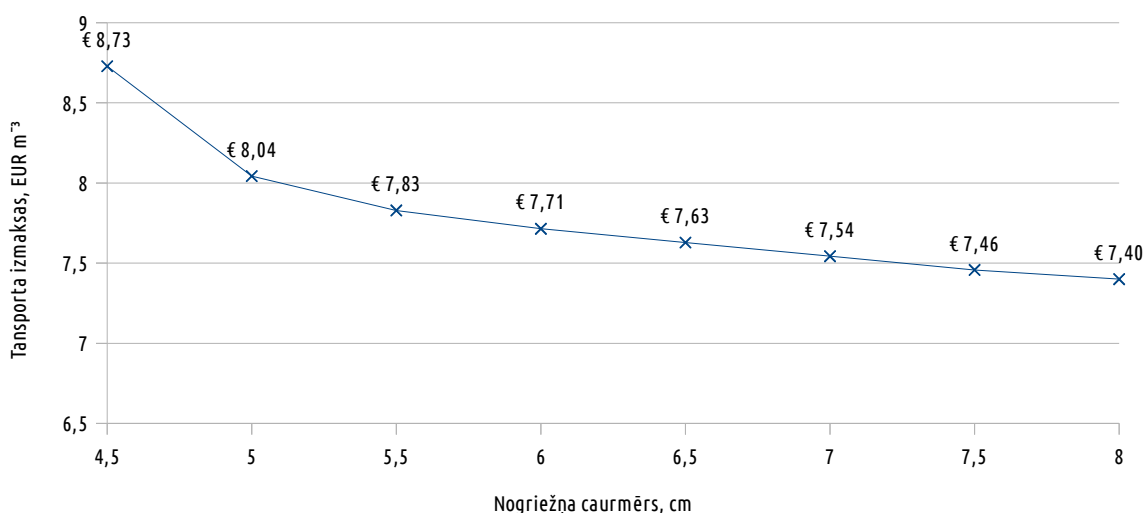
Skujkoku sīkkoku kravas tilpums kubikmetros parādīts Att. 23. Caurmēram pieaugot no 4,5 līdz 5 cm kravā ir salīdzinoši liels kubikmetru pieaugums, kas saistīts ar mazo tilpīguma koeficientu un kravas tilpumu steros ierobežojumu (69 steri, pie sīkkoku caurmēra 4,5 cm nebija iespējams uzkraut 69 sterus).

Kravas apjoma pieaugums kubikmetros, palielinoties sīkkoku caurmēram pie konstantas kravas masas (29,3 tonnas), skaidrojams ar masas samazināšanos pieaugot sīkkoku caurmēram. Darbā secināts, ka, pieaugot sīkkoku caurmēram, palielinās kubikmetru daudzums, ko var iekraut kokvedējā pie konstantās maksimālās kravas masas 29,3 tonnas.



Att. 23: Sīkkoku caurmēra un kravas apjoms kubikmetros.

Skujkoku sīkkoku 1 m³ transportēšanas 50 km attālumā izmaksas ir 7,40-8,73 EUR (Att. 24). Vislielākās izmaksas ir sīkkokiem ar vidējā nogriežņa caurmēru 4,5-5 cm, kas skaidrojams ar mazo kubikmetru daudzumu kokvedēja kravā un pilnībā neizmantoto automašīnas kravnesību. Izmaksu samazinājums caurmēram pieaugot līdz 8 cm pie konstantas kravas masas (29,3 tonnas) ir skaidrojams ar kravas apjoma kubikmetros pieaugumu.

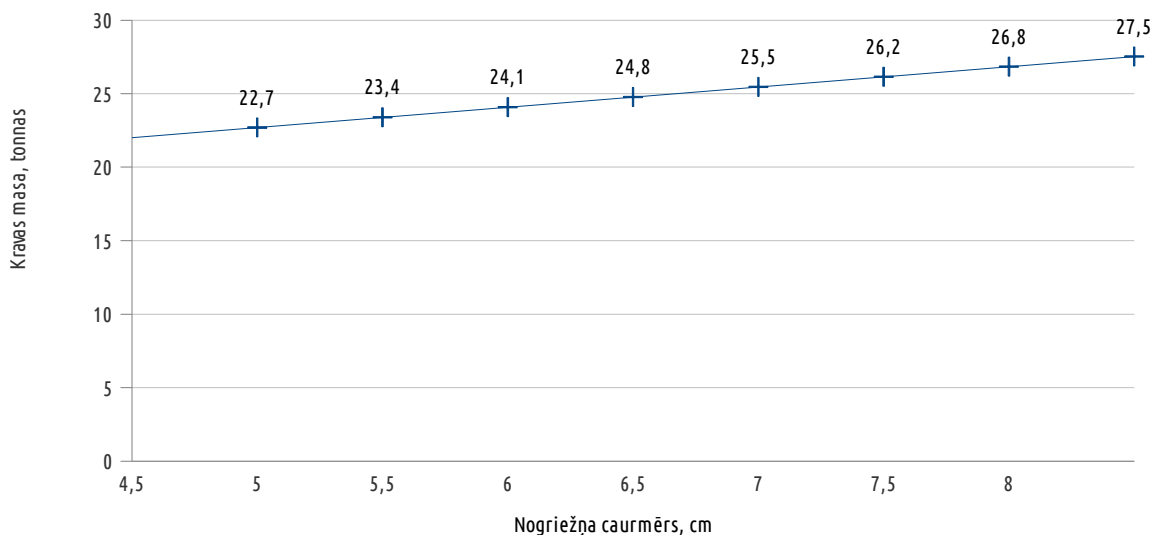


Att. 24: Skujkoku sīkkoku 1 m³ transportēšanas izmaksas atkarībā no kokmateriālu nogriežņa caurmēra.

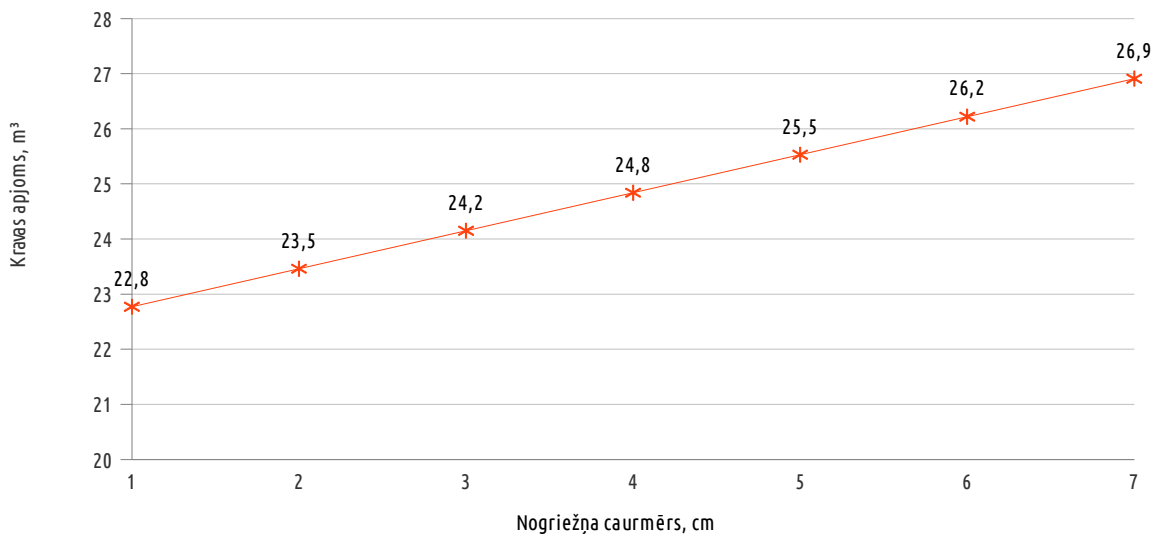
Lapkoku sīkkoku aprēķiniem ir maz ieejas datu, tādēļ rezultātu izvērtēšanā jārēķinās ar lielu nenoteiktību.

Lapkoku sīkkokiem izmēģinājumos konstatēts mazs tilpīguma koeficients (mazs sortimenta krāvuma blīvums), tādēļ to pārstāvētajā caurmēru grupā no 4,5-8 cm ir maza kokvedēja kravas masa (Att. 25), netiek izmantots viss potenciāls 29,3 tonnas. Lineārais pieaugums skaidrojams

ar lineāru tilpīguma koeficienta un lineāra stera masas pieaugumu (dabā tā nebūs un aprēķinā vajadzēs ieviest korekcijas atbilstoši reāliem apstākļiem). Lapkoku sīkkoku tilpums kubikmetros parādīts Att. 26.

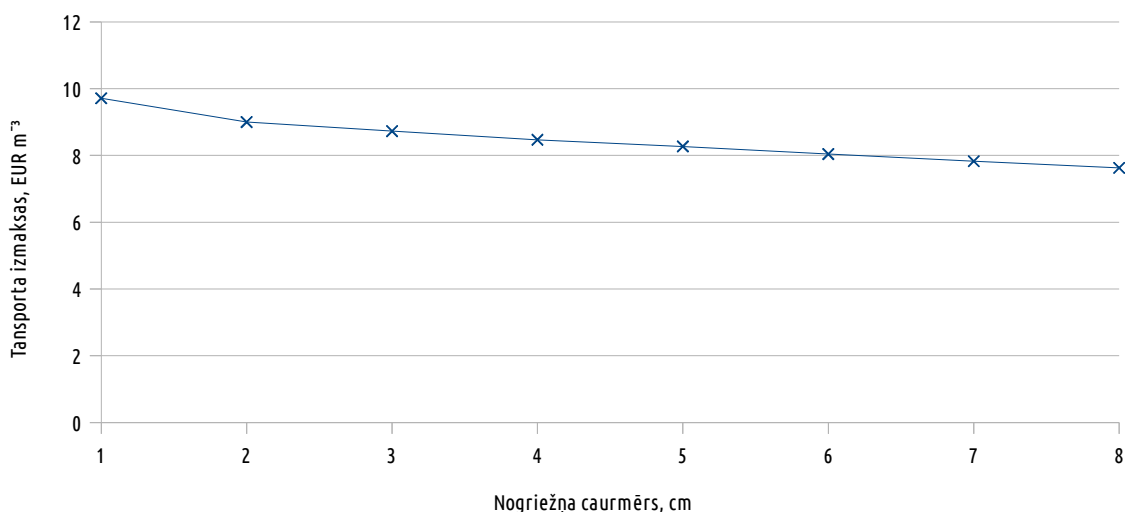


Att. 25: Lapkoku sīkkoku caurmēra un kravas masa tonnas.



Att. 26: Lapkoku sīkkoku caurmērs un kravas apjoms kubikmetros.

Lapkoku sīkkoku transportā izmantojot kokvedēju, 1 m³ transportēšanai izmaksas ir lielākas, nekā transportējot skujkoku sīkkokus (Att. 27), tas saistīts ar mazo tilpīguma koeficientu. Izmaksu samazināšanas pieaugot sīkkoku caurmēram skaidrojama ar kravas tilpuma kubikmetros palielināšanos (palielinās tilpīguma koeficients).



Att. 27: Lapkoku sīkkoku transportēšanas izmaksas.

Šķeldu kvalitāte

Pētījumā analizētos šķeldu paraugus var sadalīt 3 grupās – mizotas skujkoku šķeldas, lapkoku (galvenokārt, bērza) šķeldas un jaukta materiāla šķeldas. Vidējie kvalitatīvie rādītāji dažādām šķeldu paraugu grupām parādīti Tab. 14. Lapkoku šķeldas raksturojas ar būtiski lielāku bēruma blīvumu, attiecīgi arī proporcionāli lielāku siltumspēju, turpretim, skujkoku un mistrotās šķeldās ir gandrīz 2 reizes mazāks pelnu saturs. Mitruma saturs šķeldās nav vērtējams, kā objektīvs rādītājs, jo skujkokus šķeldoja tūlīt pēc izstrādes un piegādes uz patēriņa vietu, un koksne nepaspēja apžūt. Oglekļa saturs visos paraugos ir līdzīgs. Bēruma blīvums gan būtiski atšķiras – 1 tonna lapkoku sausnas atbilstoši laboratoriskajiem izmeklējumiem atbilst aptuveni 4 ber. m³ šķeldu, bet skujkoku šķeldas – 5,6 ber. m³.

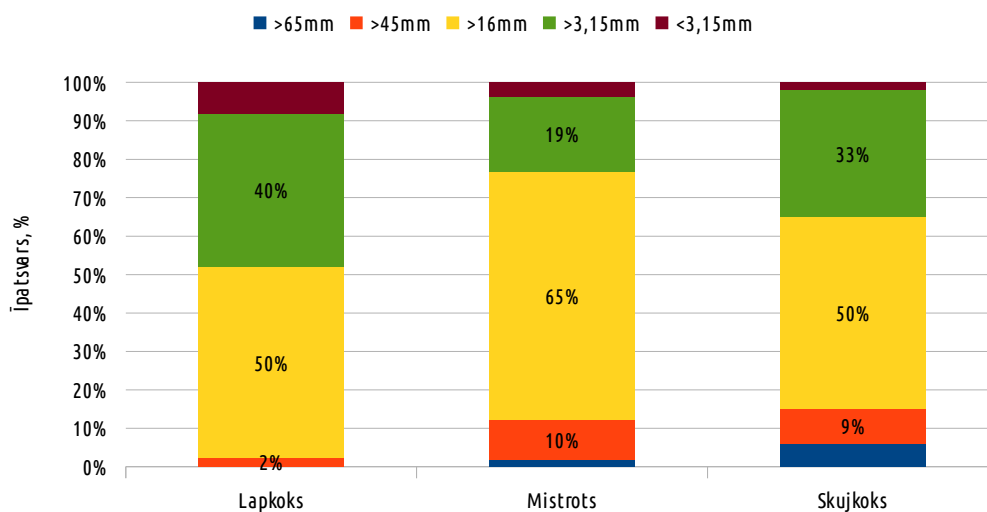
Būtisks ir šķeldu sadalījums frakcijās pēc daļiņu izmēra; lapkoku un jauktās šķeldās ir mazāk par 2 % par 65 mm lielāku daļiņu, bet skujkoku šķeldās gandrīz nav smalkās (< 3,15 mm) frakcijas. Vidēji 92 % šķeldu masas veido daļiņas ar izmēru no 3,15 mm līdz 65 mm (Att. 28). Šādas šķeldas piemērotas gan granulā ražošanai, gan centralizētajai siltumapgādei, gan arī sausa birstošā kurināmā ražošanai, ja Latvijā attīstītos šāda veida kurināmā tirgus.

Lapkoku šķeldu augstākā siltumspēja ir 4,98 kW kg⁻¹, mistrotās koksnes un skujkoku šķeldām – 5,02 kW kg⁻¹. Zemākā siltumspēja lapkoku un mistrotiem paraugiem ir 2,1 kW L⁻¹, skujkoku šķeldu paraugiem – 1,6 kW L⁻¹. Tas nozīmē, ka lapkoku audzēs iegūto biokurināmo izdevīgāk realizēt pēc siltumspējas, nevis tilpuma mērvienībām. Arī skujkoku šķeldu zemākā siltumspēja būtu lielāka, ja sīkkokus atstātu mežā vai augšgala krautuvē apkalst, nevis uzreiz smalcinātu.

Tab. 14: Šķeldu kvalitātes rādītāju kopsavilkums

Variants	Sausa koksne, kg m ³	Parauga blīvums, kg m ³	Frakcijas, %					Mitruma saturs, %	Pelnu saturs, %	C, g/kg	Pārrēķinu koeficienti uz ber. m ³	
			>65mm	>45mm	>16mm	>3,15mm	<3,15mm				no tonnām sausnas	no tonnām kravas
Lapkoks	258,35	439,74	0,1	2,2	49,6	40,0	8,1	41,05	1,43	513,71	3,87	2,27
Mistrots	234,55	421,95	1,9	10,3	64,8	19,3	3,8	44,39	0,77	517,73	4,26	2,37

Variants	Sausa koksne, kg m ³	Parauga blīvums, kg m ³	Frakcijas, %					Mitruma saturs, %	Pelnu saturs, %	C, g/kg	Pārrēķinu koeficienti uz ber. m ³	
			>65mm	>45mm	>16mm	>3,15mm	<3,15mm				no tonnām sausas	no tonnām kravas
Skujkoks	178,5	417	6,0	9,0	50,0	33,0	2,0	57	0,65	517	5,6	2,4
Vidēji	223,8	426,23	2,67	7,17	54,8	30,77	4,63	47,48	0,95	516,15	4,58	2,35



Att. 28: Šķeldu frakcionālais sadalījums.

IETEIKUMI PRAKSEI UN SECINĀJUMI

1. Apaļo kokmateriālu caurmērs būtiski ietekmē daļēji atzaroto sīkkoku kravu tilpīguma koeficientu. Pieaugot sīkkoku caurmēram, palielinās kravas tilpīguma koeficients. Lapkoku sīkkoku kravu tilpīguma koeficients, neatkarīgi no kokmateriālu caurmēra, ir būtiski mazāks nekā skujkoku sīkkoku kravām.
2. Transportējot vidēji par 5 cm resnākus skujkoku sīkkoku kravas, kokvedēju pieļaujamo kravas masu var izmantot pilnībā, bet, transportējot lapkoku sīkkokus, neatkarīgi no kokmateriālu vidējā caurmēra (pētījumos transportētas vidēji līdz 8 cm resnu lapkoku sīkkoku kravas), kokvedēja pieļaujamo kravas masu nevar izmantot pilnībā.
3. Sīkkoku transportēšanas galvenais trūkums ir kokvedēja mazā ietilpība, kas jebkuros apstākļos padara kokvedēja izmantošanu mazāk izdevīgu par šķeldu vedēja ar konteineru sastāvu vai puspiekabi izmantošanu. Izņēmums ir situācijas, kad apaļo kokmateriālu realizācijas cena ir būtiski lielāka par šķeldu realizācijas cenu. Šāda situācija teorētiski ir iespējama skujkoku kokmateriāliem, pieaugot ražošanas apjomam kokskaidu granulu rūpnīcās.
4. Sīkkoku šķeldu transportēšanai izdevīgāk izmantot šķeldu vedēju ar puspiekabi vai 2 55 m³ lieliem uz sāniem izgāžamiem konteineriem, jo iespējams vienā kravā aizvest lielāku šķeldu masu, nepārsniedzot maksimāli pieļaujamo kravas masu. Jārisina sīkkoksnes žāvēšanas jautājums, lai varētu pilnībā izmantot šķeldu vedēju kravas telpu, nepārsniedzot maksimāli pieļaujamās mašīnu masas ierobežojumus.
5. kokvedēja iekraušanā skujkoku audzēs produktīvā darba laika īpatsvars ir 100 %, savukārt izkraušanā – 98 %, lapkoku audzē tas ir būtiski mazāks. Vidējais produktīvais darba laiks, ko kokvedēja patērē 1 kravas iekraušanai skujkoku audzēs ir 36 min., savukārt, izkraušanai – 19 min. Lapkoku audzēs iekraušana aizņem gandrīz 2 reizes vairāk laika, kas skaidrojams ar trauslāku materiālu un ilgāku laika patēriņu kravas sakārtošanai, apcērtot garākos zarus. Lapkoku transporta novērtēšanai nepieciešams lielāks izmēģinājumu skaits.
6. Vidējais patērētais produktīvais laiks 1 šķeldu kravas sagatavošanai no veselīem stumbriem ir 59 minūtes, savukārt kā šķeldu izejmateriālu izmantojot tehnoloģiskās malkas sortimentu – vidēji 63 minūtes, tajā skaitā kravas nosegšana. Izkraušanās laiks uz sāniem izgāžamiem konteineriem (110 ber. m³) un kravas mašīnām ar puspiekabēm ar kustīgo grīdu (90 ber. m³) ir 20 min., ieskaitot manevrēšanu izkraušanās laikā.
7. Apaļkoksnes kravas lieluma noteikšanai lapkokiem un skujkokiem izmantojami lineārās regresijas vienādojumi, kas iegūti pētījuma gaitā. Tomēr lapkoku sīkkoku tilpīguma noteikšanai nepieciešams lielāks empīriskais materiāls. Arī lapkoku un skujkoku iekraušanas un izkraušanas laiks vērtējams atsevišķi, ņemot vērā, ka darba laika uzskaites dati būtiski atšķirās.
8. Sīkkoku šķeldu transportēšanai izdevīgāk izmantot šķeldu vedēju ar puspiekabi, jo iespējams vienā kravā aizvest lielāku šķeldu masu, nepārsniedzot maksimāli pieļaujamo kravas masu. Aprēķinos konstatēts, ka šķeldu transportēšanas scenārijs paredz pašizmaksas samazinājumu 3,45 EUR m⁻³ jeb 1,72 EUR ber. m⁻³, salīdzinot ar daļēji
9. Iegūtās šķeldas piemērotas granulu ražošanai, centralizētajai siltumapgādei un sausa birstošā kurināmā ražošanai. Lapkoku šķeldām ir būtiski lielāka zemākā siltumspēja, kas skaidrojams gan ar lielāku koksnes blīvumu, gan atšķirīgu mitruma saturu šķeldās. Lai maksimāli efektīvi izmantotu šķeldu vedēja kravas tilpni, sīkkoki ir jāžāvē augšgala krautuvē vai mežā.

LITERATŪRA

1. CEN (2005). FINAL DRAFT prCEN/TS 15149-1 Solid biofuels - Methods for the determination of particle size distribution - Part 1: Oscillating screen method using sieve apertures of 3,15 mm and above. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION.
2. Swedish Standards Institute (2005a). SIS-CEN/TS 14774-2:2004 Solid biofuels – Methods for the determination of moisture content – Oven dry method – Part 2: Total moisture – Simplified method. Swedish Standards Institute.
3. Swedish Standards Institute (2005b). SIS-CEN/TS 14775:2004 Solid biofuels – Method for the determination of ash content. Swedish Standards Institute.
4. Swedish Standards Institute (2006). SIS-CEN/TS 15103:2006 Solid biofuels – Methods for the determination of bulk density. Swedish Standards Institute.



LVMi Silava
Rīgas ielā 111, Salaspils, LV-2169