

## PĀRSKATS

PAR AS "LATVIJAS VALSTS MEŽI" PĒTĪJUMA

ATJAUNOJAMO ENERĢORESURSU PRODUKTU RAŽOŠANAS,  
PĀRSTRĀDES UN LOĢISTIKAS RŪPNIECISKAIS PĒTĪJUMS

DARBU IZPILDI

---

Pārskata nosaukums **BIOKURINĀMĀ SAGATAVOŠANA  
NO PAMEŽA KOKIEM KRĀJAS  
KOPŠANĀ LAPKOKU AUDZĒS**

Līguma Nr. 3. 5.5-5.1-000p-101-12-8

Pārskata Nr. 2014/08

Pārskata versija 1.0

Izpildes laiks 03.01.2013 - 31.03.2014

Izpildītājs Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava"

Projekta vadītājs

---

A. Lazdiņš

## KOPSAVILKUMS

Pētījuma mērķis ir noskaidrot biokurināmā sagatavošanas no pameža kociem krājas kopšanā lapkoku audzēs darba ražīgumu atkarībā no pielietotās darba metodes, kā arī noskaidrot izmaksas ietekmējošos faktoros. Pētījumā veikti krājas kopšanas izmēģinājumi ar John Deere harvesteru 1070 E divās lapkoku audzēs, salīdzinot divas darba metodes. Viena darba metode (2.) paredz gatavot standarta apaļos kokmateriālus kā arī daļēji atzarotu sīkkoksni ar minimālo tievgaļa caurmēru 3 cm, izmantojot paketēšanas funkciju. Otra darba metode (5.) paredz, maksimāli izmantojot paketēšanas funkciju, no visiem kociem gatavot daļēji atzarotu sīkkoksni.

Krājas kopšanā izmantotas 2 darba metodes. Starp darba metodēm konstatētas statistiski būtiskas atšķirības patērētajā tiešajā darba laikā 1 koka izstrādē. Vidēji 1 koka apstrādei patērē 54 sekundes tiešā darba laikā. Patērētajā tiešajā darba laikā 1 m<sup>3</sup> izstrādei starp darba metodēm statistiski būtiskas atšķirības netika konstatētas. Vidēji 1 m<sup>3</sup> koksnes sagatavošanai patērē 15 min. tiešā darba laikā.

Kopumā izmēģinājuma ietvaros no 2 izkoptām audzēm pievesta 50 kravas, kas atbilst 271 tonnām jeb 308 m<sup>3</sup> koksnes. Statistiski būtiskas atšķirības 1 kravas pievešanai sadalījumā pa izstrādē pielietotajām darba metodēm netika konstatētas. Vidēji 1 kravas pievešanai nepieciešama 1 stunda (66 min.) efektīvā darba laikā. Vidēji 1 tonnas dabiski mitra materiāla pievešanai patērē 5 min. produktīvā darba laikā. Vidēji 1 kravas iekraušanai patērētais darba laiks bija 12 min., bet izkraušanai attiecīgi 4 min. Vidējais braukšanas ātrums pievedējtraktoram ar kravu bija vidēji 44 m min.<sup>-1</sup>, savukārt, bez kravas- 52 m min.<sup>-1</sup>.

Optimāla krājas kopšanas sistēma sastāv no 5 harvesteriem, 1 pievedējtraktora, 2-3 sīkkoksnes vedējiem sīkkoksnes piegādes scenārijā, vai attiecīgi 1 šķeldotāja un 3-4 šķeldu vedējiem šķeldu piegādes scenārijā.

Atstāto koku izvietojums audzēs ir vienmērīgs, tādējādi jāsecina, ka tehnoloģisko koridoru izvietojums bijis pietiekami blīvs, lai nodrošinātu audzes vienmērīgu izkopšanu.

Visvairāk paliekošo koku bojājumu radījusi 5.darba metode, galvenokārt konstatēti stumbra bojājumi virs 0,5 m. Strādājot ar 2.darba metodi paliekošo koku bojājumi konstatēti par 5% mazāk, kā strādājot ar 5.darba metodi.

Izvērtējot biokurināmā piegādes scenāriju abām krājas kopšanā izmantotajām darba metodēm kā ekonomiski pamatotāks atzīts šķeldu piegādes scenārijs, jo pozitīva bilance gūstama pie mazāka vidējā nozāgētā koka caurmēra. Pie nosacījuma, ka vidējā nozāgētā koka caurmērs 2. darba metodei ir virs 7,2 cm, bet 5.darba metodei- virs 10,5 cm, kā ekonomiski pamatots būtu uzskatāms arī sīkkoksnes piegādes scenārijs. Pētījuma rezultāti liecina, ka labākā izmaksu un ieņēmumu attiecība novēlotā jaunaudzū kopšanā veidojas, gatavojot standarta apaļos kokmateriālus (zāgbaļķus, sīkbaļķus un papīrmalku) un daļēji atzarotu sīkkoksni pārstrādei biokurināmajā.

Strādājot ar 2. darba metodi, šķeldu pašizmaksas samazinājumu par 0,86 EUR m<sup>-3</sup> jeb 0,28 EUR ber.m<sup>-3</sup> iespējams panākt izvēloties šķeldu piegādes scenāriju. Izmantojot 5. darba metodi, šķeldu transportēšanas scenārijs paredz šķeldu pašizmaksas samazinājumu par 1,15 EUR m<sup>-3</sup> jeb 0,37 EUR ber.m<sup>-3</sup>.

# Saturs

<b>Kopsavilkums</b> .....	<b>2</b>
<b>Ievads</b> .....	<b>6</b>
<b>Darba metodika un izmēģinājumu objekti</b> .....	<b>8</b>
Objektu atlase un sākotnējo taksācijas rādītāju noteikšana.....	8
Sākotnējo taksācijas rādītāju noteikšana.....	8
Taksācijas rādītāju noteikšana.....	8
Bojājumu novērtēšana.....	8
Pētījumu objekti.....	9
Laika apstākļi izmēģinājumu laikā.....	9
Pētījumā izmantotā tehnika.....	11
Mežizstrādes tehnika.....	11
Pievešanas tehnika.....	12
Ceļu transports.....	12
Kokvedēji.....	12
Šķeldu vedēji.....	13
Šķeldotāji.....	14
Darba laika uzskaitē.....	14
Aprīkojums.....	14
Kopšana.....	15
Pievešana.....	16
Pievestā materiāla uzskaitē.....	16
Pievedējtraktora kravu svēršana.....	16
Aprēķini pēc biomasas vienādojumiem.....	17
Bojājumu un atstāto sortimentu uzskaitē.....	19
Izmaksas ietekmējošo faktoru analīze.....	20
<b>Darba rezultāti</b> .....	<b>23</b>
Darba laika uzskaites kopsavilkums.....	23
Izstrādes darba ražīgums.....	23
Pievešanas ražīgums.....	28
Pievestais materiāls.....	28
Pievešanas ražīguma rādītāji.....	28
Ražīguma aprēķini.....	30
Izstrāde.....	30
Pievešanas darba ražīgums.....	35
Kokvedēji.....	36
Šķeldotāji un šķeldu vedēji.....	36
Kopsavilkums par darba ražīguma rādītājiem.....	36
Izmaksu un ieņēmumu analīze.....	37
Pašizmaksu ietekmējošo faktoru analīze.....	37
Sistēmas analīze.....	38
Kopšanas kvalitāte un ietekme uz vidi.....	38
Koku izvietojums audzē pēc kopšanas.....	38
Paliekošo koku bojājumi.....	40
Jūtības analīze.....	42
Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums.....	43
<b>Ieteikumi praksei un secinājumi</b> .....	<b>46</b>
<b>Literatūra</b> .....	<b>47</b>

## Attēli

Att. 1: Parauglaukuma novietojums slejā.....	8
--	---

Att. 2: Diennakts vidējā gaisa temperatūra izstrādes darbu laikā.....	10
Att. 3: Nokrišņi izstrādes darbu laikā.....	10
Att. 4: Diennakts vidējā gaisa temperatūra pievešanas darbu laikā.....	11
Att. 5: John Deere 1070 E ar paketējošo griezējgalvu H754.....	11
Att. 6: Pievedējtraktors John Deere 810 E.....	12
Att. 7: Vidējā caurmēra un lapkoku kravas tilpīguma koeficienta sakarība.....	13
Att. 8: Hronometrāžā izmantotais laukdators Allegro CX.....	14
Att. 9: Pievedējtraktora svēršanai izmantotie svāri CAS RW-15P, kopskats un darbam sagatavotas platformas.....	17
Att. 10: Nozāgējamo koku skaits.....	17
Att. 11: Nozāgējamo koku caurmērs.....	18
Att. 12: Koku stumbra biomasas aprēķināšanas vienādojumi.....	19
Att. 13: Nozāgēto koku īpatsvars sadalījumā pa caurmēra pakāpēm un atkarībā no darba metodes.....	24
Att. 14: John Deere 1070 E kopējā darba laika sadalījums.....	31
Att. 15: Vidējā nozāgētā koka stumbra biomasas sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.....	31
Att. 16: Tiešā darba laika patēriņš 1 koka apstrādei sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.....	32
Att. 17: Tiešā darba laika patēriņš 1 m <sup>3</sup> sagatavošanai ar sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.....	33
Att. 18: Modelētaie ražības rādītāji 2.darba metodei.....	34
Att. 19: Modelētaie ražības rādītāji 5.darba metodei.....	34
Att. 20: Aprēķinātie harvesteru darba ražīguma rādītāji.....	35
Att. 21: Darba laika sadalījums pievešanā.....	35
Att. 22: Vidējais pievedējtraktora 1 kravas pievešanas efektīvā darba laika sadalījumā pa darba metodēm.....	36
Att. 23: Paliekošo koku attālums no koridora centra sadalījumā pa audzēm.....	39
Att. 24: Paliekošo koku attālums no koridora centra sadalījumā pa darba metodēm.....	39
Att. 25: Harvetsrea bojājumu veidi.....	40
Att. 26: Ar harvesteru bojāto kokus skaita sadalījums pa bojājuma veidiem.....	41
Att. 27: Harvesteru bojājumu sadalījums pa darba metodēm.....	41
Att. 28: Harvesteru bojājumu struktūra sadalījums pa darba metodēm.....	42
Att. 29: Harvesteru bojājumu sadalījums pa darba metodēm.....	42
Att. 30: Jutīguma analīze 2.darba metodei.....	43
Att. 31: Jutīguma analīze 5.darba metodei.....	43
Att. 32: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums 2.darba metodei sīkkoku biokurināmā piegādes scenārijā.....	44
Att. 33: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums 2.darba metodei šķeldu piegādes scenārijā.....	44
Att. 34: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums 5.darba metodei sīkkoku biokurināmā piegādes scenārijā.....	45
Att. 35: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums 5.darba metodei šķeldu piegādes scenārijā.....	45

## Tabulas

Tab. 1: Audžu taksācijas rādītāji pirms kopšanas.....	9
Tab. 2: Audžu taksācijas rādītāji pēc kopšanas.....	9
Tab. 3: Audžu taksācijas rādītāji pēc kopšanas.....	9
Tab. 4: Koeficienti šķeldošanas ražības pārrēķiniem, raksturojot vienu kravu.....	13
Tab. 5: Izstrādes darba laika uzskaites elementi.....	15
Tab. 6: Izmēģinājumos sagatavotās sortimentu grupas.....	15
Tab. 7: Pievešanas darba laika uzskaites elementi.....	16
Tab. 8: Pārrēķina koeficienti mežaudzis krājas aprēķināšanai.....	18
Tab. 9: Pārrēķina koeficienti koku virszemes biomasas aprēķināšanai.....	19
Tab. 10: Pašizmaksas aprēķinu gaita.....	20
Tab. 11: Darba laika uzskaites kopsavilkums sadalījumā pa cirmām (cmin.).....	25
Tab. 12: Darba laika uzskaites kopsavilkums sadalījumā pa darba metodēm (cmin.).....	25
Tab. 13: Darba laiks īpatsvars sadalījumā pa darba metodēm.....	26
Tab. 14: Vidējais efektīvā darba laika patēriņš uz 1 koku (cmin.).....	27
Tab. 15: Vidējais efektīvā darba laika patēriņš uz 1m <sup>3</sup> koksnes (cmin.).....	27
Tab. 16: Vidējais efektīvā darba laika patēriņš 1 ha izstrādei (cmin.).....	27
Tab. 17: Darba ražīguma rādītāju salīdzinājums starp operatoriem.....	28
Tab. 18: Pievedējtraktora darba laika kopsavilkums sadalījumā pa cirmām (cmin.).....	29
Tab. 19: Pievedējtraktora darba laika kopsavilkums sadalījumā pa darba metodēm (cmin.).....	29

Tab. 20: John Deere 810 E pievedējtraktora vidējais darba laika patēriņš uz 1 kravas pievešanai (cmin.).....	30
Tab. 21: John Deere 810 E pievedējtraktora vidējais darba laika patēriņš uz 1 tonnas dabiski materiāla pievešanai (cmin.).....	30
Tab. 22: John Deere 810 E pievedējtraktora vidējais darba laika patēriņš 1 m <sup>3</sup> pievešanai (cmin.).....	30
Tab. 23: Aprēķinu vienādojuma koeficienti.....	33
Tab. 24: Darba metodei specifiskie ievades dati pašizmaksas aprēķinu modelī.....	37
Tab. 25: Ar Timbear sagatavota biokurināmā pašizmaksas kopsavilkums 2. darba metodei.....	37
Tab. 26: Ar Timbear sagatavota biokurināmā pašizmaksas kopsavilkums 5. darba metodei.....	38
Tab. 27: Koku izvietojums pēc kopšanas.....	39
Tab. 28: Paliekošo koku bojājumi sadalījumā pa darba metodēm.....	40

## IEVADS

Krājas kopšanas mērķis ir mežaudzes kvalitātes uzlabošana, nodrošinot vērtīgākajiem kokiem pietiekamu augšanas telpu, izvēcot neperspektīvos un slimos kokus. Krājas kopšana ļauj gūt maksimālus ienākumus no meža audzēšanas, sagatavojot apaļos kokmateriālus starpcirtēs. Krājas kopšanas cirtes veic mežaudzēs, kuru vidējais koku caurmērs sasniedzis apaļo kokmateriālu gatavošanai piemērotas dimensijas. (Bisenieks, 2005). Krājas kopšanā primāri ir mežsaimnieciskie mērķi, kas saistīti ar meža vērtības maksimizēšanu galvenās cirtes vecumā. Krājas kopšana tradicionāli ir pirmais meža apsaimniekošanas etaps pēc meža atjaunošanas vai ieaudzēšanas, kas rada pozitīvu naudas atlikumu.

Plānojot krājas kopšanu, jāreķinās, ka daļa koku, it īpaši nekoptās audzēs, būs par tievu apaļkoksnes sortimentu sagatavošanai. Biokurināmā gatavošana ir viens no risinājumiem iegūstamās sīkkoksnes izmantošanai. Krājas kopšanā iegūstami 2 biokurināmā veidi – mežizstrādes atliekas, kuras var savākt tāpat, kā galvenajā cirtē, un sīkkoksne, kura apstrādājama tāpat kā sastāva kopšanā, tehnoloģiskā koridora malās nokraujot veselu sīkkoksni, daļēji atzarotu sīkkoksni un apaļo kokmateriālu sagatavošanā izmantoto koku galotnes, biokurināmā saiņus vai gatavas šķeldas. Līdzšinējie pētījumi parāda, ka ekonomiski pamatotāki ir tie tehnoloģiskie risinājumi, kas krājas kopšanā spēj apvienot apaļo kokmateriālu sagatavošanu un mežizstrādes atlieku un sīkkoksnes vākšanu pārstrādei biokurināmajā.

Mehanizēta krājas kopšana izmantojot harvesteru un citas mežizstrādes mašīnas nodrošina lielāku darba ražīgumu un ērtākus darba apstākļus. Krājas kopšanā ar vieglā tipa vai ar mazgabarīta harvesteru izbraukt starp audzē augošiem kokiem pirms tās nav izkoptas ne vienmēr iespējams lielā koku skaita dēļ. Faktiski pameža izstrādes laikā ir jāgatavo tehnoloģiskie koridori. Tāpēc racionālāks risinājums ir veikt pameža un apaļajiem kokmateriāliem nederīgo sīkkoku izzāgēšanu vienlaicīgi ar krājas kopšanu, gatavojot gan apaļos kokmateriālus, gan biokurināmo.

Patreiz reālākais tehnoloģiskais variants, veicot krājas kopšanas ciršu izstrādi ar harvesteriem, ir savākt un iegūt biokurināmo no kopšanas ciršu kārtībā izcērtamo koku vainagiem, atgriezumiem, sīkkoksnes, kas apstrādes procesā griezējgalvā salūzt un neder standarta apaļo kokmateriālu gatavošanai, kā arī no pameža kokiem, izzāgējot pamežu mehanizēti kopšanas laikā.

Iepriekšējie pētījumi ļauj secināt, ka, lai harvesteri var ražīgi strādāt krājas kopšanas cirtēs, to griezējgalvām jābūt aprīkotām ar sīkkokus akumulējošām ierīcēm. Bez tam vēlams tāda griezējgalvas konstrukcija, kura ļauj vienlaicīgi veikt arī vairāku sīkkoku apstrādi tos atzarojot un sagarinot.

Latvijas apstākļiem krājas kopšanā piemērotākie biokurināmā piegāžu tehnoloģiskie procesi ietver daļēji atzarotas sīkkoksnes sagatavošanu.

Visaugstāko ekspertu vērtējumu ieguva tehnoloģiskie procesi, kas sākas ar mežaudžu kopšanu ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu vai motorzāģi. Augstu vērtējumu ieguvusi pievešana ar meža pievedējtraktoru uz kāpurķēdēm, kas ir salīdzinoši dārga tehnoloģija, bet nodrošina minimālu iespējamo kaitējumu videi. Mežizstrādes atlieku biokurināmā sagatavošanas vērtējums atpaliek no daļēji atzaroto sīkkoku piegādes vērtējuma. Visaugstāko vērtējumu ieguvusi mežizstrādes atlieku vākšana ar rokām un harvesteru vai ekskavatoru ar standarta griezējgalvu, pievedot atliekas ar meža pievedējtraktoriem uz riteņu vai kāpurķēžu bāzes un šķeldas pie patērētāja nogādājot ar konteineru sistēmām.

Augstāk novērtētās biokurināmā sagatavošanas tehnoloģijas kopšanas cirtēs saistītas ar daļēji atzarotu sīkkoku sortimenta sagatavošanu. Galvenā šāda tehnoloģiskā risinājuma priekšrocība ir lielāka autotransporta izmantošanas efektivitāte. Pētījumi par daļēji atzarotu sīkkoku sagatavošanu veikti Ziemeļvalstīs, kur pieļaujama koksnes pievešana ar garākām un smagākām mašīnām, nekā Latvijā, tāpēc nepieciešami ražošanas optimizācijas pētījumi, lai ar sortimentu garumu sabalansētu darba ražīgumu izstrādes, pievešanas un piegādes procesā. Tāpat,

nepieciešams izstrādāt plānošanas risinājumu starpkrautuvju ierīkošanai sīkkoku uzglabāšanai, kurināmā šķirošanai un turpmāko piegāžu organizēšanai.

# DARBA METODIKA UN IZMĒĢINĀJUMU OBJEKTI

## Objektu atlase un sākotnējo taksācijas rādītāju noteikšana

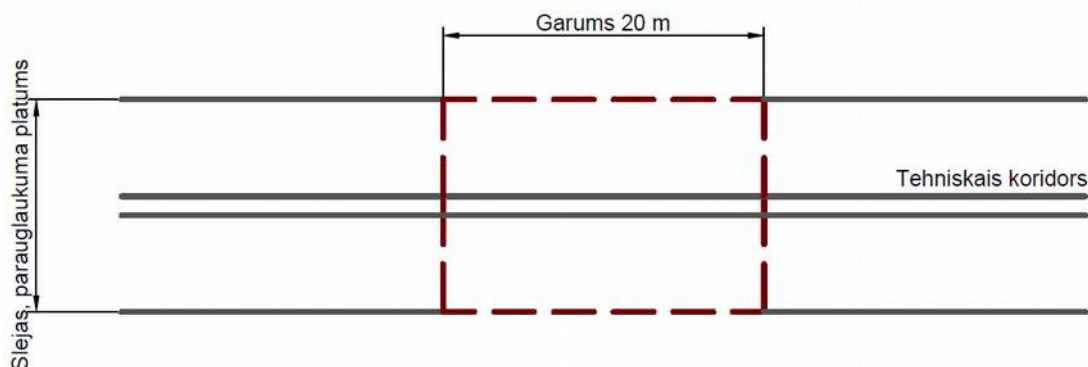
### Sākotnējo taksācijas rādītāju noteikšana

Taksācijas rādītāju noteikšanai pirms krājas kopšanas tika ierīkoti apļveida parauglaukumi, kuru platība 25 m<sup>2</sup>. Parauglaukumi tika izvietoti uz divām diagonālēm ik pēc 20 m vai arī, ja platība neliela, tad tādā skaitā, lai uzmērīto koku skaits audzē būtu vismaz 100 gab. Kokiem parauglaukumos tika noteikta suga un caurmērs 1,3 m augstumā virs sakņu kakla, ja tas lielāks par 4 cm.

Pētījuma veikšanai atlasītas 2 audzes 502 kvartāla apgabalā Skrīveru apkaimē. Kā audžu atlases kritēriji tika izvirzīti audzes vidējā koka augstums, audzes biežība un piemērots reljefs audžu mehanizētai izstrādei. Kā pētījumam piemērotas tika atlasītas kārpainā bērza un baltalkšņa audzes, kuru vidējais augstums bija attiecīgi 14 un 15 m. Audžu raksturojums pirms kopšanas dots Tab. 1.

### Taksācijas rādītāju noteikšana

Taksācijas rādītāju noteikšanai audzēm pēc kopšanas ierīkoti taisnstūrveida parauglaukumi, kuru garums 20 m un platums – 20 m. Parauglaukumi izvietoti paralēli tehnoloģiskajiem koridoriem tā, lai to vidus ass sakristu ar slejas vidus asi, bet parauglaukumu malas sakristu ar slejas malu līnijām (Att. 1). Attālums starp parauglaukiem atkarīgs no koridora garuma. Ja tehnoloģiskais koridors garāks par 160 m, tad parauglaukumi izvietoti ik pēc 40 m, ja īsāks, tad ik pēc 20 m. Visiem parauglaukumā esošajiem kokiem noteikta suga, ar dastmēru uzmērīts caurmērs 1,3 m augstumā virs sakņu kakla (ja tas lielāks par 4 cm), kā arī noteikts attālums no tehnoloģiskā koridora vidus ass līdz kokam. Augstuma noteikšanai izmantots jau pirms kopšanas izveidotais augstuma līknes vienādojums.



Att. 1: Parauglaukuma novietojums slejā.

Audzis izkoptas līdz minimālajam šķērslaukumam. Tehnoloģiskie koridori apaļkoku pievešanai ierīkoti 20 m attālumā viens no otra. Audžu kopšanām izmantotas divas darba metodes, kas savā starpā atšķirās ar sagatavoto apaļo kokmateriālu veidiem. Audžu raksturojums pēc kopšanas dots Tab. 2.

### Bojājumu novērtēšana

Bojājumi uzskatīti tikai tiem parauglaukumos esošajiem kokiem, kuru krūšaugstuma caurmērs



lielāks par 4 cm. Uzskaitē izdalīti 4 veidu bojājumi: stumbra bojājumi līdz 0,5 m augstumā virs zemes, stumbra bojājumi no 0,5 m uz augšu, iezāgējumi un sakņu bojājumi. Par bojājumu uzskatīts mizas nobrāzums gan stumbram, gan saknei (sakne atrodas ne vairāk kā 70 cm attālumā no koka un saknes caurmērs vismaz 2 cm), ja kokam atsegtās koksnes laukums bija lielāks par 15 cm<sup>2</sup>, iezāgējums bija vismaz 10 % no koka caurmēra bojājuma vietā. Bojājumu uzskaitē veikta atsevišķi pēc audzes kopšanas un kokmateriālu pievešanas, audzes kopšanas laikā radušos bojājumus atzīmējot ar krāsu un otrreiz šos kokus neuzskaitot, ja tam pašam kokam bojājumus rada arī pievedējtraktors.

## Pētījumu objekti

Kopā izmēģinājumos 2 nogabalos Skrīveru apkārtnē (502. kvartālu apgabals), audžu kopšanā izmantojot John Deere 1070 E harvesteru, izkoptas 4 slejas baltalkšņu audzē un 7 slejas bērzu audzē. Pētījuma ietvaros izzāģēti 4,0 ha. Mežaudžu raksturojumus dots Tab. 1.

**Tab. 1: Audžu taksācijas rādītāji pirms kopšanas**

Cirsmas kods	Platība, ha	Valdošā suga	Koku skaits, gab., ha <sup>-1</sup>	Vidējais caurmērs, cm	Vidējais augstums, m	Šķērslaukums, m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	Stumbra krāja, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Vidējais koks, m <sup>3</sup>
502-426-10	3,2	B	3567	10,0	14,0	28,0	222,8	0,062
502-427-11	0,8	Ba	3818	10,7	15,0	34,6	281,1	0,074

**Tab. 2: Audžu taksācijas rādītāji pēc kopšanas**

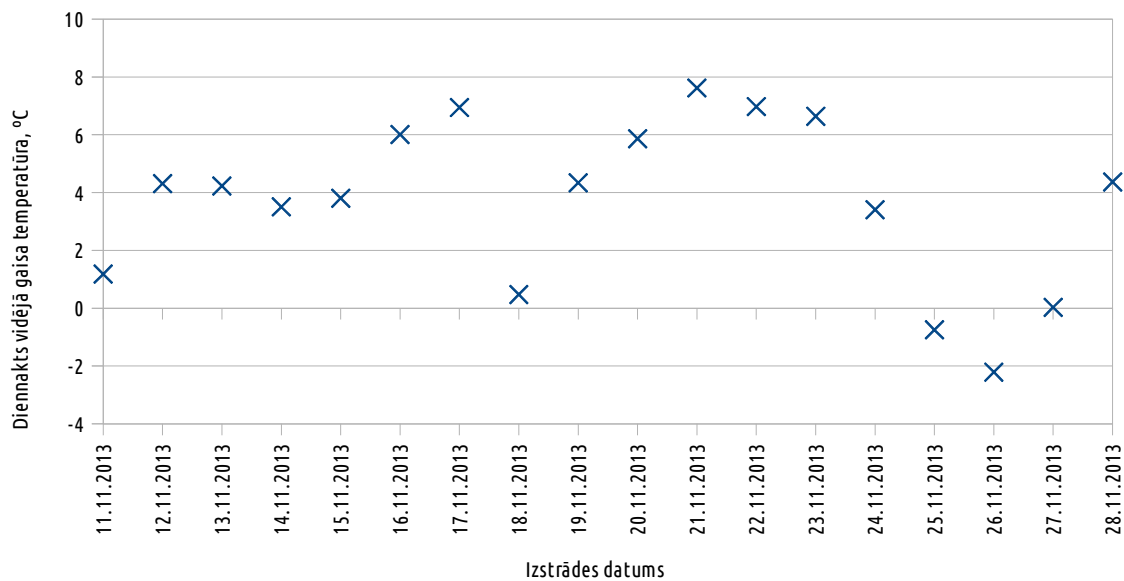
Cirsmas kods	Platība, ha	Valdošā suga	Koku skaits, gab., ha <sup>-1</sup>	Vidējais caurmērs, cm	Vidējais augstums, m	Šķērslaukums, m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	Stumbra krāja, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Vidējais koks, m <sup>3</sup>
502-426-10	3,2	B	2311	11,1	14,2	22,3	185,3	0,080
502-427-11	0,8	Ba	1132	13,6	15,3	16,4	132,0	0,117

**Tab. 3: Audžu taksācijas rādītāji pēc kopšanas**

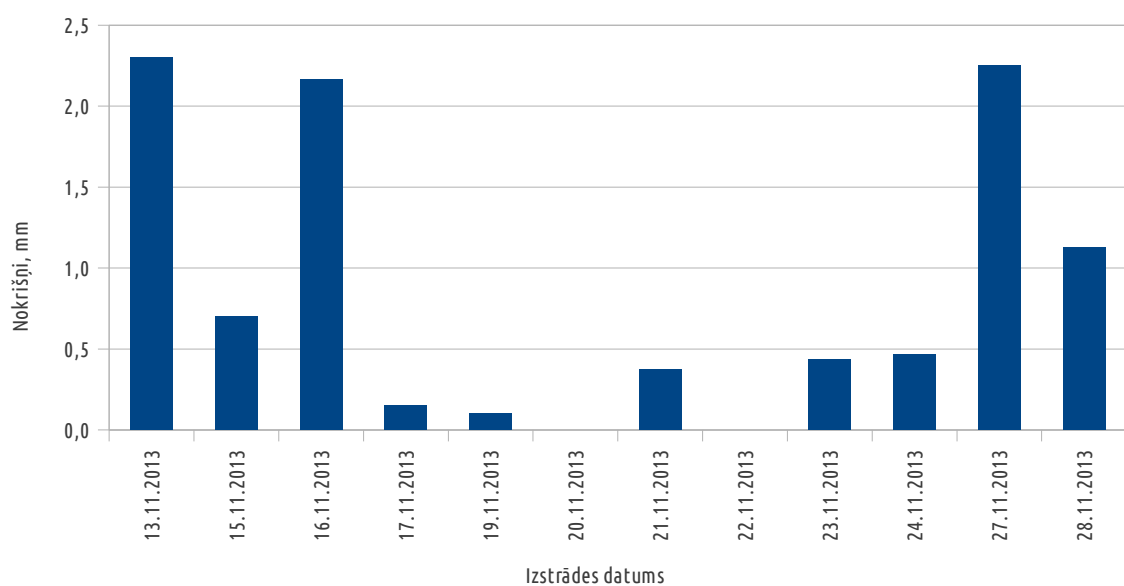
Audzes kods	Samazinošies rādītāji					Pieaugošie rādītāji			Nozāģētās biomasas raksturojums, vidēji uz 1 ha						Nozāģētās biomasas raksturojums, kopā				
	koku skaits	G	M	virszemes biomasas	stumbra biomasas	D	H	vidējā koka tilpums	N	vidējā koka tilpums	G	M	virszemes biomasas	stumbra biomasas	N	G	M	virszemes biomasas	stumbra biomasas
502-426-10	35%	20%	17%	14%	18%	11%	1%	28%	1256	0,030	5,7	37,4	18,5	19,1	4 018	18	120	59	61
502-427-11	70%	53%	53%	44%	53%	26%	2%	58%	2686	0,056	18,2	149,2	72,5	70,6	2 149	15	119	58	57

## Laika apstākļi izmēģinājumu laikā

Krājas kopšana audzēs veikta laikā no 11.11. līdz 28.11.2013., kad diennakts vidējā gaisa temperatūra bija 3,7 °C (Att. 2). Vidējais nokrišņu daudzums izstrādes laikā bija 0,8 mm (Att. 3).

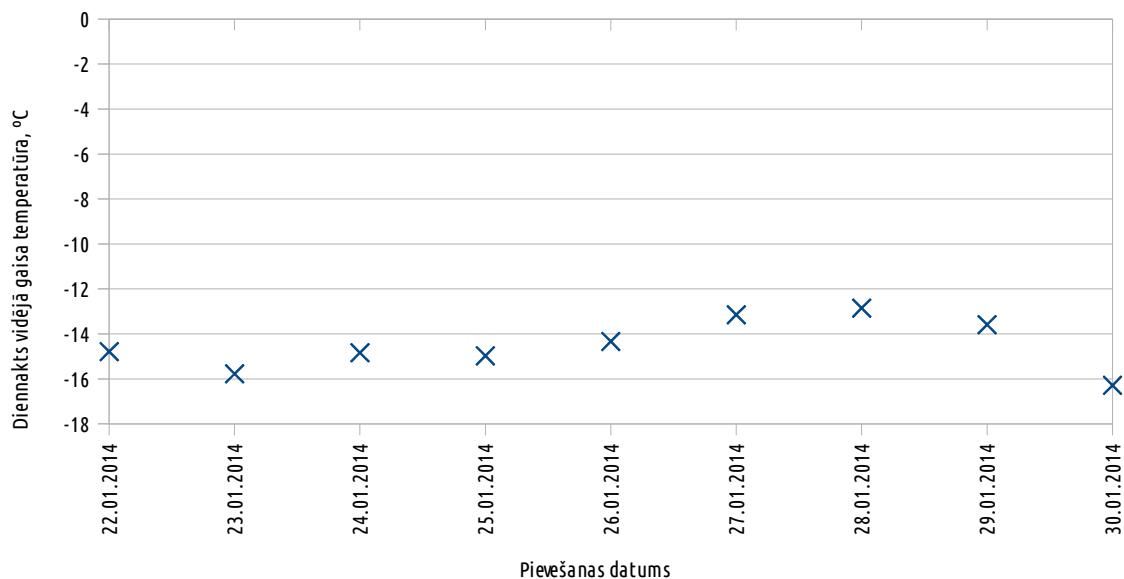


Att. 2: Diennakts vidējā gaisa temperatūra izstrādes darbu laikā.



Att. 3: Nokrišņi izstrādes darbu laikā.

Sagatavoto apaļo kokmateriālu pievešana notika laikā no 22.01. līdz 30.01.2014. Diennakts vidējā gaisa temperatūra pievešanas laikā bija salīdzinoši zema, vien  $-14,5^{\circ}\text{C}$  (Att. 5), nokrišņi pievešanas laikā novēroti netika.



Att. 4: Diennakts vidējā gaisa temperatūra pieņemšanas darbu laikā.

## Pētījumā izmantotā tehnika

### Mežizstrādes tehnika

John Deere 1070 E harvesters ar paketējošo griezējgalvu H754 (Att. 5). Hidraulikas darba spiediens 24/28 MPa, strēles izlīce 10 m, dzinēja jauda 182 zirgspēki. Garums – 6,82 m, platums 2,96 m, pašmasa 15,5 tonnas.



Att. 5: John Deere 1070 E ar paketējošo griezējgalvu H754.

### Pievešanas tehnika

Ar John Deere 1070 E harvesteru izstrādāto apaļo kokmateriālu pievešanu veica John Deere 810 E pievedējtraktors (Att. 6).



Att. 6: Pievedējtraktors John Deere 810 E

### Ceļu transports

Pašizmaksas modelī izmantoti pieņēmumi no pārskata par apaļo kokmateriālu un šķeldu piegādes ražīgumu un izmaksām (Kalēja *et al.*, 2014). Aprēķins veikts 2 scenārijiem – patērētājam piegādā šķeldas, kas sagatavotas augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju, un patērētājam piegādā daļēji atzarotu sīkkoksni.

Šķeldu un apaļo kokmateriālu piegādes attālums vienā virzienā pieņemts 50 km.

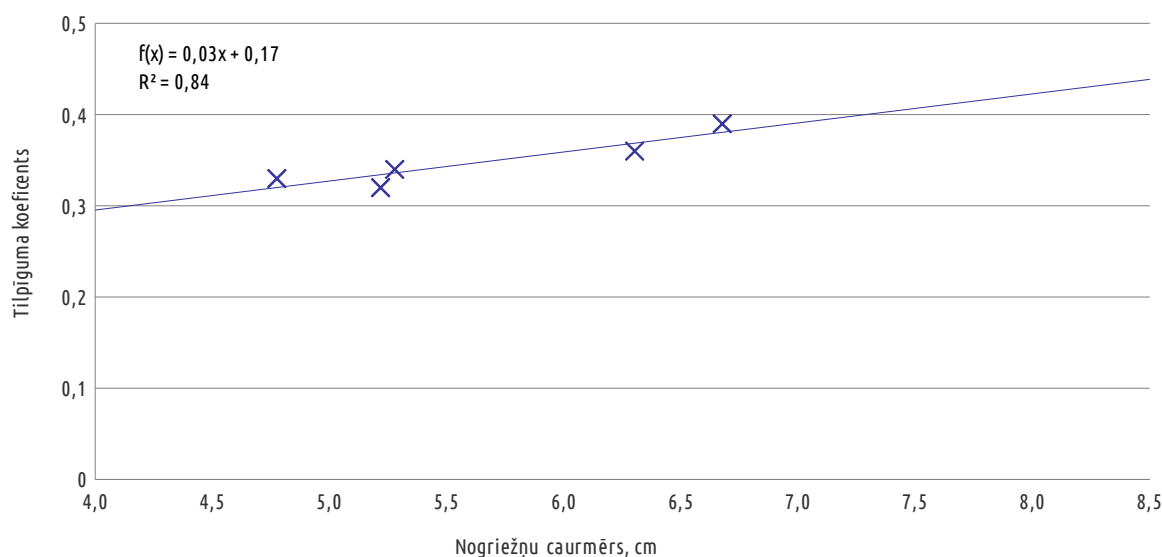
### Kokvedēji

Pētījumos par daļēji atzarotās sīkkoksnes un šķeldu transportēšanu konstatēts, ka apaļo kokmateriālu caurmērs būtiski ietekmē daļēji atzarotās sīkkoksnes kravu tilpīguma koeficientu. Pieaugot sagatavotās sīkkoksnes caurmēram, palielinās kravas tilpīguma koeficients. Lapkoku sīkkoksnes kravu tilpīguma koeficients, neatkarīgi no kokmateriālu caurmēra, ir būtiski mazāks nekā skujkoku sīkkoksnes kravām. Pētījumos secināts, ka pārvadājot daļēji atzarotu lapkoku sīkkoksni, neskatoties uz lielāku koksnes blīvumu un neatkarīgi no vidējā koka dimensijām, kokvedēja pilnīga noslogošana (piekraušana, lai pilna masa sasniegtu 52 tonnas) nav iespējama.

Sīkkoksnes 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 (Kalēja *et al.*, 2014).

Salīdzinot pētījumu ietvaros piegādāto kontrolpaku datus, ir vērojama lineāra sakarība starp

nogriežņa vidējo caurmēru un tilpīguma koeficientu arī lapkoku audzēs – palielinoties nogriežņa vidējam caurmēram palielinās tilpīguma koeficients (Att. 7). Šo sakarību raksturo lineārs vienādojums ar determinācijas koeficientu ( $R^2 = 0,7385$ ). Kokmateriālu piegādes pašizmaksas jutīguma analīzē izmantots Att. 7 dotais vienādojums.



**Att. 7: Vidējā caurmēra un lapkoku kravas tilpīguma koeficienta sakarība.**

Kokvedēja iekraušanā efektīvā darba laika īpatsvars pieņemts 100 %, izkraušanā – 98 %, atbilstoši labākajiem rādītājiem skujkoku audzēs, jo lielais neefektīvā darba laika īpatsvars lapkoku audzēs var būt neobjektīvs rādītājs, kas saistīts ar šoferu neapmierinātību par kokmateriālu kvalitāti un ilgajām diskusijām par tā transportēšanu. Vidējais efektīvais darba laiks 1 kravas iekraušanai un izkraušanai arī pieņemts skujkoku audzēs iegūtajiem rezultātiem, attiecīgi, 36 min. un 19 min., jo lapkoku audzēs nenotika detalizēta darba laika uzskaitē, bet tikai kopējā darba laika hronometrāža.

## Šķeldu vedēji

Pētījumos konstatēts, ka sīkkoksnes šķeldu transportēšanai izdevīgāk izmantot šķeldu vedēju ar puspiekabi vai divus 55 m<sup>3</sup> 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.

Pašizmaksas un jutīguma analīzes aprēķinos pieņemts, ka sīkkoksne ir nožāvēta augšgala krautuvē un auto masas ierobežojumi nekavē pārvadāt pilnas kravas (110 m<sup>3</sup>). Pārrēķinu koeficienti, kas izmantoti šķeldu kravu raksturošanai, doti Tab. 4.

**Tab. 4: Koeficienti šķeldošanas ražības pārrēķiniem, raksturojot vienu kravu**

Variants	Kravas lielums				Pārrēķinu koeficienti šķeldu apjoma noteikšanai, ber. m <sup>3</sup>		
	tonnas sausas	dabiski mitras tonnas	m <sup>3</sup>	ber. m <sup>3</sup>	no tonnām sausas	no kravas tonnām	no m <sup>3</sup>
Daļēji atzarotu sīkkoku šķeldošana	19	31	41	110	5,79	3,55	2,68

## Šķeldotāji

Šķeldošanai izmantojot tehnoloģiskās malkas sortimentu, vidēji efektīvajā stundā iespējams sagatavot 0,9 kravas jeb 10 sausnas tonnas, kas atbilst 93,8 ber m<sup>3</sup> dabiski mitra materiāla. Divu 55 m<sup>3</sup> lielu konteineru piešķeldošanai patērē 70 min. darba laika, tajā skaitā mašīnu nomaiņa (Kalēja *et al.*, 2014).

## Darba laika uzskaitē

### Aprīkojums

Pētījuma ietvaros veikta izstrādes. Darba laika uzskaitē veikta ar specializētu triecienu un mitruma izturīgu laukdatoru Allegro CX (Att. 8), kas aprīkots ar darba laika hronometrāžas programmu SDI.



Att. 8: Hronometrāžā izmantotais laukdators Allegro CX.

Darba laika uzskaitē nav atsevišķi uzskaitīts degvielas patēriņš, pieņemot ražotāja dotos vidējos rādītājus. Degvielas patēriņa uzskaites rezultātus (uzpildīto tilpumu) būtiski ietekmē gaisa temperatūra un degvielas temperatūra. Arī darba apstākļi, kas netiek fiksēti darba laika uzskaites laikā, var ietekmēt degvielas patēriņu, radot nepareizu priekšstatu par degvielas patēriņu. Dīzeļdegvielas blīvums istabas temperatūrā (20 °C) 0,83 kg L<sup>-1</sup> (*Diesel fuel*, 2013), bet -25 °C temperatūrā dīzeļdegvielas blīvums palielinās par 20 % (Razaghi Meyer International), tas nozīmē, ka kļūda, vērtējot tikai patērētās degvielas tilpumu, var būt līdz 20 %, pie kam šī kļūda nav prognozējama, jo degvielas temperatūra traktora bākā un tvertnē, no kuras degvielu ņem, var atšķirties. Ņemot vērā problēmas ar degvielas patēriņa uzskaiti, it īpaši, ja ir jāsalīdzina vasarā un ziemā, kā arī dažādās valstīs iegūti rezultāti, meža darba operāciju pētnieki neiesaka izmantot degvielas tilpuma mērījuma rezultātus izmaksu analizē, izņemot speciālus gadījumus, piemēram, degvielas patēriņa salīdzinājums atsevišķām operācijām vienā darba ciklā, ja ir pieejami precīzi degvielas plūsmas mērījumu rezultāti<sup>1</sup>.

Visām tehnikas vienībām darba laika iespēju robežās pielāgota motorstundu uzskaitē, t.i. pēc dzinēja noslāpēšanas programmu aptur un atsāk darba laika uzskaiti, kad dzinējs tiek atkal iedarbināts.

<sup>1</sup> Personiska komunikācija – Zviedrijas mežzinātnes institūta Skogforsk pētnieks Lars Eliasson un Stellenbosch universitātes (Dienvidāfrika) Meža un koksnes departamenta lektors Pierre Ackerman.

## Kopšana

Krājas kopšanā izmantojot John Deere 1070E harvesteru, izstrādes darba laika uzskaitē veikta 2 maiņas, katras maiņas ilgums 8 stundas, abas maiņas iekrita gan diennakts tumšajā gan gaišajā laikā.

Darba laika patēriņš noteikts katram darba ciklam atsevišķi, fiksējot satverto koku vidējo caurmēru (zāģējuma augstumā atbilstoši harvestera datora rādījumam) un skaitu. Darba laika uzskaites elementi parādīti Tab. 5. Izmēģinājuma ietvaros sagatavoti 4 apaļo kokmateriālu veidi (Tab. 6). Visi biokurināmā prasībām atbilstošie apaļie kokmateriāli krauti vienā kaudzē gan izstrādes, gan pievešanas laikā. Zāģbaļķi, papīrmalka un malka cirmsā un augšgala krautuvē nokrauta atsevišķi.

Apaļie kokmateriāli krauti tehnoloģiskā koridorā abās malās, mežizstrādes atliekas daļēji atstātas izklaidus, daļēji ieklātas ceļos.

**Tab. 5: Izstrādes darba laika uzskaites elementi**

Darba laika kategorija	Saīsinājums	Skaidrojums
Informatīvie lauki	obs	darba laika uzskaites cikla numurs
	dd	satverto koku vidējais caurmērs $d_0$ , mm ( $d_{1,3}$ bracke c 16.b)
	skaits	satverto koku skaits, gab.
	operators	harvestera operatora vārds
	apalkoki	standarta apaļkoksnēs sortimentu nogriežņu skaits
	malka	sīkkoku un (ja vākts kopā) malkas sortimentu nogriežņu skaits
	piezīmes	dažādas piezīmes, tajā skaitā par pārtraukumiem, pārbraucieniem, koridora maiņu un taml.
Produktīvais darba laiks	sniedz	sniegšanās pēc koka
	satver	koka satveršanas laiks
	zage	koka nozāģēšana
	akumule	pakēto mehānisma pielietošana
	pievelk	koku pievilšana/ pārceļšana līdz atzarošanas vietai
	atzaro	atzarošanai un sagarumošanai patērētais laiks
	zari	zaru novietošana zaru kaudzēs
	pārbraucieni	harvestera pozīciju maiņa
	iebrauc	patērētais laiks iebrācot
	izbrauc	patērētais laiks izbrācot
	citas	citas nestandarta operācijas, t.sk. pameža zāģēšana un mašīnas apkope
Neproduktīvais darba laiks	stop	ar darbu nesaistītas darbības
	remon	remonts

**Tab. 6: Izmēģinājumos sagatavotās sortimentu grupas**

Nr.	Apaļo kokmateriālu veids	Apaļo kokmateriālu raksturojums
1.	BAĻĶIS (10 X 14; 12x18 un 14 X 18)	Lapkoks, skujkoks, tievgalis sākot no 105 mm caurmērā; skujkoks, tievgalis sākot no 140 mm caurmērā, dažāda garuma
2.	TM	Pārējie sortimenti, tajā skaitā daļēji atzaroti sīkkoki un koku galotnes, garums 2-4 m
3.	PM LK	Lapkoku papīrmalka, tievgaļa caurmērs > 60 mm, resgaļa caurmērs < 600 mm, garums 3 m
4.	Malka	Malka

## Pievešana

Apaļo kokmateriālu pievešanas darba laika uzskaitē pievedējtraktoram John Deere 810E veikta 3 maiņas, vienas maiņas ilgums- 8 stundas. Pievešanas darbus veica 2 pieredzējuši operatori, pamīšus katrs strādājot 8 stundas jeb vienu maiņu.

Pievešanas procesā pievedējtraktoram uzskaitīts darba laika patēriņš un pievestās kravas. Darba laika patēriņa uzskaitē veikta katrai kravai atsevišķi, tajā skaitā noteikts darba ciklu skaits kravas izveidošanai. Darba laika uzskaites elementi un cita informācija, kas fiksēta hronometrāžas laikā, parādīta Tab. 7.

**Tab. 7: Pievešanas darba laika uzskaites elementi**

Darba laika kategorija	Saīsinājums	Skaidrojums
Informatīvie lauki	skielade	iekraušanas ciklu skaits
	skizlade	izkraušanas ciklu skaits
	operators	pievedējtraktora operatora vārds
	sortiments	pievestais sortiments
	piezīmes	dažādas piezīmes, tajā skaitā par pārtraukumiem, pārbraucieniem, koridora maiņu un taml.
Produktīvais darba laiks	iebrauc	iebraukšanas cirsma laiks
	iekrauj	iekraušanas cikla laiks
	parbr	pārvietošanas pa cirsma uzkrājoties
	ara	izbraukšana uz augšgala krautuvi
	izlade	izkraušanās laiks
	brauc	pārbraucieni augšgala krautuvē starp sortimentu kaudzēm
	iekļaj	ceļa iekļāšana
	cits	citas operācijas, t.sk. mašīnas apkope
Neproduktīvais darba laiks	remonts	tehnikas remonts
	sver	pievedējtraktora svēršana
	stop	ārpus darba laiks

## Pievestā materiāla uzskaitē

Pievedējtraktora John Deere 810 E pievestās apaļo kokmateriālu kravas svēra un svēršanai patērēto laiku fiksēja darba laika uzskaitē.

## Pievedējtraktora kravu svēršana

Pievedējtraktora svēršanai izmantoja firmas CAS ražojuma svarus RW-15P (Att. 9). 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 pievedējtraktoru svēršanu, uzstāda uz zemē ierakstām koka platformām, kas izlīdzina slodzi un pasargā svaru mehānismu no netīrumiem.



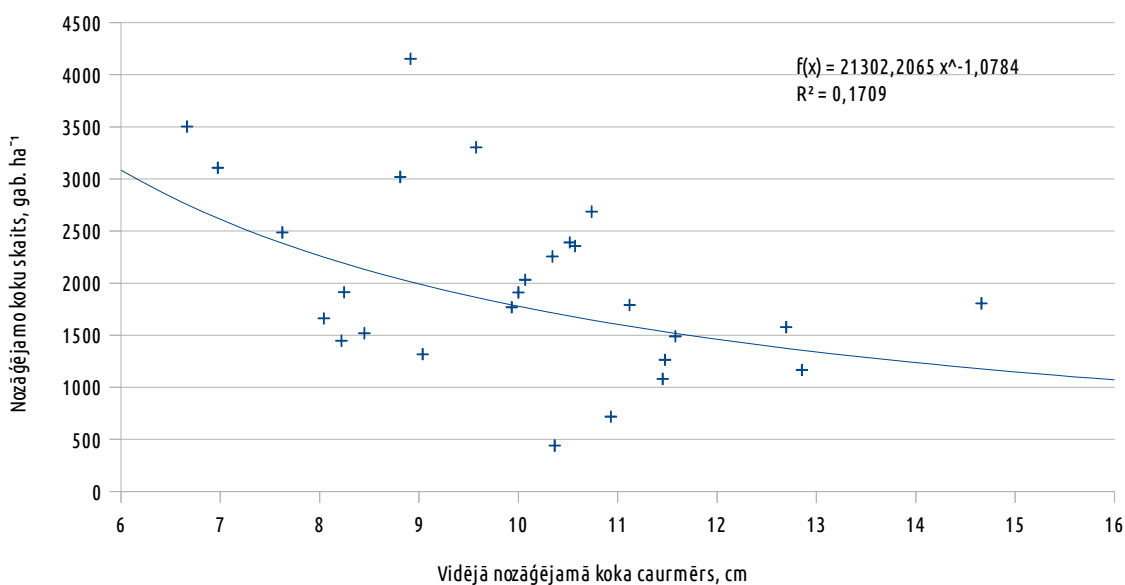


**Att. 9: Piededjtraktora svēršanai izmantotie svāri CAS RW-15P, kopskats un darbam sagatavotas platformas.**

Darba laikā tiek nosvērts atsevišķi katrs ritenis un piededjtraktora masu veido visu riteņu svērumu summa. Svēršanas laikā piededjtraktors apstājās uz svaru platformām. Vispirms tika svērts piekrauts piededjtraktors, tad tukšs. Piezīmēs pierakstīja svēršanas laiku, kravas numuru un kravas stāvokli. Svēršanas laiks ir iekļauts darba laika uzskaitē.

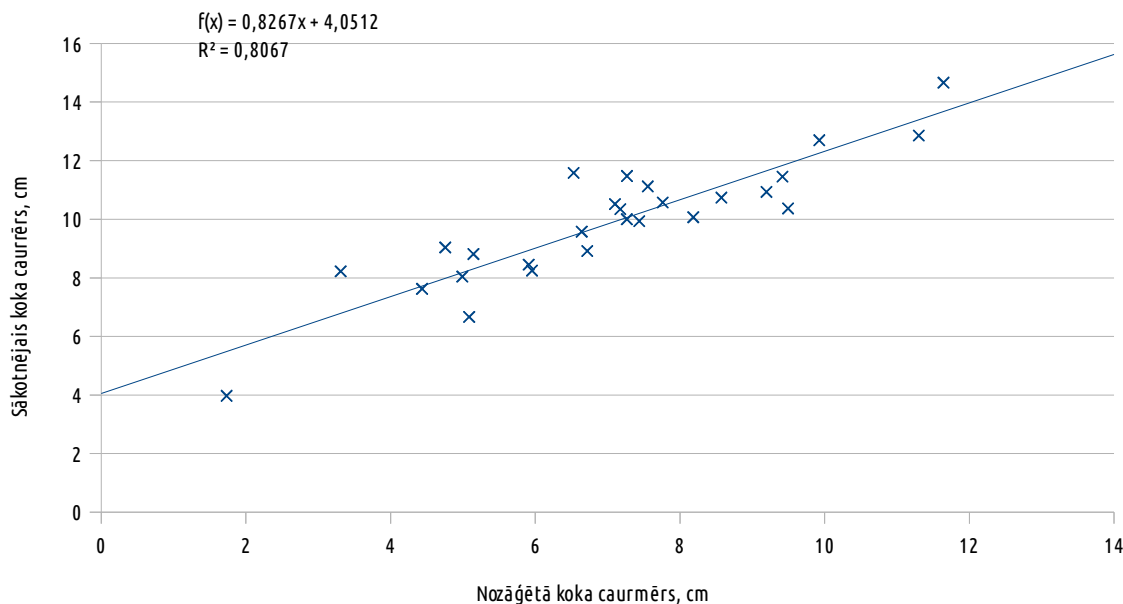
### Aprēķini pēc biomasas vienādojumiem

Nozāgējamo koku skaitu sadalījumā pa caurmēra pakāpēm raksturo pakāpes vienādojums, kas dots Att. 10.



**Att. 10: Nozāgējamo koku skaits.**

Nozāgējamo koku caurmēra aprēķināšanai no sākotnējā koku caurmēra izmanto Att. 11 doto lineārās regresijas vienādojumu.



Att. 11: Nozāgējamo koku caurmērs.

Mežaudzes krājas aprēķināšanai izmantota profesora I.Liepas izstrādāto aprēķina modeli, kur krāja aprēķināta katram koka stumbram individuāli (Liepa, 1996). Aprēķinos izmantots koka augstums un krūšaugstuma caurmērs.

Lai metodi varētu pielietot, nepieciešams zināt koka augstumu (H) un krūšaugstuma caurmēru ( $D_{1.3}$ ). Aprēķinos izmantotā formula:

$$V = \Psi * L^{\alpha} * D^{\beta * \lg(H) + \varphi}$$

Koku sugai atbilstoši pārrēķina koeficienti doti Tab. 8

Tab. 8: Pārrēķina koeficienti mežaudzes krājas aprēķināšanai

Koku suga	$\Psi$	$\alpha$	$\beta$	$\varphi$
Priede	$1,6541 \cdot 10^{-4}$	0,56582	0,25924	1,59689
Egle	$2,3106 \cdot 10^{-4}$	0,78193	0,34175	1,18811
Bērzs	$0,9090 \cdot 10^{-4}$	0,71677	0,16692	1,75701
Apse, blīgzna	$0,5020 \cdot 10^{-4}$	0,92625	0,02221	1,95538
Melnalksnis	$0,7950 \cdot 10^{-4}$	0,77095	0,13505	1,80715
Baltalksnis	$0,7450 \cdot 10^{-4}$	0,81295	0,06935	1,85346
Osis, goba, vīksna, kļava	$0,8530 \cdot 10^{-4}$	0,73077	0,0682	1,91124

Audzes koku virszemes biomasas aprēķināšanai izmantots biomasas aprēķina vienādojums:

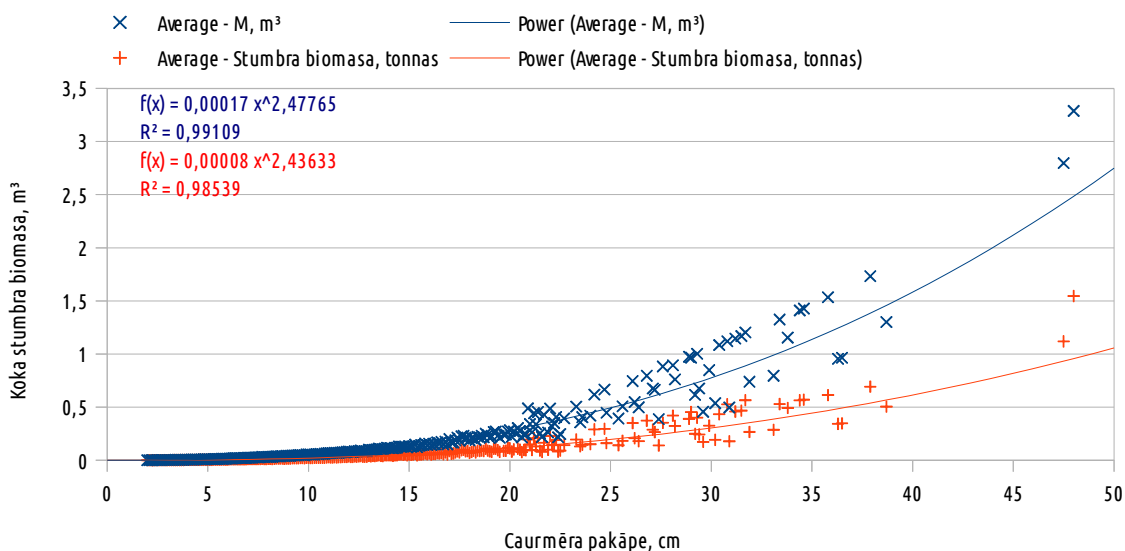
$$\text{Virszemes biomasas (kg)} = x * D^y, \text{ kur} \\ D - \text{caurmērs 1,3 m augstumā (cm)}.$$

X un Y pārrēķina koeficienti doti Tab. 9.

Tab. 9: Pārrēķina koeficienti koku virszemes biomasas aprēķināšanai

Koku suga	x	y
Egle	0,0002	2,3519
Priede	0,00007	2,5639
Apse	0,00006	2,6631
Bērzs	0,00006	2,724

Nozāgētajiem kokiem nav noteikta suga, tāpēc izstrādātā krāja un biomasas aprēķināta, izmantojot regresijas vienādojumus, kas iegūti, salīdzinot visu pētāmās audzēs uzņēmīto koku caurmēra, krājas un stumbra biomasas sakarības. Att. 12 parādīti pakāpes vienādojumi, kas izmantoti nozāgēto koku krājas un stumbra biomasas aprēķināšanai pēc darba laika uzskaites datiem.



Att. 12: Koku stumbra biomasas aprēķināšanas vienādojumi.

## Bojājumu un atstāto sortimentu uzskaitē

Bojājumi uzskatīti tikai parauglaukumos esošajiem kokiem, kuru krūšaugstuma caurmērs lielāks par 4 cm. Tika nodalīti 4 veidu bojājumi: stumbra bojājumi līdz 0,5 m virs zemes, no 0,5 m uz augšu, iezāgējums un sakņu bojājums. Par bojājumu tika uzskatīts mizas nobrāzums gan stumbram, gan saknei (sakne atrodas ne vairāk kā 70 cm attālumā no koka un saknes caurmērs vismaz 2 cm), ja kokam atsegtās koksnes laukums bija lielāks par 15 cm<sup>2</sup>, iezāgējums bija vismaz 10 % no bojājuma vietā esošā caurmēra. Bojājumu uzskaitē tika veikta atsevišķi pēc audzes kopšanas un kokmateriālu pievešanas, pēc audzes kopšanas bojājumus atzīmējot.

Atstātie sortimenti tika uzskaitīti atsevišķi katrai slejai. Par atstātajiem sortimentiem tika uzskatīti stumbra nogriežņi, kuriem abi gali nozāgēti un to garumi vismaz 3 m, un kuri palikuši audzē pēc kokmateriālu pievešanas. Atstātajiem nogriežņiem tika noteikta suga, sortimenta veids un vidus caurmērs. Par atstātajiem sortimentiem netika uzskatīti nogriežņi, kas ieklāti pievešanas ceļos.

## Izmaksas ietekmējošo faktoru analīze

Pašizmaksas aprēķins veikts saskaņā ar Tab. 10 doto pašizmaksas aprēķina gaitu. Aprēķinos izmantoti dati, kas nav iegūti konkrēto izmēģināju ietvaros, bet citos līdzīgos izmēģinājums (dati par kokvedējiem, šķeldotājiem un šķeldu vedējiem).

Tab. 10: Pašizmaksas aprēķinu gaita

Rādītājs	Saīsinājums	Harvesters	Pievedējtraktors	Šķeldotājs	Šķeldu vedējs
Investīcijas					
Sākotnējās investīcijas, EUR			A		
Nolietojuma periods, gadi			B		
Aizdevuma procentu likme, %			C		
Atlikusī 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		
Soc. nodoklis, %			H		
Darba dienas gadā			I		
Maiņas ilgums, stundas			J		
Virsstundas maiņā, stundas			K		
Virsstundu atalgojums, EUR stundā	L			$X = S$	
Maiņu skaits dienā			M		
Lietderības koeficients			N		
Tehnikas pārvietošana, reizes gadā			O		
Pārbrauciena ilgums, stundas			P		
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 gadā	W			$AH = (AF + AG) * T$	
Operacionālās izmaksas					

Rādītājs	Saisinājums	Harvesters	Pievedējtraktors	Šķeldotājs	Šķeldu vedējs
Degviela, EUR L <sup>-1</sup>	X	AJ = B			
Smērvielas, EUR 400 g <sup>-1</sup>		Y			
Degvielas patēriņš, L ber. m <sup>3</sup>		Z			
Degvielas patēriņš motorstundā, L		AA			
Degvielas patēriņš, L 100 km <sup>-1</sup>		AB			
Smērvielas, g motorstundā		AC			
Remonti, EUR motorstundā		AD			
Šķeldotāja naži, EUR ber. m <sup>3</sup>		AE			
Pārvietošanās izmaksas, EUR pārbrauciens		AF			
Apdrošināšana, EUR gadā		AG			
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 <sup>3</sup> (tonna <sup>2</sup> )	AP	$BB = \frac{AY * 1000}{BM}$			
Darba ražīgums					
Iekraušana, min kravai		AQ			
Izkraušana, min kravai		AR			
Gaidīšanas laiks min kravai		AS			
Vidējais ātrums <sup>3</sup> , m min <sup>-1</sup> ; km h <sup>-1</sup>		AT			
Attālums vienā virzienā <sup>4</sup> , 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)			

<sup>2</sup> Pievedējtraktoram izmaksas izteiktas EUR tonnā.

<sup>3</sup> Kravas mašīnai (šķeldu un celmu vedējs) – km h<sup>-1</sup>; pievedējtraktoram – m min<sup>-1</sup>.

<sup>4</sup> 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 <sup>5</sup> , ber. m <sup>3</sup> (sausnas tonnas)	AY			BK = H	
Darba ražīgums, ber. m <sup>3</sup> (tonnas <sup>6</sup> ) motorstundā	AZ	-	$BL = \frac{BK}{BJ}$	96,51	$BL = \frac{BK}{BJ}$
Ražošana, ber. m <sup>3</sup> gadā	BA	$BM = BL * AE * J$			
Krāja, ber. m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	BB				
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 <sup>3</sup>	BF	$BR = \frac{BQ}{BM}$			
Oglekļa emisijas, kg ber. m <sup>3</sup>	BG	$BS = BR * K * L$			
Oglekļa saturs koksnē, kg ber. m <sup>3</sup>	BH	$BT = \frac{1}{J}$			
Oglekļa bilance	BI	$BU = \frac{BT}{BS}$			

<sup>5</sup> Sausnas tonnās izsaka pievedējtraktora kravu.

<sup>6</sup> Sausnas tonnas pievedējtraktora darba ražīguma apzīmēšanai.

# DARBA REZULTĀTI

## Darba laika uzskaites kopsavilkums

Izmēģinājumā veikta John Deere 1070E harvestera un John Deere 810 E pievedējtraktoru darba laika uzskaitē. Izstrādes darba laika uzskaitē veikta katram darba ciklam atsevišķi. Pievešanas darba laika uzskaitē veikta, summējot vienai kravai patērēto darba laiku sadalījumā pa darba laika elementiem. Pievestās kravas svērtas. Pētījuma laikā salīdzināta krājas kopšanā pielietoto darba metožu ietekme uz darba ražīgumu.

## Izstrādes darba ražīgums

Dati ievākti 502 kvartāla apgabalā Skrīveru apkārtnē no divām lapkoku audzēm, kurās krājas kopšana veikta izmantojot John Deere 1070 E harvesteru ar paketējošo griezējgalvu.

Izstrādes izmēģinājumi ar John Deere 1070 E veikti laikā no 11.11.2013. līdz 28.11.2013.

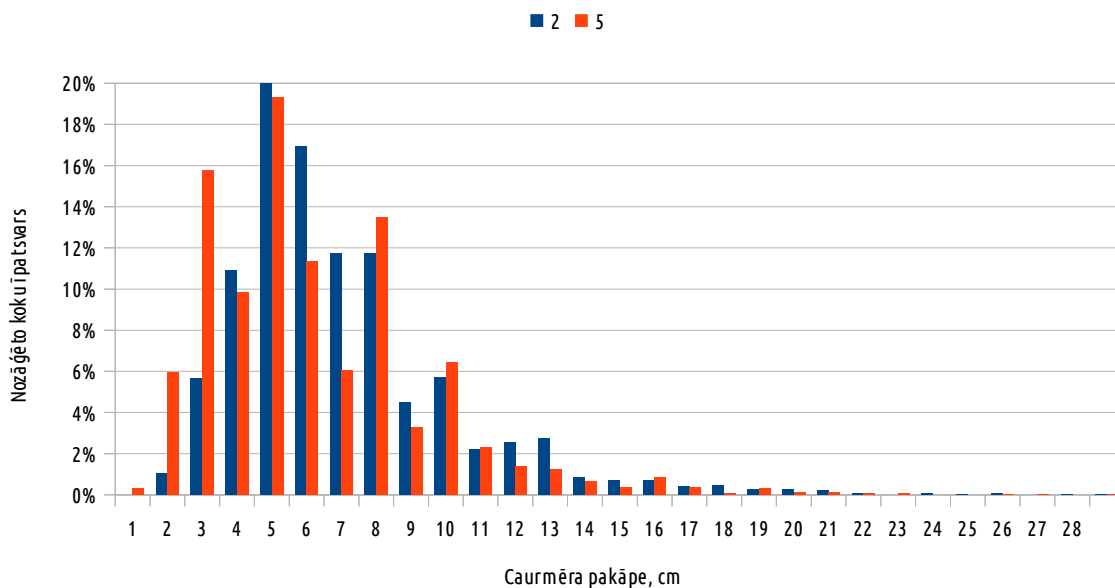
Izstrādē izmantotas divas darba metodes. Pirmā darba metode paredzēja gatavot visas tradicionālās apaļo kokmateriālu grupas kā arī daļēji atzaroto sīkkoksni no pamežā augošajiem kokiem un krūmiem, kuru caurmērs ( $D_{1,3}$ ) pārsniedza 4 cm, paketēšanas funkciju izmantojot daļēji atzarotas sīkkoksnes sagatavošanai. Otrā metode paredzēja no visiem kokiem gatavot daļēji atzarotu sīkkoksni, aktīvi izmantojot paketēšanas funkciju.

Kopējā izmēģinājuma platība John Deere 1070 E harvesteram bija 4,0 ha, vidējā nozāgētā koka stumbra biomasa – 21 kg, stumbra krāja 0,05 m<sup>3</sup>, caurmērs – 79 mm.

Izstrādes darbi veikti 2 maiņās, pamīšus strādājot diviem pieredzējušiem operatoriem. Maiņas ilgums bija 8 stundas. Darba laika uzskaitē veikta visam krājas kopšanai patērētajam darba laikam, kad mašīnas dzinējs bija iedarbināts (motorstundām) un nelieliem remontiem. Darba laika uzskaitē nav iekļauti ilgstoši remontu un dīkstāves.

Kopumā iegūti dati par 80 darba stundām, izmēģinājuma ietvaros nozāgēti 8 329 koki. Nozāgēto koku skaita sadalījums pa caurmēra pakāpēm dots Att. 13.

Strādājot ar John Deere 1070 E harvesteru, iegūtie rezultāti par 2. darba metodes izmantošanu jaunaudzju kopšanā parāda, ka 7 % no nozāgētajiem kokiem vidējais caurmērs ir līdz 3 cm, bet 55 % līdz 6 cm. Kopšanā izmantojot 5. darba metodi, 22 % no nozāgētajiem kokiem veido koki ar vidējo caurmēru līdz 3 cm, savukārt 62 %- koki ar vidējo caurmēru līdz 6 cm.



**Att. 13: Nozāģēto koku īpatsvars sadalījumā pa caurmēra pakāpēm un atkarībā no darba metodes.**  
 Kopējā darba laika uzskaites kopsavilkums cirsmu griezumā dots Tab. 12 un Tab. 18.



**Tab. 11: Darba laika uzskaites kopsavilkums sadalījumā pa cirmām (cmin.)**

Cirsmas kods	Koku D <sub>1,3</sub> , cm	Koku skaits, gab.	Sniegšanās	Satveršana	Nozāģēšana	Pievilkšana	Atzarošana	Zaru novietošana	Citas operācijas	Pārbraucien i pa audzi	Iebraukšan a audzē	Izbraukšana no audzes	Remonts	Pameža zāģēšana	Degvielas uzpilde	Nedarbi	Kopējais darba laiks	Efektīvais laiks	Tiešais darba laiks
502-426-10	7,3	5 987	64 956	11 326	11 705	40 889	94 934	2 932	11 815	16 482	5 830	7 304	33 906	22 184	352	59 240	383 855	290 709	212 619
502-427-11	8,6	2 342	23 907	2 332	3 694	13 961	27 752	1 270	3 051	5 269	787	1 894	1 199	5 953		6 414	97 483	89 870	63 282

**Tab. 12: Darba laika uzskaites kopsavilkums sadalījumā pa darba metodēm (cmin.)**

Cirsmas kods	Koku D <sub>1,3</sub> , cm	Koku skaits, gab.	Sniegšanās	Satveršana	Nozāģēšana	Pievilkšana	Atzarošana	Zaru novietošana	Citas operācijas	Pārbraucien i pa audzi	Iebraukšan a audzē	Izbraukšana no audzes	Remonts	Pameža zāģēšana	Degvielas uzpilde	Nedarbi	Kopējais darba laiks	Efektīvais laiks	Tiešais darba laiks
2.	7,8	6 103	65 679	9 974	11 068	40 680	94 393	2 694	12 025	15 817	3 722	6 732	26 931	24 058		46 406	360 179	286 842	276 388
5.	6,9	2 226	23 184	3 684	4 331	14 170	28 293	1 508	2 841	5 934	2 895	2 466	8 174	4 079	352	19 248	121 159	93 737	88 024

John Deere 1070 E harvestera efektīvā darba laika īpatsvars kopējā darba laikā veido 79 % no kopējā krājas kopšanai patērētā darba laika un uzskatāms par vidējs ražīguma rādītāju. Attiecīgi tiešais darba laiks, kas saistīts ar tiešo darbu apaļo kokmateriālu sagatavošanā, veido vidēji 95 % no efektīvā darba laika, ko varētu uzskatīt par augstu rādītāju (Tab. 13)

**Tab. 13: Darba laiks īpatsvars sadalījumā pa darba metodēm**

Darba metode	Tiešais darba laiks no produktīvā	Efektīvais darba laiks no kopējā
2	80%	96%
5	77%	94%

Vidējie rādītāji par efektīvā darba laika patēriņu 1 koka apstrādei, 1 m<sup>3</sup> koksnes sagatavošanai un 1 ha izstrādei krājas kopšanā ar John Deere 1070 E harvesteru doti Tab. 17, Tab. 15 un Tab. 16.

**Tab. 14: Vidējais efektīvā darba laika patēriņš uz 1 koku (cmin.)**

Darba metode	Koku skaits, gab.	Sniegšanās	Satveršana	Nozāgēšana	Pievilkšana	Atzarošana	Zaru novietošana	Citas operācijas	Pārbraucieni pa audzi	Iebraukšana audzē	Izbraukšana no audzes	Pameža zāgēšana	Degvielas uzpilde	Efektīvais laiks
2.	6103	10,8	1,6	1,8	6,7	15,5	0,4	2,0	2,6	0,6	1,1	3,9	0,0	47
5.	2226	10,4	1,7	1,9	6,4	12,7	0,7	1,3	2,7	1,3	1,1	1,8	0,2	42

**Tab. 15: Vidējais efektīvā darba laika patēriņš uz 1m<sup>3</sup> koksnes (cmin.)**

Darba metode	Izzāgētais apjoms, m <sup>3</sup>	Sniegšanās	Satveršana	Nozāgēšana	Pievilkšana	Atzarošana	Zaru novietošana	Citas operācijas	Pārbraucieni pa audzi	Iebraukšana audzē	Izbraukšana no audzes	Pameža zāgēšana	Degvielas uzpilde	Efektīvais laiks
2.	208	316	48	53	196	454	13	58	76	18	32	116	0	1 379
5.	61	380	60	71	232	464	25	47	97	47	40	67	6	1 537

**Tab. 16: Vidējais efektīvā darba laika patēriņš 1 ha izstrādei (cmin.)**

Darba metode	Platība, ha	Sniegšanās	Satveršana	Nozāgēšana	Pievilkšana	Atzarošana	Zaru novietošana	Citas operācijas	Pārbraucieni pa audzi	Iebraukšana audzē	Izbraukšana no audzes	Pameža zāgēšana	Degvielas uzpilde	Efektīvais laiks
2.	1,8	42 483	6 451	7 159	26 313	61 056	1 743	7 778	10 231	2 408	4 354	15 561	0	30 017
5.	2,2	11 817	1 878	2 207	7 222	14 420	769	1 448	3 024	1 476	1 257	2 079	179	9 810

John Deere 1070 E vidējais efektīvais darba laiks 1 koka izstrādei ir 27 sekundes, 1 ha izstrādei – 1 166 minūtes (19 stundas), 1 m<sup>3</sup> sagatavošanai – 15 min.

Izmēģinājumā iesaistīto operatoru darba ražīguma rādītāju salīdzinājums dots Tab. 17. Statistiski būtiskas atšķirības abu operatoru darbā nav konstatētas. Atšķirības vidējos rādītājos skaidrojamas ar to, ka viens vai otrs operators nozāgēja vairāk kokus ar salīdzinoši mazu vidējo caurmēru, kas samazināja vidējos ražības rādītājus.

**Tab. 17: Darba ražīguma rādītāju salīdzinājums starp operatoriem.**

Operators	Efektīvais darba laiks, cmin.	Biomasa kopā, kg	Apjoms, m <sup>3</sup>	Tiešais darba laiks, cmin.	Tiešais darba laiks 1 kokam, cmin.	Tiešais darba laiks darba ciklam, cmin	Tiešais darba laiks uz 1 m <sup>3</sup> , cmin.	Koka stumbra krāja, m <sup>3</sup>	Vidējā stumbra biomasa, kg	Koku skaits, gab.
1	247664	77423	173	235349	57	68	3469	0,043	19	5279
2	145468	43465	97	141616	58	66	4041	0,039	18	3050

Tā kā John Deere 1070 E operatoru ražīguma rādītāji ir līdzīgi un statistiski būtiskas atšķirības ( $p < 0,05$ ) nav konstatētas, turpmākos aprēķinos izmantoti vidējie rādītāji par operatoru darba ražīgumu.

## Pievešanas ražīgums

### Pievestais materiāls

Kopumā ar John Deere 810 E pievedējtraktoru no izmēģinājuma objektiem 502 - 427 -11 un 502 - 426 - 10, pievestas 50 kravas, vidējā kravas masa- 5,1tonna dabiski mitra materiāla. No abām audzēm pievesta 271 tonna jeb 308 m<sup>3</sup> dabiski mitru kokmateriālu.

### Pievešanas ražīguma rādītāji

Pievedējtraktora darba laiks kopsavilkums cirsmu un darba metožu griezumā dots Tab. 11 un Tab. 12.

**Tab. 18: Pievedējtraktora darba laika kopsavilkums sadalījumā pa cirmām (cmin.)**

Cirsmas kods	Sniedzās iekraujot	Satver iekraujot	Manipulators	Iekrauj	Pābrauc	Sniedzās izkraujot	Satver izkraujot	Izkrauj	Šķiro sortimentus	Brauc uz krautuvi	Ieklāj zarus	Cits	Nedarbi	Remont	Iebrauc cirmā	Izbrauc no cirmsas	Sver	Kopējais darba laiks	Efektīvais darba laiks
502-427-11	2831	1479	755	5495	3044	1130	470	1206	19	1610	84	1556	1948	4054	3211	2576	919	32387	25466
502-426-10	3110	1292	1079	5071	3757	1212	680	1401	0	694	0	1434	6393	0	1027	2775	1066	30991	23532

**Tab. 19: Pievedējtraktora darba laika kopsavilkums sadalījumā pa darba metodēm (cmin.)**

Darba metode	Sniedzās iekraujot	Satver iekraujot	Manipulators	Iekrauj	Pābrauc	Sniedzās izkraujot	Satver izkraujot	Izkrauj	Šķiro sortimentus	Brauc uz krautuvi	Ieklāj zarus	Cits	Nedarbi	Remont	Iebrauc cirmā	Izbrauc no cirmsas	Sver	Kopējais darba laiks	Efektīvais darba laiks
2	4001	1782	1116	6896	4920	1690	885	1887	19	2053	0	1803	6988	0	3043	1909	1531	40523	32004
5	1940	989	718	3670	1881	652	265	720	0	251	84	1187	1353	4054	2308	2329	454	22855	16994

Vidējais efektīvā darba laika patēriņš 1 kravas pievešanai John Deere 810 E pievedējtraktoram dots Tab. 20, 1 tonnas dabiski mitra materiāla pievešanai attiecīgi Tab. 21.

Vidēji 1 kravas pievešana John Deere 810 E pievedējtraktoram aizņem 29 min. efektīvā darba laika, 1 tonnas pievešanai - 5 minūtes efektīvā darba laika.

**Tab. 20: John Deere 810 E pievedējtraktora vidējais darba laika patēriņš uz 1 kravas pievešanai (cmin.)**

Darba metode	Pievestās kravas, gab.	Sniedzās iekraujot	Satver iekraujot	Manipulators	Iekrauj	Pārbrauc	Sniedzās izkraujot	Satver izkraujot	Izkrauj	Šķiro sortimentus	Brauc uz krautuvī	Iekāj zarus	Cits	Iebrauc cīsmā	Izbrauc no cīsmas	Efektīvais darba laiks uz 1 kravu
2	11	364	162	101	627	447	154	79	172	0	189	0	164	174	277	2 909
5	6	323	165	120	612	314	109	47	119	3	38	14	198	388	385	2 833

**Tab. 21: John Deere 810 E pievedējtraktora vidējais darba laika patēriņš uz 1 tonnas dabiski materiāla pievešanai (cmin.)**

Darba metode	Pievestais apjoms, t dabiski mitra materiāla	Sniedzās iekraujot	Satver iekraujot	Manipulators	Iekrauj	Pārbrauc	Sniedzās izkraujot	Satver izkraujot	Izkrauj	Šķiro sortimentus	Brauc uz krautuvī	Iekāj zarus	Cits	Iebrauc cīsmā	Izbrauc no cīsmas	Efektīvais darba laiks uz 1 tonnu dabiski mitra materiāla
2	60,5	66	29	18	114	81	28	14	31	0	34	0	30	32	50	529
5	33	59	30	22	111	57	20	9	22	1	7	3	36	71	70	515

Vidējais darba laika patēriņš 1 m<sup>3</sup> pievešanai sadalījumā pa darba metodēm dots Tab. 22. John Deere 810 E pievedējtraktoram 1 m<sup>3</sup> pievešanai nepieciešamas vidēji 5 minūtes efektīvā darba laika.

**Tab. 22: John Deere 810 E pievedējtraktora vidējais darba laika patēriņš 1 m<sup>3</sup> pievešanai (cmin.)**

Darba metode	Pievestais apjoms, m <sup>3</sup> .	Sniedzās iekraujot	Satver iekraujot	Manipulators	Iekrauj	Pārbrauc	Sniedzās izkraujot	Satver izkraujot	Izkrauj	Šķiro sortimentus	Brauc uz krautuvī	Iekāj zarus	Cits	Iebrauc cīsmā	Izbrauc no cīsmas	Efektīvais darba laiks uz 1 m <sup>3</sup>
2	65	62	27	17	106	76	26	13	29	0	32	0	28	29	47	493
5	35	55	28	20	104	53	18	8	20	1	6	2	34	66	65	480

## Ražīguma aprēķini

### Izstrāde

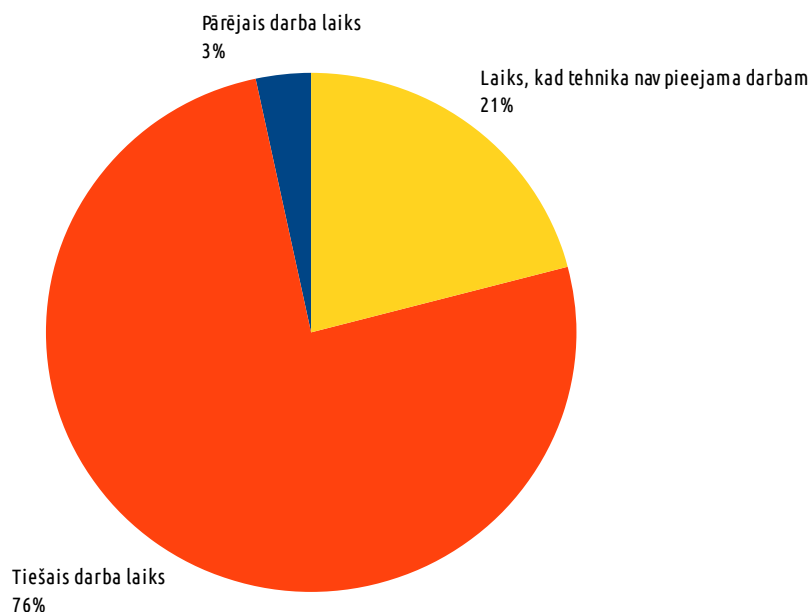
Vēlamais ražīgums ir vismaz 150 koki produktīvajā darba stundā. Līdzīgu pētījumu rezultāti parāda, ka šādi rādītāji ir sasniedzami. Strādājot ar John Deere 1070 E harvesteru krājas kopšanas cirtē, efektīvajā stundā sagatavoja 80 kokus. Harvestera uzrādītie darba ražīguma rādītāji uzskatāmi kā salīdzinoši zemi un ievērojami atpaliek no vēlamajiem ražīguma rādītājiem.

Tiešā darba laika patēriņu 1 koka sagatavošanai, atkarībā no pielietotās darba metodes, raksturo pakāpes vienādojumi (Att. 16), vidējā koka biomasu, atkarībā no caurmēra, raksturo 1. vienādojums (faktiski, allometriskais aprēķinu vienādojums, kas izmantots bērza stumbra biomasas noteikšanai).

$$M = 0,22 * D_{1,3}^{2,18}, \text{ kur} \tag{1}$$

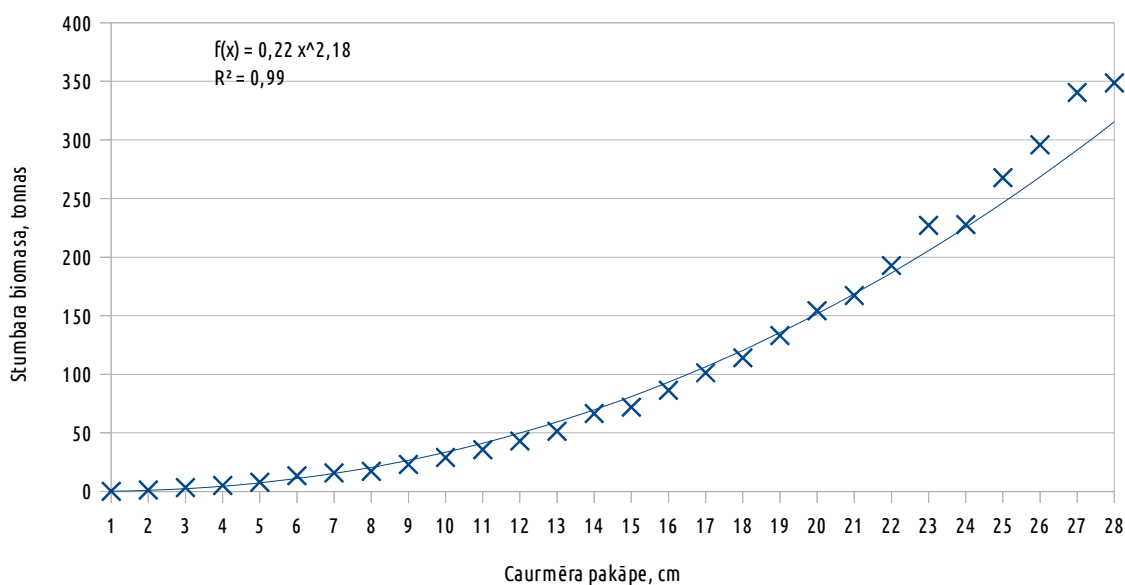
$M$  – stumbra biomasa, kg;  
 $D_{1,3}$  – caurmērs krūšu augstumā, cm.

Izmēģinājumos ar John Deere 1070 E harvesteru tiešais darba laiks biokurināmā sagatavošanai aizņēma lielāko īpatsvaru no kopējā patērētā darba laika (76 %). Kopējā darba laika sadalījums parādīts Att. 14.



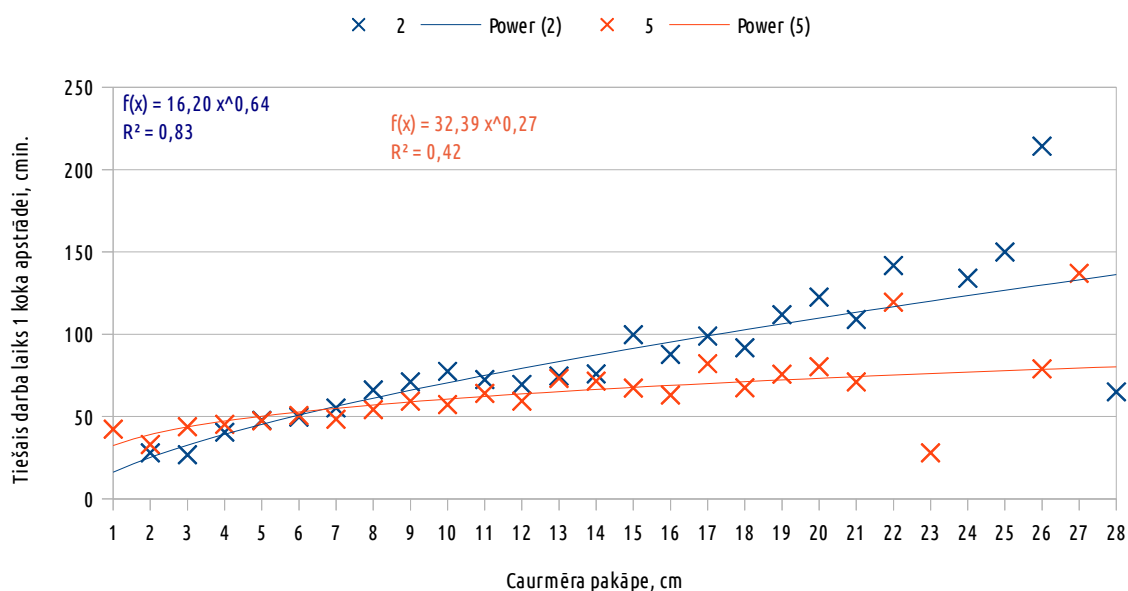
Att. 14: John Deere 1070 E kopējā darba laika sadalījums.

Vidējā nozāgētā koka stumbra biomasa sadalījumā pa caurmēra pakāpēm dota Att. 16.



Att. 15: Vidējā nozāgētā koka stumbra biomasa sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.

Att. 16 redzams, ka, krājas kopšanu veicot ar John Deere 1070 E harvesteru, starp darba ražīguma rādītājiem viena koka apstrādē pastāv statistiski būtisku atšķirību ( $p = 0,03$ ). Koka caurmēram pārsniedzot 6 cm viena koka apstrādei patērētais tiešais darba laiks 2.darba metodei, salīdzinājumā ar 5. darba metodi būtiski pieaug. Nedaudz vairāk tiešā darba laika viena koka apstrādei ar 5. darba metodi, salīdzinājumā ar 2.darba metodi, tiek tērēts apstrādājot kokus, kuru caurmērs ir līdz 6 cm.

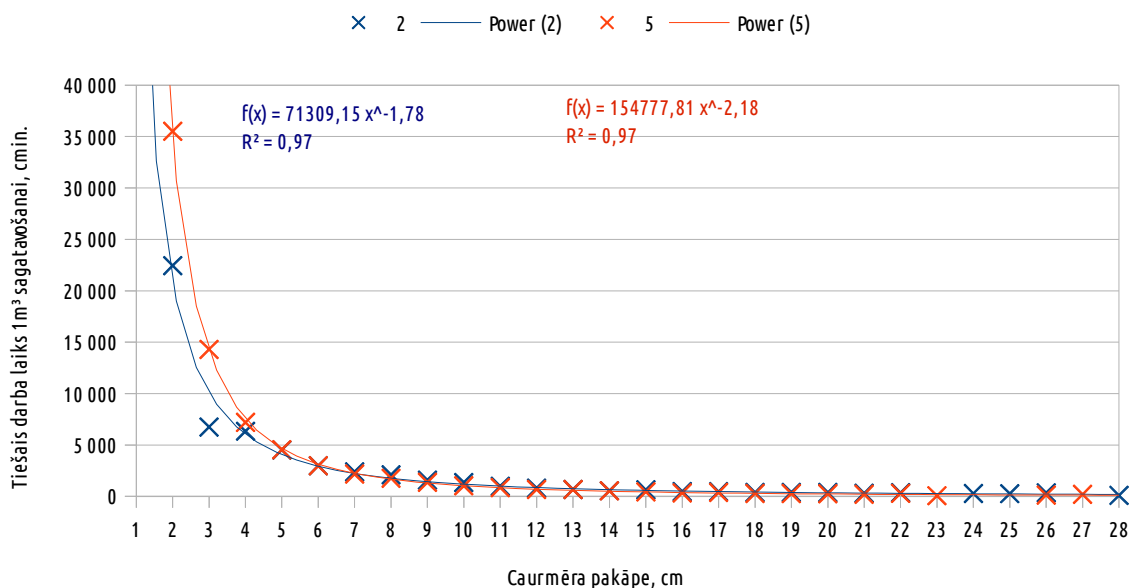


**Att. 16: Tiešā darba laika patēriņš 1 koka apstrādei sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.**

Tiešie darba ražīguma rādītāji, pārrēķinot uz efektīvā darba laika patēriņu uz  $1 \text{ m}^3$ , abām darba metodēm John Deere 1070 E harvesteram doti Att. 17.

Grafikā redzams, ka tiešā darba laika patēriņš  $1 \text{ m}^3$  sagatavošanai abām darba metodēm strauji krītas, ja koka caurmērs ir lielāks par 5 cm. Statistiski būtiskas atšķirības ( $p < 0,05$ ) darba ražīgumā  $1 \text{ m}^3$  koksnes sagatavošanā starp darba metodēm konstatētas netika.





Att. 17: Tiešā darba laika patēriņš 1 m³ sagatavošanai ar sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.

Izmantojot Att. 16 redzamo vienādojumu, izstrādāts algoritms tiešā darba laika aprēķināšanai, atkarībā no vidējā nozāgējamā koka caurmēra (2. vienādojums). Algoritmā izmantotie koeficienti doti Tab. 23.

$$c_1 * D_{1,3}^{c_2}, \text{ kur}$$

$$R = \frac{60}{\frac{a_1 * D_{1,3}^{a_2} * \frac{100}{b_1}}{100_{\text{cmin}}}} * R - \text{darba ra\text{z}\text{i}\text{g}\text{u}\text{m}\text{s}, \text{ tonnas sausas tiešajā darba stundā};$$

$a_1, a_2$  – pakāpes vienādojuma koeficienti ;

$b_1$  – darba ciklu , kas patērēti sortimentu gatavošanai ilguma procentuālais īpatsvars no produktīvā laika ; (2)

$c_1, c_2$  – pakāpes vienādojuma koeficienti ;

$D_{1,3}$  – vidējā nozāgējamā koka caurmērs , cm ;

60 – koeficients pārrēķinam no minūtēm uz stundām ;

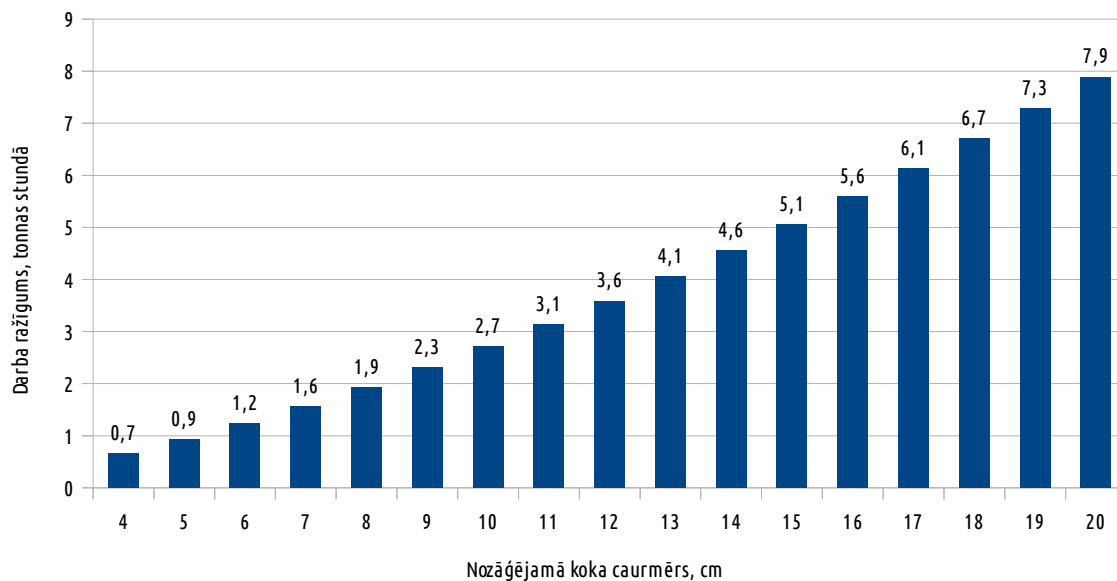
$\frac{100}{65}$  – koeficients pārrēķinam uz kopējo tiešo darba laiku ;

$100_{\text{cmin}}$  – koeficients pārrēķinam no centiminūtēm uz minūtēm.

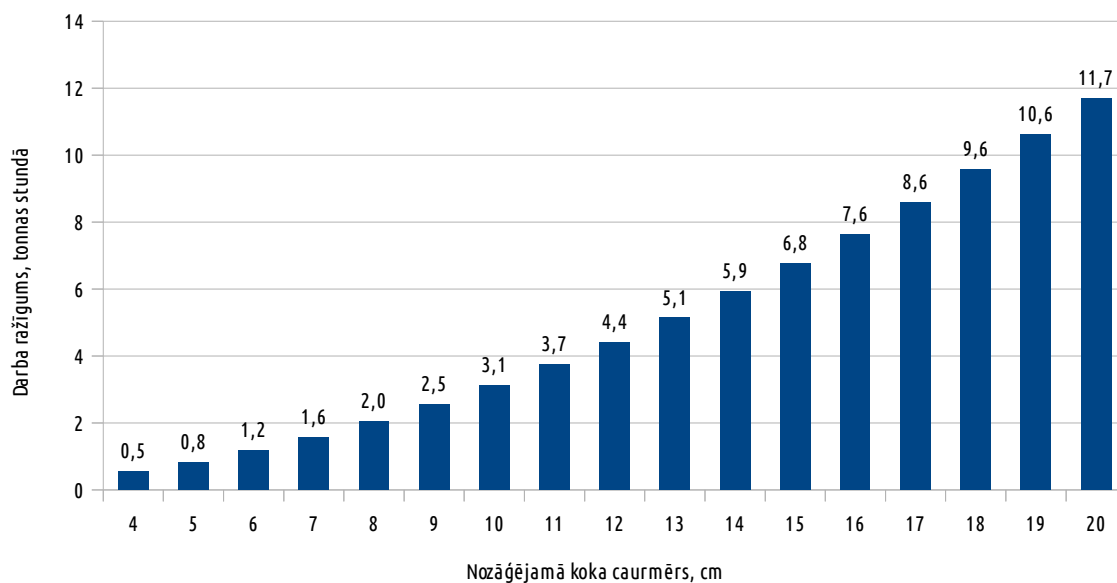
Tab. 23: Aprēķinu vienādojuma koeficienti

Darba metode	$a_1$	$a_2$	$b_1$
2	16,20	0,64	80
5	32,39	0,27	77

Izmantojot 2. vienādojumu darba ražīguma aprēķiniem pie atšķirīga vidējā izstrādājamā koka caurmēra, parādīts, ka tajā caurmēru diapazonā, kur varētu izmantot John Deere 1070 E harvesters (nozāgējamā koka caurmērs 6-14 cm), strādājot ar 2. darba metodi, kas paredz gatavot visus tradicionālos apaļos kokmateriālus kā arī daļēji atzarotu sīkkoksni, darba ražīgums ir 1,2 - 4,6 tonnas dabiski mitras biomasa efektīvajā darba stundā (Att. 18). Strādājot ar 5. darba metodi, kad no visiem kokiem gatavo daļēji atzarotu sīkkoksni, darba ražīgums ir 1,2 - 5,9 tonnas dabiski mitras biomasa efektīvajā darba stundā (Att. 19).



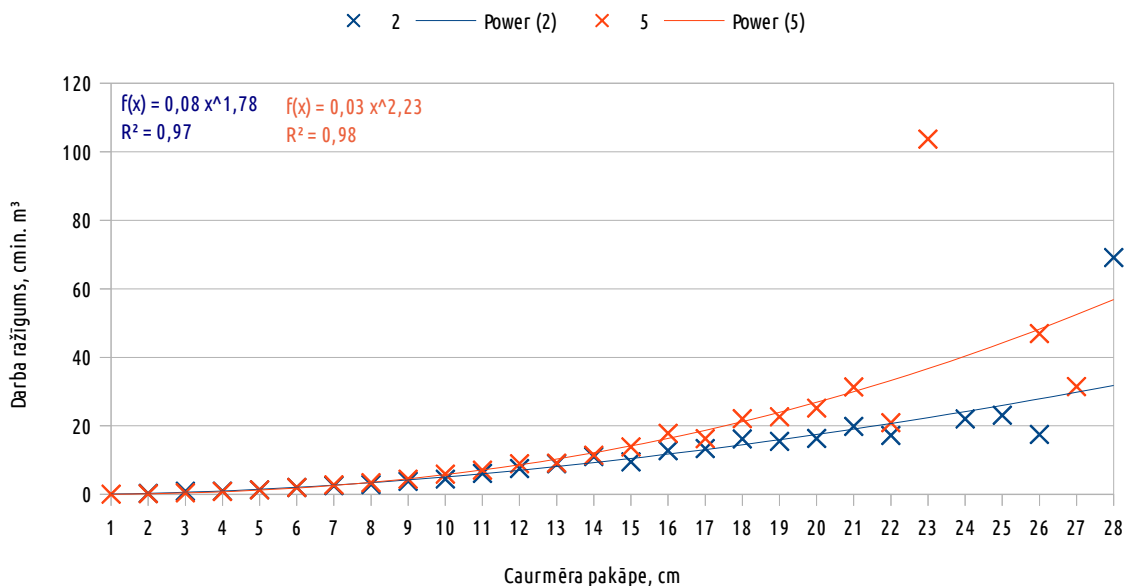
Att. 18: Modelētaie ražības rādītāji 2.darba metodei.



Att. 19: Modelētaie ražības rādītāji 5.darba metodei.

Tiešā darba laika patēriņš 1 m<sup>3</sup> koksnes sagatavošanai atkarībā no vidējā koka caurmēra sadalījumā pa darba metodēm dots Att. 17.

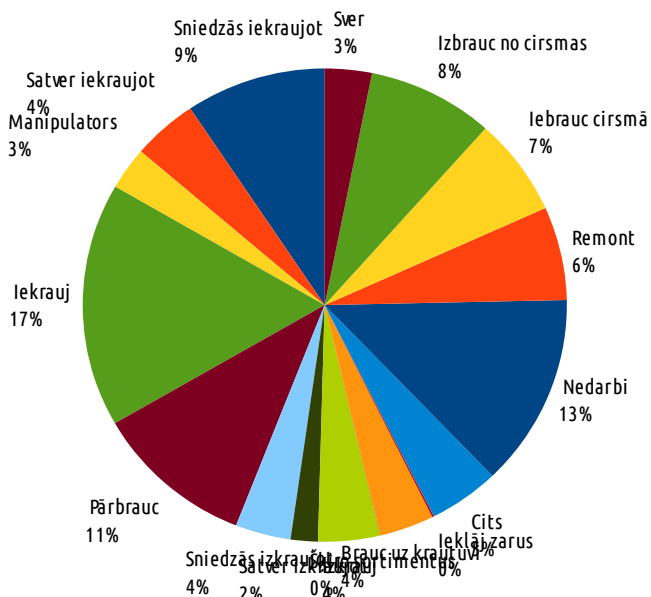
Veiktie aprēķini par darba ražīgumu efektīvajā stundā parāda, ka strādājot ar John Deere 1070 E harvesteru, efektīvajā stundā izstrādātais apjoms salīdzinājumā pa darba metodēm būtiski neatšķiras ( $p < 0,05$ ). Nedaudz augstāki darba ražības rādītāji vērojami strādājot ar 5. darba metodi, pie nosacījuma, ka nozāgētā koka caurmērs ir lielāks par 10 cm (Att. 20).



Att. 20: Aprēķinātie harvestera darba ražīguma rādītāji.

### Pievešanas darba ražīgums

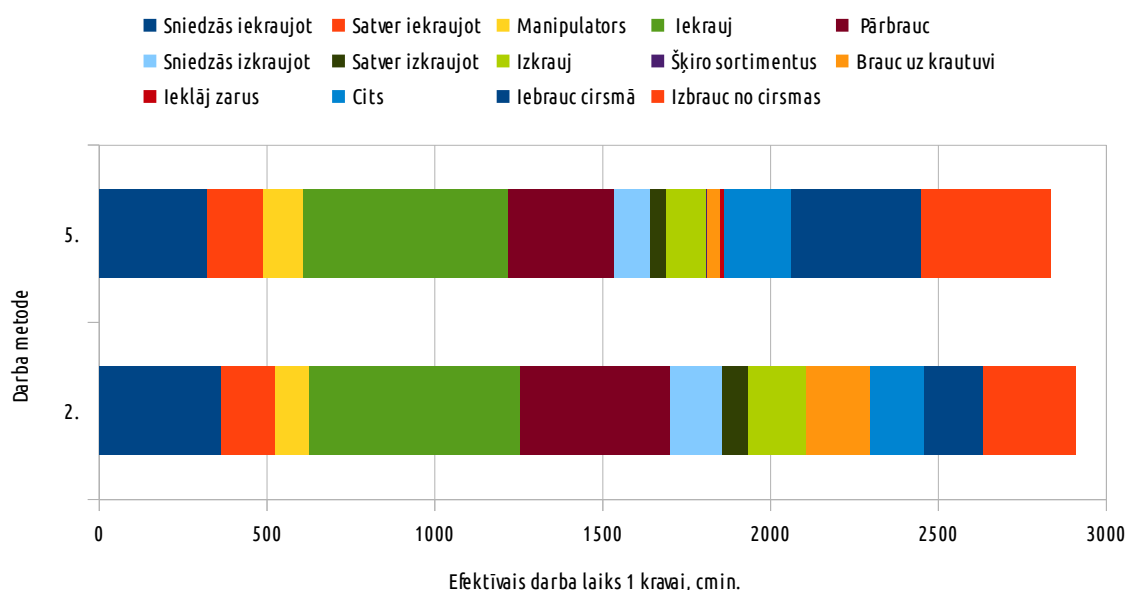
Pievešanas darba laika uzskaiti vienam darba ciklam var veidot līdz pat 17 atsevišķas darbības. Vislielāko īpatsvaru no kopējā patērētā darba laika pievešanā veido darbība "iekrauj, kas ir laiks no apaļo kokmateriālu satveršanas līdz to ievietošanai kravas tilpnē. Vismazāk kopējā darba laika tika tērēts apaļo kokmateriālu šķirošanai, kā arī ceļa ieklāšanai, jo tā kā pievešanas darbi notika laikā, kad augsnes virskārta bija sasalusi, ceļa klāšana nebija nepieciešama (Att. 21).



Att. 21: Darba laika sadalījums pievešanā.

Kopumā izmēģinājuma ietvaros pievestas 50 kravas, vidējās kravas masa 5,1 tonna dabiski mitra materiāla. Darba laika uzskaitē veikta 17 no pievestajām kravām. Vidēji 1 kravas pievešanai nepieciešamas 29 minūtes efektīvā darba laika. Vidēji 1 tonnas dabiski mitra materiāla pievešanai patērē 5 minūtes efektīvā darba laika. Statistiski būtiskas atšķirības ( $p < 0,05$ ) pievešanai patērētajā efektīvajā darba laikā atkarībā no krājas kopšanā pielietotās darba metodes konstatētas netika. Pievedējtraktoram vidēji 1 kravas iekraušanai patērētais efektīvais darba laiks bija 12 minūtes, bet izkraušanai attiecīgi 3 minūtes. Vidējais braukšanas ātrums pievedējtraktoram ar kravu bija vidēji  $44 \text{ m min.}^{-1}$ , bez kravas –  $52 \text{ m min.}^{-1}$ .

Vidējie rādītāji par efektīvā darba laika sadalījumu vienas kravas pievešanai John Deere 810 E pievedējtraktoram parādīti Att. 22.



Att. 22: Vidējais pievedējtraktora 1 kravas pievešanas efektīvā darba laika sadalījumā pa darba metodēm.

## Kokvedēji

Atbilstoši pētījumos iegūtajiem rezultātiem vidējais efektīvais darba laiks 1 kravas iekraušanai pieņemts 36 minūtes, bet izkraušanai – 19 minūtes.

Vidēji efektīvajā stundā var iekraut 1,7 kokvedēja kravas (vienas krava – 31 tonna dabiski mitra materiāla), savukārt izkraut – 3,2 kravas. Efektīvajā stundā var iekraut 23 sausnas tonnas vai  $32 \text{ m}^3$  koksnes un izkraut 43 sausnas tonnas vai  $61 \text{ m}^3$  koksnes (Kalēja *et al.*, 2014).

## Šķeldotāji un šķeldu vedēji

Aprēķinos pieņemts, ka vidēji efektīvajā stundā var sagatavot 0,9 kravas (viena krava 27 tonnas) jeb 10 sausnas tonnas, kas atbilst  $93,8 \text{ ber m}^3$  dabiski mitra materiāla ar relatīvā mitruma saturu 40 %. Vidējais patērētais produktīvais laiks 1 šķeldu kravas sagatavošanai pieņemts 63 minūtes (Kalēja *et al.*, 2014).

## Kopsavilkums par darba ražīguma rādītājiem

John Deere 1070 E harvesteram vidējais efektīvais darba laiks 1 koka izstrādei ir 27 sekundes, 1 ha izstrādei – 1 167 minūtes (19 stundas),  $1 \text{ m}^3$  sagatavošanai – 15 min.

Strādājot ar John Deere 1070 E harvesteru produktīvajā darba stundā sagatavoti vidēji 80 koki.

Krājas kopšanu veicot ar John Deere 1070 E harvesteru, pielietojot divas darba metode, starp darba ražīguma rādītājiem viena koka apstrādē pastāv statistiski būtisku atšķirību ( $p = 0,03$ ). Koka caurmēram pārsniedzot 6 cm viena koka apstrādei patērētais tiešais darba laiks 2. darba metodei ir salīdzinoši ilgāks kā 5. darba metodei. Savukārt koku, kuru caurmērs ir līdz 6 cm, apstrādei, izmantojot 5. darba metodi tiek tērēts vairāk tiešā darba laikā, kā strādājot ar 2. darba metodi.

Kopumā no izmēģinājumā iekļautajām audzēm pievestas 50 kravas, vidējās kravas masa 5,1 tonna dabiski mitra materiāla. 17 kravām veikta darbalaika uzskaitē. Vidēji 1 kravas pievešanai nepieciešama 29 minūte efektīvā darba laika. Vidēji 1 tonnas dabiski mitra materiāla pievešanai patērē 5 minūtes efektīvā darba laika.

Dati analizēti par 17 ar John Deere 810 E piededjtraktoru pievestajām kravām. Vidējā pievestās kravas masa bija 5,1 tonnas dabiski mitra materiāla. Vidēji vienas kravas pievešanai nepieciešams 48 minūtes produktīvā darba laika. Vidēji 1 kravas iekraušanai patērētais darba laiks bija 12 min., bet izkraušanai attiecīgi 3 min. Vidējais braukšanas ātrums piededjtraktoram ar kravu bija 44 m min.<sup>-1</sup>, bez kravas – 51 m min.<sup>-1</sup>.

## Izmaksu un ieņēmumu analīze

### Pašizmaksu ietekmējošo faktoru analīze

Aprēķinos izmantotie izmēģinājumu rezultāti ir izstrādes, pievešanas un ceļu transporta darba ražīgums, piededjtraktora kravas masa un kokvedēja kravas tilpums.

Vidējā koka caurmērs abās darba metodēs noteikts atbilstoši faktiskajam vidējā nozāgētā koka caurmēram izmēģinājumos. Rādītāji, kas raksturo dažādas darba metodes, ir parādīti Tab. 24. Nozāgēto koku krāja pieņemta visos izmēģinājumos vienāda – 27,8 m<sup>3</sup>. Šis rādītājs neatstāj būtisku ietekmi uz aprēķiniem, jo raksturo tikai platību, ko sezonas laikā var izstrādāt vai pievest 1 tehnikas vienība.

Vidējais apaļo sortimentu pievešanas attālums audzēs bija 156 m. Ceļu transporta attālums pieņemts vienāds (50 km), atbilstoši vidējiem rādītājiem projektā.

Tab. 24: Darba metodei specifiskie ievades dati pašizmaksas aprēķinu modelī

Rādītājs	Darba metode	
	2.	5.
Vidējā nozāgētā koka caurmērs, cm	7	8
Piededjtraktora kravas tilpums, m <sup>3</sup>	5,9	5,9
Produktīvais darba laiks iekraušanai, min. kravai	12	12
Produktīvais darba laiks izkraušanai, min. kravai	3	3

John Deere 1070 E harvesteram strādājot ar 2. darba metodi, šķeldu transportēšanas scenārijs paredz pašizmaksas samazinājumu 0,86 EUR m<sup>-3</sup> jeb 0,28 EUR ber.m<sup>-3</sup> (Tab. 25), 5. darba metode šķeldu transportēšanas scenārijam paredz pašizmaksas samazinājumu 1,15 EUR m<sup>-3</sup> jeb 0,37 EUR ber.m<sup>-3</sup> (Tab. 26).

Tab. 25: Ar Timber sagatavota biokurināmā pašizmaksas kopsavilkums 2. darba metodei

Pozīcijas	Operācijas						Kopā
	Izstrāde	Pievešana	Apaļkoku transports	Šķeldošana	Šķeldu transports	Sīkkoku transports	
Investīcijas	€ 91 451	€ 67 854	€ 20 175	€ 41 305	€ 20 183	€ 20 175	
Personāls	€ 66 269	€ 56 338	€ 15 248	€ 32 106	€ 15 248	€ 15 248	
Operacionālās izmaksas	€ 144 430	€ 86 919	€ 33 675	€ 159 639	€ 43 292	€ 33 675	
Plānotā peļņa	€ 15 108	€ 10 556	€ 3 455	€ 11 652	€ 3 936	€ 3 455	

Kopā, EUR gadā	€ 317 258	€ 221 666	€ 72 553	€ 244 702	€ 82 659	€ 72 553	
Ražīgums, m <sup>3</sup> E15- h <sup>-1</sup>	3,7	15,9	7,1	31,4	9,0	6,7	
<b>Biokurināmais, EUR m<sup>-3</sup></b>							
sīkkoku scenārijs	€ 18,47	€ 2,76				€ 6,02	€ 27,25
šķeldu scenārijs	€ 18,47	€ 2,76		€ 4,30	€ 5,16		€ 30,69
<b>Biokurināmais, EUR ber m<sup>-3</sup></b>							
sīkkoku scenārijs	€ 6,02	€ 0,90				€ 1,96	€ 8,88
šķeldu scenārijs	€ 6,02	€ 0,90		€ 1,40	€ 1,68		€ 10,00

Tab. 26: Ar Timber sagatavota biokurināmā pašizmaksas kopsavilkums 5. darba metodei

Pozīcijas	Operācijas						Kopā
	Izstrāde	Pievešana	Apaļkoku transports	Šķeldošana	Šķeldu transports	Sīkkoku transports	
Investīcijas	€ 91 451	€ 67 854	€ 20 175	€ 41 305	€ 20 183	€ 20 175	
Personāls	€ 66 269	€ 56 338	€ 15 248	€ 32 106	€ 15 248	€ 15 248	
Operacionālās izmaksas	€ 144 430	€ 86 919	€ 33 675	€ 159 639	€ 43 292	€ 33 675	
Plānotā peļņa	€ 15 108	€ 10 556	€ 3 455	€ 11 652	€ 3 936	€ 3 455	
Kopā, EUR gadā	€ 317 258	€ 221 666	€ 72 553	€ 244 702	€ 82 659	€ 72 553	
Ražīgums, m <sup>3</sup> E15- h <sup>-1</sup>	2,9	16,3	6,7	31,4	9,0	6,4	
<b>Biokurināmais, EUR m<sup>-3</sup></b>							
sīkkoku scenārijs	€ 23,85	€ 2,69				€ 6,31	€ 32,85
šķeldu scenārijs	€ 23,85	€ 2,69		€ 4,30	€ 5,16		€ 36,00
<b>Biokurināmais, EUR ber m<sup>-3</sup></b>							
sīkkoku scenārijs	€ 7,77	€ 0,88				€ 2,06	€ 10,70
šķeldu scenārijs	€ 7,77	€ 0,88		€ 1,40	€ 1,68		€ 11,73

## Sistēmas analīze

Pētījuma rezultāti rāda, ka strādājot ar 2. darba metodi, 1 pievedējtraktors var apkalpot 4 John Deere 1070 E harvesterus, bet strādājot ar 5. darba metodi 1 pievedējtraktors var apkalpot 6 John Deere 1070 E harvesterus. Strādājot ar kādu no divām darba metodēm, viens šķeldotājs var apkalpot 2 pievedējtraktorus. Biokurināmā piegādi 50 km attālumā no 1 šķeldotāja var nodrošināt 3-4 šķeldu vedēji. Viena pievedējtraktora pievestās sīkkoksnes tālāku transportu 50 km attālumā no augšgala krātuves spēj nodrošināt 2 - 3 sīkkoksnes pārvadājumiem piemēroti kokvedēji.

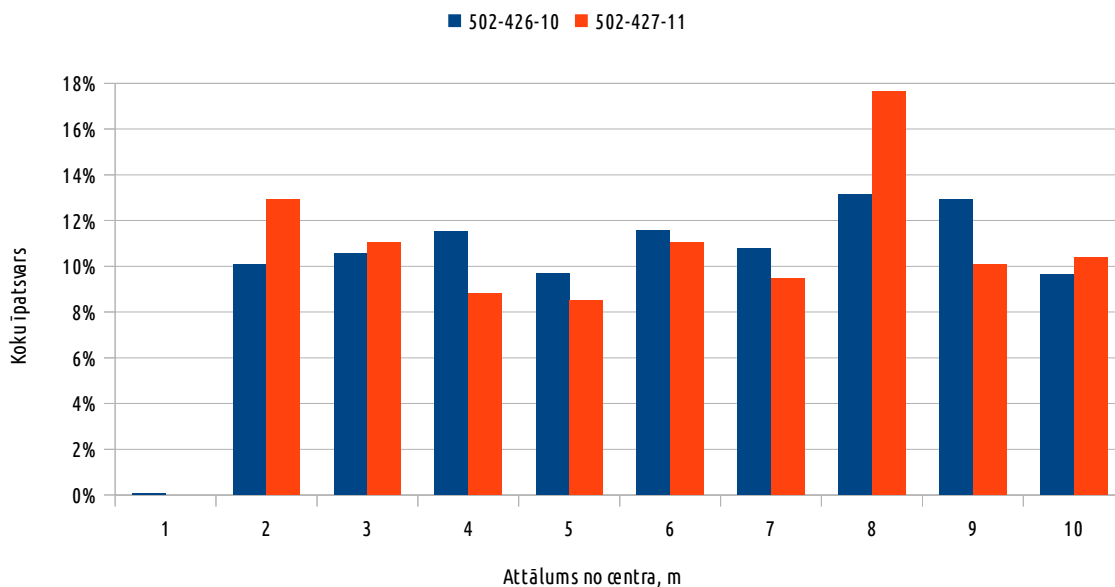
## Kopšanas kvalitāte un letekme uz vidi

### Koku izvietojums audzē pēc kopšanas

Attālums starp slejām ir 20 m, vidējā koka attālums no slejas centra atkarībā no audzes ir vidēji 6 m (Att. 23). Darba metodes izvēle būtiski ( $p < 0,05$ ) neietekmē koku izvietojumu pēc kopšanas (Att. 24). Iegūto datu analīze cirsmu un pielietoto darba metožu griezumā parāda, ka atstāto koku izvietojums audzēs ir vienmērīgs, kas liecina, ka tehnoloģiskais koridoru blīvums bijis pietiekams, lai harveters vienlīdz labi aizsniegtu gan pie tehnoloģiskā koridora malām esošos kokus, gan slejas vidū esošos kokus.

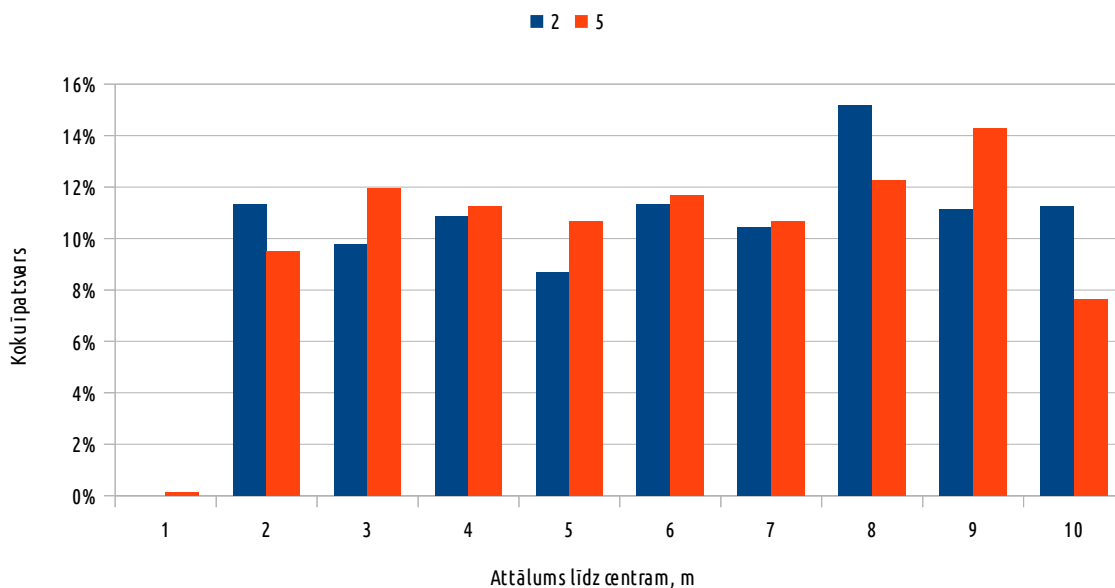
Tab. 27: Koku izvietojums pēc kopšanas

Audzē	Slejas platums, m	Vidējais attālums no koka līdz slejas centram, m	Vidējais attālums no koka līdz slejas centram, %
502-427-11	20	5,98	52%
502-426-10	20	6,05	53%



Att. 23: Paliekošo koku attālums no koridora centra sadalījumā pa audzēm.

Att. 24 redzams, ka arī darba metode būtiski neietekmē koku izvietojumu pēc kopšanas.



Att. 24: Paliekošo koku attālums no koridora centra sadalījumā pa darba metodēm.

## Paliekošo koku bojājumi

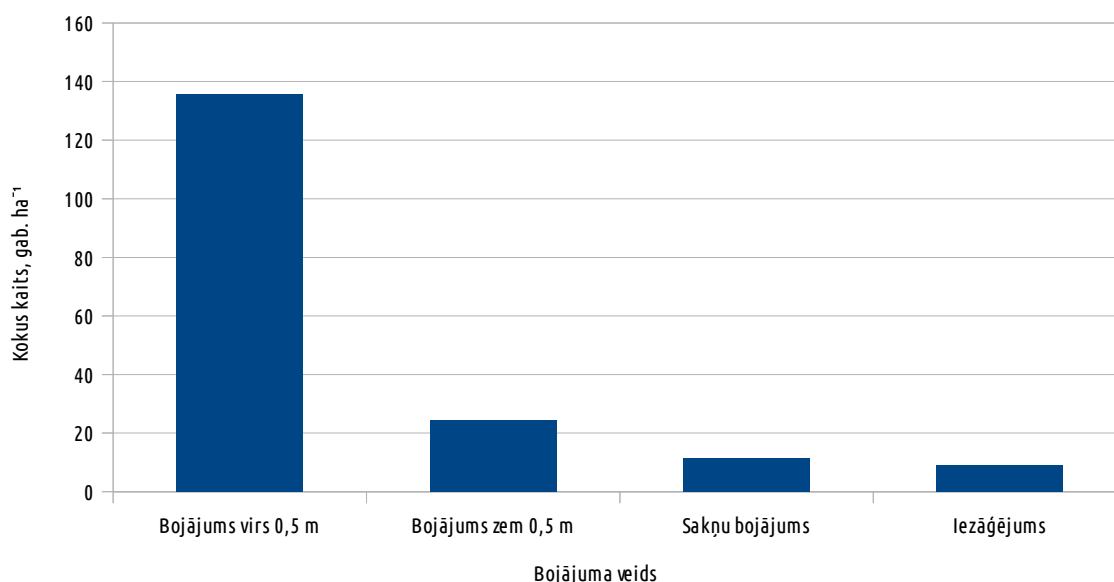
Viens no būtiskākajiem rādītājiem, kas raksturo kopšanas kvalitāti, ir paliekošo koku bojājumi. Paliekošo koku bojājumu kopsavilkums pa darba metodēm dots Tab. 28.

Lielākā daļa bojājumu ir stumbra mizas nobrāzumi virs 0,5 m. Iezāgējumu skaits ir salīdzinoši neliels.

Tab. 28: Paliekošo koku bojājumi sadalījumā pa darba metodēm

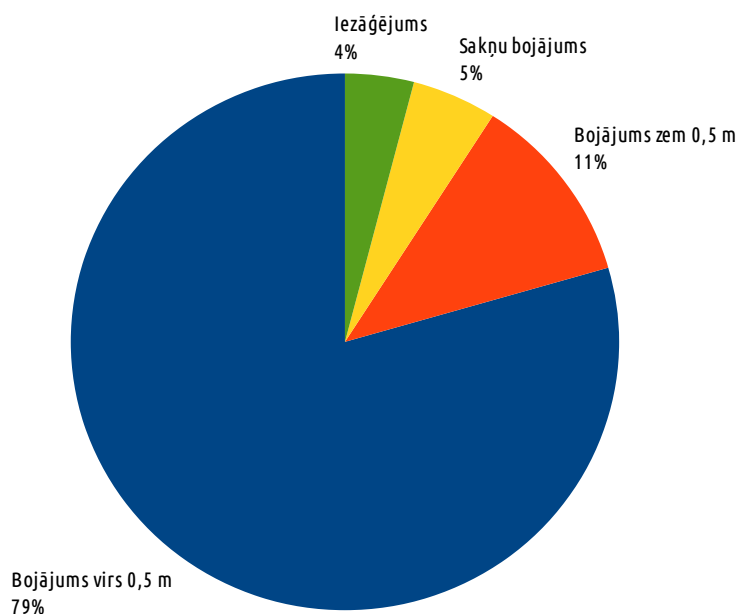
Darba metode	Bojājuma iemesls	Bojāto koku skaits, gab. ha <sup>-1</sup>					Bojātā krāja, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Attālums līdz centram, m	Bojātās krājas īpatsvars	Bojāto koku skaita īpatsvars
		Bojājums virs 0,5 m	Bojājums zem 0,5 m	Sakņu bojājums	Iezāgējums	Kopā				
2.	izstrāde	89	26	13	3	131	15	5	12%	9%
	pievešana	0	0	0	0	0	0	0	0%	0%
	<b>kopā</b>	89	26	13	3	131	15	5	12%	9%
5.	Izstrāde	183	23	10	15	230	22	5	16%	13%
	pievešana	0	0	0	0	0	0	0	0%	0%
	<b>kopā</b>	183	23	10	15	230	22	5	16%	13%
Vidēji	izstrāde	136	24	11	9	180	37	5	14%	11%
	pievešana	0	0	0	0	0	0	0	0%	0%
	<b>kopā</b>	136	24	11	9	180	37	5	14%	11%

Pēc pievešanas darbiem nekāda veida bojājumi konstatēti netika. Ar harvesteru bojāto koku skaita sadalījums pa bojājumu veidiem dots Att. 25. Bojāto koku sadalījums pa bojājumu veidiem dots Att. 26.



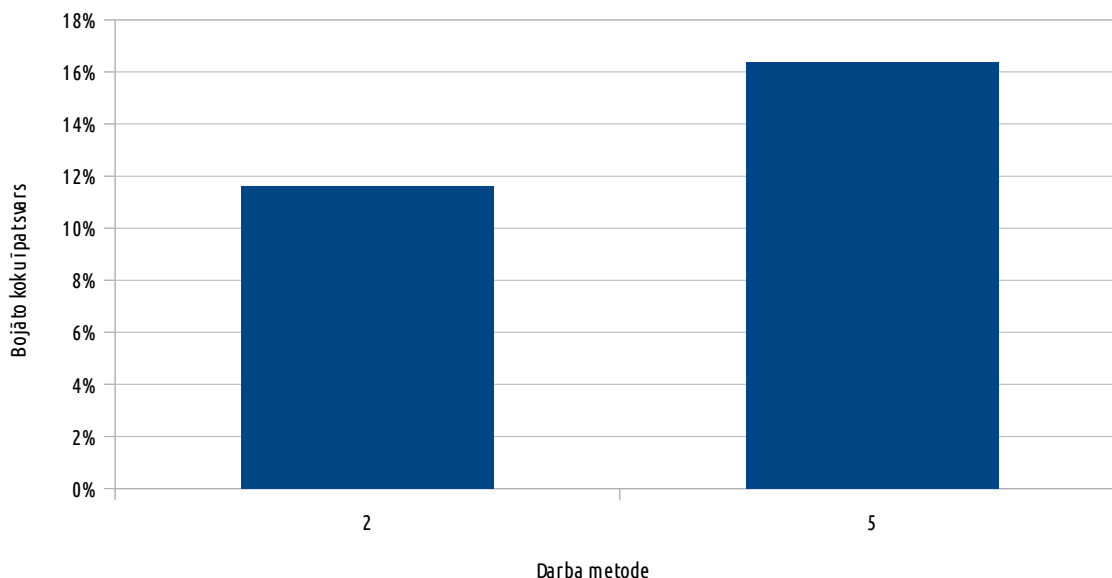
Att. 25: Harvesteru bojājumu veidi.





**Att. 26: Ar harvesteru bojāto kokus skaita sadalījums pa bojājuma veidiem.**

Salīdzinot abas darba metodes, konstatēts, ka visvairāk bojājumu veidojas, pielietojot 5. darba metodi, kas paredz no visiem kokiem gatavot daļēji atzarotu biokurināmo un maksimāli izmantot paketēšanas funkciju. Strādājot ar 2.darba metodi, ar harvesteru bojāto koku īpatsvars ir par 5 % mazāks, kā strādājot ar 5.darba metodi (Att. 27).

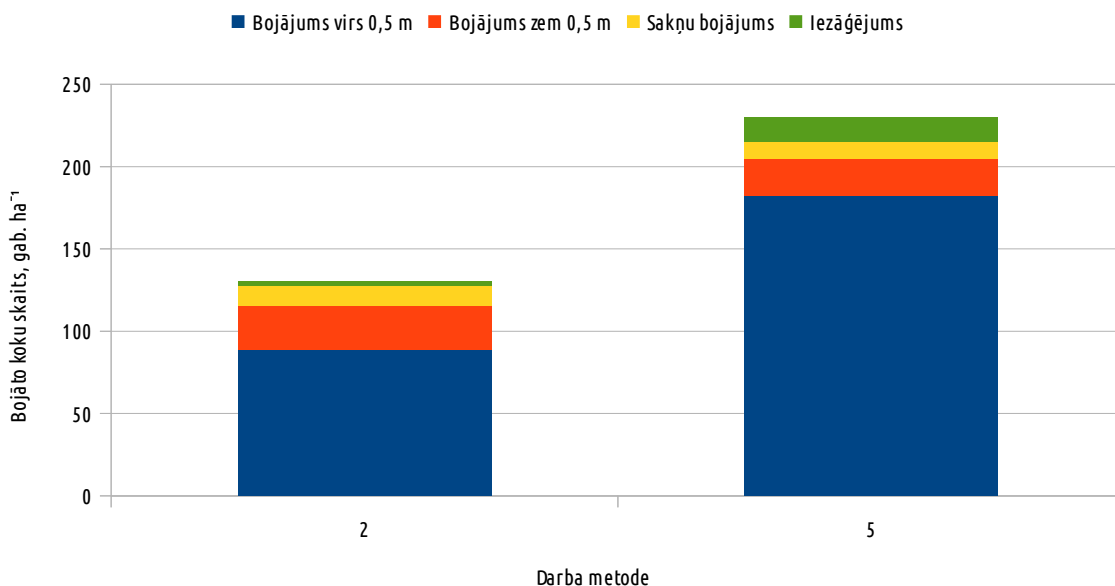


**Att. 27: Harvesteru bojājumi sadalījums pa darba metodēm.**

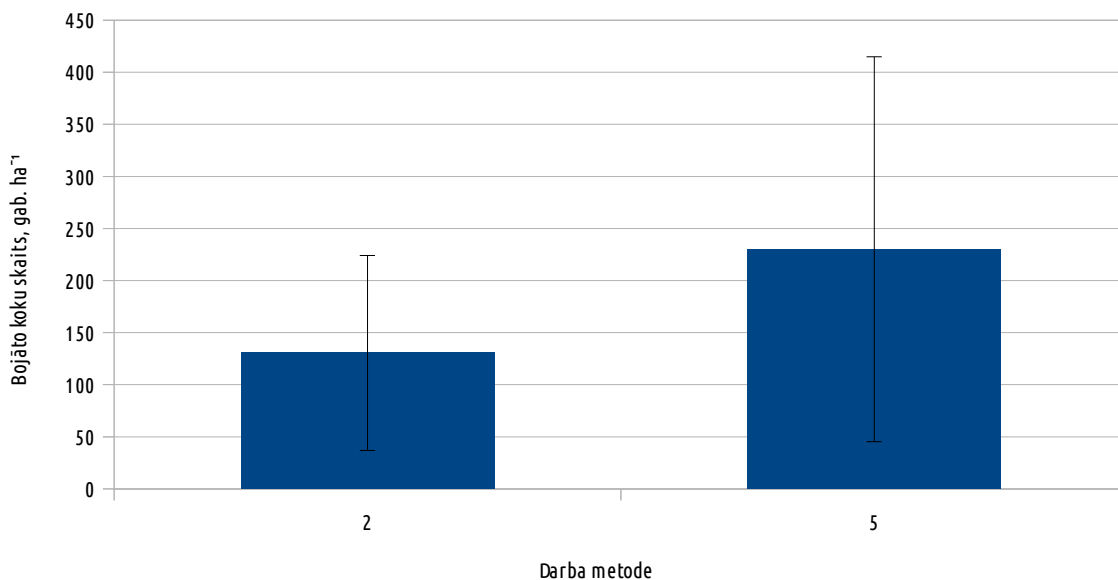
Detalizēta bojājumu struktūras analīze neparāda statistiski būtiskas atšķirības ( $p < 0,05$ ) starp krājas kopšanā pielietotajām darba metodēm (Att. 28, Att. 29).

Ar 1. darba metodi vairāk koptas slejas ar iepriekš izzāģētu pamežu. Iespējams, ka pameža

koki amortizē strēles un apaļkoku brīvkustību iekraušanas laikā, mazinot paliekošo koku bojājumu risku. Biokurināmā sagatavošanas darba metodēs pievedējtraktora radīto bojājumu īpatsvars būtiski neatšķiras.



Att. 28: Harvestera bojājumu struktūra sadalījums pa darba metodēm.

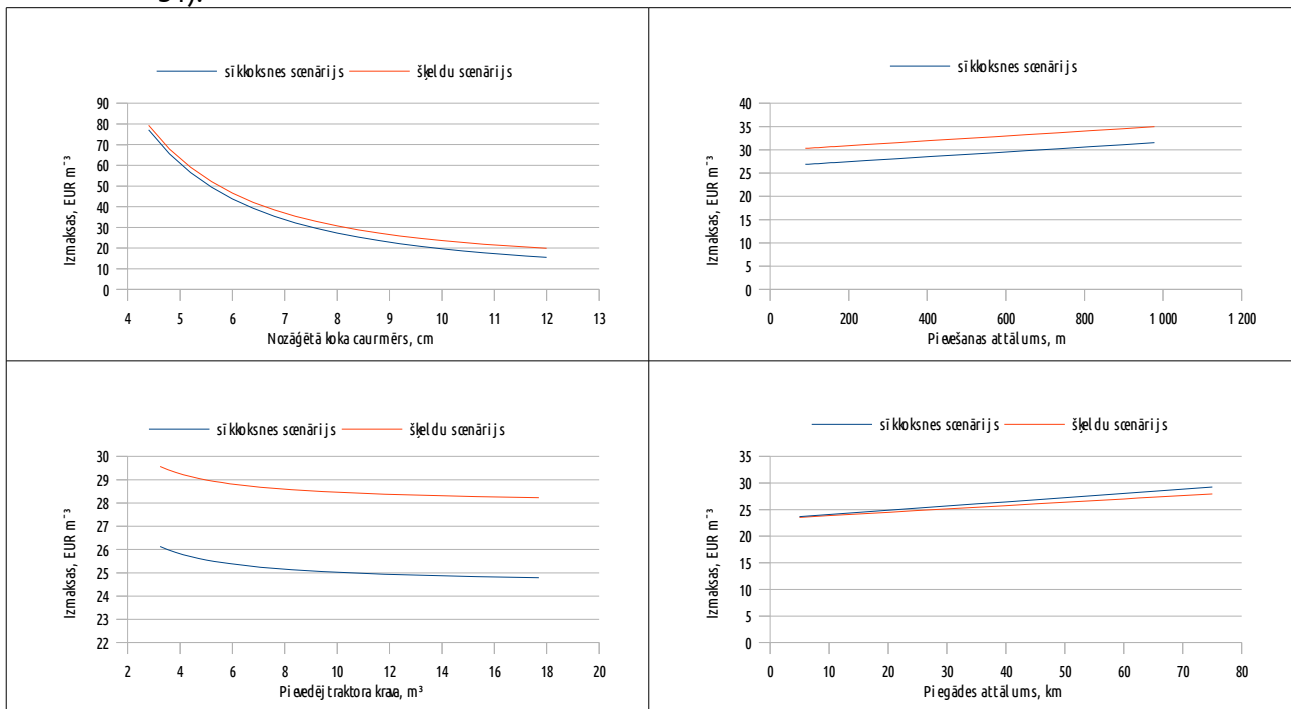


Att. 29: Harvestera bojājumi sadalījumā pa darba metodēm.

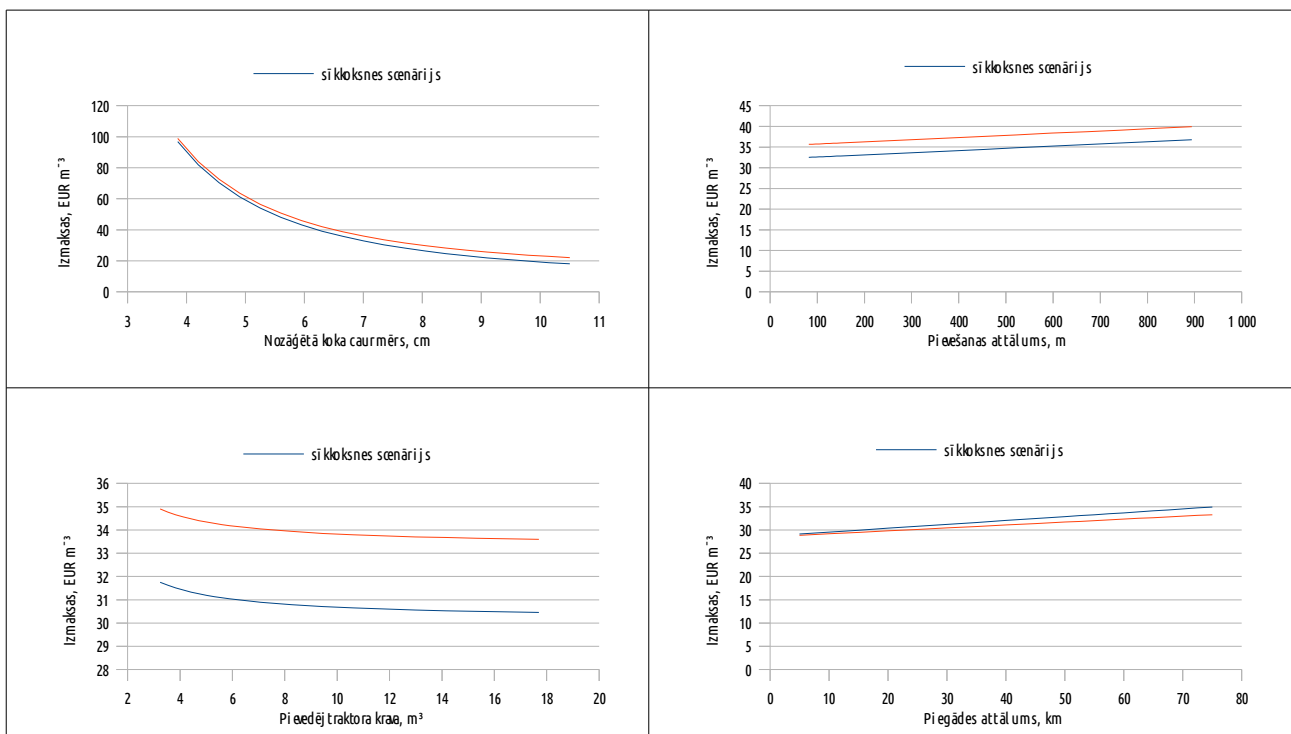
## Jutības analīze

Sistēmas jutīguma analīzē redzams, ka lielāko ietekmi uz šķeldu pašizmaksu atstāj šķeldu transportēšanas attāluma un vidējā izzāgējamā koka koka caurmēra izmaiņas (Att. 30 un Att.

31).



Att. 30: Jutīguma analīze 2.darba metodei.



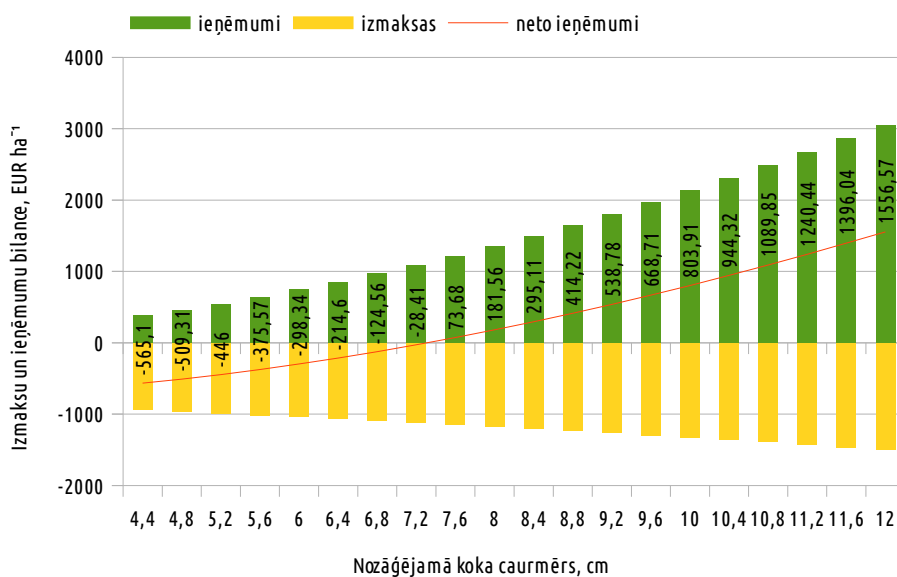
Att. 31: Jutīguma analīze 5.darba metodei.

## Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums

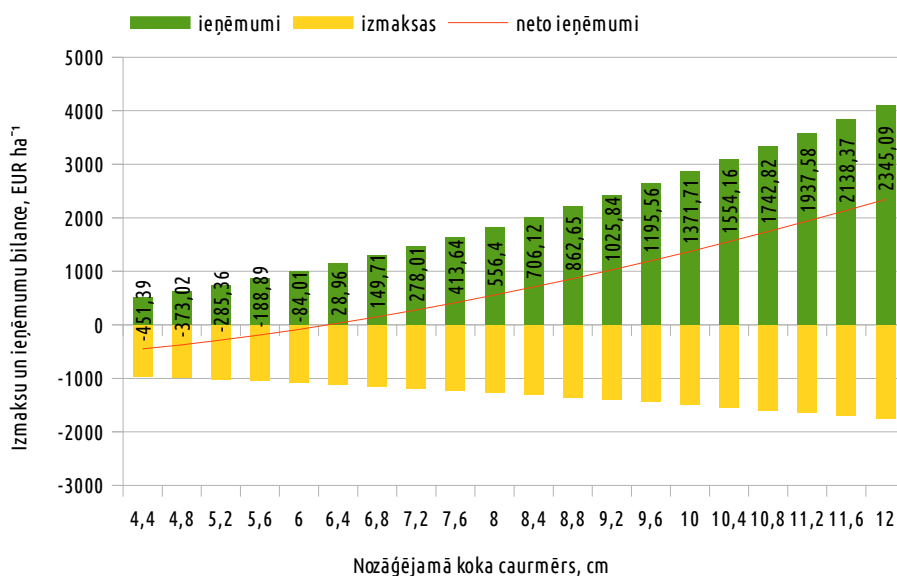
Pētījumā izvērtēti divi scenāriji- sikkoknes transportēšana gala patērētājam, izmantojot kokvedēju un biokurināmā (šķeldu) sagatavošana augšgala krautuvē un piegāde patērētājam.

legūtie rezultāti parāda, ka, izmantojot sīkkoksnes biokurināmā piegādes scenāriju, 2. darba metodei izmaksu un ieņēmumu bilances nulles punktu sasniedz pie vidējā nozāgētā koka caurmēra, kas nav mazāks par 7,2 cm. Šķeldu piegādes scenārija ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums parāda, ka vidējam nozāgētā koka caurmēram sasniedzot 6,4 cm, tiek sasniegts bilances nulles punkts (Att. 32 un Att. 33).

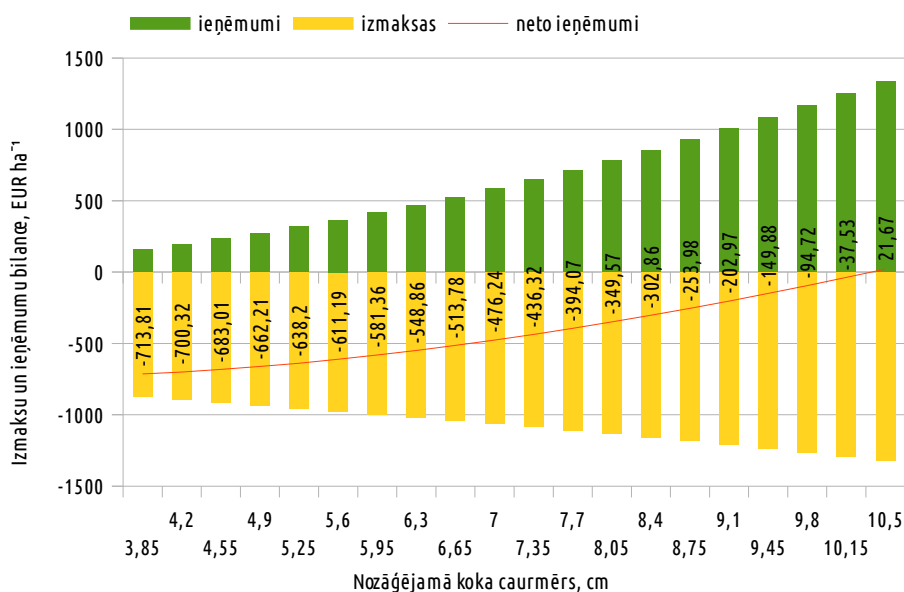
Strādājot ar 5. darba metodi, sīkkoksnes piegādes scenārijs ir ekonomiski pamatots vien, ja vidējā nozāgētā koka caurmērs ir lielāks par 10,5 cm. Šķeldu piegādes scenārijs pozitīvus rezultātus uzrāda vidējam nozāgētajam kokam sasniedzot 7 cm (Att. 34 un Att. 35).



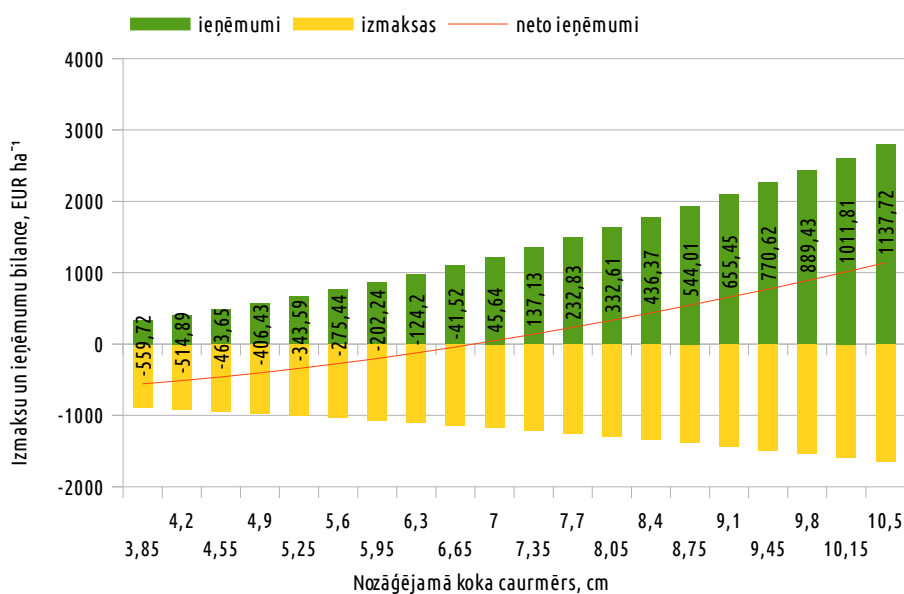
Att. 32: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums 2.darba metodei sīkkoku biokurināmā piegādes scenārijā.



Att. 33: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums 2.darba metodei šķeldu piegādes scenārijā.



Att. 34: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums 5.darba metodei sikkoku biokurināmā piegādes scenārijā.



Att. 35: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums 5.darba metodei šķeldu piegādes scenārijā.

## IETEIKUMI PRAKSEI UN SECINĀJUMI

1. Krājas kopšanā ar John Deere 1070 E harvarderu vidējais efektīvais darba laiks ir 79 % no kopējā darba laika, savukārt, tiešais darba laiks ir vidēji 95 % no efektīvā darba laika.
2. Krājas kopšanā izmantotas 2 darba metodes. Starp darba metodēm konstatētas statistiski būtiskas atšķirības ( $p = 0,03$ ). 1 koka izstrāde aizņēma no 28 sek. tiešā darba laika strādājot ar 2. darba metodi un 25 sek. strādājot ar 5. darba metodi. Vidēji 1 koka apstrādei patērē 54 sekundes tiešā darba laika. Vismazāk tiešā darba laika  $1 \text{ m}^3$  izstrādei patērēts strādājot ar 2. darba metodi (14 min.), bet strādājot ar 2. darba metodi- salīdzinoši vairāk (15 min.). Vidēji  $1 \text{ m}^3$  koksnes sagatavošanai patērē 15 min. tiešā darba laika.
3. Kopumā izmēģinājuma ietvaros no 2 izkoptām audzēm pievesta 50 krava (vidējā krava – 5,1 tonnas kopā pievedot 271 tonna jeb  $308 \text{ m}^3$  koksnes. Statistiski būtiskas atšķirības ( $p < 0,05$ ) 1 kravas pievešanai sadalījumā pa izstrādē pielietotajām darba metodēm netika konstatētas. Vidēji 1 kravas pievešanai nepieciešama 1 stunda (66 min.) efektīvā darba laika. Vidēji 1 tonnas dabiski mitra materiāla pievešanai patērē 5 min. produktīvā darba laika.
4. Vidēji 1 kravas iekraušanai patērētais darba laiks bija 12 min., bet izkraušanai attiecīgi 4 min. Vidējais braukšanas ātrums pievedējtraktoram ar kravu bija vidēji  $44 \text{ m min.}^{-1}$ , savukārt, bez kravas-  $52 \text{ m min.}^{-1}$ .
5. Optimāla krājas kopšanas sistēma sastāv no 5 harvesteriem, 1 pievedējtraktora, 2 - 3 sīkkoksnes vedējiem sīkkoksnes piegādes scenārijā, vai attiecīgi 1 šķeldotāja un 3 - 4 šķeldu vedējiem šķeldu piegādes scenārijā.
6. Atstāto koku izvietojums audzēs ir vienmērīgs, tādējādi jāsecina, ka tehnoloģisko koridoru izvietojums bijis pietiekami blīvs, lai nodrošinātu audzes vienmērīgu izkopšanu.
7. Salīdzinot abas darba metodes, konstatēts, ka visvairāk bojājumu veidojas, strādājot ar 5. darba metodi. Šai darba metodei raksturīgs liels īpatsvars stumbra bojājumu virs 0,5 m, savukārt sakņu bojājumu īpatsvars ir salīdzinoši neliels. Strādājot ar 2. darba metodi, ar harvesteru bojāto koku īpatsvars ir par 5 % mazāks, kā strādājot ar 5. darba metodi. Arī 2. darba metodei raksturīgs liels stumbra bojājumu virs 0,5m īpatsvars, salīdzinoši mazāk konstatēti iezāgējumu rezultātā radītie paliekošo koku bojājumi.
8. Salīdzinot divus biokurināmā piegādes scenārijus tiek pieņemts, ka ar 2. darba metodi sagatavoto apaļo kokmateriālu struktūra atbilst apaļo kokmateriālu struktūrai, kāda sagatavota jaunaudzju kopšanā ar Timbear harvesteru izmantojot 2. darba metodi. Šādi pieņēmumi izdarīti, jo krājas kopšanā nozāgētā vidējā koka caurmērs atbilst jaunaudzju kopšanā iegūstamā vidējā koka caurmēram. Izvērtējot biokurināmā piegādes scenāriju abām kopšanā izmantotajām darba metodēm, jāsecina, ka šķeldu piegādes scenārijs abām darba metodēm ir ekonomiski pamatots pie mazākiem nozāgētā koka caurmēriem (attiecīgi no 6,4 cm 2. darba metodei un no 7,0 cm 5. darba metodei). Vidējam nozāgētajam kokam sasniedzot 7,2 cm 2. darba metodei un 10,5 cm 5. darba metodei, par ekonomiski pamatotiem būtu uzskatāms arī sīkkoksnes piegādes scenārijs.
9. Strādājot ar 2. darba metodi, šķeldu pašizmaksas samazinājumu par  $0,86 \text{ EUR m}^{-3}$  jeb  $0,28 \text{ EUR ber.m}^{-3}$  iespējams panākt izvēloties šķeldu piegādes scenāriju. Izmantojot 5. darba metodi, šķeldu transportēšanas scenārijs paredz šķeldu pašizmaksas samazinājumu par  $1,15 \text{ EUR m}^{-3}$  jeb  $0,37 \text{ EUR ber.m}^{-3}$ .

## LITERATŪRA

1. Bisenieks, J. *Letonika.lv. Enciklopēdijas - Meža enciklopēdija. krājas kopšana*. [online] (2005). Available from: <http://www.letonika.lv/groups/default.aspx?r=7&q=kr%C4%81jas%20kop%C5%A1ana&id=971671&&g=1>. [Accessed 2012-08-13].
2. Diesel fuel (2013). *Wikipedia, the free encyclopedia*. Available from: [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Diesel\\_fuel&oldid=539421768](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Diesel_fuel&oldid=539421768). [Accessed 2013-03-02].
3. Kalēja, S., Brencis, M. & Lazdiņš, A. (2014). *Apaļo kokmateriālu un šķeldu piegādes ražīguma salīdzinājums jaunaudžu kopšanā*. Salaspils. (Atjaunojamo energoresursu produktu ražošanas, pārstrādes un loģistikas rūpnieciskais pētījums; 2014/02).
4. Liepa, I. (1996). *Pieauguma mācība*. Jelgava: LLU.
5. Razaghi Meyer International. *Spreadsheet: Density 12MF.xls*. [online]. Available from: <http://www.viscoanalyser.com/page8.html>. [Accessed 2013-03-02].

**LVMi Silava**  
**Rīgas ielā 111, Salaspils, LV-2169**