

## PĀRSKATS

PAR AS "LATVIJAS VALSTS MEŽI" PĒTĪJUMA

ATJAUNOJAMO ENERGORESURSU PRODUKTU RAŽOŠANAS,  
PĀRSTRĀDES UN LOĢISTIKAS RŪPNIECISKAIS PĒTĪJUMS

DARBU IZPILDI

---

Pārskata nosaukums **DARBA METODES IETEKMES UZ  
BIOKURINĀMĀ GATAVOŠANAS DARBA  
RAŽĪGUMU SALĪDZINĀJUMS KRĀJAS  
KOPŠANĀ AR JOHN DEERE 1070D UN  
PONSSE ERGO HARVESTERIEM**

Līguma Nr. **3. 5.5-5.1-000p-101-12-8**

Pārskata Nr. **2015/03**

Pārskata versija **1.0**

Izpildes laiks **05.07.2013 - 21.08.2013**

Izpildītājs **Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava"**

Projekta vadītājs

---

A. Lazdiņš

## KOPSAVILKUMS

Pētījuma mērķis ir noskaidrot biokurināmā sagatavošanas iespējas no pameža kokiem un mežizstrādes atliekām krājas kopšanā, atkarībā no pielietotās darba metodes un tehnikas, kā arī noskaidrot izmaksas ietekmējošos faktoros. Pētījumi veikti krājas kopšanas darbu izmēģinājumos ar harvesteriem John Deere 1070 D un Ponsse Ergo AS "Latvijas valsts meži" Zemgales mežsaimniecības Jelgavas apkārtnē.

Pētījumā salīdzinātas 5 mežaudžu kopšanas darbu metodes. Pirmā darba metode (kontrolē) paredz kopšanā gatavot standarta apaļos kokmateriālus, mežizstrādes atliekas liekot ceļos, pamežs pirms kopšanas tiek izzāģēts, darbā neizmanto griezējgalvas paketēšanas mehānismu. Otrā darba metode jeb mežizstrādes atlieku metode paredz gatavot standarta apaļos kokmateriālus un malku, mežizstrādes atliekas vācot kaudzēs, pamežs pirms kopšanas tiek izzāģēts. Trešā jeb sīkkoku biokurināmā metode paredz gatavot standarta apaļos kokmateriālus un apvienotu biokurināmā sortimentu (malka, daļēji atzarotās galotnes un par 6 cm resnāki pameža koki), mežizstrādes atliekas klāj ceļos un pamežu pirms kopšanas saglabā; darbā maksimāli izmanto griezējgalvas paketēšanas mehānismu; biokurināmais sortiments ne garāks kā 3 m. Ceturtā darba metode jeb sīkkoksnes un mežizstrādes atlieku biokurināmā metode paredz gatavot standarta apaļos kokmateriālus, kā arī biokurināmo no malkas, daļēji atzarotām galotnēm un par 6 cm resnākiem pameža kokiem, mežizstrādes atliekas paredzēts vākt atsevišķā kaudzē, darbā maksimāli izmantojot paketēšanas mehānismu, biokurināmā sortimenta garums nedrīkst pārsniegt 3 m, pamežu pirms kopšanas saglabā, apaļos kokmateriālus un mežizstrādes atliekas pieved atsevišķi. Piektā darba metode jeb apvienota biokurināmā sortimenta metode paredz gatavot standarta apaļos kokmateriālus, tajā skaitā malku, un apvienotu biokurināmā sortimentu no neatzarotām galotnēm, par 6 cm resnākiem pameža kokiem un mežizstrādes atliekām, darbā maksimāli izmanto paketēšanas mehānismu, biokurināmā sortimenta garums nedrīkst pārsniegt 6 m, pamežs pirms kopšanas tiek saglabāts, standarta apaļos kokmateriālus un apvienoto biokurināmā sortimentu paredzēts pievest atsevišķi, apvienoto biokurināmā sortimentu paredzēts pievest uzreiz pēc izstrādes.

Kopumā ar John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteru no audzēs kopšanā nozāģēto koku apjoma lielākā daļa bija skujkoki, attiecīgi, 83 % un 86 %.

John Deere 1070 D harvesters efektīvajā darba stundā sagatavoja 80 kokus, bet Ponsse Ergo harvesters – 102 kokus, kas norāda uz lielāku darba ražīgumu, strādājot ar Ponsse Ergo. Ponsse Ergo harvesters vidēji viena koka apstrādei tērēja par 26 % mazāk tiešā darba laika, nekā John Deere 1070 D harvesters. John Deere 1070 D harvesteram konstatēta būtiska atšķirība darba laika patēriņā 1 koka apstrādē, strādājot ar 1. un 3. darba metodi ( $p = 0,03$ ).

Lai sagatavotu 1 m<sup>3</sup> koksnes, Ponsse Ergo harvesteram bija nepieciešams par 22 % mazāk tiešā darba laika, nekā John Deere 1070 D harvesteram. John Deere 1070 D harvestera darba ražīguma rādītājos, kas raksturo sagatavoto koksnes apjomu tiešajā darba stundā, starp 1. un 4. darba metodi konstatētas statistiski būtiskas atšķirības ( $p = 0,04$ ). Ponsse Ergo harvesteram būtiska atšķirība starp darba metodēm nav konstatēta, tomēr, veicot pameža sīkkoku zāģēšanu, samazinās vidējā apstrādātā koka caurmērs un ražīguma rādītāji, salīdzinot ar darba metodēm, kas nav saistītas ar pameža zāģēšanu.

Viena hektāra izkopšanai Ponsse Ergo harvesters patērēja par 57 % mazāk tiešā darba laika, nekā ar John Deere 1070 D harvesteru.

Biokurināmā sagatavošana no pameža sīkkokiem un koku galotnēm palielina apaļo kokmateriālu iznākumu par 8 %. Nevienam no harvesteriem sīkkoksnes uzskaitē nebija pietiekoši precīza un iegūtais rezultāts balstīts uz aprēķiniem un pieņēmumiem par kokmateriālu krāvuma blīvumu.

John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteriem darba metodēs, kurās pirms kopšanas saglabāts pamežs, aptuveni 2 reizes pieaug laiks pameža zāgēšanai, tomēr vidēji pameža zāgēšanai patērētais laiks nepārsniedz 4 % no efektīvā darba laika.

Sīkkoksnes piegādes scenārijs ir ekonomiski pamatotāks, nekā šķeldu piegādes scenārijs visās darba metodēs. Ar John Deere 1070 D harvesteru sagatavotās sīkkoksnes transportēšanas scenārijs, atkarībā no izmantotās darba metodes, dod biokurināmā pašizmaksas samazinājumu par 6 (4. un 5. darba metode) līdz 11 % (1. darba metode), bet ar Ponsse Ergo harvesteru – robežās no 7 (3. darba metode) līdz 13 % (1. darba metode). Kokmateriālu, tajā skaitā biokurināmā, sagatavošana ar Ponsse Ergo ir būtiski lētāka, nekā ar John Deere harvesteru, tomēr ar abām mašīnām strādāja dažādi operatori, tāpēc, iespējams, lielākā nozīme ir operatoram, nevis mašīnai.

Atstāto koku izvietojums audzēs ir vienmērīgs, tādējādi jāsecina, ka tehnoloģisko koridoru izvietojums bijis pietiekami blīvs, lai nodrošinātu audzes vienmērīgu izkopšanu, lai gan John Deere harvesteram pie attāluma starp koridoriem 20 m bija grūtības aizsniegt un apstrādāt par 8 m no koridora centra tālāk augošus kokus. Daļa no harvestera radītajiem bojājumiem saistīta ar mašīnas un strēles manevriem, lai aizsniegtu tālākos kokus. Strādājot ar Ponsse Ergo harvesteru, bojāto koku skaits uz hektāra ir par 15 % mazāks, nekā strādājot ar John Deere 1070 D harvesteru. Detalizēta bojājumu struktūras analīze John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteram neparāda statistiski būtiskas atšķirības ( $p < 0,05$ ) starp krājas kopšanā pielietotajām darba metodēm. John Deere 1070 D harvesteris visvairāk paliekošo koku bojājumus radījis strādājot ar 2. un 3. darba metodi, Ponsse Ergo harvesteris – strādājot ar 3., 4. un 5. darba metodi. Strādājot ar 1. darba metodi, abi harvesteri radījuši vismazāk paliekošo koku bojājumus. Lielākā daļa bojājumu saistīta ar mežizstrādes atlieku pārvietošanu, norādot uz nepieciešamību optimizēt kokmateriālu struktūru kopšanas cirtēs, lai radītu vairāk vietas mežizstrādes atliekām.

Vērtējot darba rezultātus ar Ponsse Ergo harvesteru, praksē iesakāmas visas darba metodes, taču jāreķinās, ka, zāgējot ar harvesteru pameža kokus, būtiski samazinās vidējā nozāgētā koka dimensijas un eksponenciāli pieaug izmaksas  $1 \text{ m}^3$  sagatavošanai, tāpēc ir jāpilnveido darba metodes, pēc iespējas mazāk zāgējot tievākos pameža kokus un veicot bojājumu uzskaiti tikai valdaudzes kokiem. Mežizstrādes atlieku vākšana (2. un 5. darba metode) īpaši rekomendējama retās audzēs, kur nav prognozējams liels kokmateriālu iznākums, kā arī audzēs, kur gatavo nelielu kokmateriālu skaitu.

Izmēģinājumus ieteicams turpināt ar harvesteru (Ponsse Ergo vai līdzvērtīgu), kas aprīkots ar kopšanas cirtēm piemērotāku strēli un mazāku griezējgalvu ar papildus satvērējiem sīkkoku pakēšanai.

# Saturs

<b>Kopsavilkums.....</b>	<b>2</b>
<b>Ievads.....</b>	<b>7</b>
<b>Izmēģinājumu objekti un Darba metodika.....</b>	<b>11</b>
Pētījumu objekti.....	11
Mežaudžu taksācijas rādītāju noteikšana pirms kopšanas.....	12
Taksācijas rādītāju noteikšana pēc audžu kopšanas.....	13
Pētījumā izmantotās tehnikas raksturojums.....	14
Kokmateriālu sagatavošana.....	14
Darba metodes.....	15
Darba laika uzskaitē.....	17
Aprīkojums.....	17
Krājas kopšanas darbi.....	18
Laika apstākļi izmēģinājumu laikā.....	20
Aprēķini pēc biomasas vienādojumiem.....	21
.....	22
Bojājumu uzskaitē.....	22
Izmaksas ietekmējošo faktoru analīze.....	23
<b>Darba rezultāti.....</b>	<b>26</b>
Izstrādes darba ražīgums.....	26
Darba ražīguma aprēķini.....	32
Audžu kopšana.....	32
Kopsavilkums par darba ražīguma rādītājiem.....	45
Izmaksu un ieņēmumu analīze.....	46
Pašizmaksu ietekmējošo faktoru analīze.....	46
Jutības analīze.....	50
Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums.....	54
Sistēmas analīze.....	58
Kopšanas kvalitāte un Ietekme uz vidi.....	58
Koku izvietojums audzē pēc kopšanas.....	58
Paliekošo koku bojājumi.....	60
<b>Secinājumi un ieteikumi praksei.....</b>	<b>63</b>
<b>Literatūra.....</b>	<b>65</b>

## Attēli

Att. 1: Biokurināmā piegāžu potenciāls valsts mežos (Lazdiņš & Makovskis, 2012).....	8
Att. 2: No kopšanas cirtēm piegādāto kokmateriālu īpatsvars valsts mežos.....	9
Att. 3: No kopšanas cirtēm piegādāto kokmateriālu apjoms valsts mežos.....	9
Att. 4: Ar John Deere 1070 D zāģēto objektu izvietojums.....	11
Att. 5: Ar Ponsse Ergo zāģēto objektu izvietojums.....	12
Att. 6: Parauglaukumu izvietojuma shēma.....	13
Att. 7: Parauglaukumu novietojuma shēma.....	13
Att. 8: John Deere 1070 D ar paketējošo griezējgalvu H754.....	14
Att. 9: Ponsse Ergo ar paketējošo griezējgalvu H73E.....	15
Att. 10: Kopšanas darba metodes.....	17
Att. 11: Hronometrāžā izmantotais laukdatore Allegro CX.....	18
Att. 12: Dienakts vidējā gaisa temperatūra izstrādes darbu laikā ar John Deere 1070 D.....	20
Att. 13: Dienakts vidējā gaisa temperatūra izstrādes darbu laikā ar Ponsse Ergo.....	21

Att. 14: Koku stumbra biomasas aprēķināšanas vienādojumi.....	22
Att. 15: Ar John Deere 1070 D nozāgēto koku īpatsvars sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.....	27
Att. 16: Ar John Ponsse Ergo nozāgēto koku īpatsvars sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.....	27
Att. 17: John Deere 1070 D harvestera kopējā darba laika sadalījums.....	33
Att. 18: Ponsse Ergo harvestera kopējā darba laika sadalījums.....	33
Att. 19: John Deere 1070 D vidējais viena koka apstrādei patērētais tiešais darba laiks sadalījumā pa darba metodēm.....	34
Att. 20: Ponsse Ergo vidējais viena koka apstrādei patērētais darba laiks sadalījumā pa darba metodēm.....	34
Att. 21: John Deere 1070 D un Ponsse Ergo vidējais viena koka apstrādei patērētais tiešais darba laiks.....	35
Att. 22: Tiešā darba laika patēriņš 1 koka apstrādei John Deere 1070 D harvesteram sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.....	35
Att. 23: Tiešā darba laika patēriņš 1 koka apstrādei Ponsse Ergo harvesteram sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.....	36
Att. 24: Vidējais tiešā darba laika patēriņš 1 koka apstrādei John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteram sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.....	36
Att. 25: John Deere 1070 D harvestera darba ražīgums.....	37
Att. 26: Ponsse Ergo harvestera darba ražīgums.....	38
Att. 27: John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteru vidējais darba ražīgums.....	38
Att. 28: Tiešā darba laika patēriņš 1 m <sup>3</sup> koksnes sagatavošanai sadalījumā pa caurmēra pakāpēm, strādājot ar John Deere 1070D..	39
Att. 29: Tiešā darba laika patēriņš 1 m <sup>3</sup> koksnes sagatavošanai sadalījumā pa caurmēra pakāpēm, strādājot ar Ponsse Ergo.....	39
Att. 30: John Deere 1070 D un Ponsse Ergo vidējā tiešā darba laika patēriņš 1 m <sup>3</sup> koksnes sagatavošanai sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.....	40
Att. 31: John Deere 1070 D harvestera darba ražīgums.....	41
Att. 32: Ponsse Ergo harvestera darba ražīgums.....	41
Att. 33: Darba ražīgums John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteram.....	42
Att. 34: Modelētie ražīguma rādītāji 1. darba metodei.....	44
Att. 35: Modelētie ražīguma rādītāji 2. darba metodei.....	44
Att. 36: Modelētie ražīguma rādītāji 3. darba metodei.....	44
Att. 37: Modelētie ražīguma rādītāji 4. darba metodei.....	45
Att. 38: Modelētie ražīguma rādītāji 5. darba metodei.....	45
Att. 39: Ražības palielināšanas iespējas, saglabājot sīkkokus.....	46
Att. 40: Jūtīguma analīze 1. darba metodei John Deere 1070 D.....	50
Att. 41: Jūtīguma analīze 1. darba metodei Ponsse Ergo.....	51
Att. 42: Jūtīguma analīze 2. darba metodei John Deere 1070 D.....	51
Att. 43: Jūtīguma analīze 2. darba metodei Ponsse Ergo.....	51
Att. 44: Jūtīguma analīze 3. darba metodei John Deere 1070 D.....	52
Att. 45: Jūtīguma analīze 3. darba metodei Ponsse Ergo.....	52
Att. 46: Jūtīguma analīze 4. darba metodei John Deere 1070 D.....	53
Att. 47: Jūtīguma analīze 4. darba metodei Ponsse Ergo.....	53
Att. 48: Jūtīguma analīze 5. darba metodei John Deere 1070 D.....	54
Att. 49: Jūtīguma analīze 5. darba metodei Ponsse Ergo.....	54
Att. 50: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums 1. darba metodei sīkkoksnes biokurināmā un šķeldu piegādes scenārijā.....	55
Att. 51: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums 2. darba metodei sīkkoksnes biokurināmā un šķeldu piegādes scenārijā.....	56
Att. 52: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums 3. darba metodei sīkkoksnes biokurināmā un šķeldu piegādes scenārijā.....	56
Att. 53: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums 4. darba metodei sīkkoksnes biokurināmā un šķeldu piegādes scenārijā.....	57
Att. 54: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums 5. darba metodei sīkkoksnes biokurināmā un šķeldu piegādes scenārijā.....	58
Att. 55: Paliekošo koku attālums no koridora centra sadalījumā pa darba metodēm John Deere 1070 D harvesteram.....	59
Att. 56: Paliekošo koku attālums no koridora centra sadalījumā pa darba metodēm Ponsse Ergo harvesteram.....	60
Att. 57: Harvestera bojājumu veidi.....	61
Att. 58: Harvestera bojājumi sadalījums pa darba metodēm.....	61
Att. 59: Harvestera bojājumu struktūra sadalījums pa darba metodēm.....	62

## Tabulas

Tab. 1: Ar John Deere 1070D izkopto audžu taksācijas rādītāji.....	11
Tab. 2: Ar Ponsse Ergo izkopto audžu taksācijas rādītāji.....	12
Tab. 3: Izstrādes darba laika uzskaites elementi.....	19

Tab. 4: Izmēģinājumos sagatavotās sortimentu grupas.....	20
Tab. 5: Pārrēķina koeficienti mežaudzes krājas aprēķināšanai.....	21
Tab. 6: Pārrēķina koeficienti koku virszemes biomasas aprēķināšanai (Lazdiņš et al., 2013).....	22
Tab. 7: Pašizmaksas aprēķinu gaita.....	23
Tab. 8: John Deere 1070 D darba laika uzskaites kopsavilkums sadalījumā pa darba metodēm (cmin.).....	28
Tab. 9: Ponsse Ergo darba laika uzskaites kopsavilkums sadalījumā pa darba metodēm (cmin.).....	28
Tab. 10: John Deere 1070 D darba laiks īpatsvars sadalījumā pa darba metodēm.....	29
Tab. 11: Ponsse Ergo darba laiks īpatsvars sadalījumā pa darba metodēm.....	29
Tab. 12: John Deere 1070 D vidējais efektīvā darba laika patēriņš uz 1 koku (sek.).....	30
Tab. 13: Ponsse Ergo vidējais efektīvā darba laika patēriņš uz 1 koku (sek.).....	30
Tab. 14: John Deere 1070 D vidējais efektīvā darba laika patēriņš 1m <sup>3</sup> koksnes sagatavošanai (sek.).....	30
Tab. 15: Ponsse Ergo vidējais efektīvā darba laika patēriņš 1m <sup>3</sup> koksnes sagatavošanai (sek.).....	30
Tab. 16: John Deere 1070 D vidējais efektīvā darba laika patēriņš 1 ha izstrādei (stundas).....	31
Tab. 17: Ponsse Ergo vidējais efektīvā darba laika patēriņš 1 ha izstrādei (stundas).....	31
Tab. 18: Darba ražīguma rādītāju salīdzinājums John Deere 1070D operatoriem.....	32
Tab. 19: Darba ražīguma rādītāju salīdzinājums Ponsse Ergo operatoriem.....	32
Tab. 20: Vidējā stumbra biomasas aprēķinu vienādojuma koeficienti.....	42
Tab. 21: Aprēķinu vienādojuma koeficienti John Deere 1070 D.....	43
Tab. 22: Aprēķinu vienādojuma koeficienti Ponsse Ergo.....	43
Tab. 23: Darba metodei specifiskie ievades dati pašizmaksas aprēķinu modelī John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteram.....	47
Tab. 24: Ar John Deere sagatavotā biokurināmā pašizmaksas kopsavilkums.....	47
Tab. 25: Ar Ponsse Ergo sagatavotā biokurināmā pašizmaksas kopsavilkums.....	48
Tab. 26: Koku izvietojums pēc kopšanas ar John Deere 1070 D harvesteru.....	59
Tab. 27: Koku izvietojums pēc kopšanas ar Ponsse Ergo harvesteru.....	59
Tab. 28: Paliekošo koku bojājumi sadalījumā pa darba metodēm strādājot ar John Deere 1070 D harvesteru.....	60
Tab. 29: Paliekošo koku bojājumi sadalījumā pa darba metodēm strādājot ar Ponsse Ergo.....	60

## IEVADS

Krājas kopšana ir viens no meža apsaimniekošanas etapiem, kuru veic ar mērķi uzlabot mežaudzes kvalitāti. Krājas kopšana paliekošajiem kokiem nodrošina lielāku augšanas telpu, kas ir kopšanas primārais mērķis, lai maksimizētu meža vērtību galvenās cirtes vecumā, kā arī ļauj gūt papildus ienākumus no meža audzēšanas. Krājas kopšanu veicam mežaudzēs, kur vidējā koka caurmērs sasniedzis apaļo kokmateriālu gatavošanai piemērotas dimensijas un mežaudzes šķērslaukums ir lielāks par minimālo (Latvijas Republikas Saeima, 2000; Bisenieks, 2005).

Latvijā krājas kopšanu veic ar benzīna motorzāgus vai mašinizēti – ar vidējas klases harvesteriem. Krājas kopšanā izmantojot harvesteru un citas mežizstrādes mašīnas, var celt darba ražīgumu kā arī veidot labvēlīgākus darba apstākļus. AS "Latvijas valsts meži" valdījumā esošajās meža platībās krājas kopšanu, saskaņā ar AS "Latvijas valsts meži" izvirzītajām prasībām, drīkst veikt harvesteri, kuru dīzeļdzinēja jauda nepārsniedz 150 kW, harvestera griezējgalva piemērota koku zāgēšanai, kuru caurmērs nepārsniedz 640 mm. Harvesteram jābūt aprīkotam ar mērīšanas sistēmas elektronisko kalibrēšanas iekārtu un stumbra sagarumošanas optimizācija iespējām. Harvestera riepu platumam jābūt no 50 cm vai vairāk, vai kāpurķēžu konstrukcijai, tehnikas platums nedrīkst pārsniegt 2,9 m. Sagatavoto apaļo kokmateriālu pievešanai jāizmanto pievedējtraktori, kuri aprīkoti ar 8 vai vairāk riteņiem, vai kāpurķēdēm, riepu platums nedrīkst būt mazāks par 70 cm. Pievedējtraktora pašmasa nedrīkst pārsniegt 16,5 tonnas, bet tehnikas platums – ne vairāk kā 2,9 m, kravas nodalījuma pagarinājums 3 m garu kokmateriālu iekraušanai divās rindās nav pieļaujams (AS "Latvijas valsts meži", 2014).

Veicot krājas kopšanu iepriekš nekoptās audzēs, daļa izzāgējamo koku var nebūt atbilstoši apaļo kokmateriālu gatavošanai dēļ to salīdzinoši mazajiem caurmēriem, tādējādi krājas kopšanā iegūstami divi biokurināmā veidi – mežizstrādes atliekas un sīkkoksne. Izstrādājot krājas kopšanas cirtes, harvesters atsevišķi krauj apaļos kokmateriālus un zaru vai cita biokurināmā kaudzes pievedējtraktora strēles aizsniedzamības attālumā. Sīkkoksni arī iespējams nokraut tehnoloģiskā koridora malās, kā veselus sīkkoksni vai daļēji atzarotu sīkkoksni, tāpat var savākt apaļo kokmateriālu sagatavošanas procesā pāri palikušas koku galotnes. Priekšrocības ir tiem tehnoloģiskajiem risinājumiem, kas spēj apvienot krājas kopšanā apaļo kokmateriālu gatavošanu ar mežizstrādes atlieku un sīkkoksnes vākšanu pārstrādei biokurināmajā.

Veicot mašinizētu krājas kopšanu, vispirms ar krūmgriežiem, benzīna motorzāģiem vai motorzāģiem ar augstajiem rokturiem veic pameža un sīkkoku izzāģēšanu. Kaut arī Skandināvijas valstīs veiktie pētījumi pierādījuši, ka pameža zāģēšana pirms krājas kopšanas darba ražīgumu būtiski neietekmē, lai pameža izzāģēšanu uzskatītu par ekonomiski pamatotu, Latvijā joprojām pamežs pirms krājas kopšanas uzsākšanas tiek izzāģēts. Jāņem vērā, ka Latvijā kopšanā sagatavo daudz vairāk kokmateriālu veidu, tāpēc pameža zāģēšana vajadzīga ne tik daudz, lai uzlabotu redzamību, bet, lai atbrīvotu vietu kokmateriālu kaudzītēm. Lai pameža un sīkkoksnes zāģēšanu ar harvesteru padarītu ekonomiski pamatotu, harvestera griezējgalvu nepieciešams aprīkot ar akumulējošo satvērēju, kas spētu nodrošināt vienlaicīgu vairāku stumbru apstrādi. Operatoram jābūt pietiekoši kvalificētam, lai izmantotu paketēšanas mehānismu maksimāli efektīvi.

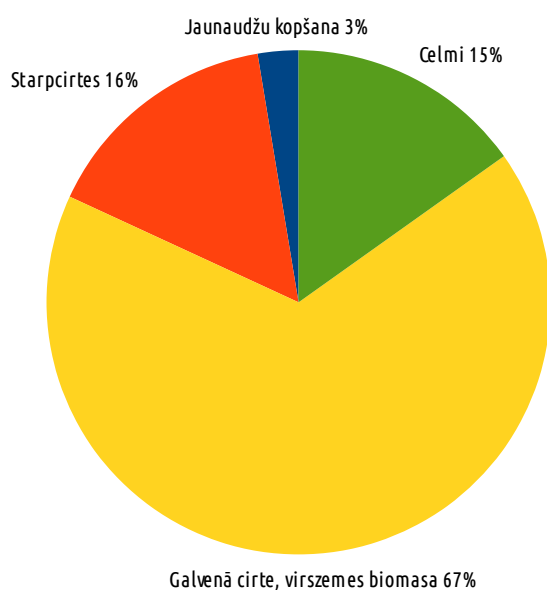
Biokurināmā apjoms, kas iegūstams veicot krājas kopšanu, ir atkarīgs no kopjamās mežaudzes sugu sastāva un kopšanas paņēmiena – kopšana “no augšas” vai kopšana “no apakšas”. Izcērtot augšanā atpalikušos kokus, vainagu zaru masa ir salīdzinoši neliela, tādēļ svarīgi izvērtēt izmaksas un potenciālos ieņēmumus no sagatavotā biokurināmā. Veicot kopšanu jauktās audzēs, izcērtot lapkokus no audzes vainagu augšējās daļas, biokurināmā apjoms ir lielāks un biokurināmā vākšana var būt ekonomiski pamatota.

Saskaņā ar LVMI Silava veikto pētījumu rezultātiem, biokurināmā ieguvei kopšanas cirtēs piemērotā platība valsts mežos ir 9 % no valsts mežu kopplatības (129 tūkst. ha), vidējais biokurināmā gatavošanai piemēroto audžu vecums ir 65 gadi, maksimālais iegūstamo kokmateriālu apjoms – 19,7 milj. m<sup>3</sup> (6 % no augošo koku krājas valsts mežos).

Potenciāli kopšanas cirtēs iegūstamā biokurināmā raksturojums:

- mežizstrādes atliekas – 1999 tūkst. tonnas;
- malka un daļēji atzaroti sīkkoki – 1311 tūkst. tonnas.
- tikai ziemā iegūstami – 59 % no resursiem (Lazdiņš & Makovskis, 2012).

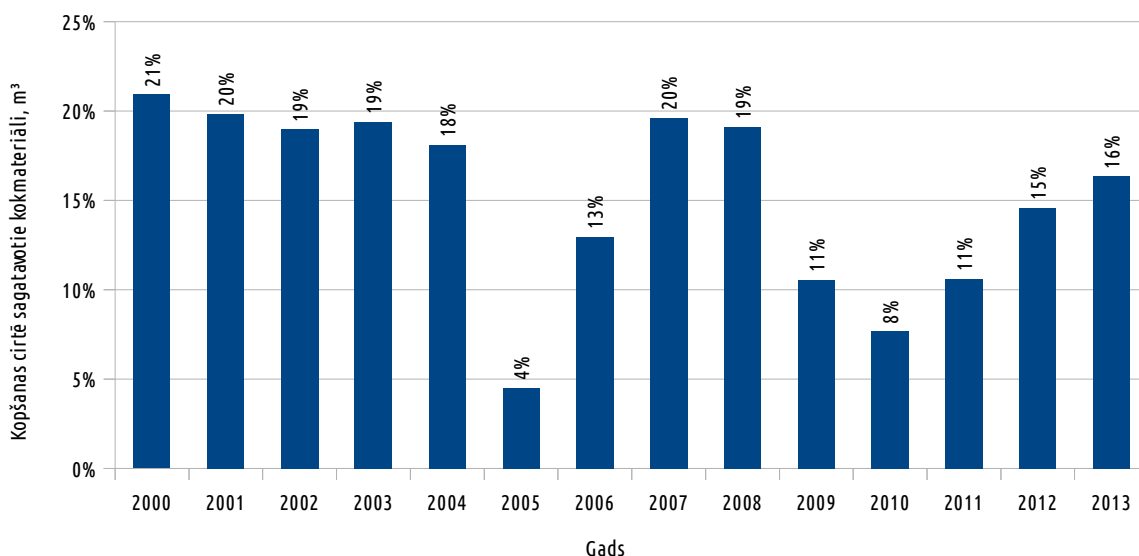
Kopējie kopšanas cirtēs valsts mežos pieejamie resursi – 17 212 GWh primārās enerģijas. Kopšanas cirtēs pieejamie biokurināmā resursi ir 16 % no kopējā meža biokurināmā potenciāla valsts mežos (Att. 1).



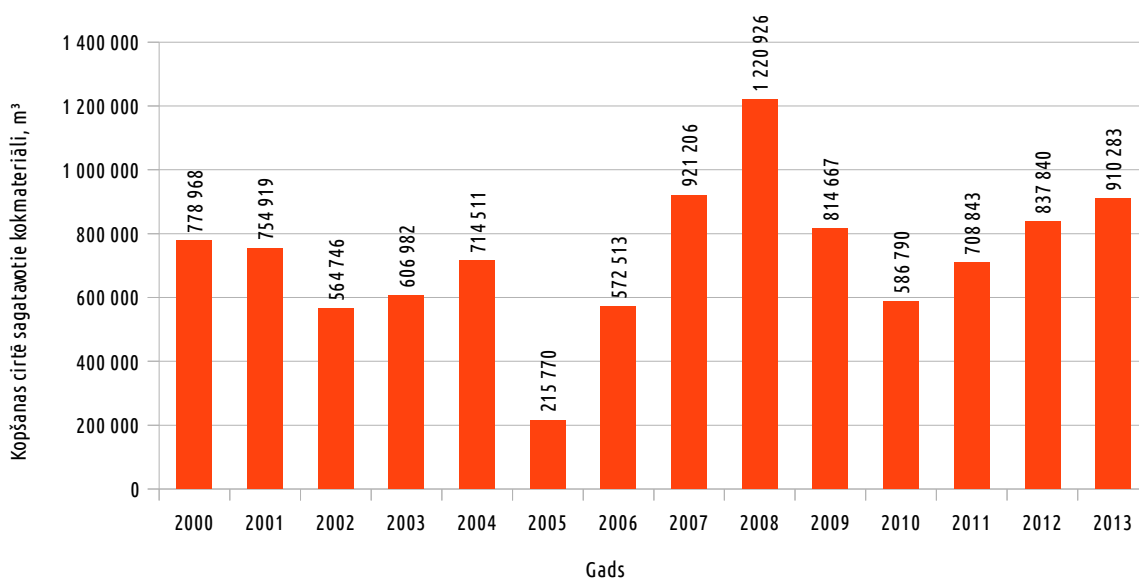
**Att. 1: Biokurināmā piegāžu potenciāls valsts mežos** (Lazdiņš & Makovskis, 2012).

Vidējais kopšanas ciršu apjoms valsts mežos kopš 2000. gada ir 0,9 milj. m<sup>3</sup> gadā. Salīdzinot ar laika posmu no 2000. līdz 2004. gadam, kokmateriālu piegāžu īpatsvars no kopšanas cirtēm ir būtiski samazinājies (Att. 2). Tomēr kopējais no kopšanas cirtēm piegādāto kokmateriālu apjoms pēdējā piecgadē ir audzis. Kopš 2010. gada vērojama nepārtraukta kokmateriālu piegāžu no kopšanas cirtēm pieauguma tendence (Att. 3).





**Att. 2: No kopšanas cirtēm piegādāto kokmateriālu īpatsvars valsts mežos.**



**Att. 3: No kopšanas cirtēm piegādāto kokmateriālu apjoms valsts mežos.**

2013. gadā kopšanas cirtes valsts mežos veiktas 15835 ha platībā. Attiecinot potenciālos biokurināmā ieguves rādītājus uz šo platību, var izrēķināt, cik daudz biokurināmā var sagatavot kopšanas cirtēs valsts mežos. Potenciāli gada laikā iegūstamais mežizstrādes atlieku daudzums ir 245 tūkst. tonnas (1,3 milj. ber. m³ šķeldu), bet malkas un sīkkoku daudzums – 161 tūkst. tonnas (400 tūkst. m³). Kopšanas cirtēs iegūstamais mežizstrādes atlieku apjoms ir vismaz 2 reizes lielāks par patreizējām meža biokurināmā piegādēm no valsts mežiem (Osis, 2012).

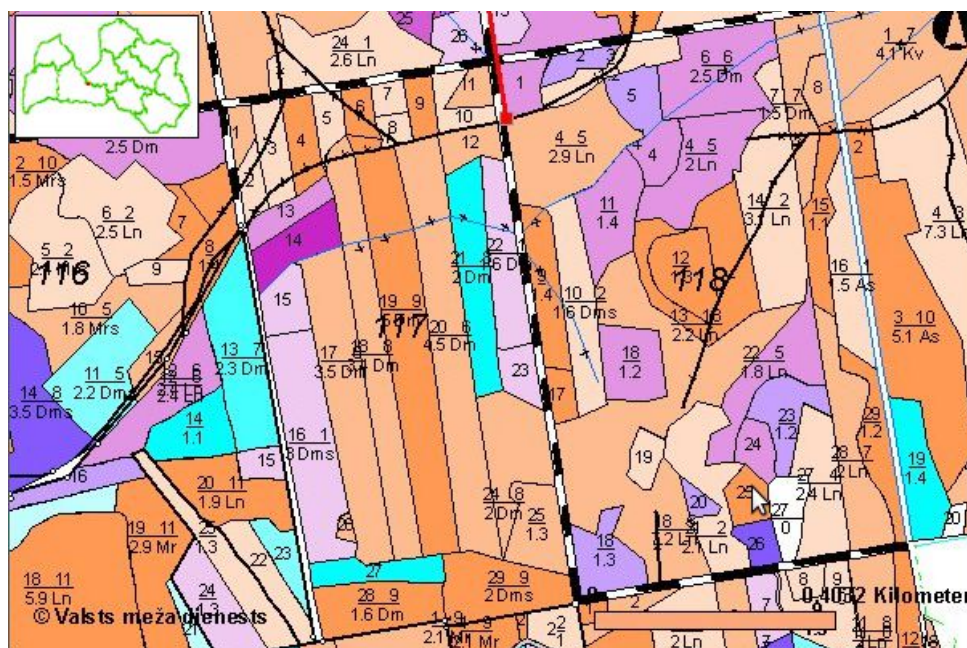
Finansiālais ieguvums, maksimāli izmantojot mežizstrādes atliekas no kopšanas cirtēm, atbilst 10 milj. EUR gadā, bet valsts pievienotās vērtības nodokļa veidā var saņemt papildus 2,2 milj. EUR gadā.

Biokurināmā piegāžu palielināšanas iespējas no kopšanas cirtēm norāda uz nepieciešamību izstrādāt metodiskus norādījumus biokurināmā sagatavošanai un testēt jaunākos tehniskos risinājumus kokmateriālu sagatavošanai un pievešanai kopšanas cirtēs, lai nodrošinātu maksimālu ekonomisku atdevi, vienlaicīgi nepalielinot mežsaimnieciskos riskus, kas saistīti ar intensīvāku meža resursu izmantošanu.

# IZMĒĢINĀJUMU OBJEKTI UN DARBA METODIKA

## Pētījumu objekti

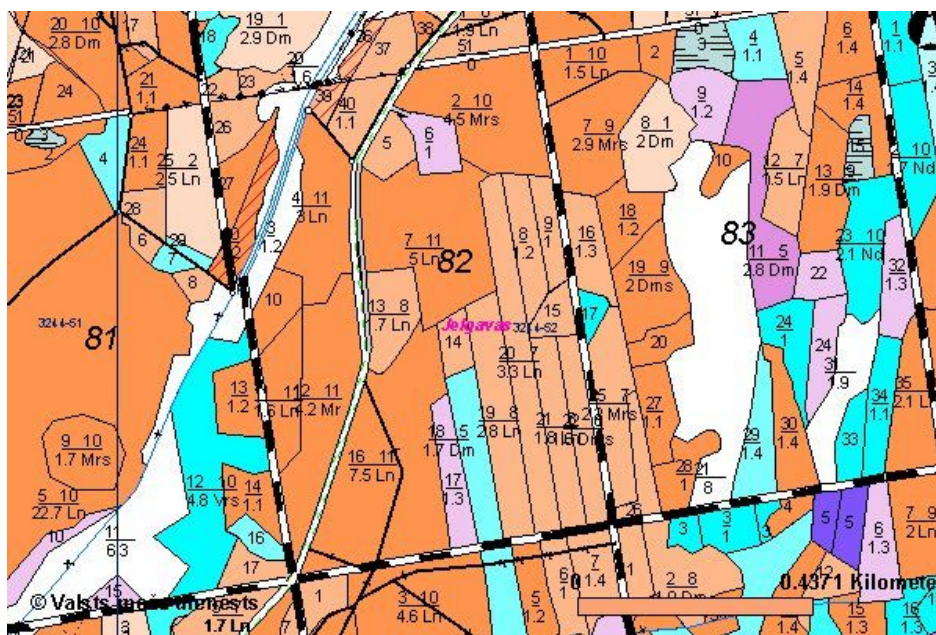
Ar John Deere 1070 D krājas kopšana veikta 16,3 ha platībā astoņos nogabalos, bet ar Ponsse Ergo – 6,1 ha platībā, vairākās audzēs, kuras izvietotas 3 kvartālos Jelgavas apkārtnē. Izskopto sleju garumu un platību kopsavilkums dots Tab. 1 un Tab. 2. Ar John Deere 1070 D izskopto audžu izvietojums parādīts Att. 4. , bet ar Ponsse Ergo izskopto audžu izvietojums redzams Att. 5.



Att. 4: Ar John Deere 1070 D zāģēto objektu izvietojums.

Tab. 1: Ar John Deere 1070D izskopto audžu taksācijas rādītāji

Cirsmas kods	Platība, ha	Meža tips	Valdošā suga	Koku skaits, gab., ha <sup>-1</sup>	Vidējais caurmērs, cm
609-117-13	0,6	Dms	egle	363	21,7
609-117-12; 17; 18; 19; 20; 24	18,3	Ln, Dm	melnalksnis, egle, priede	1 825	13,0
609-118-4	6	Ln	egle	150	8,5



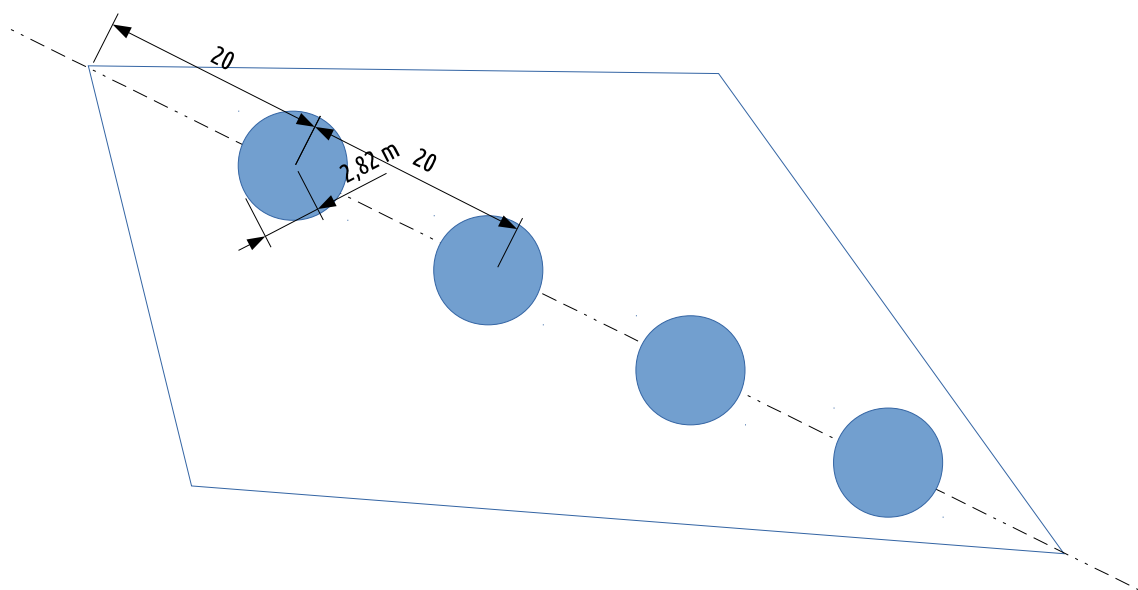
Att. 5: Ar Ponsse Ergo zāģēto objektu izvietojums.

Tab. 2: Ar Ponsse Ergo izkopto audžu taksācijas rādītāji

Cirsmas kods	Platība, ha	Meža tips	Valdošā suga	Koku skaits, gab., ha <sup>-1</sup>	Vidējais caurmērs, cm
609-82-8, 9, 15, 22, 18, 19, 20, 21, 14	13,7	Ln, Dm, Dms	egle	1402	18

## Mežaudžu taksācijas rādītāju noteikšana pirms kopšanas

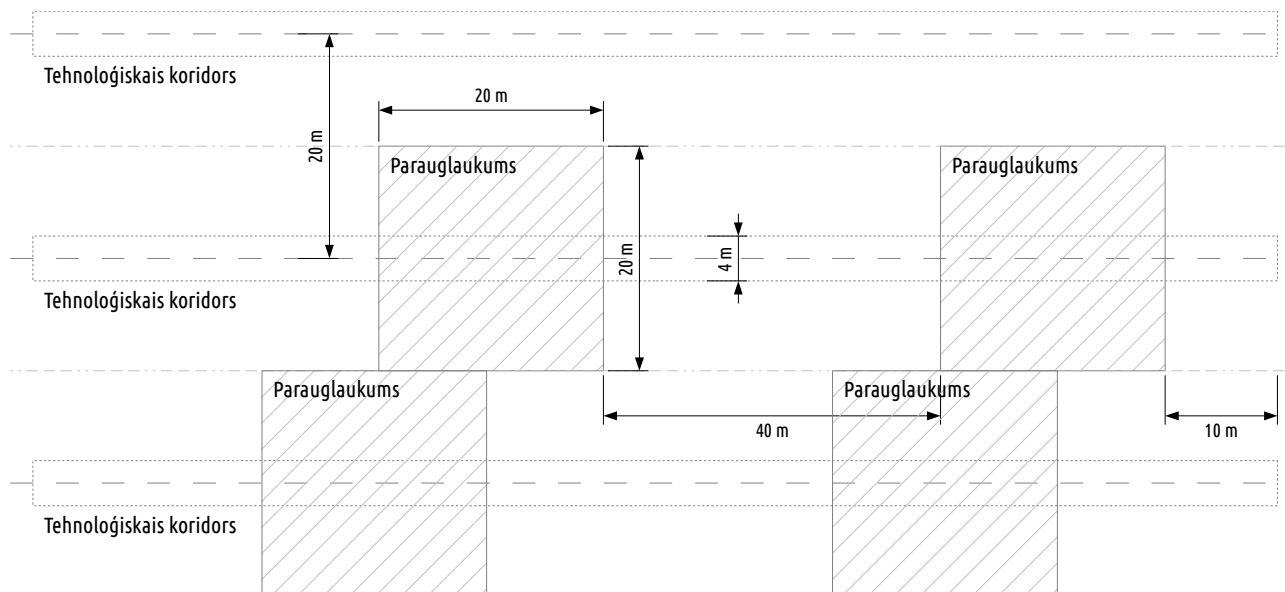
Taksācijas rādītāju noteikšanai pirms krājas kopšanas ierīkoti aplveida parauglaukumi, kuru platība 25 m<sup>2</sup>. Parauglaukumi izvietoti uz divām diagonālēm ik pēc 20 m (Att. 6) vai arī, ja platība neliela, tad tādā skaitā, lai uzmērīto koku skaits audzē būtu vismaz 100 gab. Kokiem parauglaukumos noteikto suga un caurmērs 1,3 m augstumā virs sakņu kakla, ja tas lielāks par 4 cm un augstuma līknes izveidei.



Att. 6: Parauglaukumu izvietojuma shēma.

## Taksācijas rādītāju noteikšana pēc audžu kopšanas

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. 7). Attālums starp parauglaukumiem 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. 7: Parauglaukumu novietojuma shēma.



Operatoriem uzdots audzes izkopt līdz minimālajam šķērslaukumam. Tehnoloģiskie koridori apaļkoku pievešanai ierīkoti 20 m attālumā viens no otra. Audžu kopšanām izmantotas 5 darba metodes, kas savā starpā atšķirās ar sagatavoto apaļo kokmateriālu veidiem un ciršanas atlieku novietojumu.

## **Pētījumā izmantotās tehnikas raksturojums**

### **Kokmateriālu sagatavošana**

Krājas kopšanu 117. un 118. kvartālā veica John Deere 1070 D harvesteru ar paketējošo griezējgalvu H754 (Att. 8). Hidraulikas darba spiediens 24 MPa, strēles izlice 10 m, dzinēja jauda 136 kW, garums – 6,7 m, platums 2,62 m, pašmasa 14,1 tonnas.



**Att. 8: John Deere 1070 D ar paketējošo griezējgalvu H754.**

82. kvartālā krājas kopšanu veica Ponsse Ergo harvesters ar paketējošo griezējgalvu H 73 E (Att. 9). Strēles izlice 10 m, dzinēja jauda 205 kW, garums – 9,5 m, platums 3,0 m, pašmasa 20 tonnas. Paketēšanu ar šo griezējgalvu var veikt, izmantojot ievilcējruļļus.



Att. 9: Ponsse Ergo ar paketējošo griezējgalvu H73E.

## Darba metodes

Pētījumā salīdzinātas 5 kopšanas darbu metodes, kas atšķiras pēc sagatavoto kokmateriālu un biokurināmā veidu skaita.

Pirmā darba metode (kontrolē) paredz kopšanā gatavot tikai standarta apaļos kokmateriālus. Instrukcijas operatoram:

- mežizstrādes atliekas liek ceļos,
- pamežs pirms kopšanas tiek izzāģēts,
- griezējgalvas paketēšanas mehānismu neizmanto.

Otrā darba metode jeb mežizstrādes atlieku metode paredz gatavot standarta apaļos kokmateriālus, tajā skaitā malku, un mežizstrādes atliekas, kuras vāc kaudzēs aiz vai starp kokmateriālu kaudzītēm. Instrukcijas operatoram:

- pamežs pirms kopšanas tiek izzāģēts;
- griezējgalvas paketēšanas mehānismu neizmanto.

Trešā jeb sīkkoku biokurināmā metode paredz gatavot standarta apaļos kokmateriālus un apvienotu biokurināmā sortimentu (malka, daļēji atzarotās galotnes un par 6 cm resnāki pameža koki). Instrukcijas operatoram:

- mežizstrādes atliekas klāj ceļos;
- pamežu pirms kopšanas saglabā;
- darbā izmanto griezējgalvas paketēšanas mehānismu;
- biokurināmais sortiments ne garāks kā 3 m.

Ceturtā darba metode jeb sīkkoksnes un mežizstrādes atlieku biokurināmā metode paredz maksimāli izmantot mežizstrādes atliekas un sīkkokus, gatavojot standarta apaļos

kokmateriālus, kā arī apvienotu biokurināmā sortimentu no malkas, daļēji atzarotām galotnēm un par 6 cm resnākiem pameža kokiem, un mežizstrādes atliekas. Instrukcijas operatoram:

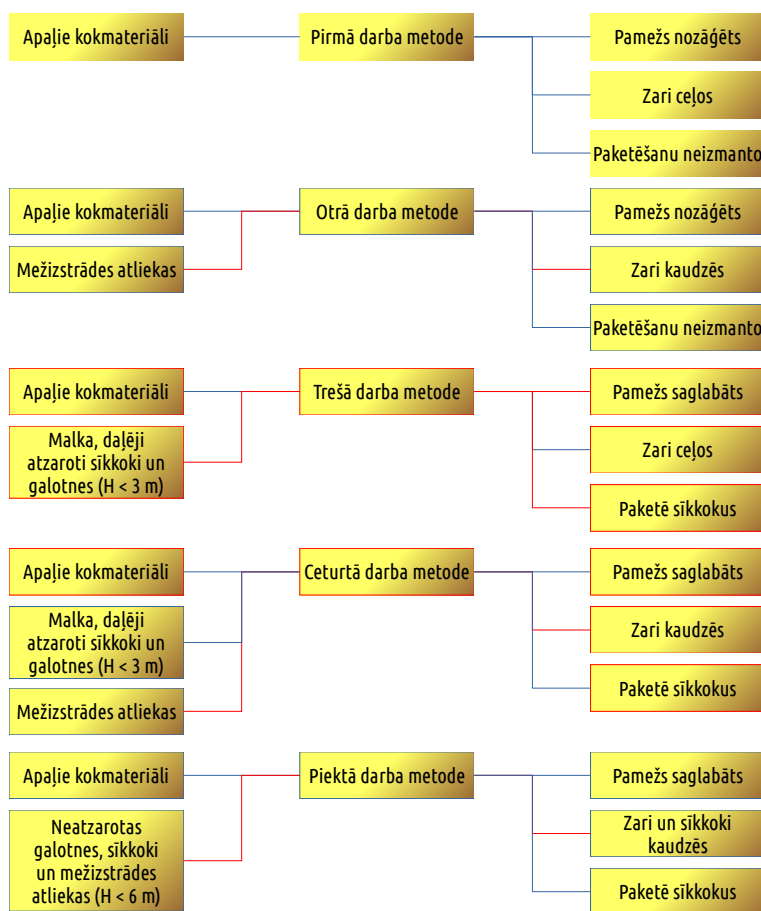
- mežizstrādes atliekas vāc kaudzēs aiz vai blakus kokmateriālu kaudzītēm;
- maksimāli izmantojot paketēšanas mehānismu (tajā skaitā malkai),
- daļēji atzarotā biokurināmo sortimentu garums nedrīkst pārsniegt 3 m;
- pamežu pirms kopšanas saglabā;
- apaļos kokmateriālus un mežizstrādes atliekas pieved atsevišķi.

Piektā darba metode jeb apvienota biokurināmā sortimenta metode paredz gatavot standarta apaļos kokmateriālus, tajā skaitā malku, un apvienotu biokurināmā sortimentu no neatzarotām galotnēm, par 6 cm resnākiem pameža kokiem un mežizstrādes atliekām. Instrukcijas operatoram:

- darbā maksimāli izmanto paketēšanas mehānismu;
- biokurināmā sortimenta garums nedrīkst pārsniegt 6 m;
- pamežu pirms kopšanas saglabā;
- standarta apaļos kokmateriālus un apvienoto biokurināmā sortimentu pieved atsevišķi;
- apvienoto biokurināmā sortimentu pieved uzreiz pēc izstrādes.

Shematiski darba metodes parādītas Att. 10. Ar sarkanām līnijām iezīmētas darba metodei specifiskās instrukcijas un kokmateriālu veidi, salīdzinot ar iepriekšējo darba metodi.





Att. 10: Kopšanas darba metodes.

## Darba laika uzskaite

### Aprīkojums

Pētījuma ietvaros veikta kopšanas darba laika uzskaite, izmantojot specializētu triecienu un mitruma izturīgu laukdatoru Allegro CX (Att. 11), kas aprīkots ar darba laika hronometrāžas programmu SDI.



**Att. 11: Hronometrāžā izmantotais laukdators Allegro CX.**

Darba laika uzskaitē nav atsevišķi uzskaitīts degvielas patēriņš, pieņemot ražotāja dotos vidējos rādītājus.

Harvesteru darba laiks iespēju robežās pielāgots motorstundu uzskaitē, t.i. pēc dzinēja noslēpšanas darba laika uzskaiti aptur un atsāk tad, kad dzinējs tiek atkal iedarbināts. Iespējamā efektīvā darba laika īpatsvara pārspilēšana, izmantojot šādu pieeju, tiek risināta, pieņemot, ka dzinējs ir iedarbināts 85 % no operatora darba laika, t.i., ja darba diena ir 10 stundas, tad pieņemtais motorstundu skaits ir 8,5.

## Krājas kopšanas darbi

Krājas kopšanā izmantojot John Deere 1070 harvesteru, darba laika uzskaitē veikta 4 maiņās (maiņas ilgums 6 stundas) gan diennakts gaišajā, gan tumšajā laikā. Krājas kopšanu veica 4 pieredzējuši operatori, strādājot pa pāriem. Sākotnēji tika paredzēts, ka viens operatoru pāris strādās 5 darba dienas, mainoties ik pa 6 stundām, tālāk darbu turpinās otrs operatoru pāris, strādājot nākamās 5 darba dienas. Uzsākot krājas kopšanas darbus, kontraktori nespēja nodrošināt pietiekamu operatoru skaitu, nodrošinot ierasto operatoru darba – atpūtas režīmu.

Ar Ponsse Ergo harvesteru darbs veikts 4 maiņās (maiņas ilgums 4 stundas) pamīšus strādājot diviem pieredzējušiem operatoriem. Krājas kopšanas darbi veikti gan diennakts gaišajā (pārsvārā), gan tumšajā laikā.

Darba laika patēriņš noteikts katram darba ciklam atsevišķi, fiksējot satverto koku vidējo caurmēru (zāģējuma augstumā 0,5 m no sakņu kakla) atbilstoši harvestera mērījumiem) un skaitu. Darba laika uzskaites elementi parādīti Tab. 3. Izmēģinājuma ietvaros sagatavoti 6 apaļo kokmateriālu veidi (Tab. 4). Zāģbaļķi un pārējo apaļo kokmateriālu veidi cīsmā nokrauti atsevišķi. Tāpat atsevišķi krauts arī biokurināmais. Apaļie kokmateriāli krājas kopšanas darbu laikā krauti tehnoloģiskā koridorā abās malās, mežizstrādes atliekas, atbilstoši darba metodei un mitruma apstākļiem cīsmā, krautas kaudzēs vai ieklātas tehnoloģiskajos koridoros.

Tab. 3: Izstrādes darba laika uzskaites elementi

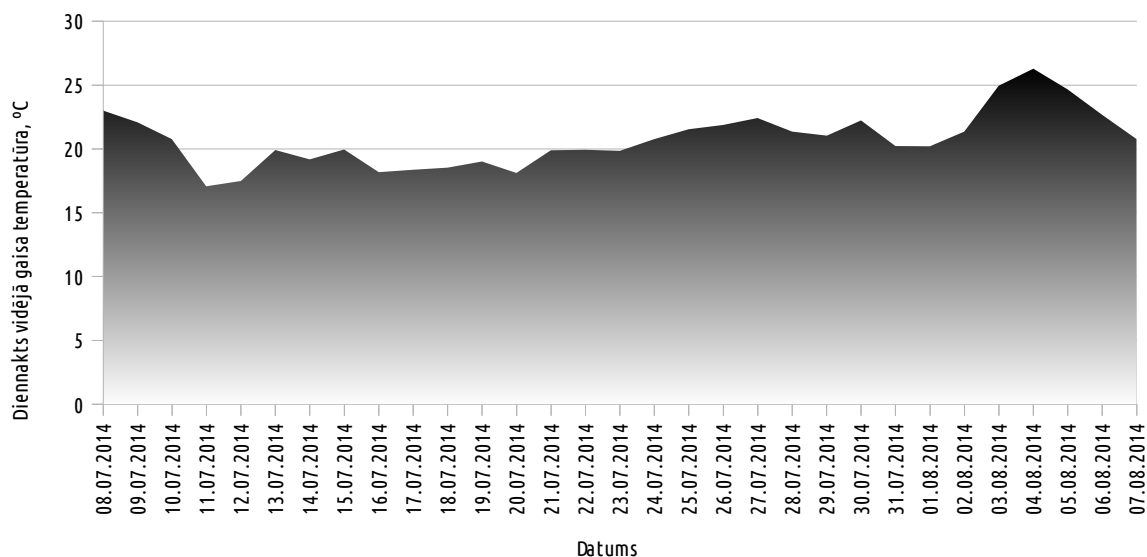
Darba laika kategorija	Saīsinājums	Skaidrojums
	d	Satvertā koka vidējais caurmērs $d_{0,5}$ (mm). Ja apstrādā vienu koku, izmantojams mērījums, ko uzrāda harvestera uzskaites sistēmas monitors. Pie vairāku koku apstrādes (paketēšanas funkcijas izmantošanas) satvertā koka vidējais caurmērs jāaprēķina vadoties pēc pirmā apstrādātā koka mērījumiem harvestera uzskaites sistēmā.
	skait	Satverto koku skaits (gab.).
	koks	Atzīme par visu koku izkrišanu no greifera satvēriena.
	egle	Koka suga
	priede	Koka suga
	lapu	Koka suga
	dist	Attālums (m), ko harvesters nobrauc (automātiski tiek nolasīts no GPS sistēmas). Fiksē, kad tiek veikti lielāki pārbraucieni (piem., brauc pildīt degvielu, pārbrauc uz nākošo koridoru, brauc ārā remontēt traktoru). Darbības sākumu fiksē uzsākot izbaukšanu/iebraukšanu un beigas fiksē pabeidzot izbaukšanu/iebraukšanu.
	xass	GPS koordinātes par harvestera atrašanās vietu (automātiski tiek nolasītas piespiežot attiecīgo pogu).
	yass	GPS koordinātes par harvestera atrašanās vietu (automātiski tiek nolasītas piespiežot attiecīgo pogu).
Produktīvais laiks	sniedz	Sniegšanās pēc koka sausās vietās (normālos apstākļos). Darbība sākas, kad manipulators ar darba galvu no sākotnējā stāvokļa tiek virzīts, lai satvertu nākamo koku. Darbība beidzas, kad harvestera galva pieskaras kokam.
	sniedzsl	Sniegšanās pēc koka slapjās vietās. Darbība sākas, kad manipulators ar darba galvu tiek virzīts, lai satvertu koku. Darbība beidzas, kad harvestera galva pieskaras kokam.
	satve	Koka satveršana. Darbība sākas, kad harvestera galva ir pieskārusies kokam. Darbība beidzas, kad koks ir satverts un sākas zāģēšana.
	zage	Koka nozāģēšana. Darbība sākas, kad uzsāk zāģēšanu. Darbība beidzas, kad koka zāģēšana ir pabeigta.
	pievelk	Stumbru pievilkšana no zāģēšanas vietas līdz sagarumošanas vietai. Darbība sākas satverot nozāģēto stumbru. Darbība beidzas ar stumbra pievilkšanu līdz sagarumošanas vietai (ja tiek gatavoti apaļi kokmateriāli) un/vai novietošanu apaļo kokmateriālu kaudzē (ja stumbris netiek apstrādāts vai arī pēc stumbra apstrādes).
	atzaro	Stumbra atzarošana un sagarumošana. Darbība sākas uzsākot stumbra atzarošanu un/vai sagarumošanu. Darbība beidzas, kad tiek nogriezts pēdējais kokmateriālu nogrieznis.
	zari	Ciršanas atlieku novietošana kaudzē. Darbība sākas, kad ar greiferi tiek satvertas ciršanas atliekas. Darbība beidzās, kad ciršanas atliekas tiek nokrautas kaudzē.
	tk	Ciršanas atlieku ieklāšana tehnoloģiskajā koridorā. Darbība sākas, kad ar greiferi tiek satvertas ciršanas atliekas. Darbība beidzās, kad ciršanas atliekas tiek ieklātas tehnoloģiskajā koridorā.
	cits	Citas ar darbu saistītas darbības (zāģējamā koka izvēle, remonts pie neizslēgta dzinēja u.c. darbības, par kurām izdara piezīmes, lai tās vēlāk varētu atšifrēt).
	parviet	Harvestera pārvietošanas pa cirsma.
	pamez	Pameža zāģēšana. Darbība sākas ar pameža koku satveršanu. Darbība beidzas ar pameža stumbru atlaišanu no greifera satvēriena.
	iebrauc	Iebraukšana cirsma. Darbība sākas, kad harvesters uzsāk iebraukšanu cirsma. Darbība beidzas, kad harvesters ieņemis darba pozīciju.
	izbrauc	Izbraukšana no cirsma. Darbība sākas, kad harvesters uzsāk izbraukšanu no cirsma. Darbība beidzas, kad harvesters ir izbraucis no cirsma.
Nedarbi	stop	Ar darbu nesaistītas darbības (runāšana pa telefonu un citas darbības, ka neattiecas uz darbu, bet tiek veiktas pie ieslēgta dzinēja- par darbībām izdara piezīmes, lai vēlāk tās atšifrētu)

Tab. 4: Izmēģinājumos sagatavotās sortimentu grupas

Nr.	Apaļo kokmateriālu veids	Apaļo kokmateriālu raksturojums
1.	BAĻĶIS (6X10; 10 X 14; 12x18; 14 X 18; 18X24; 18X28 un 28 zāģbaļķi)	Lapkoks, skujkoks, tievgalis sākot no 105 mm caurmērā; skujkoks, tievgalis sākot no 140 mm caurmērā, dažāda garuma
2.	FIB	Bērza finierkluči
3.	PM	Papīrmalka, tievgaļa caurmērs > 60 mm, resgaļa caurmērs < 600 mm, garums 3 m
4.	TK LK	Lapkoku tehnoloģiskā koksne
5.	TK SK	Skujkoku tehnoloģiskā koksne
6.	TM	Pārējie sortimenti, tajā skaitā daļēji atzaroti sikkoki un koku galotnes, garums 2-4 m

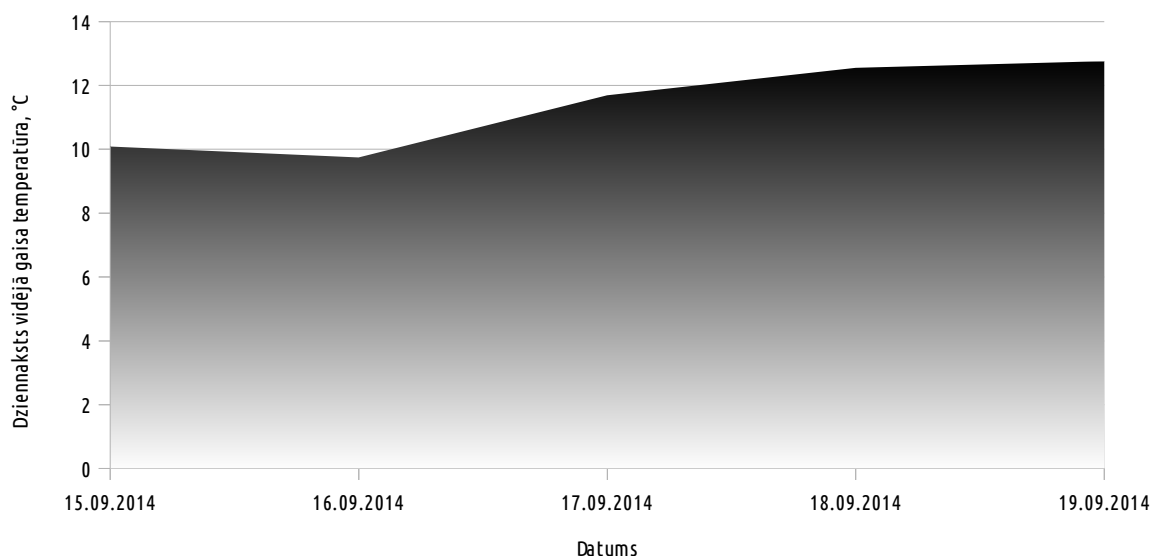
## Laika apstākļi izmēģinājumu laikā

Krājas kopšana 117. un 118. kvartāla audzēs veikta laikā no 08.07. līdz 07.08.2014., kad diennakts vidējā gaisa temperatūra bija 20,8 °C (Att. 12). Būtiski nokrišņi kopšanas darbu laikā netika novēroti.



Att. 12: Diennakts vidējā gaisa temperatūra izstrādes darbu laikā ar John Deere 1070 D.

Krājas kopšana 82. kvartāla audzēs veikta laikā no 15.09. līdz 19.09.2014., kad diennakts vidējā gaisa temperatūra bija 11,4°C (Att. 13). Nokrišņi krājas kopšanas darbu laikā netika novēroti.



Att. 13: Diennakts vidējā gaisa temperatūra izstrādes darbu laikā ar Ponsse Ergo.

## Aprēķini pēc biomasas vienādojumiem

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:

$$V = \Psi * L^{\alpha} * D^{\beta * \lg(H) + \phi}, \text{ kur}$$

$$V - \text{krāja } (m^3);$$

$L$  – stumbra garums (m);

$\Psi, \alpha, \beta, \phi$  – koku sugai raksturīgi aprēķina koeficienti.

Koku sugai atbilstoši pārrēķina koeficienti doti Tab. 5

Tab. 5: Pārrēķina koeficienti mežaudzes krājas aprēķināšanai

Koku suga	$\Psi$	$\alpha$	$\beta$	$\phi$
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, viksna, kļava	$0,8530 \cdot 10^{-4}$	0,73077	0,0682	1,91124

Audzes koku virszemes biomasas aprēķināšanai izmantots biomasas aprēķina vienādojums:

$$\text{Virszemes biomasa (kg)} = x * D^y, \text{ kur}$$

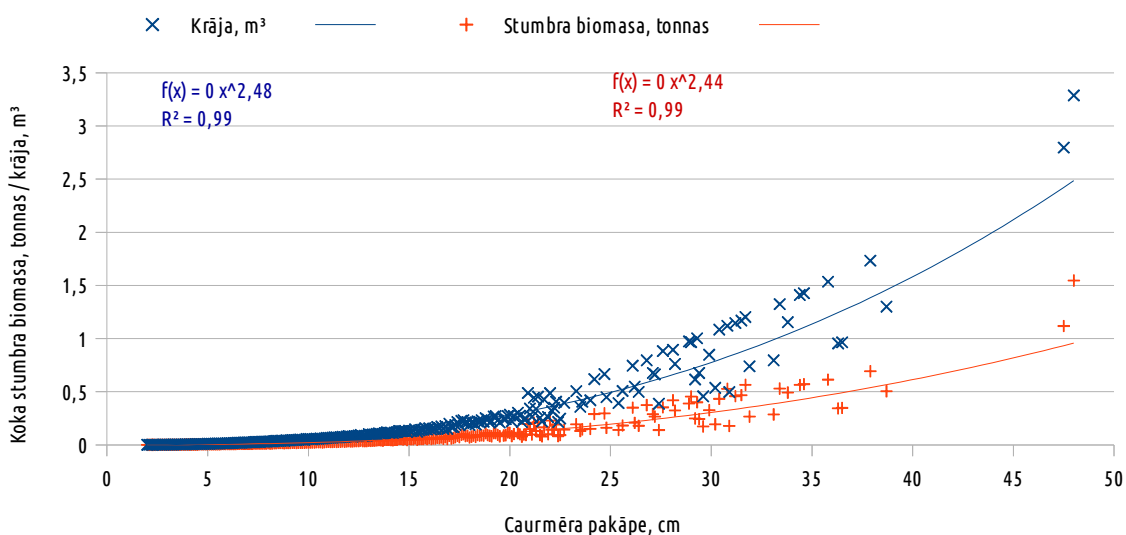
$$D - \text{caurmērs } 1,3 \text{ m augstumā (cm)}.$$

X un Y pārrēķina koeficienti doti Tab. 6.

**Tab. 6: Pārrēķina koeficienti koku virszemes biomasas aprēķināšanai (Lazdiņš *et al.*, 2013)**

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 biomasa aprēķināta, izmantojot regresijas vienādojumus, kas iegūti, salīdzinot visu pētāmajās audzēs uzmērīto koku caurmēra, krājas un stumbra biomasas sakarības. Att. 14 parādīti pakāpes vienādojumi, kas izmantoti nozāgēto koku krājas un stumbra biomasas aprēķināšanai pēc darba laika uzskaites datiem.



**Att. 14: Koku stumbra biomasas aprēķināšanas vienādojumi.**

## Bojājumu uzskaitē

Bojājumi uzskatīti tikai parauglaukumos esošajiem kokiem, kuru krūšaugsstuma 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 cm², 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.

Darba metodēs, kur pirms kopšanas saglabāts pamežs, uzskaitīto bojājumu skaitu palielina pameža koki. Ražošanas apstākļos augšanā atpalikušajiem un nomāktajiem kokiem radītie bojājumi nav jāiekļauj bojājumu uzskaitē.

Bojājumu uzskaitē veikta pēc izstrādes un pievešanas, vispirms (pēc izstrādes) marķējot ar harvesteru bojātos kokus pirmo reizi un tad pēc pievešanas marķējot ar pievedējtraktoru bojātos kokus un veicot koku izvietojuma uzskaiti.

## Izmaksas ietekmējošo faktoru analīze

Pašizmaksas aprēķins veikts saskaņā ar Tab. 7 doto pašizmaksas aprēķina gaitu. Aprēķinos izmantoti pētījumā iegūtie ražības rādītāji, kontraktoru sniegtā informācija par mašīnu uzturēšanas izmaksām, kā arī dati, kas nav iegūti konkrēto izmēģināju ietvaros, bet citos līdzīgos izmēģinājums, piemēram, apaļo kokmateriālu pievešanas dati ar Ponsse Ergo sagatavotajiem kokmateriāliem, kā arī dati par kokvedējiem, šķeldotājiem un šķeldu vedējiem.

**Tab. 7: Pašizmaksas aprēķinu gaita**

Rādītājs	Saīsinājums	izstrāde	pievešana	apaļkoku transports	šķeldošana	šķeldu transports	sīkkoksnes transports
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	$AF=S*AD$					

Rādītājs	Saīsinājums	izstrāde	pievešana	apaļkoku transports	šķeldošana	šķeldu transports	sīkkoksnes transports
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							
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>1</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>2</sup> , m min <sup>-1</sup> ; km h <sup>-1</sup>	AT						

<sup>1</sup> Pievedējtraktoram izmaksas izteiktas EUR tonnā.



Rādītājs	Saīsinājums	izstrāde	pievešana	apaļkoku transports	šķeldošana	šķeldu transports	sīkkoksnes transports
Attālums vienā virzienā <sup>3</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)					
Mašīnas darba laiks kravai, min	AW	BI = BH + BC + BD+ BE					
Mašīnas darba laiks kravai, stundas	AX	$BJ = \frac{BI}{60}$					
Vidējā krava <sup>4</sup> , ber. m³ (sausnas tonnas)	AY				BK = H		
Darba ražīgums, ber. m³ (tonnas <sup>5</sup> ) motorstundā	AZ	-	$BL = \frac{BK}{BJ}$	96,51	$BL = \frac{BK}{BJ}$		
Ražošana, ber. m³ gadā	BA	BM = BL * AE * J					
Krāja, ber. m³ ha <sup>-1</sup>	BB						
Kopējais darba laiks, ha	BC	$\frac{BN}{J}$ $BO = \frac{BL}{Z}$					
Ražošana, ha gadā	BD	$BP = \frac{BM}{BN}$					
Ietekme uz vidi							
Degvielas patēriņš, L gadā	BE	BQ = AM* AE					
Degvielas patēriņš, L ber. m³	BF	$BR = \frac{BQ}{BM}$					
Oglekļa emisijas, kg ber. m³	BG	BS = BR* K*L					
Oglekļa saturs koksnē, kg ber. m³	BH	$BT = \frac{I}{J}$					
Oglekļa balance	BI	$BU = \frac{BT}{BS}$					

<sup>2</sup> Kravas mašīnai (šķeldu un celmu vedējs) – km h<sup>-1</sup>; pievedējtraktoram – m min<sup>-1</sup>.

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

<sup>4</sup> Sausnas tonnās izsaka pievedējtraktora kravu.

<sup>5</sup> Sausnas tonnas pievedējtraktora darba ražīguma apzīmēšanai.

# DARBA REZULTĀTI

## Izstrādes darba ražīgums

Dati ievākti meža nogabalos 609. kvartālu apgabalā 117. un 118. kvartālos Jelgavas apkārtnē, kuros krājas kopšana veikta izmantojot John Deere 1070 D harvesteru ar paketējošo griezējgalvu, kā arī 609 kvartālu apgabala 82 kvartālā Jelgavas apkārtnē, kur krājas kopšana veikta izmantojot Ponsse Ergo harvesteru ar paketējošo griezējgalvu.

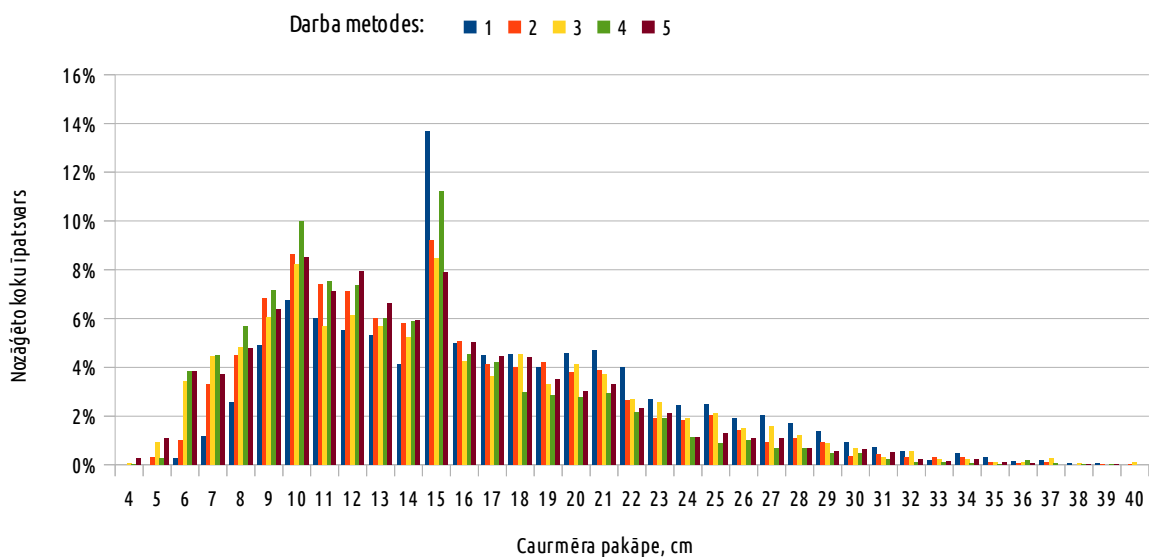
Kopšanas darbu izmēģinājumi ar John Deere 1070 D harvesteru veikti no 08.07.2014 līdz 07.08.2014, bet ar Ponsse Ergo harvesteru laikā no 15.09.2014 līdz 19.09.2014.

Kopējā izmēģinājuma platība John Deere 1070 D harvesteram bija 16,3 ha, vidējā nozāgētā koka stumbra biomasa – 62 kg, stumbra tilpums – 0,3 m<sup>3</sup>, vidējā nozāgētā koka caurmērs – 15 cm. Kopējā izmēģinājuma platība Ponsse Ergo harvesteram bija 6,1 ha, vidējā nozāgētā koka stumbra biomasa – 59 kg, stumbra tilpums 0,2 m<sup>3</sup>, caurmērs – 13 cm. Izmēģinājumus ar Ponsse harvesteru plānots turpināt ziemā, salīdzinot ražīguma rādītājus vasarā un bezlapu stāvoklī.

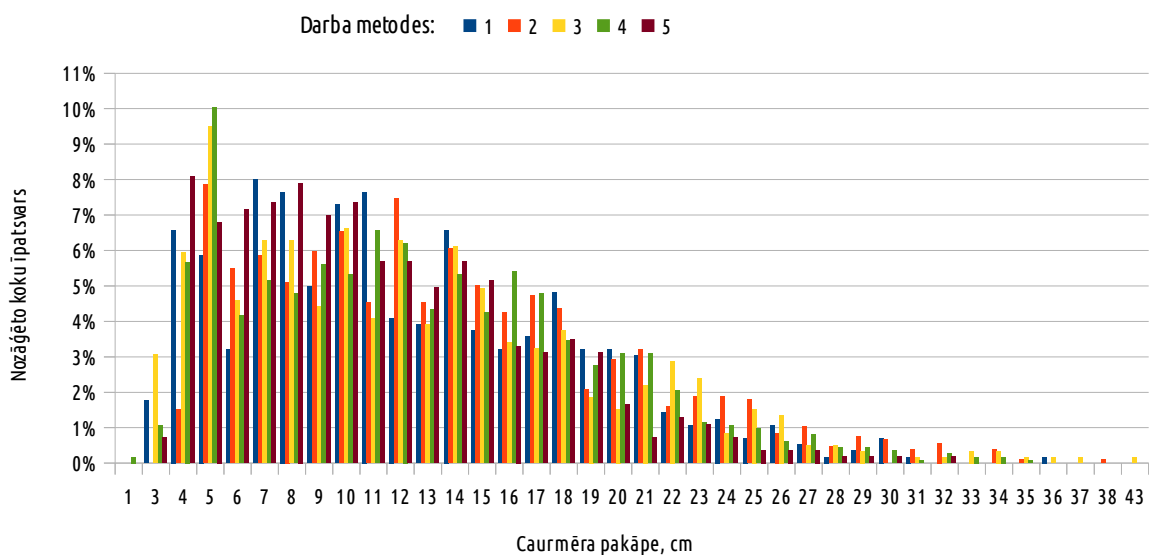
Ar John Deere 1070 D harvesteru krājas kopšanu veica 4 pieredzējuši operatori, strādājot pa pāriem. Operatori savā starpā mainījās ik pa 6 stundām. Ar Ponsse Ergo harvesteru krājas kopšanu veica 2 pieredzējuši operatori, strādājot pamīšus katrs 4 stundas. Darba laika uzskaitē veikta visam krājas kopšanai patērētajam darba laikam, kad mašīnas dzinējs bija iedarbināts (motorstundām) un nelieliem remontiem (pie iedarbināta dzinēja). Darba laika uzskaitē nav iekļauti ilgstoši remontu un dīkstāves.

Aprēķinos par John Deere 1070 D harvestera darba ražīgumu izmantoti dati par 270 darba stundām, izmēģinājuma ietvaros nozāgēti 16 509 koki. Nozāgēto koku skaita sadalījums pa caurmēra pakāpēm dots Att. 15. Aprēķinos par Ponsse Ergo harvestera darba ražīgumu izmantoti dati par 41 darba stundu, izmēģinājuma ietvaros nozāgēti 3 813 koki. Nozāgēto koku skaita sadalījums pa caurmēra pakāpēm dots Att. 16.

Kopumā ar John Deere 1070 D harvesteru no audzēs nozāgēto koku apjoma 83 % bija skujkoki (attiecīgi 59 % egle un 24 % priede), bet 86 % no kokiem, kas nozāgēti ar Ponsse Ergo, ir skujkoki (71 % egle un 15 % priede).



Att. 15: Ar John Deere 1070 D nozāgēto koku īpatsvars sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.



Att. 16: Ar John Ponsse Ergo nozāgēto koku īpatsvars sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.

Kopējā darba laika uzskaites kopsavilkums John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteram darba metožu griezumā dots Tab. 8 un Tab. 9.

**Tab. 8: John Deere 1070 D darba laika uzskaites kopsavilkums sadalījumā pa darba metodēm (cmin.)**

Darba metode	Novērojumu skaits	Koku D <sub>1,3</sub> , mm	Koku skaits, gab.	Sniegšanās	Satveršana	Nozāģēšana	Pievilkšana	Atzarošana	Zaru novietošana kaudzē	Zaru ieklāšana ceļos	Citas operācijas	Pārbraucien i pa audzi	Pameža zāģēšana	Iebraukšana a audzē	Izbraukšana no audzes	Nedarbi	Efektīvais laiks	Kopējais darba laiks	Tiešais darba laiks <sup>6</sup>
1.	2886	148,1	2827	21724	7965	12043	21988	81294	777	16095	9459	17193	3834	16690	13056	28729	222496	251225	192750
2.	3469	135,7	3414	30602	9784	18141	25398	104776	34639	6312	11250	24083	6621	5010	14194	19582	291430	311012	272226
3.	3234	139,1	3290	48511	9406	15556	20962	96258	1576	18553	12589	34977	8991	18800	17029	39402	305716	345118	269887
4.	4171	121,4	4100	52046	11675	15564	29529	104680	22894	13679	18458	35917	11964	21679	19060	19878	357630	377508	316891
5.	3422	118,8	3168	43258	10115	14442	26360	76460	25679	8657	18729	31239	16013	25706	20254	41371	318334	359705	272374

**Tab. 9: Ponsse Ergo darba laika uzskaites kopsavilkums sadalījumā pa darba metodēm (cmin.)**

Darba metode	Novērojumu skaits	Koku D <sub>1,3</sub> , mm	Koku skaits, gab.	Sniegšanās	Satveršana	Nozāģēšana	Pievilkšana	Atzarošana	Zaru novietošana kaudzē	Zaru ieklāšana ceļos	Citas operācijas	Pārbraucien i pa audzi	Pameža zāģēšana	Iebraukšana a audzē	Izbraukšana no audzes	Nedarbi	Efektīvais laiks	Kopējais darba laiks	Tiešais darba laiks
1.	549	125,37	563	4678	1132	2302	1292	17660	23	1226	541	2232	549	476	1079	768	33190	33958	31635
2.	1029	136,97	1027	8593	2809	3267	7029	29431	1488	55	3307	6202	252	424	686	2960	63543	66503	62433
3.	577	127,9	597	4316	1660	2385	2854	17856	2	492	1028	3030	531			675	34154	34829	34154
4.	1070	128,44	1105	7988	3263	3781	6848	36011	1211	247	3077	5066	2364	447	1470	4178	71773	75951	69856
5.	588	114,84	580	4762	1441	1748	4304	12761	1247	5	2391	2446	3922	3		518	35030	35548	35027

<sup>6</sup> Tiešais darba laiks ir efektīvais darba laiks, kurā nav ietverta iebraukšana un izbraukšana no audzes, kā arī darba cikli, kas nenoslēdzas ar kokmateriālu sagatavošanu.

John Deere 1070 D harvestera efektīvā darba laika īpatsvars kopējā darba laikā veido vidēji 91 %. Attiecīgi, tiešais darba laiks, kas saistīts ar darba laika patēriņu apaļo kokmateriālu sagatavošanai, vidēji ir 88 % no efektīvā darba laika (Tab. 10). Kokmateriālu izkrišana vai iesprūšana neradīja grūtības darba laikā, tāpēc tiešā un efektīvā darba laika starpību veido galvenokārt iebraukšana un izbraukšana no audzes (12 % no kopējā uzskaitītā darba laika).

**Tab. 10: John Deere 1070 D darba laiks īpatsvars sadalījumā pa darba metodēm**

Darba metode	Tiešais darba laiks no efektīvā	Efektīvais darba laiks no kopējā
1	86,6%	88,6%
2	93,4%	93,7%
3	88,3%	88,6%
4	88,6%	94,7%
5	85,6%	88,5%

Ponsse Ergo harvestera efektīvā darba laika īpatsvars kopējā darba laikā ir 97 %. Tiešais darba laiks, kas saistīts ar apaļo kokmateriālu sagatavošanu, ir vidēji 98 % no efektīvā darba laika (Tab. 11). Ponsse Ergo operatori brauca no meža tikai, lai uzpildītu degvielu, atšķirībā no John Deere operatoriem, kas izbrauca no meža arī nomaiņai.

**Tab. 11: Ponsse Ergo darba laiks īpatsvars sadalījumā pa darba metodēm**

Darba metode	Tiešais darba laiks no efektīvā	Efektīvais darba laiks no kopējā
1	95,3%	97,7%
2	98,3%	95,5%
3	100,0%	98,1%
4	97,3%	94,5%
5	100,0%	98,5%

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 D un Ponsse Ergo harvesteru doti Tab. 12, Tab. 13, Tab. 14, Tab. 15, Tab. 16 un Tab. 18.

**Tab. 12: John Deere 1070 D vidējais efektīvā darba laika patēriņš uz 1 koku (sek.)**

Darba metode	Koku skaits, gab.	Sniedzas	Satver	Zāgē	Pievelk	Atzaro	Novieto zarus kaudzē	Novieto zarus ceļos	Citi darbi	Pārbrauc	Zāgē pamežu	Iebrauc audzē	Izbrauc no audzes	Efektīvais darba laiks
1	2537	4,5	1,7	2,7	4,5	18,0	0,2	3,3	2,1	3,7	0,6	3,6	2,7	53,7
2	3414	5,4	1,7	3,2	4,5	18,4	6,1	1,1	2,0	4,2	1,2	0,9	2,5	53,4
3	3290	8,8	1,7	2,8	3,8	17,6	0,3	3,4	2,3	6,4	1,6	3,4	3,1	60,8
4	4100	7,6	1,7	2,3	4,3	15,3	3,4	2,0	2,7	5,3	1,8	3,2	2,8	53,4
5	3168	8,2	1,9	2,7	5,0	14,5	4,9	1,6	3,5	5,9	3,0	4,9	3,8	64,8

**Tab. 13: Ponsse Ergo vidējais efektīvā darba laika patēriņš uz 1 koku (sek.)**

Darba metode	Koku skaits, gab.	Sniedzas	Satver	Zāgē	Pievelk	Atzaro	Novieto zarus kaudzē	Novieto zarus ceļos	Citi darbi	Pārbrauc	Zāgē pamežu	Iebrauc audzē	Izbrauc no audzes	Efektīvais darba laiks
1	563	5,0	0,0	1,2	2,5	1,4	18,8	0,0	1,3	0,6	2,4	0,6	0,8	34,5
2	1027	5,0	0,0	1,6	1,9	4,1	17,2	0,9	0,0	1,9	3,6	0,2	1,7	38,2
3	597	4,3	0,0	1,7	2,4	2,9	18,0	0,0	0,5	1,0	3,1	0,5	0,7	35,0
4	1105	4,3	0,0	1,8	2,1	3,7	19,6	0,7	0,1	1,7	2,8	1,3	2,3	40,2
5	580	4,9	0,0	1,5	1,8	4,5	13,2	1,3	0,0	2,5	2,5	4,1	0,5	36,8

**Tab. 14: John Deere 1070 D vidējais efektīvā darba laika patēriņš 1m³ koksnes sagatavošanai (sek.)**

Darba metode	Izzāgētais apjoms, m³	Sniedzas	Satver	Zāgē	Pievelk	Atzaro	Novieto zarus kaudzē	Novieto zarus ceļos	Citi darbi	Pārbrauc	Zāgē pamežu	Iebrauc audzē	Izbrauc no audzes	Efektīvais darba laiks
1	519,5	22,0	8,3	13,0	22,0	88,0	0,8	16,1	10,4	18,1	3,1	17,6	13,1	262,0
2	534,8	34,3	11,0	20,4	28,5	117,6	38,9	7,1	12,6	27,0	7,4	5,6	15,9	340,8
3	554,6	52,5	10,2	16,8	22,7	104,1	1,7	20,1	13,6	37,8	9,7	20,3	18,4	361,0
4	523,1	59,7	13,4	17,9	33,9	120,1	26,3	15,7	21,2	41,2	13,7	24,9	21,9	418,7
5	444,8	58,3	13,6	19,5	35,6	103,1	34,6	11,7	25,3	42,1	21,6	34,7	27,3	461,7

**Tab. 15: Ponsse Ergo vidējais efektīvā darba laika patēriņš 1m³ koksnes sagatavošanai (sek.)**

Darba metode	Izzāgētais apjoms, m³	Sniedzas	Satver	Zāgē	Pievelk	Atzaro	Novieto zarus kaudzē	Novieto zarus ceļos	Citi darbi	Pārbrauc	Zāgē pamežu	Iebrauc audzē	Izbrauc no audzes	Efektīvais darba laiks
1	82,2	34,1	8,3	16,8	9,4	128,8	0,2	8,9	3,9	16,3	3,5	3,5	7,9	672,6
2	189,9	27,2	8,9	10,3	22,2	93,0	4,7	0,2	10,4	19,6	0,8	1,3	2,2	557,7
3	95,9	27,0	10,4	14,9	17,9	111,8	0,0	3,1	6,4	19,0	3,3	0,0	0,0	593,8
4	167,4	28,6	11,7	13,5	24,5	129,0	4,3	0,9	11,0	18,2	8,5	1,6	5,3	714,4
5	62,3	45,8	13,9	16,8	41,4	122,8	12,0	0,0	23,0	23,5	37,8	0,0	0,0	936,7

**Tab. 16: John Deere 1070 D vidējais efektīvā darba laika patēriņš 1 ha izstrādei (stundas)**

Darba metode	Izkoptā platība	Sniedzas	Satver	Zāgē	Pievelk	Atzaro	Novieto zarus kaudzē	Novieto zarus ceļos	Citi darbi	Pārbrauc	Zāgē pamežu	Iebrauc audzē	Izbrauc no audzes	Efektīvais darba laiks
1	2,7	1,2	0,4	0,7	1,2	4,8	0,0	0,9	0,6	1,0	0,9	0,7	1,8	14,2
2	3,3	1,6	0,5	0,9	1,3	5,3	1,8	0,3	0,6	1,2	0,3	0,7	1,0	15,4
3	3,7	2,2	0,4	0,7	0,9	4,3	0,1	0,8	0,6	1,6	0,8	0,8	1,8	14,9
4	3,7	2,3	0,5	0,7	1,3	4,7	1,0	0,6	0,8	1,6	1,0	0,9	0,9	16,5
5	3,0	2,4	0,6	0,8	1,5	4,3	1,4	0,5	1,1	1,8	1,4	1,1	2,3	19,2

**Tab. 17: Ponsse Ergo vidējais efektīvā darba laika patēriņš 1 ha izstrādei (stundas)**

Darba metode	Izkoptā platība	Sniedzas	Satver	Zāgē	Pievelk	Atzaro	Novieto zarus kaudzē	Novieto zarus ceļos	Citi darbi	Pārbrauc	Zāgē pamežu	Iebrauc audzē	Izbrauc no audzes	Efektīvais darba laiks
1	0,8	0,9	0,2	0,5	0,3	3,5	0,0	0,2	0,1	0,4	0,1	0,1	0,2	6,6
2	1,8	0,8	0,3	0,3	0,7	2,8	0,1	0,0	0,3	0,6	0,0	0,0	0,1	6,0
3	0,9	0,8	0,3	0,5	0,5	3,4	0,0	0,1	0,2	0,6	0,1	0,0	0,0	6,4
4	1,7	0,8	0,3	0,4	0,7	3,5	0,1	0,0	0,3	0,5	0,2	0,0	0,1	6,9
5	0,8	0,9	0,3	0,4	0,9	2,5	0,3	0,0	0,5	0,5	0,8	0,0	0,0	6,9

John Deere 1070 D harvesteram vidējais efektīvais darba laiks 1 koka apstrādei ir 57 sekundes, 1 ha izkopšanai – 16 stundas, 1 m<sup>3</sup> sagatavošanai – 5 min. Ponsse Ergo harvesteram vidējais efektīvais darba laiks 1 koku apstrādei 36 sekundēs, 1 ha izkopj – 7 stundas, 1 m<sup>3</sup> koksnes sagatavo 4 minūtēs. Ponsse Ergo operatori veica darbu izpildi būtiski ātrāk.

Izmēģinājumos ar John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteru iesaistīto operatoru darba ražīguma rādītāju salīdzinājums dots Tab. 18 un Tab. 19.

**Tab. 18: Darba ražīguma rādītāju salīdzinājums John Deere 1070D 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 uz 1 m <sup>3</sup> , cmin.	Vidējā koka stumbra krāja, m <sup>3</sup>	Vidējā stumbra biomasa, kg	Koku skaits, gab.
1	550 881	416 053	1 024	508 170	77	7 555	0,2	63,2	6312
2	365 405	275 017	665	308 873	75	6 772	0,2	68,1	3974
3	153 603	63 346	176	135 195	72	12 806	0,1	33,5	1676
4	425 717	310 171	743	371 890	75	9 203	0,2	65,0	4837

**Tab. 19: Darba ražīguma rādītāju salīdzinājums Ponsse Ergo 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 uz 1 m <sup>3</sup> , cmin.	Vidējā koka stumbra krāja, m <sup>3</sup>	Vidējā stumbra biomasa, kg	Koku skaits, gab.
1	102 986	82	238	101 402	57	13 366	0,2	52,2	1690
2	141 166	140	374	138 110	58	9 488	0,2	64,3	2286

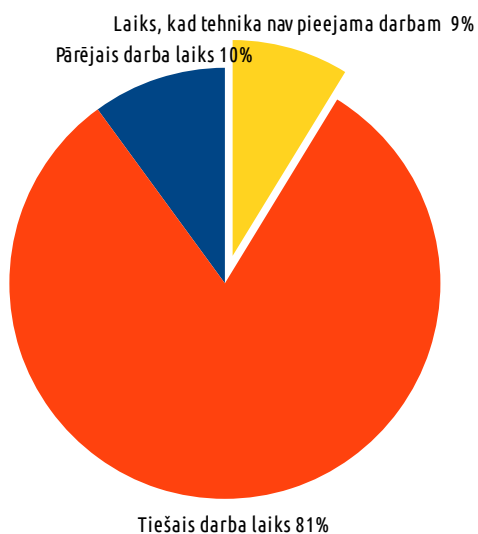
John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteru operatoru darba ražīguma rādītājos statistiski būtiskas atšķirības ( $p > 0,05$ ) nav konstatētas, turpmākos aprēķinos izmantoti vidējie rādītāji.

## Darba ražīguma aprēķini

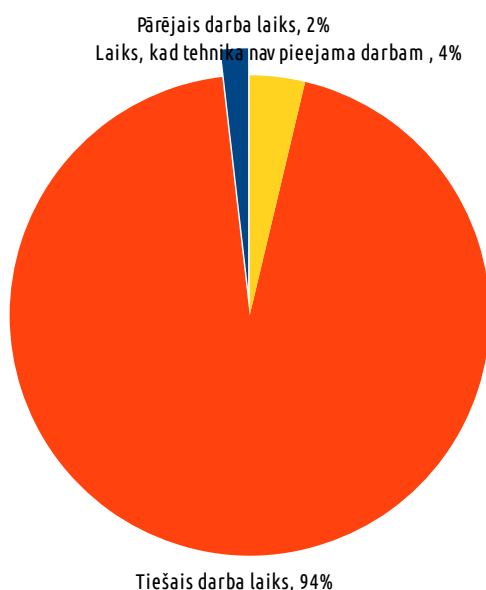
### Audžu kopšana

Krājas kopšanas izmēģinājumos ar John Deere 1070 D harvesteru tiešais darba laiks aizņem lielāko īpatsvaru no kopējā patērētā darba laika (81 %), līdzīga situācija vērojama arī krājas kopšanu veicot ar Ponsse Ergo harvesteru (94 %). Kopējā darba laika sadalījums John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteram parādīts Att. 17 un Att. 18.





**Att. 17: John Deere 1070 D harvestera kopējā darba laika sadalījums.**

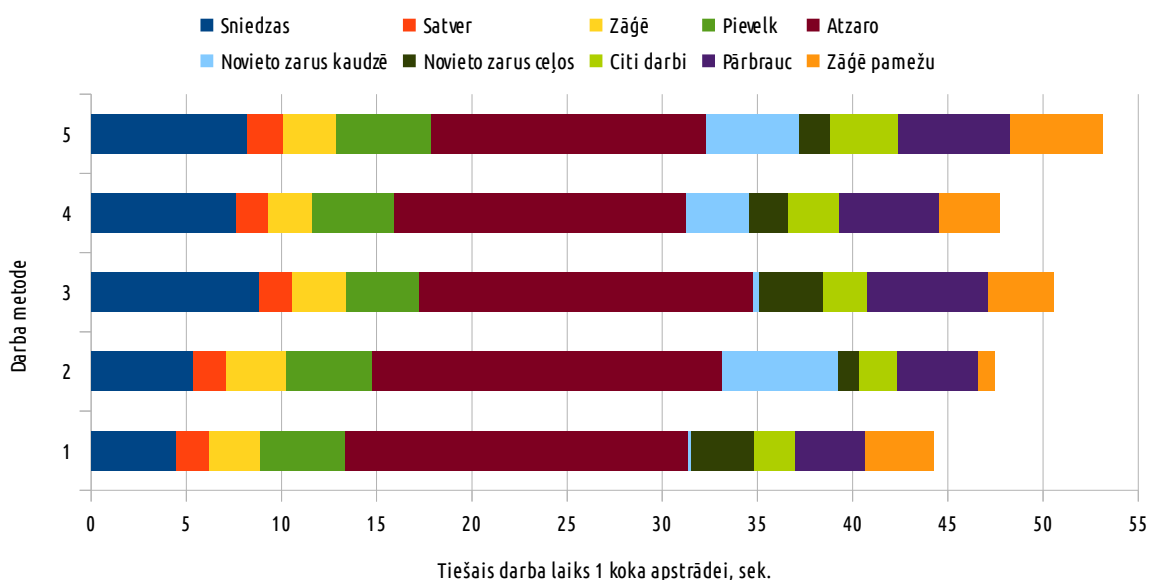


**Att. 18: Ponsse Ergo harvestera kopējā darba laika sadalījums.**

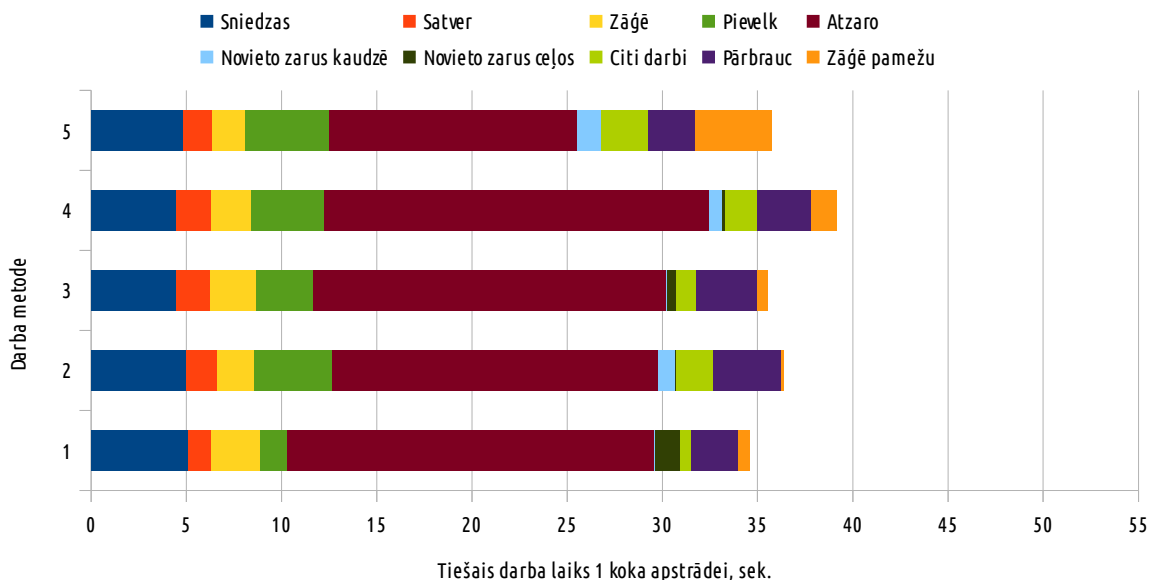
John Deere 1070 D harvesters vidēji 1 koka apstrādei tērē 49 sekundes tiešā darba laika (Att. 19), bet Ponsse Ergo harvesters – 36 sekundes, kas ir vidēji par 26 % mazāk kā John Deere 1070 D harvesteram (Att. 20). Tā kā John Deere 1070 D harvesters ir vidējas klases harvesters, sniegšanās pēc tālu no tehnoloģiskā koridora centra esošajiem kokiem rada mežizstrādes tehnikas nestabilitāti, tādēļ sniegšanās aizņem salīdzinoši vairāk laika kā Ponsse Ergo harvesteram, kas ir daudz stabilāks. Lai ieņemtu izdevīgāku pozīciju zāgējamo koku satveršanai, salīdzinoši vairāk laika tiek tērēts pārbraucieniem pa cirsmu izstrādes darbu veikšanas laikā kā Ponsse Ergo harvesteram. Zaru novietošana kaudzēs attiecīgās darba metodēs, kas šādas darbības paredz, aizņem vairāk laika kā strādājot ar Ponsse Ergo harvesteru, ko varētu skaidrot ar operatoru ieradumiem un nevēlēšanos tos mainīt veicot konkrētas darbības. Salīdzinoši liels ir darba laika īpatsvars, kas tiek tērēts pameža zāgēšanai, jo operatori uzskata, ka pamežs apgrūtina kopšanas darbus dēļ sliktās redzamības, tāpat

pamežs jāizzāgē, lai būtu kur nokraut sagatavotos apažos kokmateriālus. Pameža zāgēšanai tērēts laiks arī strādājot ar 1. un 2. darba metodi (pamežs pirms kopšanas izzāgēts).

Ražīguma pieaugums ar Ponsse Ergo harvesteru panākts, samazinot darba laika patēriņu visām operācijām, taču visvairāk koku satveršanai, atzarošanai, zaru novietošanai un pameža zāgēšanai. Biokurināmā darba metodēs Ponsse Ergo būtiski palielinājās laiks atzarošanai, kas saistīts ar lielās griezējgalvas nepiemērotību sīku koku apstrādei.

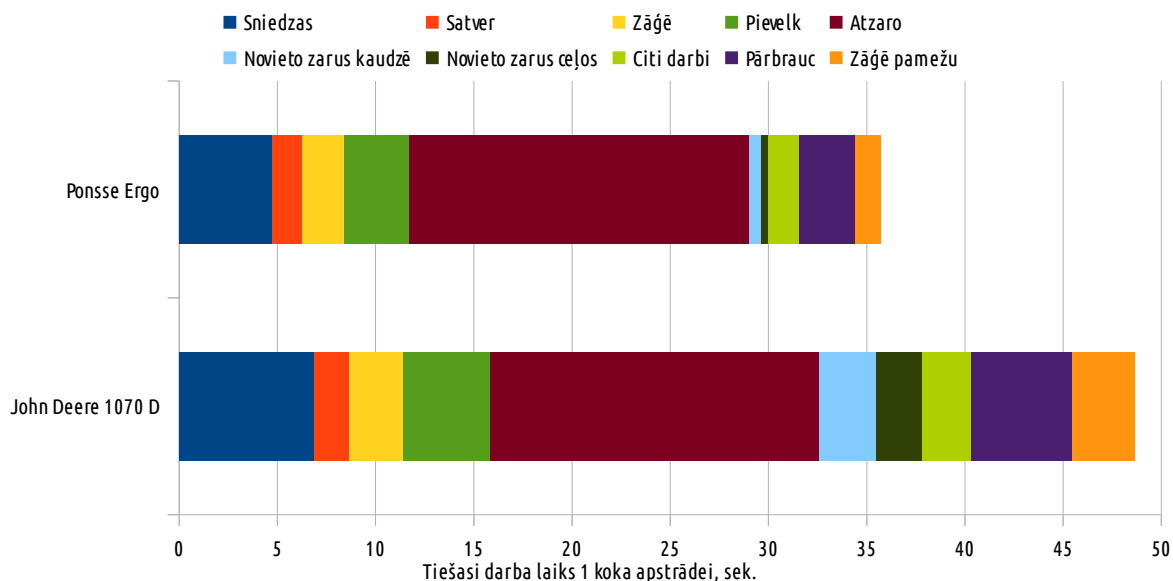


Att. 19: John Deere 1070 D vidējais viena koka apstrādei patērētais tiešais darba laiks sadalījumā pa darba metodēm.



Att. 20: Ponsse Ergo vidējais viena koka apstrādei patērētais darba laiks sadalījumā pa darba metodēm.

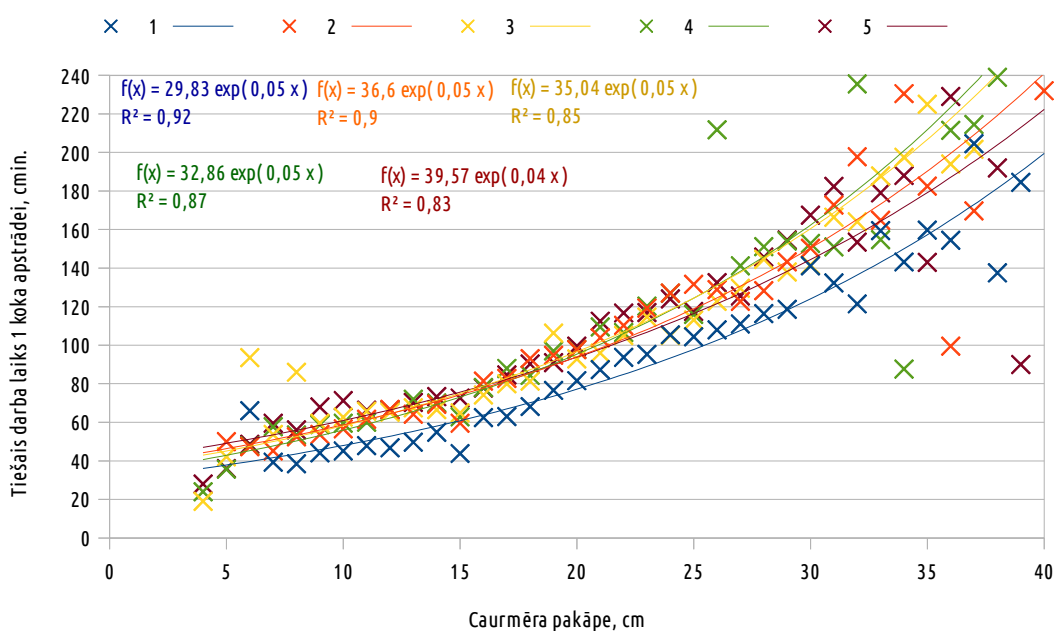
Vidējie tiešā darba laika patēriņa rādītāji viena koka apstrādei John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteriem statistiski būtiskas atšķiras ( $p < 0,05$ ; Att. 21). Ponsse Ergo harvesters sasniedzis labākus ražīguma rādītājus.



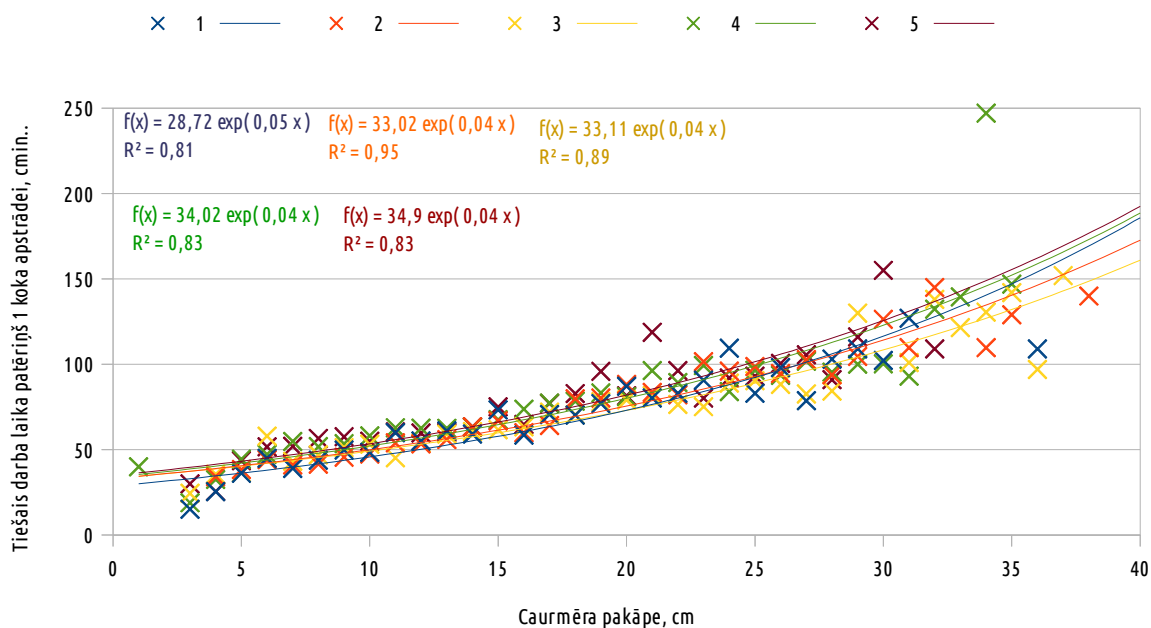
Att. 21: John Dere 1070 D un Ponsse Ergo vidējais viena koka apstrādei patērētais tiešais darba laiks.

Krājas kopšanu veicot ar John Deere 1070 D harvesteru, darba ražīguma rādītāji viena koka apstrādei ar 1. un 3. darba metodi būtiski atšķiras ( $p = 0,03$ ; Att. 22); izmantojot 1. darba metodi, 1 koka apstrādei tērē ievērojami mazāk tiešā darba laika. Kraso ražīguma zudumu varētu skaidrot ar to, ka nepietiekami tika izmantots pakietēšanas mehānisms, tādējādi sīkkoki, kas tika izmantoti biokurināmā ražošanai, apstrādāti atsevišķi, kas ievērojami palielināja patērēto darba laiku 1 koka apstrādei.

Veicot krājas kopšanu ar Ponsse Ergo harvesteru, darba ražīguma rādītāji 1 koka apstrādei starp darba metodēm statistiski būtiski neatšķiras ( $p < 0,05$ ; Att. 23).

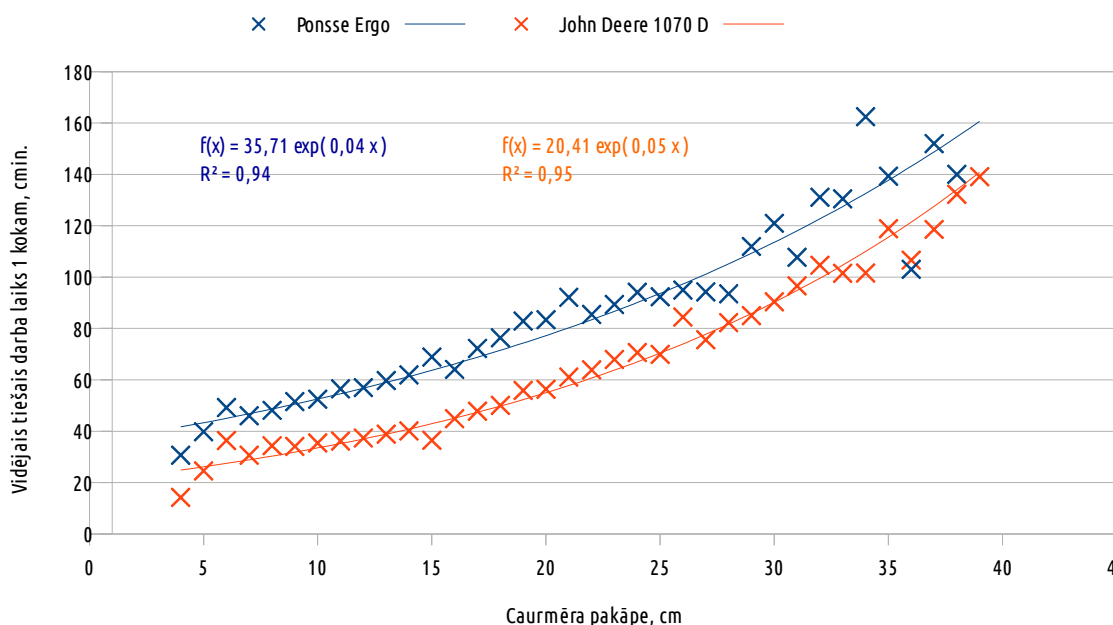


Att. 22: Tiešā darba laika patēriņš 1 koka apstrādei John Deere 1070 D harvesteram sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.



**Att. 23: Tiešā darba laika patēriņš 1 koka apstrādei Ponsse Ergo harvesteram sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.**

Salīdzinot vidējos tiešā darba laika patēriņa rādītājus viena koka apstrādei sadalījumā pa nozāgēto koku caurmēra pakāpēm, konstatēts, ka starp John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteriem pastāv statistiski būtiskas atšķirības ( $p = 0,04$ ; Att. 24).

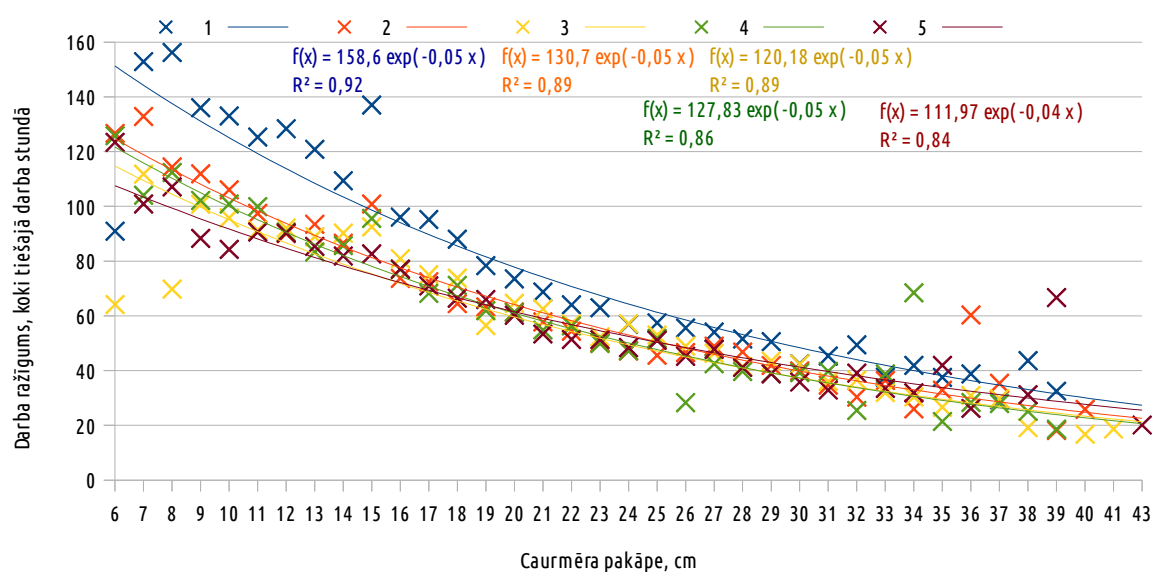


**Att. 24: Vidējais tiešā darba laika patēriņš 1 koka apstrādei John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteram sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.**

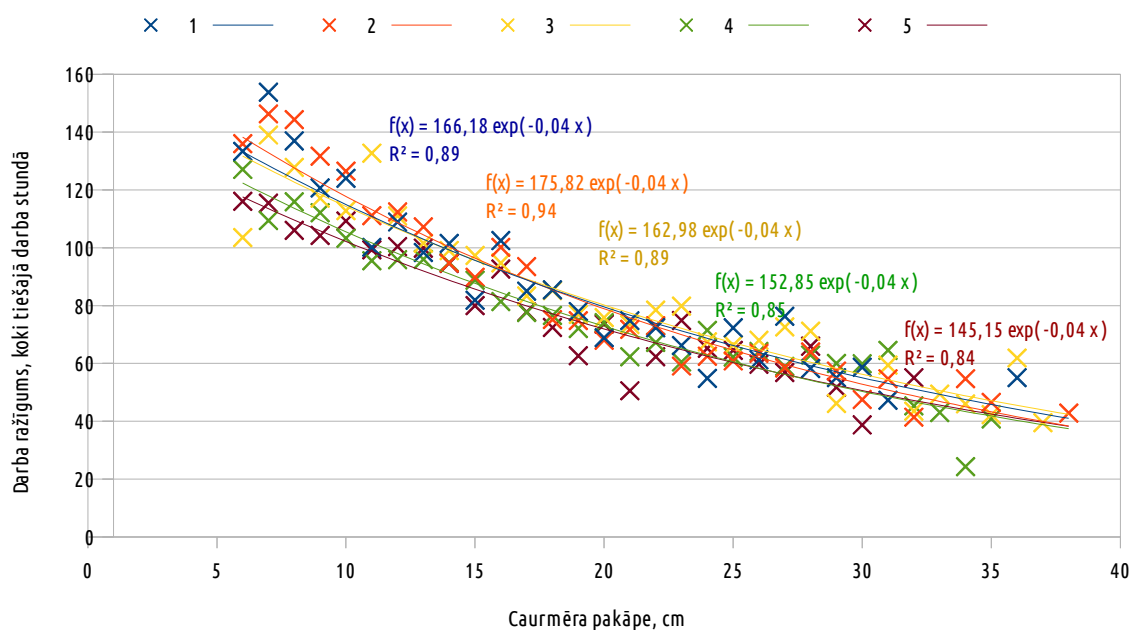
Strādājot ar John Deere 1070 D harvesteru krājas kopšanas cirtē, vidēji tiešajā darba stundā sagatavoja 57 kokus, bet strādājot ar Ponsse Ergo harvesteru- 87 kokus tiešajā darba stundā, tādējādi var secināt, ka Ponsse Ergo darba ražīgums ir par 23 % augstāks kā John Deere 1070 D harvesteram.

Analizējot nozāgēto koku skaitu tiešajā darba stundā, konstatēts, ka, zāgējot ar John Deere 1070 D harvesteru, statistiski būtiskas atšķirības pastāv starp 1. un 3. darba metodi ( $p = 0,02$ ), kā arī starp 1. un 5. darba metodi ( $p = 0,04$ ; Att. 25). Pirmā darba metode nodrošina ievērojami labākus ražīguma rādītājus (koku skaits tiešā darba stundā) par 3. metodi, jo no pameža iegūstamā biokurināmā sagatavošanā maz pielieto paketēšanas mehānismu.

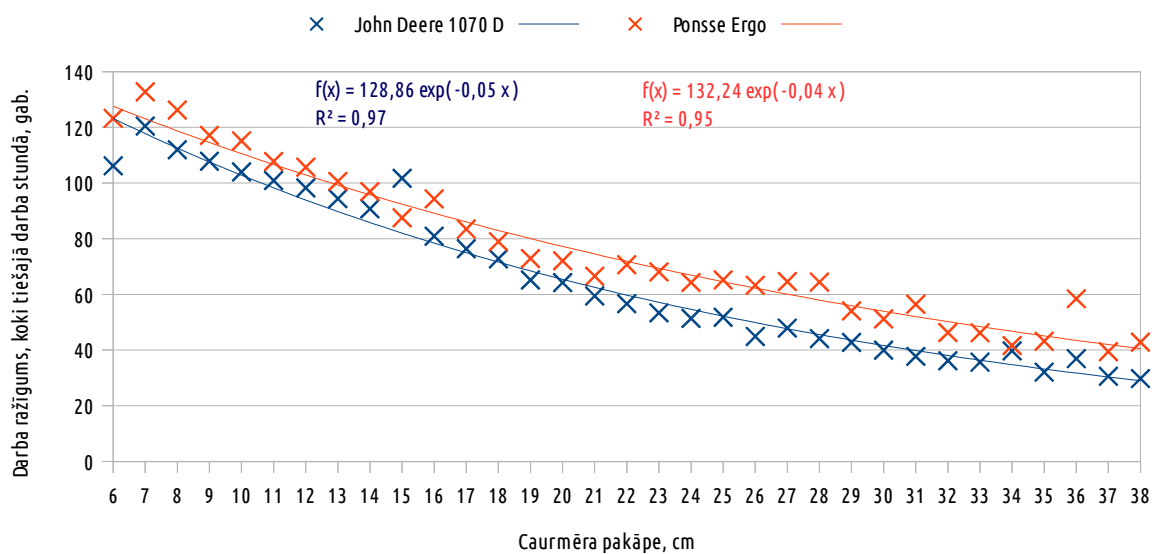
Ponsse Ergo harvestera darba ražīgumā, salīdzinot darba metodes, statistiski būtiskas atšķirības netika konstatētas (Att. 26). Salīdzinot abas mašīnas, Ponsse Ergo uzrādīja labākus ražīguma rādītājus ( $p < 0,05$ ; Att. 27).



Att. 25: John Deere 1070 D harvestera darba ražīgums.

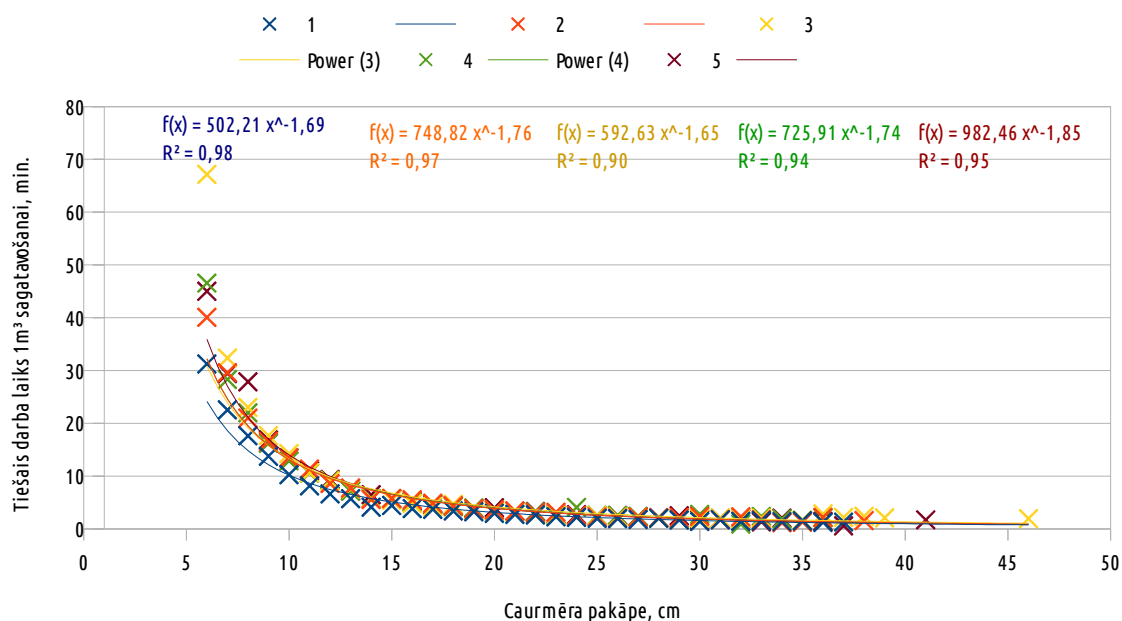


Att. 26: Ponsse Ergo harvestera darba ražīgums.

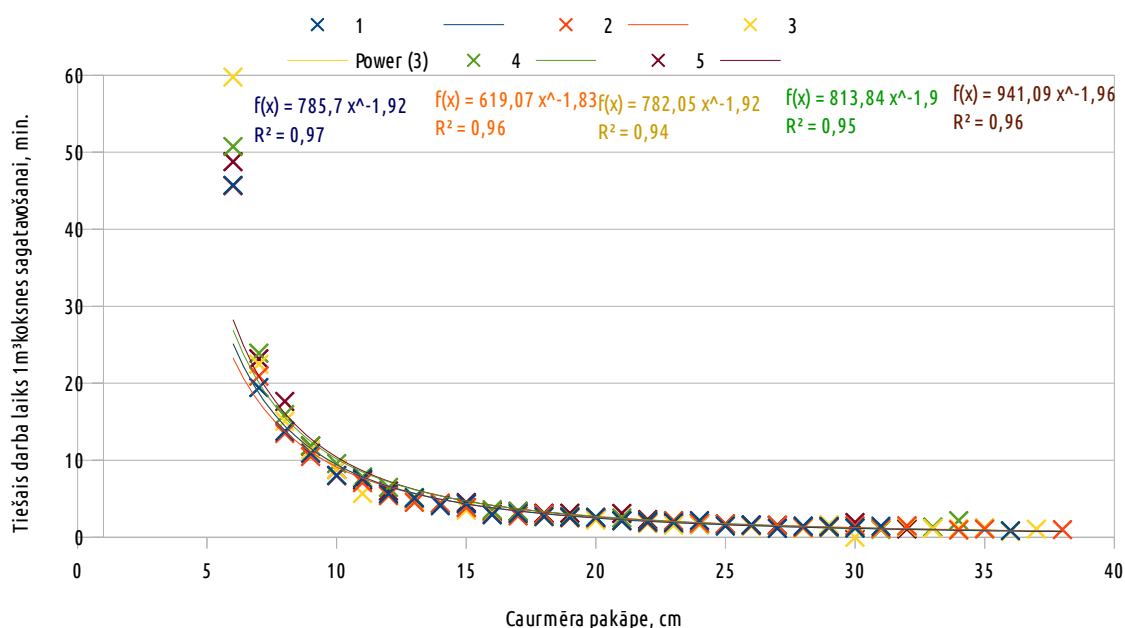


**Att. 27: John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteru vidējais darba ražīgums.**

Viena m<sup>3</sup> koksnes sagatavošanai ar John Deere 1070 D harvesteru nepieciešamas 5 minūtes tiešā darba laika (6 min. efektīvā darba laika, Att. 28), bet ar Ponsse Ergo harvesteru – 4 minūtes tiešā darba laika (4 min. efektīvā darba laika, Att. 29). John Deere 1070 D, tāpat kā Ponsse Ergo harvesteram, statistiski būtiskas atšķirības darba ražīgumā 1 m<sup>3</sup> koksnes sagatavošanā starp darba metodēm netika konstatētas. Ponsse Ergo harvesters 1 m<sup>3</sup> koksnes sagatavošanai patērē par 22 % mazāk tiešā darba laika (32 % efektīvā darba laika), nekā John Deere 1070 D harvesters.



Att. 28: Tiešā darba laika patēriņš 1 m³ koksnes sagatavošanai sadalījumā pa caurmēra pakāpēm, strādājot ar John Deere 1070D.

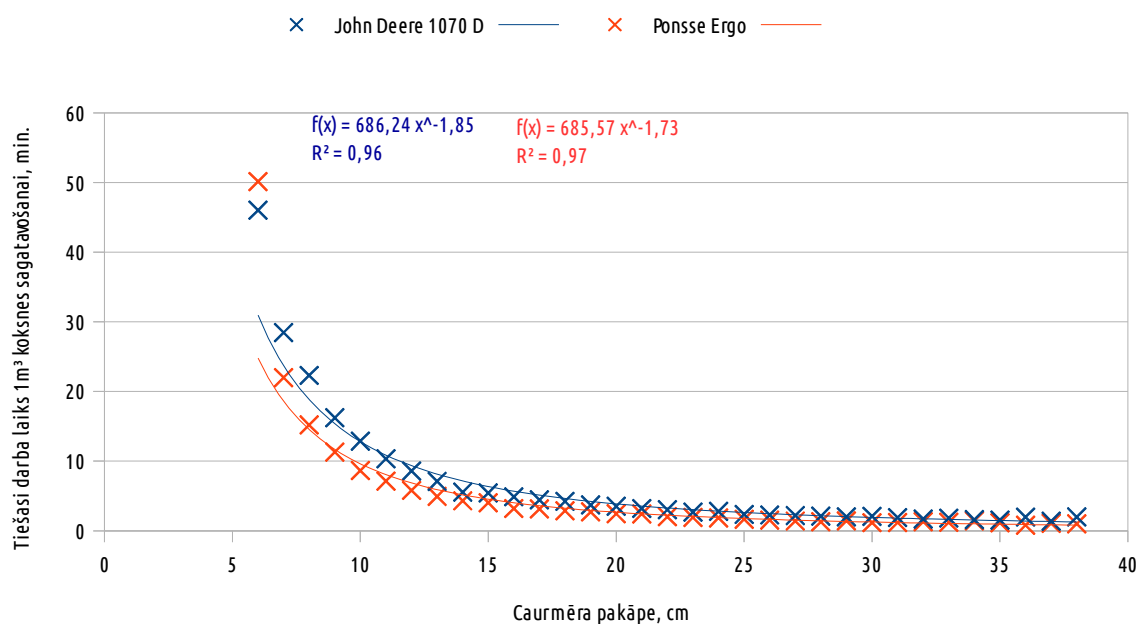


Att. 29: Tiešā darba laika patēriņš 1 m³ koksnes sagatavošanai sadalījumā pa caurmēra pakāpēm, strādājot ar Ponsse Ergo.

Salīdzinot tiešā darba laika patēriņu pētījumā iesaistītajām tehnikas vienībām, statistiski būtiskas atšķirības ( $p < 0,05$ ) netika konstatētas (Att. 30). Būtiska atšķirība veidojas efektīvā darba laika griezumā, pateicoties būtiski lielākam darba laika patēriņam mašīnas pārvietošanai, strādājot ar John Deere 1070D. Ražības atšķirības būtiskums neparādās arī,

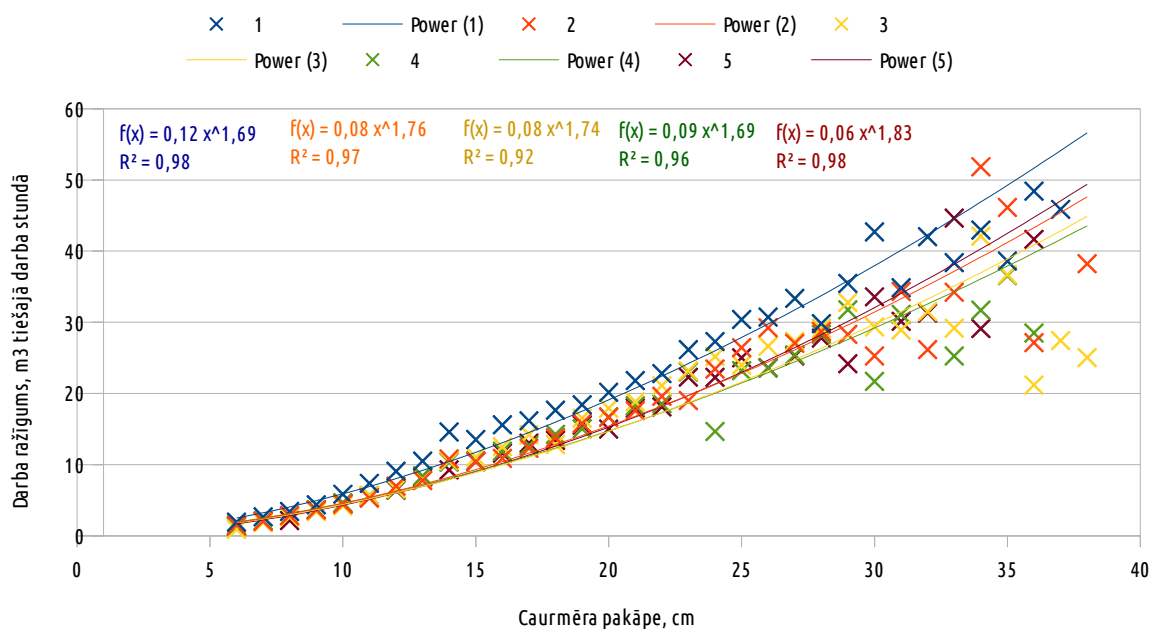


pateicoties lielajai datu izkliedei abām mašīnām. Neņemot vērā nenoteiktību, Ponsse Ergo nodrošina labākus ražības rādītājus.

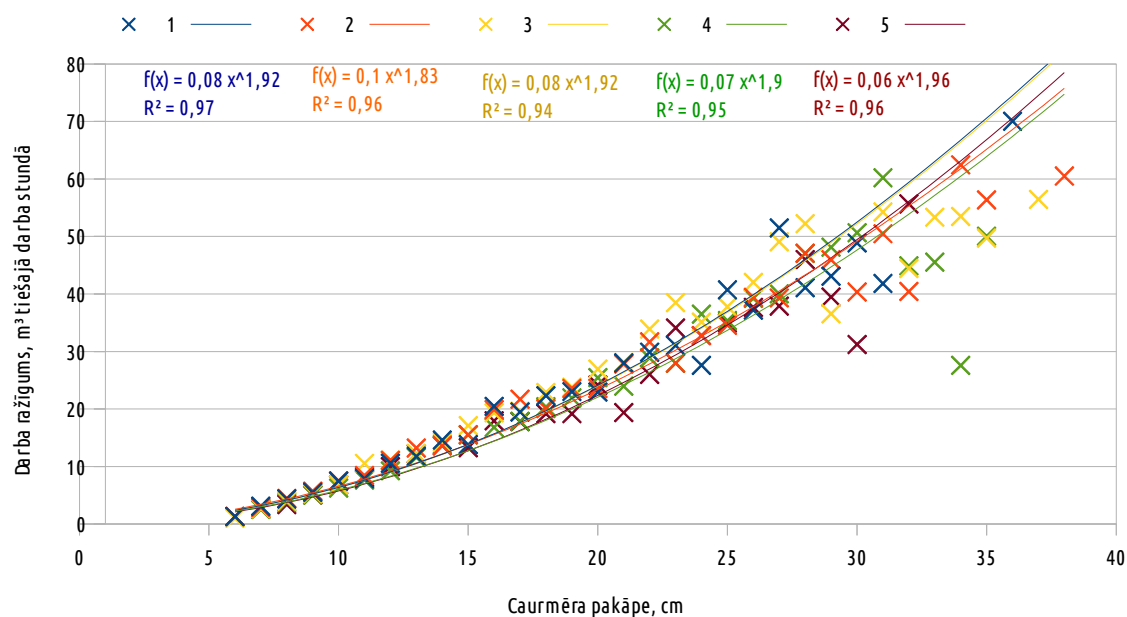


**Att. 30: John Deere 1070 D un Ponsse Ergo vidējā tiešā darba laika patēriņš 1 m³ koksnes sagatavošanai sadalījumā pa caurmēra pakāpēm.**

John Deere 1070 D harvestera ražīguma rādītājos, kas raksturo sagatavoto koksnes apjomu tiešajā darba stundā, starp 1. un 4. darba metodi konstatētas statistiski būtiskas atšķirības ( $p = 0,04$ ; Att. 31). Salīdzinoši labākus ražīguma rādītājus sasniedza, strādājot ar 1. darba metodi. Sliktākie ražīguma rādītāji sasniegti, strādājot ar 4. darba metodi. Atšķirības tiešā darba laika patēriņā 1 m³ sagatavošanā var būt skaidrojamas ar vidējā koka caurmēra, līdz ar to arī stumbra tilpuma, atšķirībām (1. darba metode – vidējā koka  $D_{1,3}=15$  cm, 4. darba metode – vidējā koka  $D_{1,3}=12$  cm). Ponsse Ergo harvesteram starp ražīguma rādītājiem, salīdzinot izmantotās darba metodes, statistiski būtiskas atšķirības netika konstatētas (Att. 32).

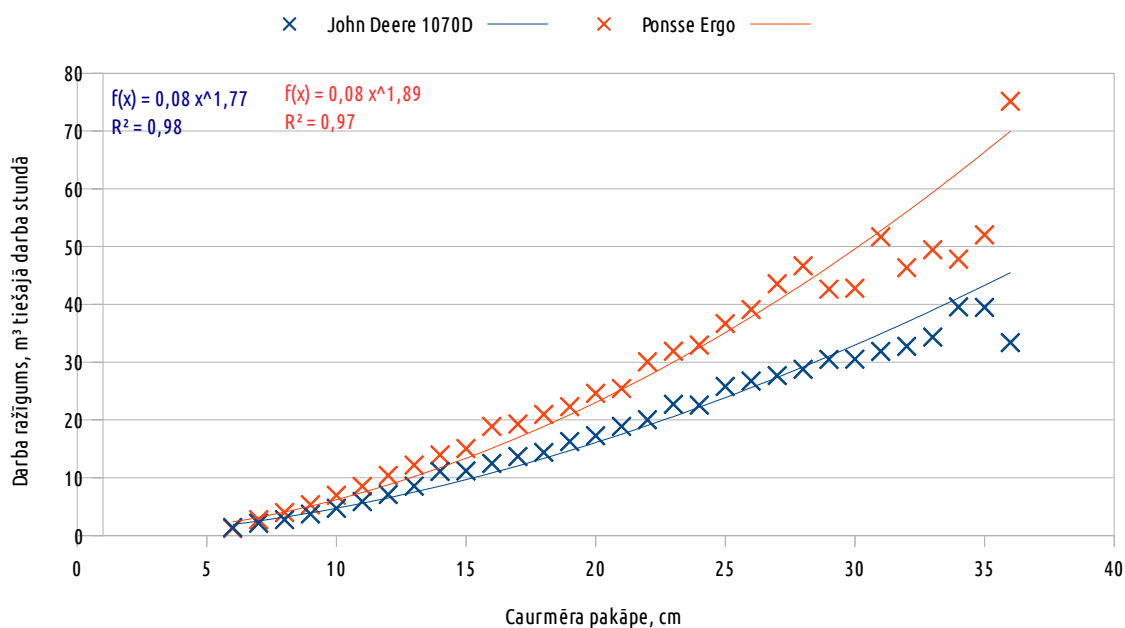


Att. 31: John Deere 1070 D harvestera darba ražīgums.



Att. 32: Ponsse Ergo harvestera darba ražīgums.

Analizējot darba ražīguma rādītājus starp John Deere 1070 D un Ponsse Ergo konstatētas statistiski būtiskas atšķirības ( $p = 0,01$ ; Att. 33).



**Att. 33: Darba ražīgums John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteram.**

Vidējā koka biomasu, atkarībā no caurmēra, raksturo 1. vienādojums (alometriskais aprēķinu vienādojums, kas izmantots bērza stumbra biomasas noteikšanai).

$$M = x * D_{1,3}^y, \text{ kur}$$

$$M - \text{stumbra biomasas, kg;} \quad (1)$$

$$D_{1,3} - \text{caurmērs krūšu augstumā, cm;} \\ x, y - \text{koeficienti.}$$

**Tab. 20: Vidējā stumbra biomasas aprēķinu vienādojuma koeficienti**

Darba metode	x	y
John Deere 1070 D	0,07	2,56
Ponsse Ergo	0,06	2,61

Tiešā darba laika patēriņu 1 koka sagatavošanai, atkarībā no pielietotās darba metodes, krājas kopšanā izmantojot John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteru raksturo pakāpes vienādojums (Att. 23). Izmantojot Att. 22 un Att. 23 redzamos vienādojumus, izstrādāts algoritms tiešā darba laika aprēķināšanai, atkarībā no vidējā nozāgējamā koka caurmēra (2. vienādojums). Algoritmā izmantotie koeficienti doti Tab. 21.

$$R = \frac{60}{a_1 * \exp(a_2 * D_{1,3}) * \frac{100}{b_1}} * x * D_{1,3}^y, \text{ kur}$$

- $R$  – darba ražīgums, tonnas sausnas tiešajā darba stundā;  
 $a_1, a_2$  – eksponentfunkcijas vienādojuma koeficienti;  
 $b_1$  – tiešā darba laika īpatsvarsefektīvajā darba laikā;  
 $D_{1,3}$  – vidējā nozāgējamā koka caurmērs, cm;  
 $60$  – koeficients pārrēķinam no minūtēm uz stundām;  
 $\frac{100}{b_1}$  – koeficients pārrēķinam uz kopējo tiešo darba laiku;  
 $100_{\text{cmin}}$  – koeficients pārrēķinam no centiminūtēm uz minūtēm.

Tab. 21: Aprēķinu vienādojuma koeficienti John Deere 1070 D

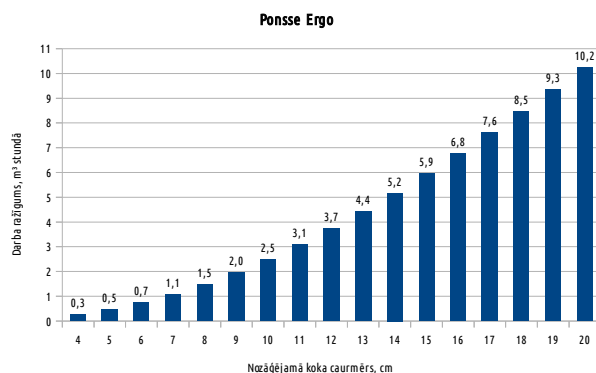
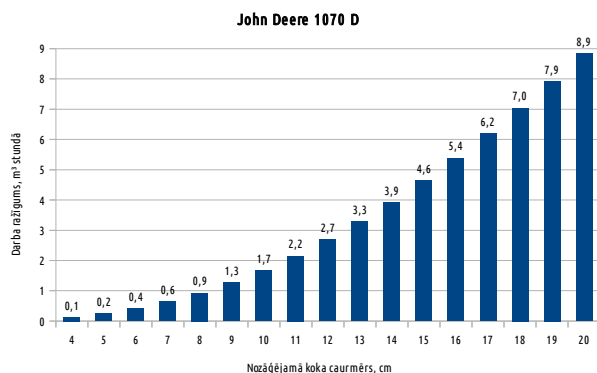
Darba metode	$a_1$	$a_2$	$b_1$
1	13,6	0,7	87
2	19,7	0,6	93
3	19,2	0,6	88
4	19,9	0,6	89
5	23,3	0,6	86

Tab. 22: Aprēķinu vienādojuma koeficienti Ponsse Ergo

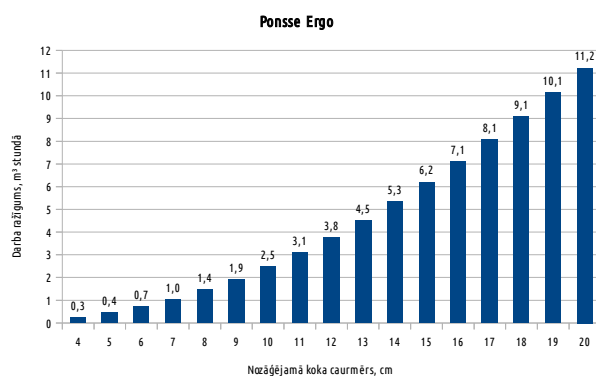
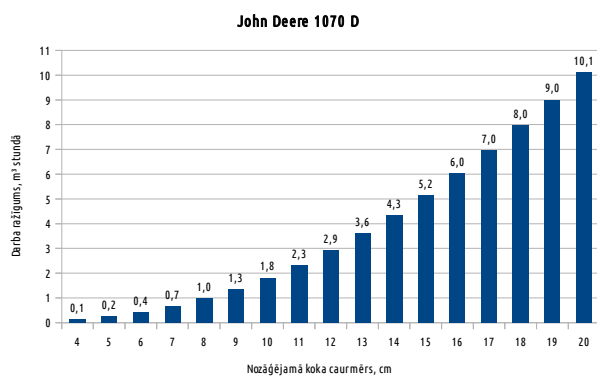
Darba metode	$a_1$	$a_2$	$b_1$
1	28,7	0,05	95
2	33,0	0,04	98
3	33,1	0,04	100
4	34,0	0,04	97
5	34,9	0,04	100

Izmantojot 2. vienādojumu darba ražīguma aprēķiniem pie atšķirīga vidējā izstrādājamā koka caurmēra, John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvestera (nozāgējamā koka caurmērs 6-20 cm), modelētie ražīguma rādītāji parāda (Att. 34, Att. 35, Att. 36, Att. 37 un Att. 38), ka John Deere 1070 D harvesteram, strādājot ar 4. darba metodi (gatavo standarta apaļos kokmateriālus, kā arī biokurināmo no malkas, daļēji atzarotām galotnēm un par 6 cm resnākiem pameža kokiem, mežizstrādes atliekas vāc atsevišķās kaudzēs, darbā maksimāli izmanto paketēšanas mehānismu, pamežu pirms kopšanas saglabāts), ražīgums ir 0,5 - 10,8 m<sup>3</sup> biomasas tiešajā darba stundā (Att. 34), kas ir visaugstākie ražīguma rādītāji starp piecām salīdzinātajām darba metodēm. Zemākie ražīguma rādītāji John Deere 1070 D harvesteram tiktu sasniegti, strādājot ar 5. darba metodi, (gatavo standarta apaļos kokmateriālus, tajā skaitā malku, un apvienotu biokurināmā sortimentu no neatzarotām galotnēm, par 6 cm resnākiem pameža kokiem un mežizstrādes atliekām, pamežu pirms kopšanas saglabāts; Att. 38), tiešajā darba stundā, atkarībā no vidēja koka  $D_{1,3}$ , sagatavojot vien 0,3 - 7,2 m<sup>3</sup> biomasas. Ponsse Ergo harvesteram labākie ražīguma rādītāji varētu tikt sasniegti strādājot ar 5. darba metodi (gatavo standarta apaļos kokmateriālus, tajā skaitā malku, un apvienotu biokurināmā sortimentu no neatzarotām galotnēm, par 6 cm resnākiem pameža kokiem un mežizstrādes atliekām, pamežu pirms kopšanas saglabāts; Att. 37), tiešajā darba stundā sagatavojot 1,0 - 11,9 m<sup>3</sup> biomasas. Strādājot ar 1. darba metodi, kas paredz gatavot tikai apaļos kokmateriālus, darba ražīguma rādītāji varētu būt viszemākie, vien 0,7 - 10,2 m<sup>3</sup> tiešajā darba stundā (Att. 34). Būtisku ietekmi uz darba ražīguma rādītājiem rada vidējā nozāgētā koka

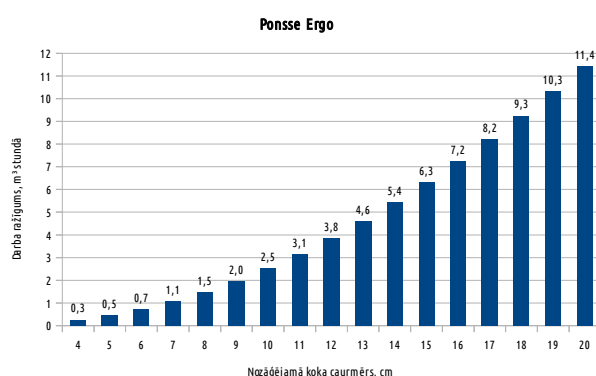
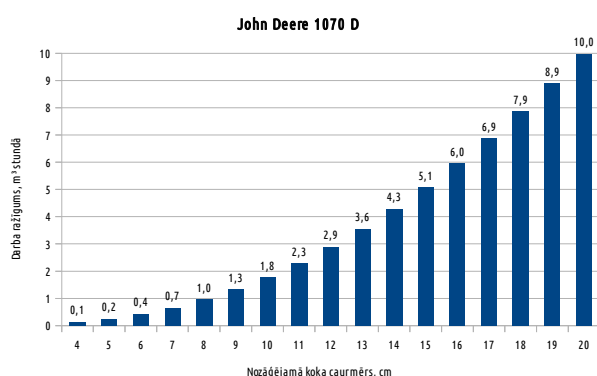
tilpums kā arī, darba metodēs, kurās paredzēts gatavot biokurināmo, paketēšanas mehānisma izmantošanas intensitātē.



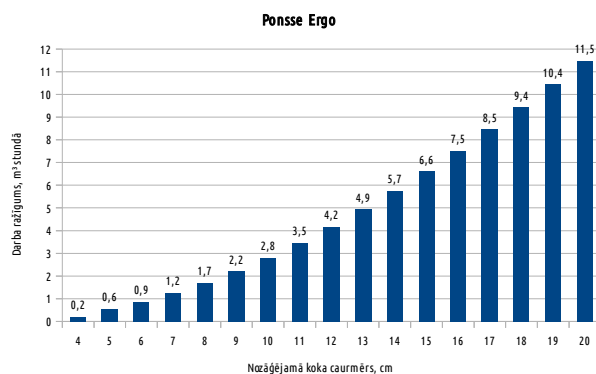
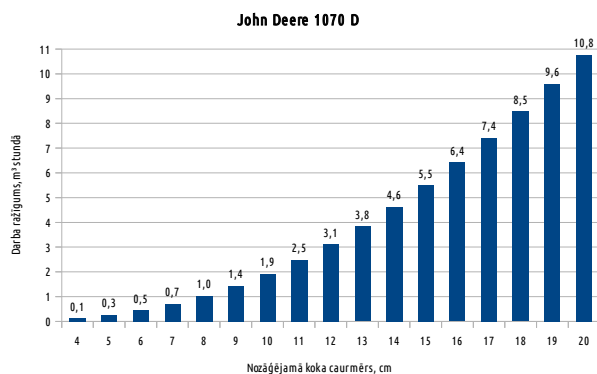
**Att. 34: Modelētie ražīguma rādītāji 1. darba metodei.**



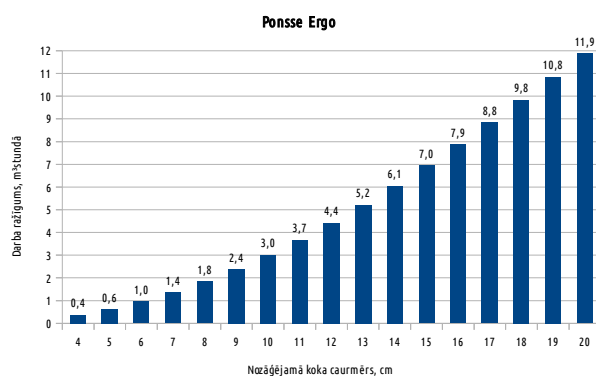
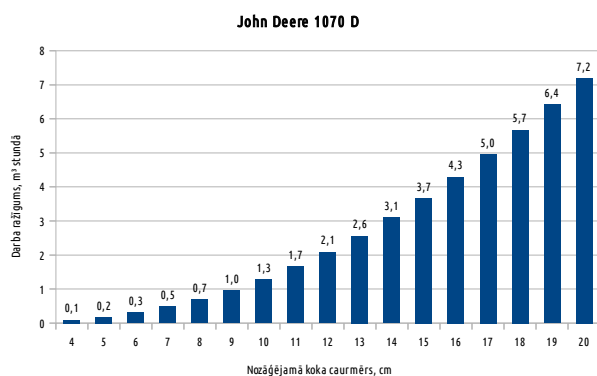
**Att. 35: Modelētie ražīguma rādītāji 2. darba metodei.**



**Att. 36: Modelētie ražīguma rādītāji 3. darba metodei.**



Att. 37: Modelētie ražīguma rādītāji 4. darba metodei.



Att. 38: Modelētie ražīguma rādītāji 5. darba metodei.

## Kopsavilkums par darba ražīguma rādītājiem

John Deere 1070 D harvesteram, veicot krājas kopšanu, vidējais efektīvais darba laiks 1 koka apstrādei ir 57 sekundes, 1 ha izstrādei – 16 stundas, 1 m³ sagatavošanai – 5 min. Ponsse Ergo harvesteram vidējais efektīvais darba laiks 1 koka apstrādei 36 sekundēs, 1 ha kopšanai – 7 stundas, 1 m³ koksnes sagatavo 4 minūtēs.

Strādājot ar John Deere 1070 D harvesteru kopšanas cirtē, vidēji efektīvajā stundā apstrādāja 57 kokus, bet strādājot ar Ponsse Ergo harvesteru – 87 kokus. Ponsse Ergo darba ražīgums visās darba metodēs ir lielāks, nekā John Deere 1070 D harvesteram.

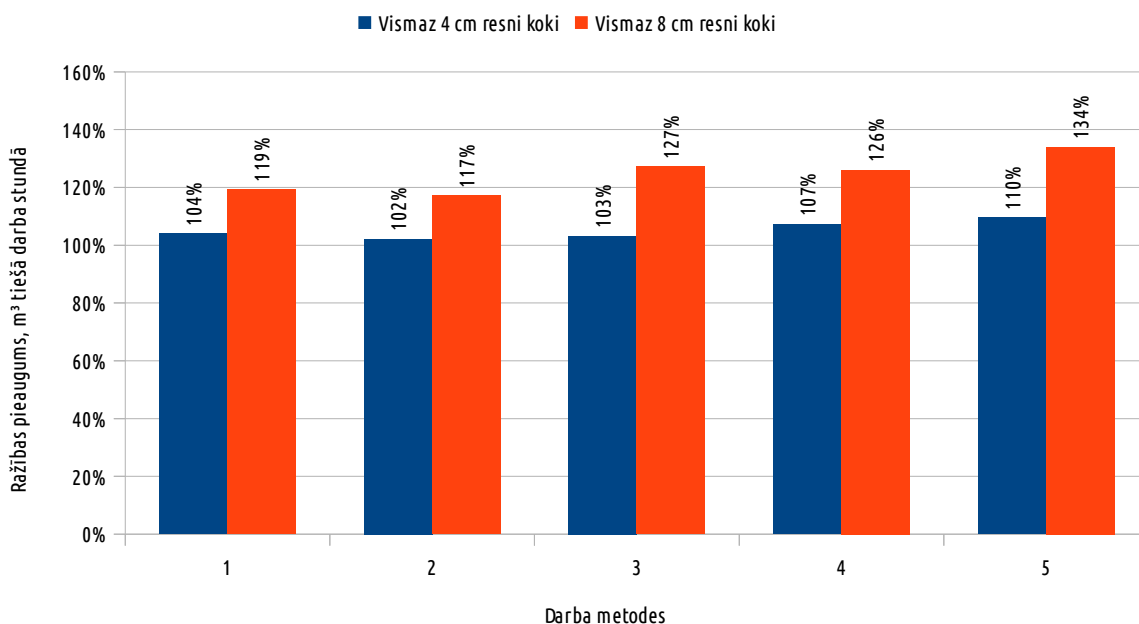
Strādājot ar Ponsse Ergo harvesteru, viena koka apstrādei tērē par 26 % mazāk tiešā darba laika, nekā strādājot ar John Deere 1070 D. Krājas kopšanā ar John Deere 1070 D harvesteru pastāv statistiski būtisku atšķirības ( $p = 0,03$ ) starp darba ražīguma rādītājiem viena koka apstrādē 1. un 3. darba metodē. Krājas kopšanā izmantojot 1. darba metodi 1 koka apstrādei tiek tērēts ievērojami mazāk tiešā darba laika, kā izmantojot 3. darba metodi, ko var skaidrot ar nepietiekami intensīvu paketēšanas mehāniskam izmantošanu. Pastāv statistiski būtiska atšķirība ( $p = 0,04$ ) tiešajā darba laikā patēriņā viena koka apstrādei starp John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteriem; Ponsse Ergo nodrošina labākus ražības rādītājus.

John Deere 1070 D harvesteram statistiski būtiskas atšķirības darba ražīguma rādītājos (koki tiešajā darba stundā) konstatētas starp 1. un 3. darba metodi ( $p = 0,02$ ), kā arī starp 1. un 5. darba metodi ( $p = 0,04$ ). Pirmās darba metode uzrādītos ievērojami augstākos ražīguma

rādītājus, salīdzinot ar 3. un 5. darba metodi, var skaidrot ar nepietiekami intensīvu paketešanas mehāniskam izmantošanu biokurināmā gatavošanā no pameža kokiem. Ponsse Ergo harvesteram statistiski būtiskas atšķirības ražīguma rādītājos starp darba metodēm netika novērotas.

Modelētie darba ražīguma rādītāji, vidējam nozāgējamajam koka  $D_{1,3}$  esot robežas no 6 - 20 cm, parāda, ka John Deere 1070 D augstākie ražīguma rādītāji sasniedzami strādājot ar 4. darba metodi (0,5 - 10,8 m<sup>3</sup> biomasas tiešajā darba stundā), bet kopšanā izmantojot Ponsse Ergo harvesteru - 5. darba metode (1,0 - 11,9 m<sup>3</sup> biomasas tiešajā darba stundā). John Deere 1070 D harvestera zemākie ražīguma rādītāji ir, strādājot ar 5. darba metodi (0,3 - 7,2 m<sup>3</sup> biomasas tiešajā darba stundā), bet Ponsse Ergo harvesteram – ar 1. darba metodi (0,7 - 10,2 m<sup>3</sup> biomasas tiešajā darba stundā). Būtisku ietekmi uz darba ražīguma rādītājiem rada vidējā nozāgētā koka tilpums kā arī paketešanas mehānisma izmantošanas intensitāte darba metodēs, kurās paredzēts gatavot biokurināmo.

Būtisku ražīguma palielinājumu var panākt, atstājot pameža kokus, kas netraucē kopšanu. Piemēram, Ponsse Ergo harvestera ražību teorētiski var palielināt par 2-10 %, ja harvesters saglabā visus par 4,1 cm tievākos kokus, bet, ja saglabā visus par 8,1 cm tievākos kokus, ražību var palielināt par 19-34 % (Att. 39). Tajā pat laikā iegūstamās biomasas apjoms samazinās par 1-2 %. Daļēji šo problēmu var risināt, nozāgējot pamežu pirms kopšanas, tomēr arī šajā gadījumā ir iespējams gandrīz 20 % liels ražības palielinājums (1. un 2. darba metodes Att. 39).



Att. 39: Ražības palielināšanas iespējas, saglabājot sīkkokus.

## Izmaksu un ieņēmumu analīze

### Pašizmaksu ietekmējošo faktoru analīze

Aprēķinos izmantotie izmēģinājumu rezultāti ir kopšanas un pievešanas ražīgums, kā arī pievedējtraktora kravas tilpums. Pārējie dati ir pieņēmumi no citiem izmēģinājumiem un kontraktoru sniegtā informācija.

Vidējā koka caurmērs pielietotajā darba metodēs abām krājas kopšanā izmantotajām tehnikas vienībām pieņemts vienāds, pieņemot, ka kopšanas apstākļi abām tehnikas vienībām bijuši vienādi. Arī iegūto kokmateriālu pievešanas attālums līdz augšgala krautuvei, pievedējtraktora ātrums bez kravas un ar kravu un vidējās pievestās kravas apjoms pieņemti vienādi. Vidējais apaļo kokmateriālu pievešanas attālums pieņemts 400 m, kas, saskaņā ar LVM apkopoto informāciju, ir apaļo kokmateriālu vidējais pievešanas ceļa garums LVM apsaimniekotajās platībās. Izvešanas attālums pieņemts vienāds (50 km). Rādītāji, kas raksturo dažādas darba metodes, ir parādīti Tab. 23.

**Tab. 23: Darba metodei specifiskie ievades dati pašizmaksas aprēķinu modelī John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteram**

Rādītāji	Darba metode				
	1.	2.	3.	4.	5.
Vidējā nozāgētā koka caurmērs, cm	15,1	15,1	12,5	12,5	12,5
Pievedējtraktora kravas tilpums, m <sup>3</sup>	6	6	6	6	6
Efektīvais darba laiks iekraušanai, min. kravai	20,3	23,2	21,5	20,9	20,2
Efektīvais darba laiks izkraušanai, min. kravai	7,4	9,4	9,5	6,0	7,3

Biokurināmā pašizmaksas aprēķini parāda, ka sīkkoksnes piegādes scenārijs ir ekonomiski pamatotāks kā šķeldu piegādes scenārijs visās darba metodēs. Ar John Deere 1070 D harvesteru sagatavotās sīkkoksnes transportēšanas scenārijs, atkarībā no izmantotās darba metodes, paredz biokurināmā pašizmaksas samazinājumu no 6 % (1,15 EUR m<sup>-3</sup> (0,37 EUR ber. m<sup>-3</sup>) - 4. un 5. darba metode) līdz 11 % (1,73 EUR m<sup>-3</sup> (0,57 EUR ber. m<sup>-3</sup>) - 1. darba metode) (Tab. 24), bet ar Ponsse Ergo sagatavotās sīkkoksnes transportēšanas scenārijs, atkarībā no izmantotās darba metodes, ir robežās no 7 % (1,25 EUR m<sup>-3</sup> (0,41 EUR ber. m<sup>-3</sup>) - 3. darba metode) līdz 13 % (1,76 EUR m<sup>-3</sup> (0,57 EUR ber. m<sup>-3</sup>) - 1. darba metode) (Tab. 25).

**Tab. 24: Ar John Deere sagatavotā biokurināmā pašizmaksas kopsavilkums**

Izmaksas, EUR gadā	Operācijas						Kopā
	izstrāde	pievešana	apaļkoku transports	šķeldošana	šķeldu transports	sīkkoku transports	
Investīcijas	€ 100 395	€ 82 267	€ 20 175	€ 41 305	€ 20 183	€ 20 175	
Personāls	€ 66 269	€ 56 338	€ 15 248	€ 32 106	€ 15 248	€ 15 248	
Operacionālās izmaksas	€ 162 192	€ 106 731	€ 33 675	€ 159 855	€ 43 292	€ 33 675	
Plānotā peļņa	€ 16 443	€ 12 267	€ 3 455	€ 11 663	€ 3 936	€ 3 455	
Kopā, EUR gadā	€ 345 299	€ 257 602	€ 72 553	€ 244 929	€ 82 659	€ 72 553	
<b>1. darba metode</b>							
<b>Ražīgums, m<sup>3</sup> E15-h<sup>-1</sup></b>	<b>13,1</b>	<b>7,8</b>	<b>12,4</b>	<b>31,4</b>	<b>9,0</b>	<b>11,9</b>	
<b>Biokurināmais, EUR m<sup>-3</sup></b>							
sīkkoku scenārijs	€ 5,05	€ 5,25				€ 3,42	<b>€ 13,72</b>
šķeldu scenārijs	€ 5,05	€ 5,25		€ 4,30	€ 5,16		<b>€ 19,76</b>
<b>Biokurināmais, EUR ber m<sup>-3</sup></b>							
sīkkoku scenārijs	€ 1,64	€ 1,71				€ 1,11	<b>€ 4,47</b>
šķeldu scenārijs	€ 1,64	€ 1,71		€ 1,40	€ 1,68		<b>€ 6,44</b>



Izmaksas, EUR gadā	Operācijas						Kopā
	izstrāde	pievešana	apaļkoku transports	šķeldošana	šķeldu transports	sīkkoku transports	
2. darba metode							
Ražīgums, m³ E15-h <sup>-1</sup>	10,6	7,0	11,8	31,4	9,0	11,3	
Biokurināmais, EUR m <sup>-3</sup>							
sīkkoku scenārijs	€ 6,16	€ 5,80				€ 3,60	€ 15,56
šķeldu scenārijs	€ 6,16	€ 5,80		€ 4,30	€ 5,16		€ 21,42
Biokurināmais, EUR ber m <sup>-3</sup>							
sīkkoku scenārijs	€ 2,01	€ 1,89				€ 1,17	€ 5,07
šķeldu scenārijs	€ 2,01	€ 1,89		€ 1,40	€ 1,68		€ 6,98
3. darba metode							
Ražīgums, m³ E15-h <sup>-1</sup>	11,2	7,3	11,8	31,4	9,0	11,3	
Biokurināmais, EUR m <sup>-3</sup>							
sīkkoku scenārijs	€ 5,89	€ 5,62				€ 3,60	€ 15,11
šķeldu scenārijs	€ 5,89	€ 5,62		€ 4,30	€ 5,16		€ 20,98
Biokurināmais, EUR ber m <sup>-3</sup>							
sīkkoku scenārijs	€ 1,92	€ 1,83				€ 1,17	€ 4,92
šķeldu scenārijs	€ 1,92	€ 1,83		€ 1,40	€ 1,68		€ 6,83
4. darba metode							
Ražīgums, m³ E15-h <sup>-1</sup>	7,9	7,9	10,6	31,4	9,0	10,2	
Biokurināmais, EUR m <sup>-3</sup>							
sīkkoku scenārijs	€ 8,24	€ 5,16				€ 4,00	€ 17,40
šķeldu scenārijs	€ 8,24	€ 5,16		€ 4,30	€ 5,16		€ 22,86
Biokurināmais, EUR ber m <sup>-3</sup>							
sīkkoku scenārijs	€ 2,68	€ 1,68				€ 1,30	€ 5,67
šķeldu scenārijs	€ 2,68	€ 1,68		€ 1,40	€ 1,68		€ 7,44
5. darba metode							
Ražīgums, m³ E15-h <sup>-1</sup>	8,2	7,9	10,6	31,4	9,0	10,2	
Biokurināmais, EUR m <sup>-3</sup>							
sīkkoku scenārijs	€ 8,01	€ 5,17				€ 4,00	€ 17,19
šķeldu scenārijs	€ 8,01	€ 5,17		€ 4,30	€ 5,16		€ 22,65
Biokurināmais, EUR ber m <sup>-3</sup>							
sīkkoku scenārijs	€ 2,61	€ 1,68				€ 1,30	€ 5,60
šķeldu scenārijs	€ 2,61	€ 1,68		€ 1,40	€ 1,68		€ 7,38

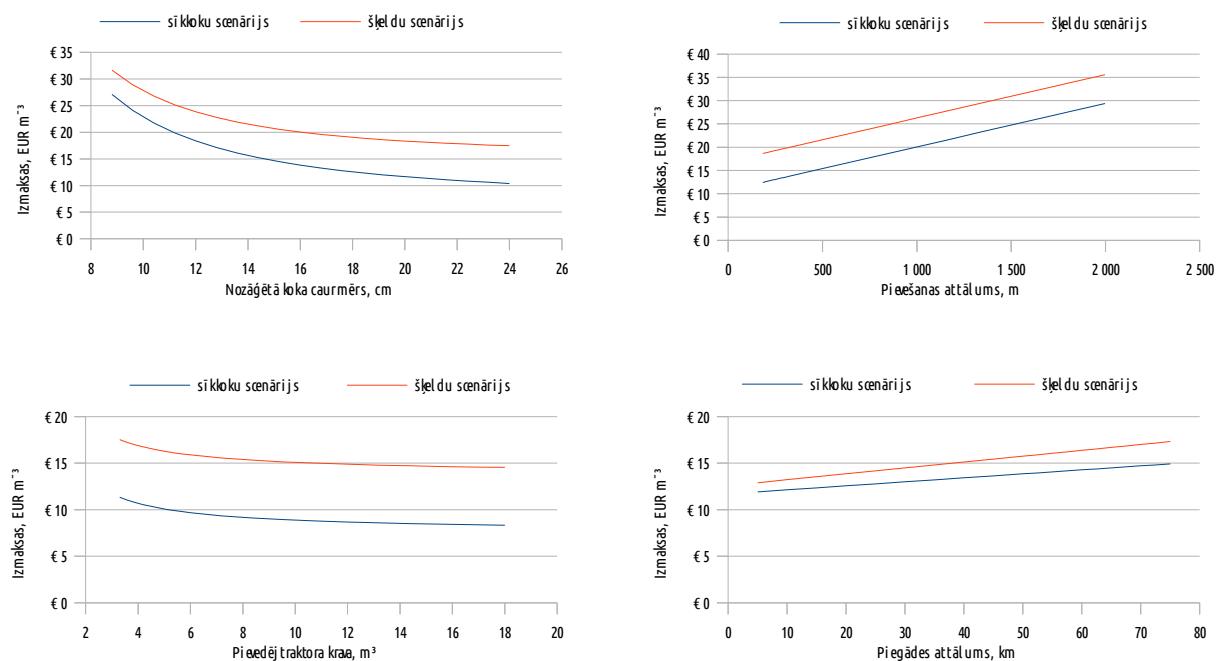
Tab. 25: Ar Ponsse Ergo sagatavotā biokurināmā pašizmaksas kopsavilkums

Izmaksas, EUR gadā	Operācijas						Kopā
	izstrāde	pievešana	apaļkoku transports	šķeldošana	šķeldu transports	sīkkoku transports	
Investīcijas	€ 90 260	€ 82 267	€ 20 175	€ 41 305	€ 20 183	€ 20 175	
Personāls	€ 66 269	€ 56 338	€ 15 248	€ 32 106	€ 15 248	€ 15 248	
Operacionālās izmaksas	€ 188 865	€ 106 518	€ 33 527	€ 160 153	€ 43 143	€ 33 527	
Plānotā peļņa	€ 17 270	€ 12 256	€ 3 447	€ 11 678	€ 3 929	€ 3 447	
Kopā, EUR gadā	€ 362 664	€ 257 379	€ 72 397	€ 245 242	€ 82 503	€ 72 397	

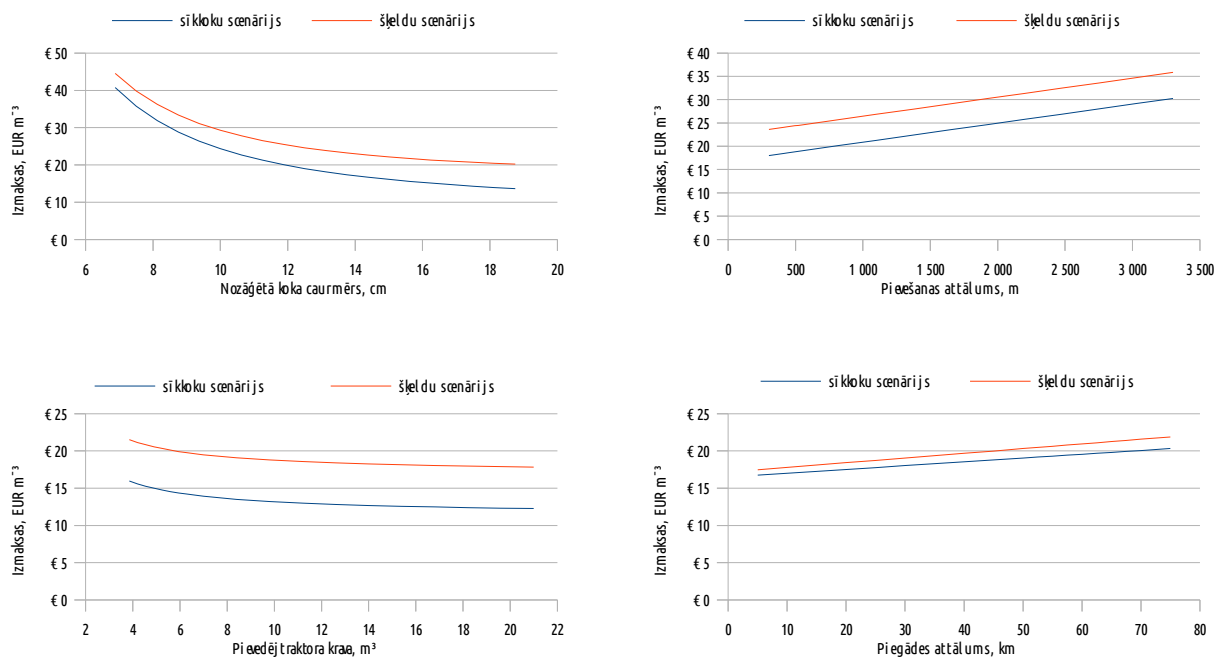
Izmaksas, EUR gadā	Operācijas						Kopā
	izstrāde	pievešana	apaļkoku transports	šķeldošana	šķeldu transports	sīkkoku transports	
1. darba metode							
Ražīgums, m³ E15-h <sup>-1</sup>	12,3	10,4	12,5	31,4	9,0	12,0	
Biokurināmais, EUR m <sup>-3</sup>							
sīkkoku scenārijs	€ 4,66	€ 3,94				€ 3,39	€ 11,99
šķeldu scenārijs	€ 4,66	€ 3,94		€ 4,31	€ 5,15		€ 18,06
Biokurināmais, EUR ber m <sup>-3</sup>							
sīkkoku scenārijs	€ 1,52	€ 1,28				€ 1,10	€ 3,91
šķeldu scenārijs	€ 1,52	€ 1,28		€ 1,40	€ 1,68		€ 5,88
2. darba metode							
Ražīgums, m³ E15-h <sup>-1</sup>	11,9	9,1	12,5	31,4	9,0	12,0	
Biokurināmais, EUR m <sup>-3</sup>							
sīkkoku scenārijs	€ 4,82	€ 4,49				€ 3,39	€ 12,70
šķeldu scenārijs	€ 4,82	€ 4,49		€ 4,31	€ 5,15		€ 18,77
Biokurināmais, EUR ber m <sup>-3</sup>							
sīkkoku scenārijs	€ 1,57	€ 1,46				€ 1,10	€ 4,14
šķeldu scenārijs	€ 1,57	€ 1,46		€ 1,40	€ 1,68		€ 6,11
3. darba metode							
Ražīgums, m³ E15-h <sup>-1</sup>	7,6	9,5	10,9	31,4	9,0	10,4	
Biokurināmais, EUR m <sup>-3</sup>							
sīkkoku scenārijs	€ 7,33	€ 4,31				€ 3,90	€ 15,54
šķeldu scenārijs	€ 7,33	€ 4,31		€ 4,31	€ 5,15		€ 21,10
Biokurināmais, EUR ber m <sup>-3</sup>							
sīkkoku scenārijs	€ 2,39	€ 1,40				€ 1,27	€ 5,06
šķeldu scenārijs	€ 2,39	€ 1,40		€ 1,40	€ 1,68		€ 6,87
4. darba metode							
Ražīgums, m³ E15-h <sup>-1</sup>	7,9	10,6	10,9	31,4	9,0	10,4	
Biokurināmais, EUR m <sup>-3</sup>							
sīkkoku scenārijs	€ 7,24	€ 3,85				€ 3,90	€ 14,98
šķeldu scenārijs	€ 7,24	€ 3,85		€ 4,31	€ 5,15		€ 20,54
Biokurināmais, EUR ber m <sup>-3</sup>							
sīkkoku scenārijs	€ 2,36	€ 1,25				€ 1,27	€ 4,88
šķeldu scenārijs	€ 2,36	€ 1,25		€ 1,40	€ 1,68		€ 6,69
5. darba metode							
Ražīgums, m³ E15-h <sup>-1</sup>	7,6	10,4	10,9	31,4	9,0	10,4	
Biokurināmais, EUR m <sup>-3</sup>							
sīkkoku scenārijs	€ 7,33	€ 3,91				€ 3,90	€ 15,14
šķeldu scenārijs	€ 7,33	€ 3,91		€ 4,31	€ 5,15		€ 20,70
Biokurināmais, EUR ber m <sup>-3</sup>							
sīkkoku scenārijs	€ 2,39	€ 1,27				€ 1,27	€ 4,93
šķeldu scenārijs	€ 2,39	€ 1,27		€ 1,40	€ 1,68		€ 6,74

## Jutības analīze

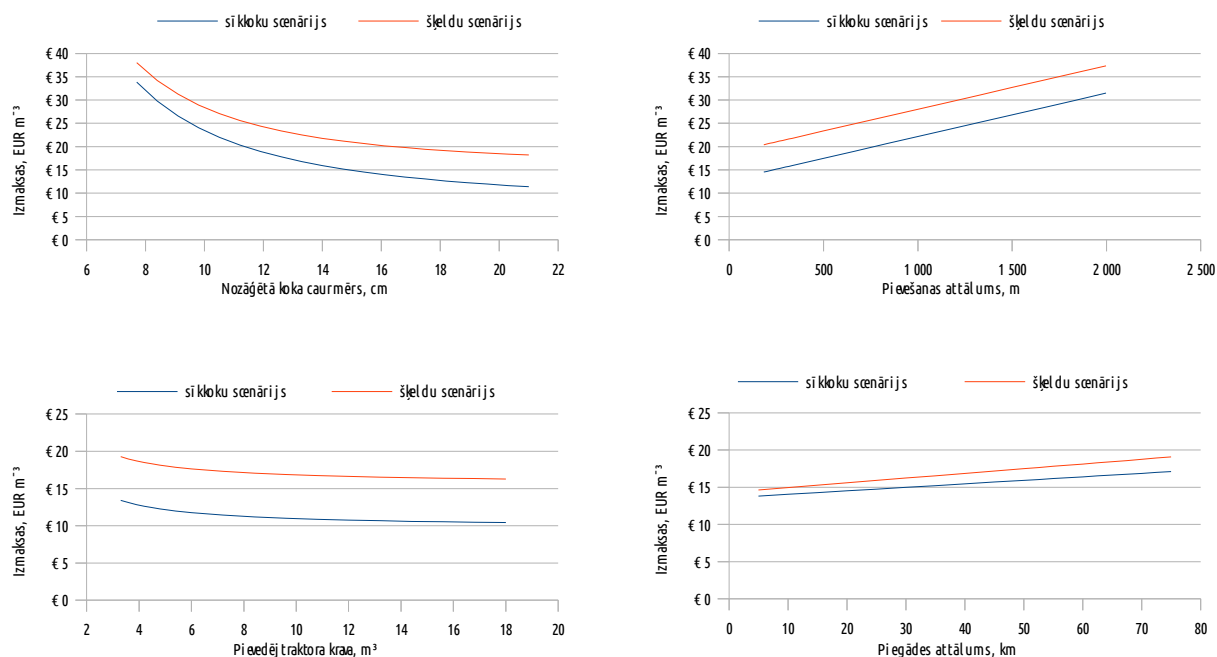
Sistēmas jutīguma analīzē (Att. 40, Att. 41, Att. 42, Att. 43, Att. 44, Att. 45, Att. 46, Att. 47, Att. 48 un Att. 49) redzams, ka lielāko ietekmi uz šķeldu pašizmaksu rada šķeldu transportēšanas attāluma un vidējā izzāgējamā koka koka caurmēra izmaiņas.



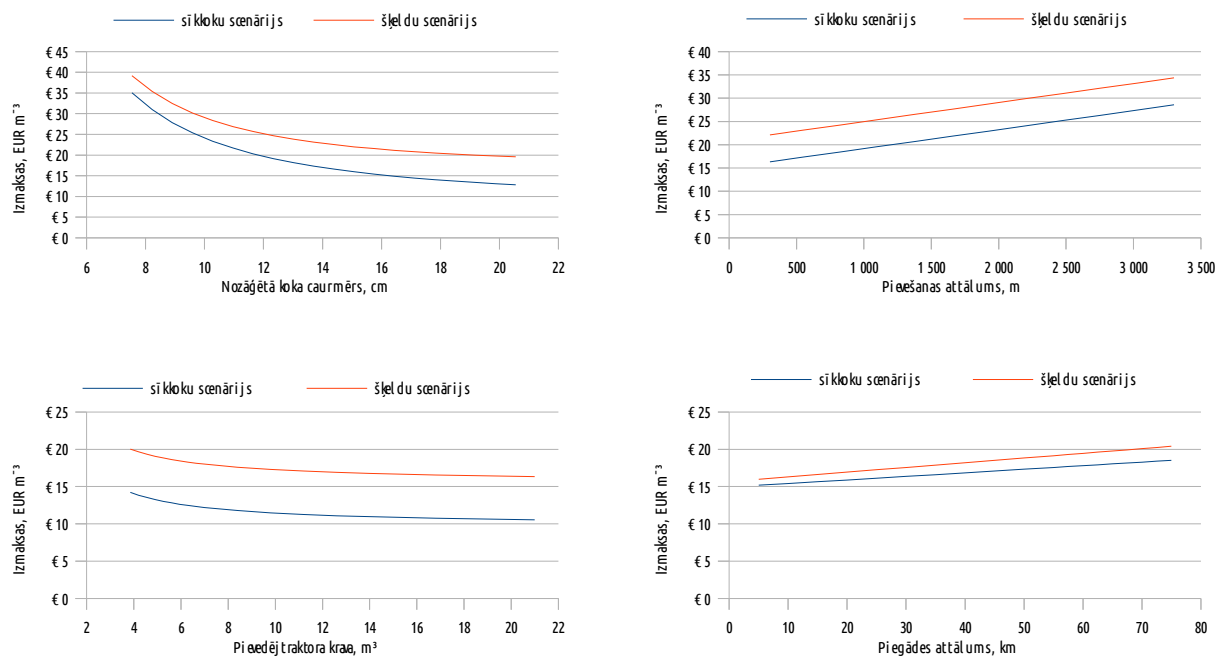
Att. 40: Jutīguma analīze 1. darba metodei John Deere 1070 D.



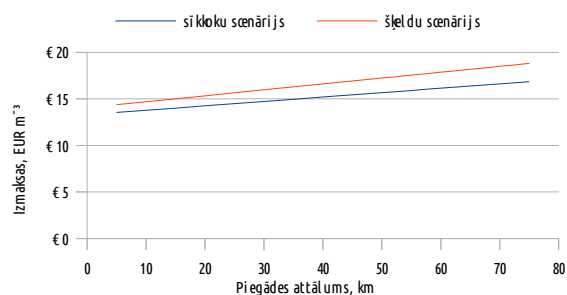
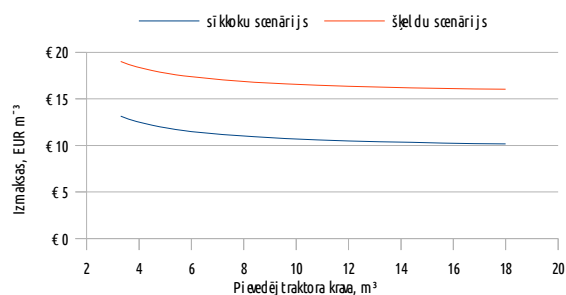
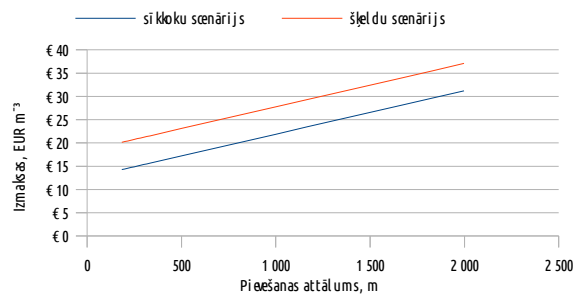
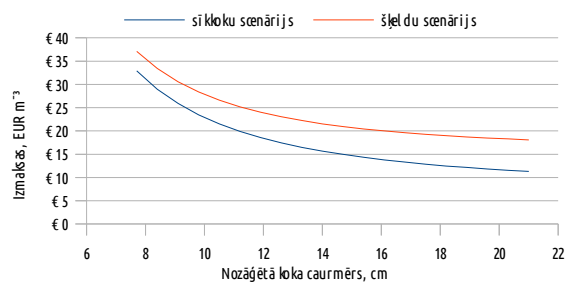
Att. 41: Jutīguma analīze 1. darba metodei Ponsse Ergo.



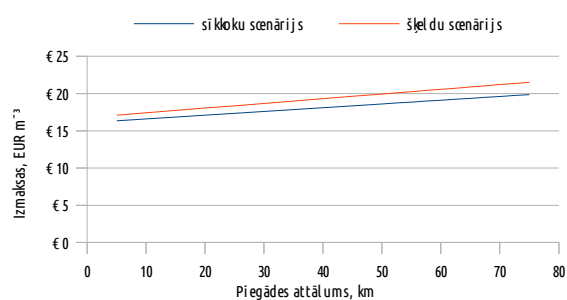
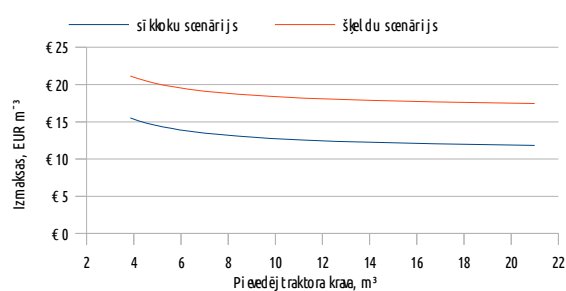
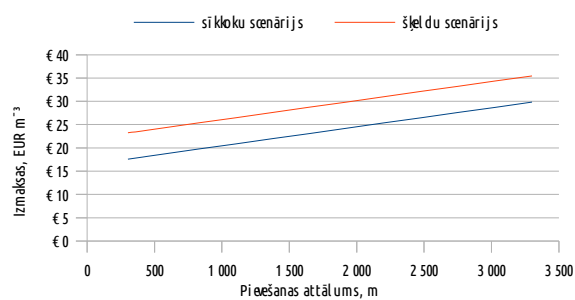
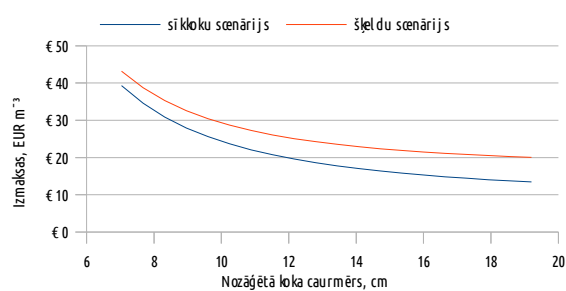
Att. 42: Jutīguma analīze 2. darba metodei John Deere 1070 D.



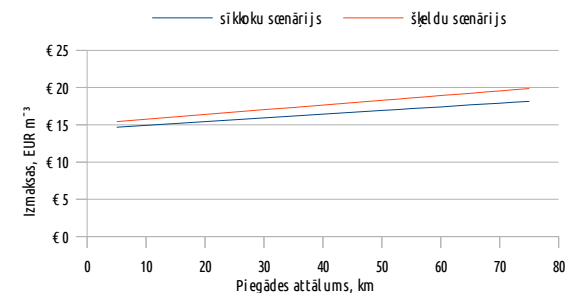
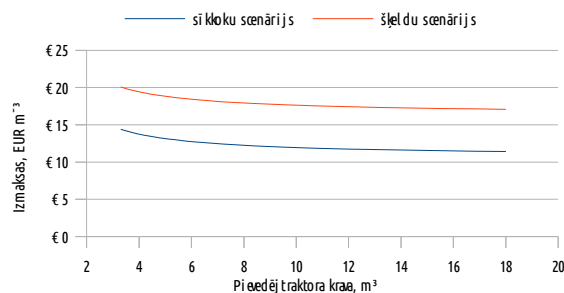
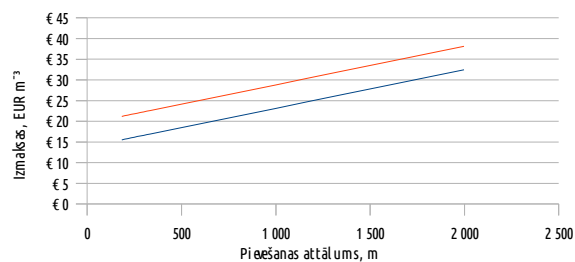
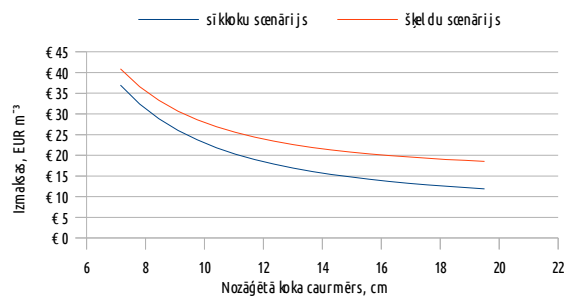
Att. 43: Jutīguma analīze 2. darba metodei Ponsse Ergo.



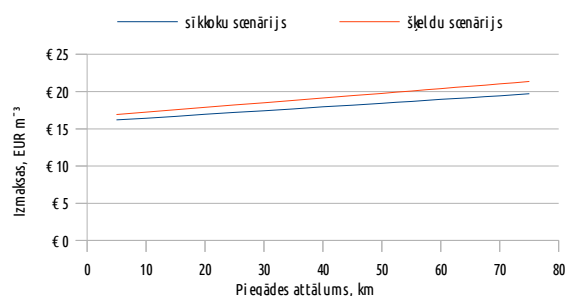
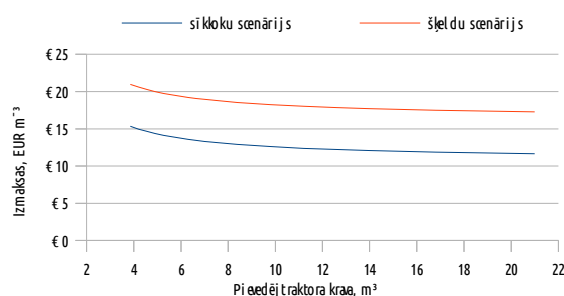
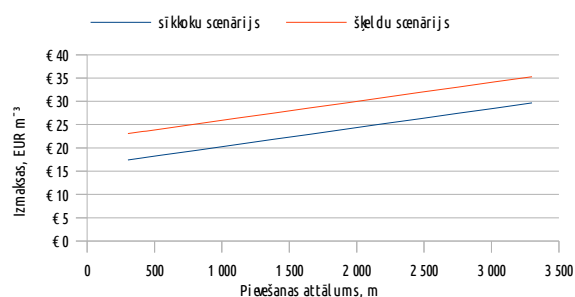
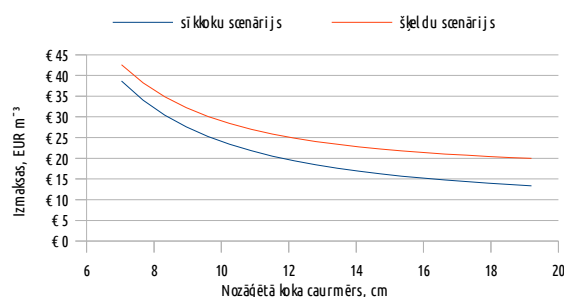
Att. 44: Jutīguma analīze 3. darba metodei John Deere 1070 D.



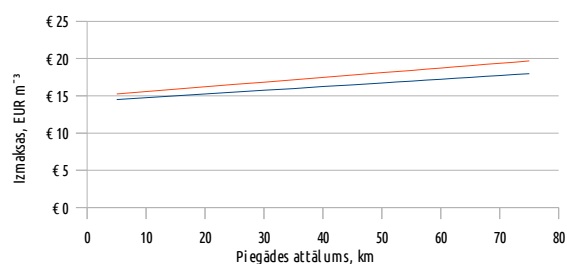
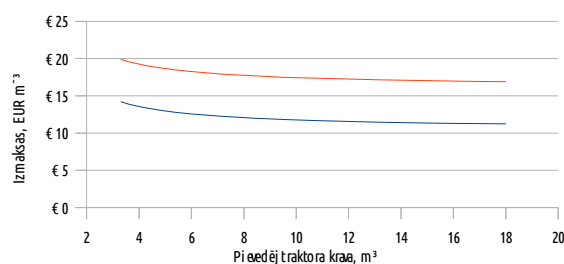
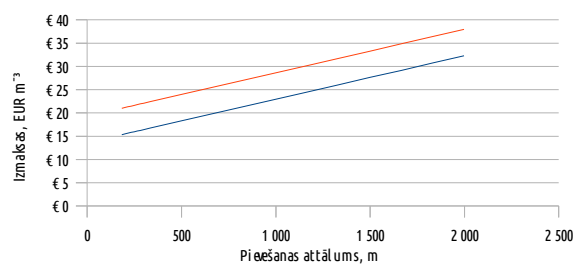
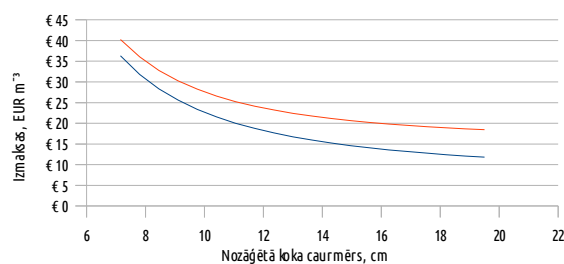
Att. 45: Jutīguma analīze 3. darba metodei Ponsse Ergo.



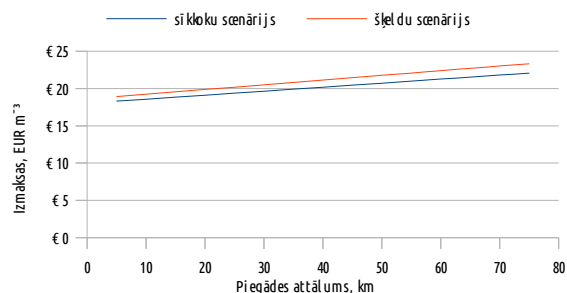
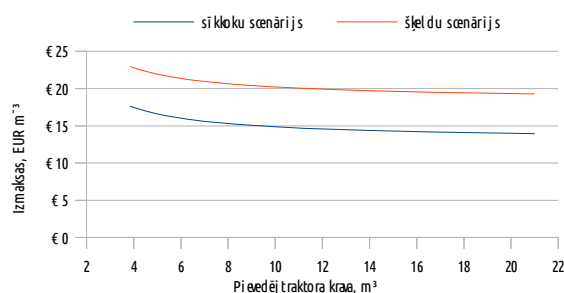
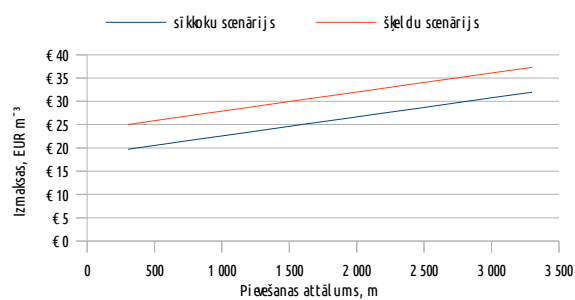
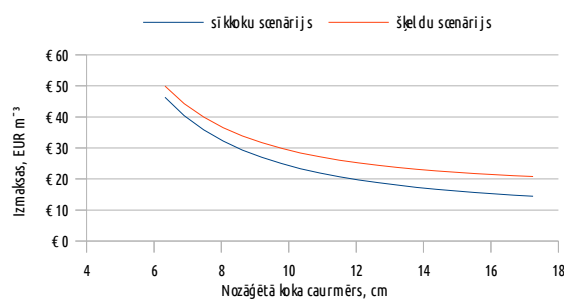
Att. 46: Jutīguma analīze 4. darba metodei John Deere 1070 D.



Att. 47: Jutīguma analīze 4. darba metodei Ponsse Ergo.



Att. 48: Jutīguma analīze 5. darba metodei John Deere 1070 D.



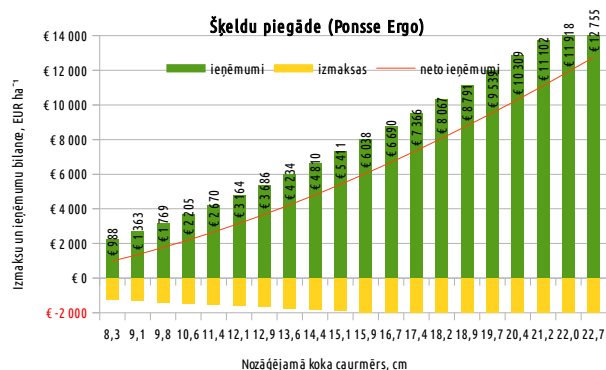
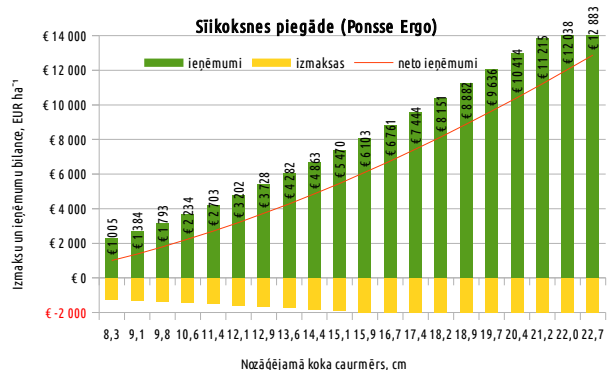
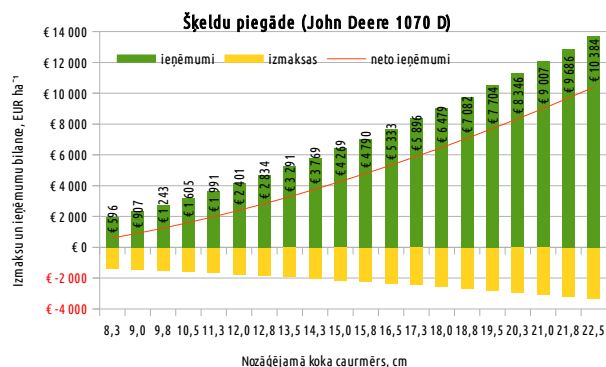
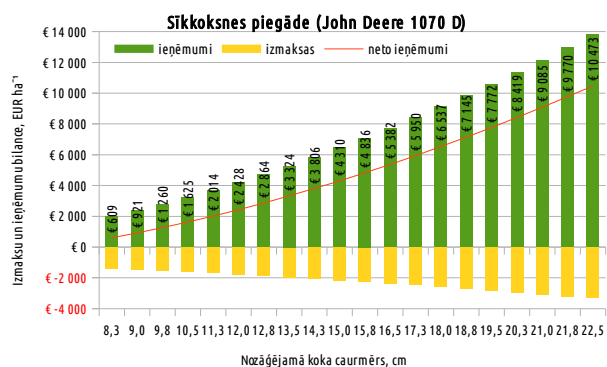
Att. 49: Jutīguma analīze 5. darba metodei Ponsse Ergo.

## Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums

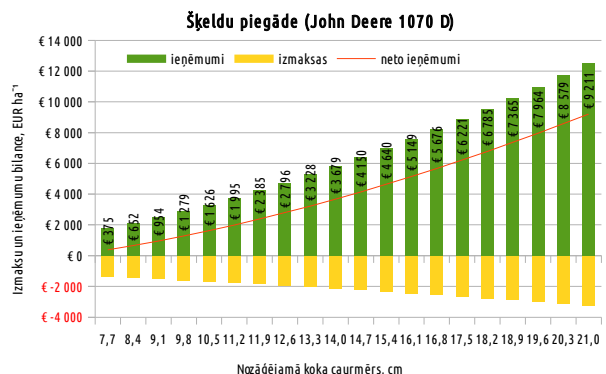
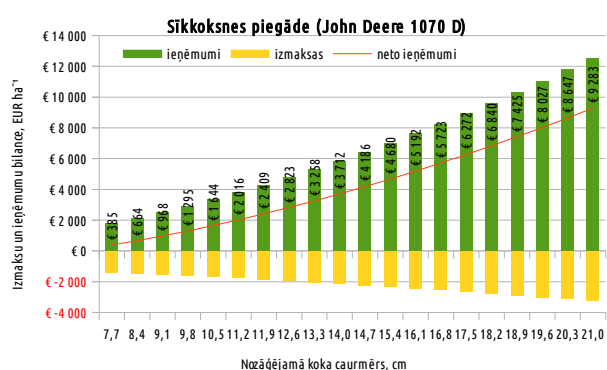
Pētījumā izvērtēti divi scenāriji – sīkkoksnes transportēšana gala patērētājam, izmantojot kokvedēju un biokurināmā (šķeldu) sagatavošana augšgala krautuvē un piegāde patērētājam.

Kopumā neto ieņēmumi no sīkkoksnes piegādes patērētājam ir lielāki, kā no šķeldu piegādes (Att. 50; Att. 51; Att. 52 un Att. 54). Negatīvus neto ieņēmumus pie vidējā nozāgētā koka D<sub>1,3</sub> >7 cm uzrāda vien 4. darba metodei, krājas kopšanā izmantojot John Deere 1070 D harvesteru (Att. 53).

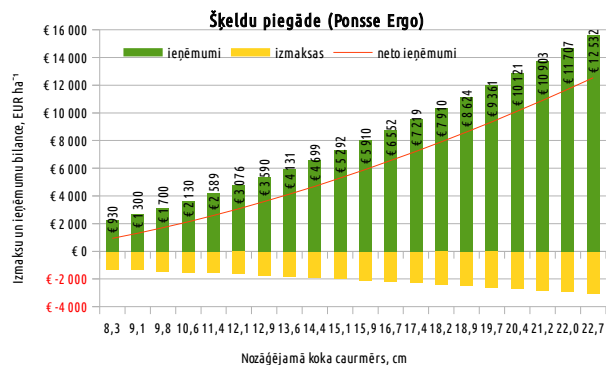
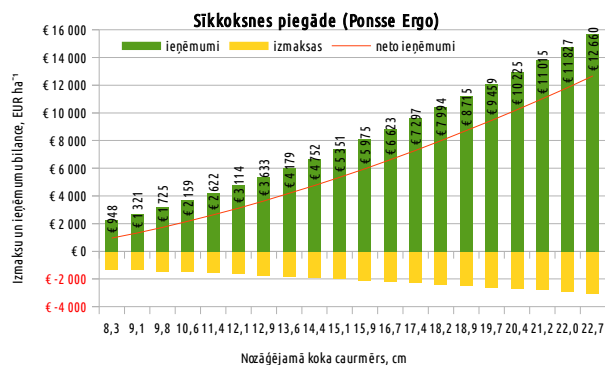
Mežizstrādes atlieku sagatavošanas scenārijs tiks analizēts pēc mežizstrādes atlieku pievešanas un šķeldošanas datu iegūšanas.



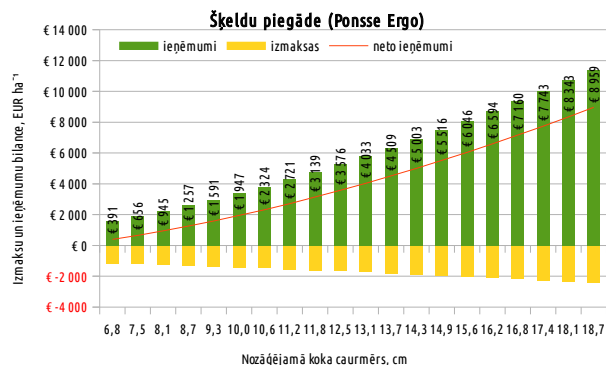
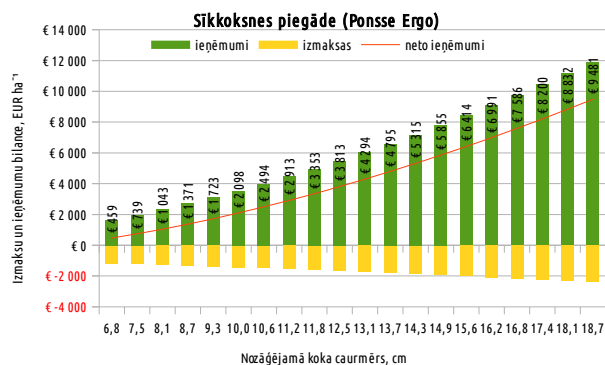
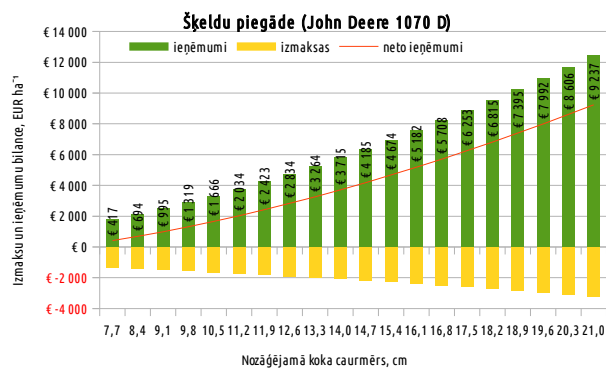
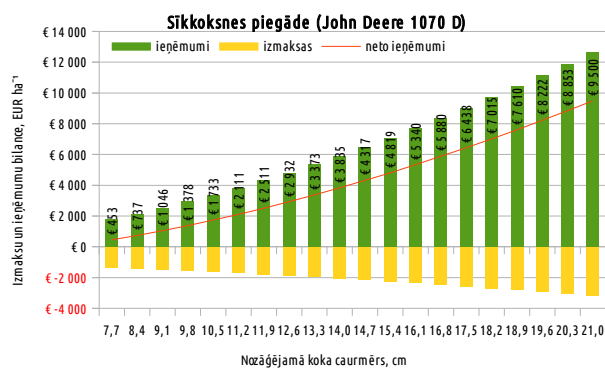
Att. 50: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums 1. darba metodei sīkkoksnes biokurināmā un šķeldu piegādes scenārijā.



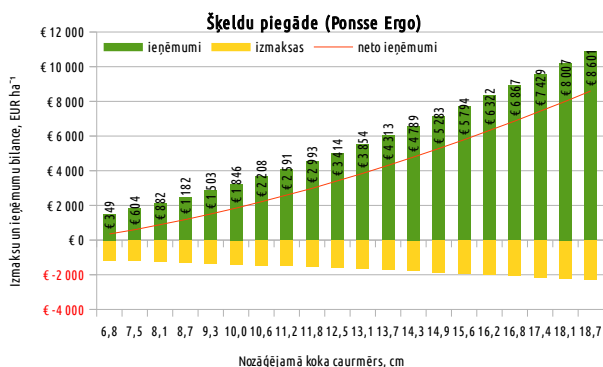
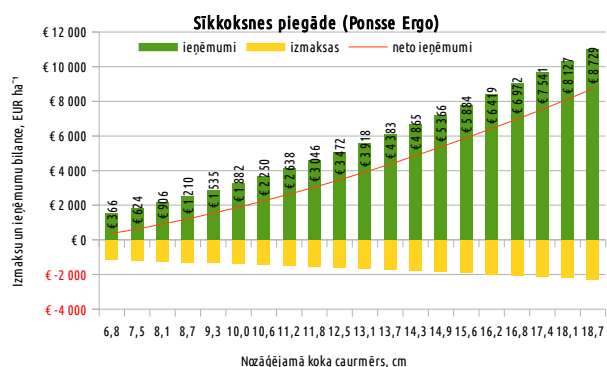
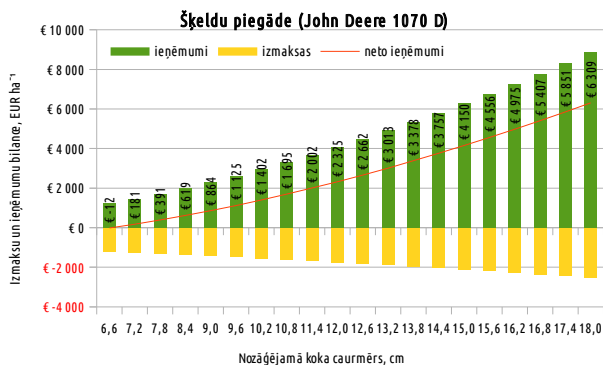
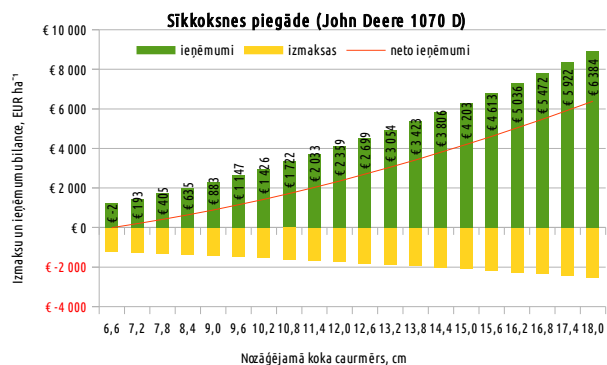




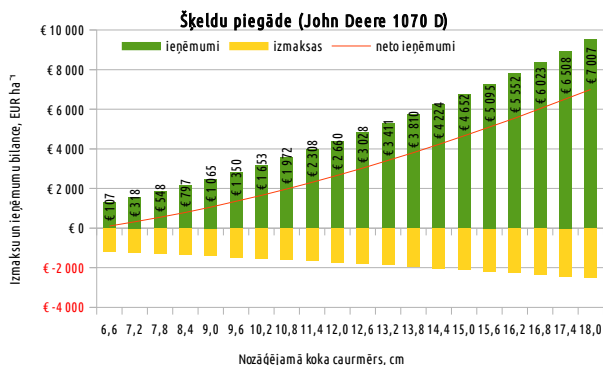
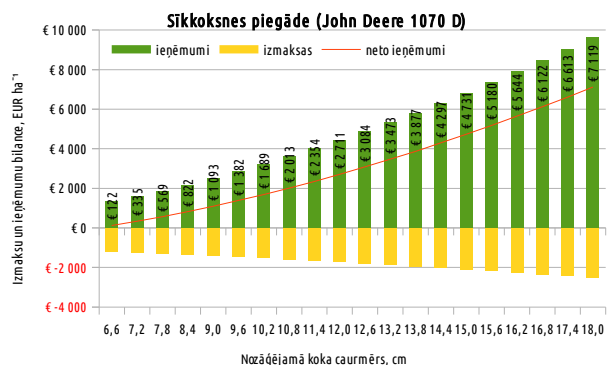
Att. 51: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums 2. darba metodei sīkkoksnes biokurināmā un šķeldu piegādes scenārijā.

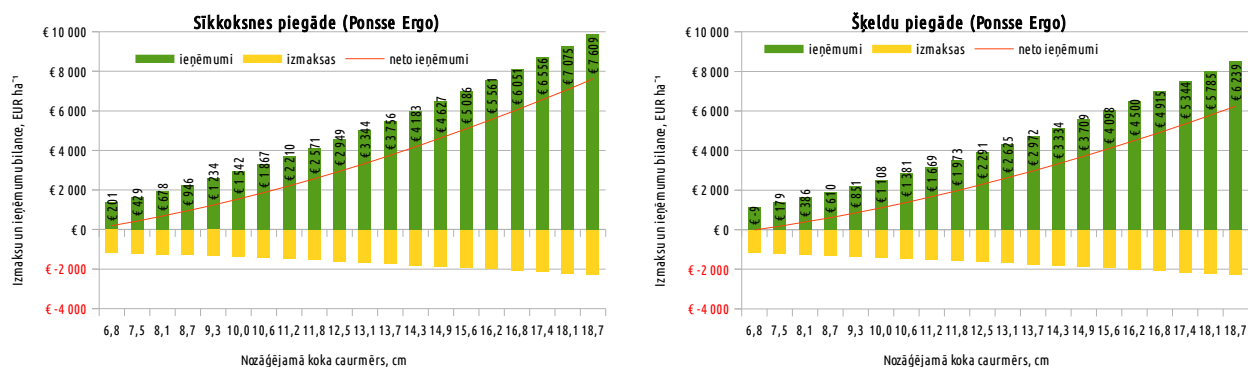


Att. 52: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums 3. darba metodei sīkkoksnes biokurināmā un šķeldu piegādes scenārijā.



**Att. 53: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums 4. darba metodei sīkkoksnes biokurināmā un šķeldu piegādes scenārijā.**





Att. 54: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums 5.darba metodei sīkkoksnes biokurināmā un šķeldu piegādes scenārijā.

## Sistēmas analīze

Pētījuma rezultāti rāda, ka, strādājot ar 1., 2. un 3. darba metodi, 1 pievedējtraktors var apkalpot 1-2 John Deere 1070 D harvesterus, bet, strādājot ar 4. un 5. darba metodi, 1 pievedējtraktors var apkalpot 1 John Deere 1070 D harvesteru. Viens šķeldotājs var apkalpot 4 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 krautuves spēj nodrošināt 1 sīkkoksnes pārvadājumiem piemērots kokvedējs.

Strādājot ar jebkuru no pielietotajām darba metodēm, 1 pievedējtraktors var apkalpot 1-2 Ponsse Ergo harvesterus. Visās darba metodēs viens šķeldotājs var apkalpot 6 pievedējtraktorus. Biokurināmā piegādi 50 km attālumā no 1 šķeldotāja var nodrošināt 3-4 šķeldu vedēji. Viens sīkkoksnes pārvadājumiem piemērots kokvedējs var nodrošināt koksnes tālāku transportu 50 km attālumā no augšgala krautuves 2 pievedējtraktoriem.

## Kopšanas kvalitāte un ietekme uz vidi

### Koku izvietojums audzē pēc kopšanas

Attālums starp slejām ir 20 m, vidējā koka attālums no slejas centra atkarībā no izvēlētajā darba metodes gan John Deere 1070 D, gan Ergo Ponsse harvesteram ir vidēji 6 m (Tab. 26 un Tab. 27). John Deere 1070 D harvesteram statistiski būtiskas atšķirības ( $p = 0,01$ ) starp paliekošo koku izvietojumu pēc kopšanas attiecībā pret tehnoloģisko koridoru konstatētas starp 1. un 3. darba metodi (Att. 55). Ponsse Ergo harvesteram statistiski būtiskas atšķirības konstatētas starp 1. darba metodi un 2. darba metodi, 2. un 3. darba metodi, 2. un 5. darba metodi, 3. un 4. darba metodi, 4. un 5. darba metodi (Att. 56).

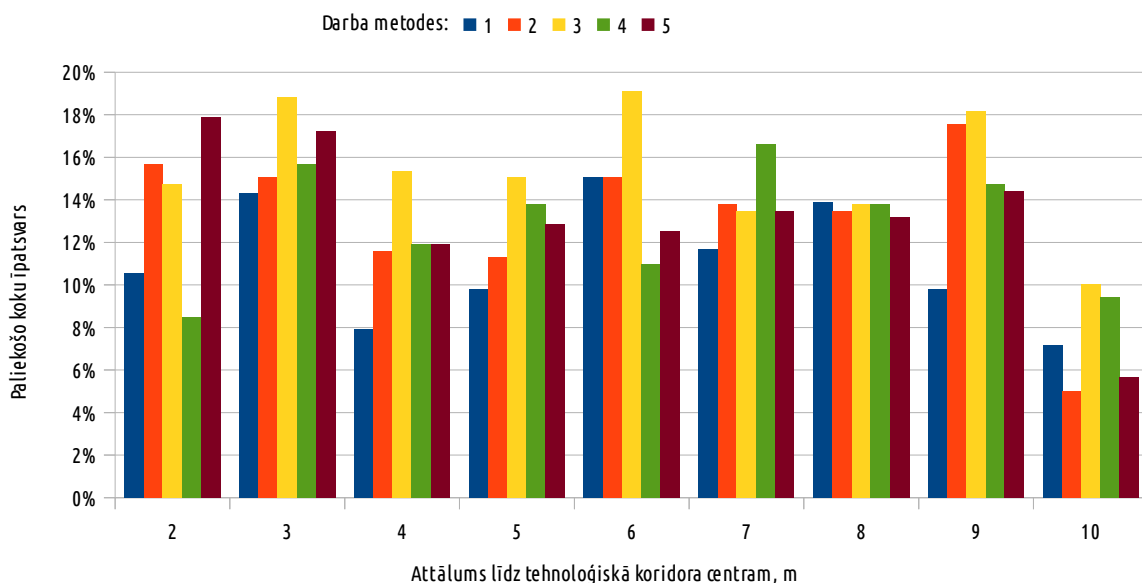
Iegūto datu analīze darba metožu griezumā parāda, ka atstāto koku izvietojums audzēs ir vienmērīgs, kas liecina par pietiekami blīvu tehnoloģisko koridoru izvietojumu, lai harvesters spētu aizsniegt gan tehnoloģiskajam koridoram tuvu esošus kokus, gan slejas vidū esošus kokus. John Deere harvesteram tālāko koku aizsniegšana radīja grūtības, būtiski palielinot "sniegšanās" un "satveršanas" laiku, kā arī pārbraucienus pa audzi, manevrējot ar traktoru un strēli, lai sasniegtu tālākos kokus.

Tab. 26: Koku izvietojums pēc kopšanas ar John Deere 1070 D harvesteru

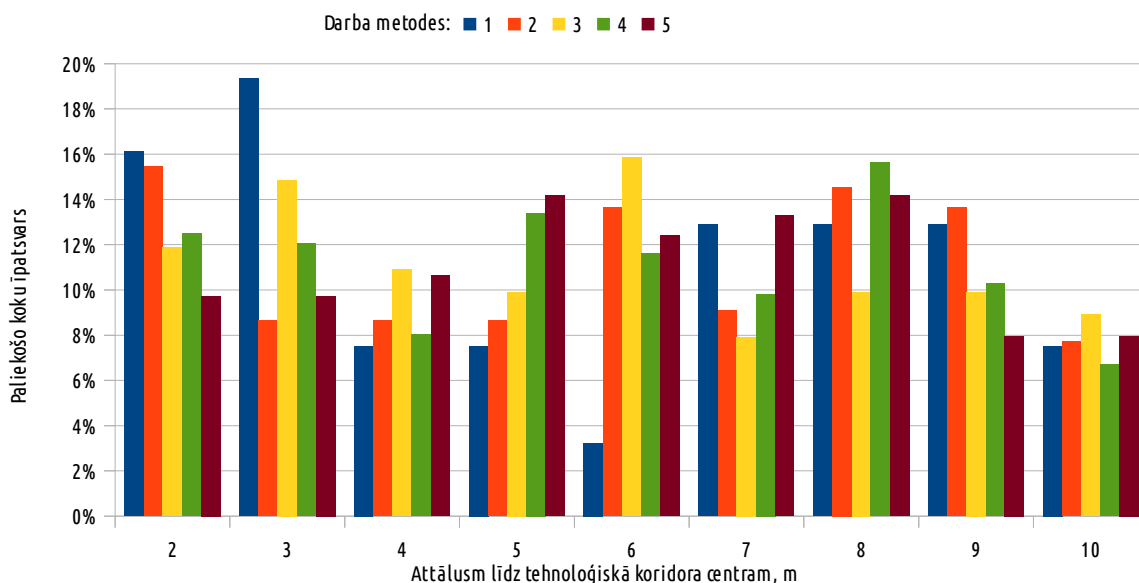
Darba metode	Slejas platums, m	Vidējais attālums no koka līdz slejas centram, m
1.	20	5,8
2.	20	5,7
3.	20	5,8
4.	20	6,0
5.	20	5,5

Tab. 27: Koku izvietojums pēc kopšanas ar Ponsse Ergo harvesteru

Darba metode	Slejas platums, m	Vidējais attālums no koka līdz slejas centram, m
1.	20	5,6
2.	20	5,9
3.	20	5,6
4.	20	5,8
5.	20	5,9



Att. 55: Paliekošo koku attālums no koridora centra sadalījumā pa darba metodēm John Deere 1070 D harvesteram.



Att. 56: Paliekošo koku attālums no koridora centra sadalījumā pa darba metodēm Ponsse Ergo harvesteram.

## Paliekošo koku bojājumi

Vērtējot kopšanas kvalitāti un analizējot paliekošo koku bojājumus, konstatēts, ka abiem harvesteriem visvairāk ir stumbra mizas nobrāzumi augstāk par 0,5 m. Paliekošo koku bojājumu kopsavilkums darba metožu griezumā dots Tab. 28. un Att. 44. Biokurināmā sagatavošana sekmējusi būtisku bojāto koku īpatsvara palielinājumu abām mašīnām. Daļēji tas skaidrojams ar mazo dimensiju koku iekļaušanu bojājumu uzskaitē.

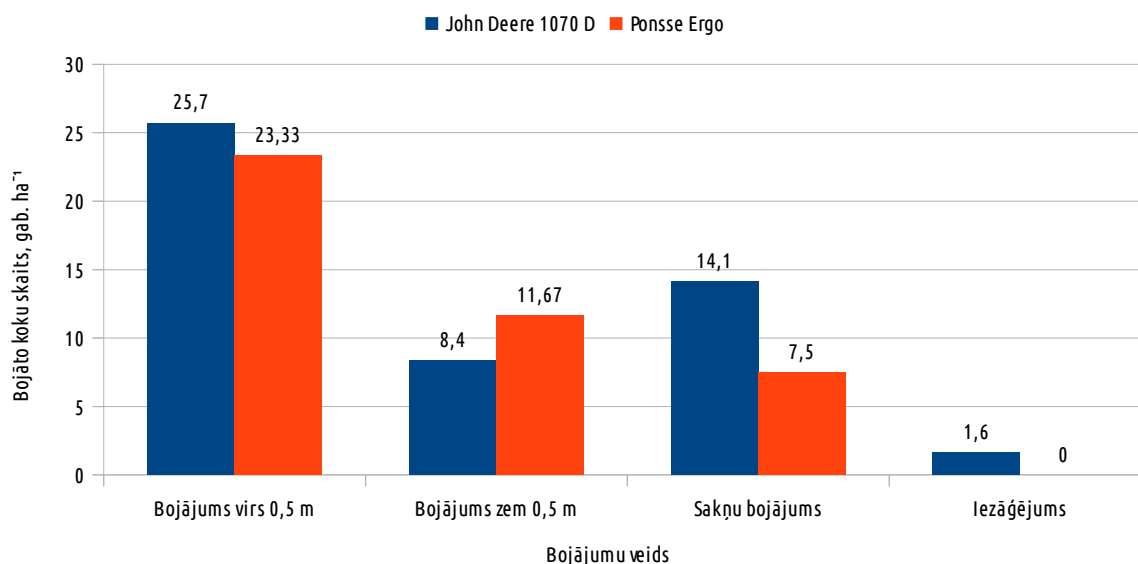
Tab. 28: Paliekošo koku bojājumi sadalījumā pa darba metodēm strādājot ar John Deere 1070 D harvesteru

Darba metode	Bojāto koku skaits, gab. ha <sup>-1</sup>					Bojātā krāja, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Attālums līdz centram, m	Bojāto koku skaita īpatsvars
	bojājums virs 0,5 m	bojājums zem 0,5 m	sakņu bojājums	iezāgējums	kopā			
1.	8,8	5,9	5,9	0,0	20,6	3,2	7,1	5%
2.	30,6	12,5	16,7	1,4	61,1	24,3	5,0	12%
3.	34,5	7,1	15,5	1,2	58,3	32,3	5,5	11%
4.	29,0	7,9	18,4	4,0	59,2	26,2	6,0	12%
5.	32,5	7,5	11,3	1,3	52,5	26,1	5,9	11%

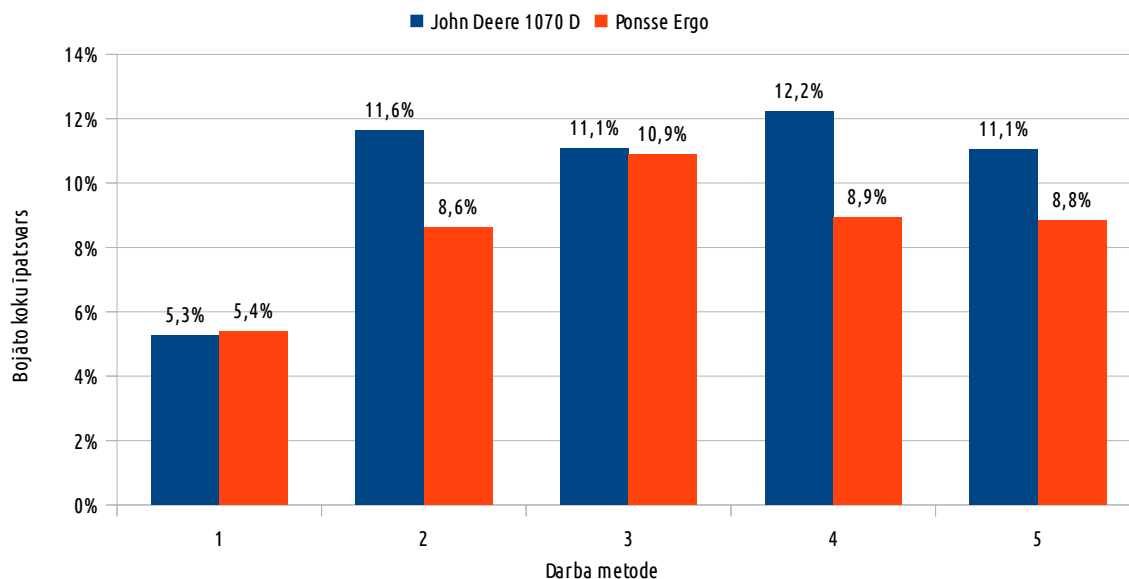
Tab. 29: Paliekošo koku bojājumi sadalījumā pa darba metodēm strādājot ar Ponsse Ergo

Darba metode	Bojāto koku skaits, gab. ha <sup>-1</sup>					Bojātā krāja, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Attālums līdz centram, m	Bojāto koku skaita īpatsvars
	bojājums virs 0,5 m	bojājums zem 0,5 m	sakņu bojājums	iezāgējums	kopā			
1.	15,0	5,0	5,0	0,0	25,0	10,6	5,6	5%
2.	30,0	10,0	7,5	0,0	47,5	25,0	5,9	9%
3.	25,0	20,0	10,0	0,0	55,0	31,6	5,6	11%
4.	35,0	5,0	10,0	0,0	50,0	21,3	5,8	9%
5.	30,0	10,0	10,0	0,0	50,0	16,9	5,9	9%

Ar harvesteru bojāto koku skaita sadalījums pa bojājumu veidiem dots Att. 57. Strādājot ar Ponsse Ergo harvesteru, bojāto koku skaits uz hektāra ir par 15 % mazāks, nekā, strādājot ar John Deere 1070 D harvesteru. Ar harvesteru bojāto koku sadalījums pa darba metodēm dots Att. 58.

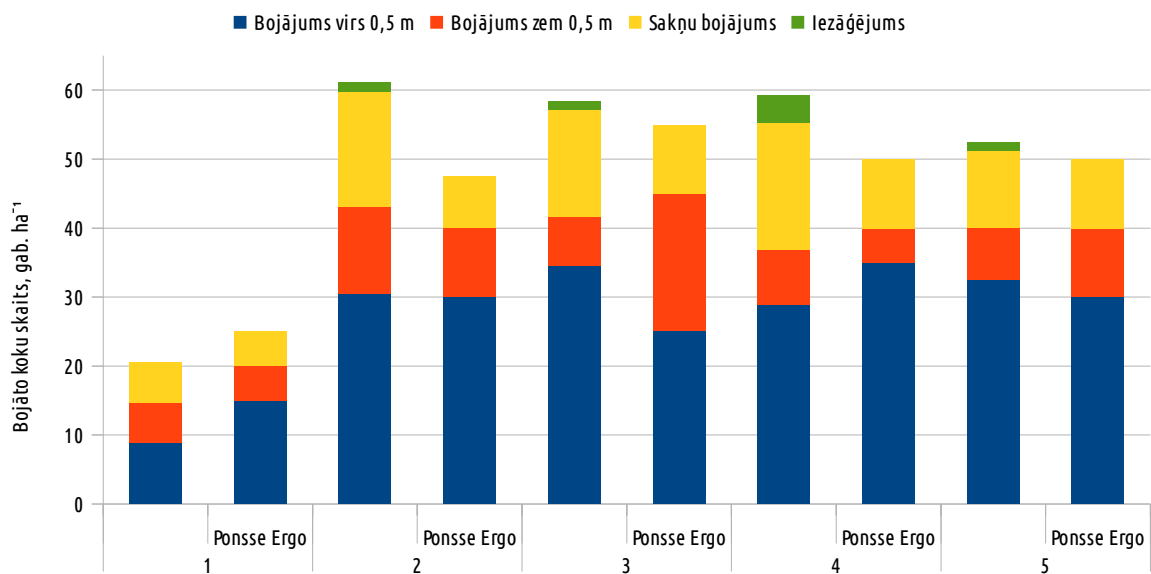


Att. 57: Harvestera bojājumu veidi.



Att. 58: Harvestera bojājumi sadalījums pa darba metodēm.

Detalizēta bojājumu struktūras analīze John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteram neparāda statistiski būtiskas atšķirības ( $p < 0,05$ ) starp krājas kopšanā pielietotajām darba metodēm (Att. 59).



Att. 59: Harvestera bojājumu struktūra sadalījums pa darba metodēm.

## SECINĀJUMI UN IETEIKUMI PRAKSEI

1. Izmēģinājumos piedalījās kvalificēti operatori ar iepriekšēju darba pieredzi krājas kopšanā, tomēr John Deere 1070 D harvestera operatoriem pietrūka pieredzes griezējgalvas paketēšanas mehānisma izmantošanā un mežizstrādes atlieku novietošanā, kas būtiski samazināja darba ražīgumu. Ponsse Ergo harvestera operatori paketēšanas mehānismu izmantoja atsevišķos gadījumos, tāpēc faktiskais izmēģinājumos sasniegtais ražīgums ir būtiski mazāks par potenciālo ražīgumu.
2. Neskatoties uz apmierinošo paliekošo koku izvietojumu, izmēģinājumos konstatēts, ka John Deere 1070 D nav pietiekami stabils, lai kvalitatīvi izkoptu mežaudzi, ja attālums starp koridoriem ir 20 m, tāpēc, strādājot ar šādiem harvesteriem, ieteicams attālumu starp koridoriem samazināt līdz 18 m. Ponsse Ergo harvesteram neradās grūtības vienmērīgi izkopt 20 m platas slejas un tas radīja mazāk paliekošo koku bojājumu.
3. Ponsse Ergo harvesters vidēji viena koka apstrādei tērēja par 26 % mazāk tiešā darba laika, kā John Deere 1070 D harvesters, kas saistīts gan ar harvestera tehniskajām nepilnībām, gan operatoru pieredzes trūkumu. Tomēr abu mašīnu, it īpaši Ponsse Ergo harvestera, ražības potenciāls ir izmantots nepilnīgi un, maksimāli izmantojot paketēšanas funkciju, ražības rādītājus var būtiski palielināt. Piektajā darba metodē par 11 cm tievāku kociņu apstrādei patērēti 44 % kopējā zāgēšanas laika un 32 % atzarošanas laika, sagatavojot 9 % kokmateriālu.
4. Lai sagatavotu vienu m<sup>3</sup> koksnes, Ponsse Ergo harvesteram bija nepieciešams par 22 % mazāk tiešā darba laika, nekā John Deere 1070 D harvesteram. John Deere 1070 D harvestera ražīguma rādītājos, kas raksturo sagatavoto koksnes apjomu tiešajā darba stundā, starp 1. un 4. darba metodi konstatētas statistiski būtiskas atšķirības ( $p = 0,04$ ). John Deere harvestera operatoriem grūtības radīja visas darba metodes, kas saistītas ar biokurināmā sagatavošanu.
5. Biokurināmā sagatavošana no sīkkoksnes un galotnēm palielina apaļo kokmateriālu iznākumu par 8 %. Palielinot minimālo zāgējamā koka caurmēru līdz 8 cm, biokurināmā (daļēji atzarotu sīkkoku) apjoms samazinātos par aptuveni 25 %, tomēr kopējo apaļo kokmateriālu un mežizstrādes atlieku iznākumu tas ietekmētu nebūtiski.
6. John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteram darba metodēs, kurās pirms zāgēšanas saglabāts pamežs, aptuveni 2 reizes pieaug laiks pameža zāgēšanai, tomēr vidēji pameža zāgēšanai patērētais laiks nepārsniedz 4 % no patērētā efektīvā darba laika. Tikai 5. darba metodē pameža saglabāšana Ponsse Ergo operatoriem radījusi būtisku papildus darba laika patēriņu par 8,1 cm tievāku koku zāgēšanai (par 72 % vairāk, nekā 1. darba metodē). Iegūtie rezultāti parāda, ka pameža nozāgēšana pirms kopšanas tikai daļēji ļauj sasniegt vēlamo rezultātu – harvestera ražības palielināšanu.
7. Sīkkoksnes piegādes scenārijs ir ekonomiski izdevīgāks kā šķeldu piegādes scenārijs visās darba metodēs, jo sīkkoksnes transportēšanas scenārijs, atkarībā no izmantotām darba metodēm, ļauj ar John Deere 1070 D harvesteru sagatavotā biokurināmā pašizmaksu samazināt par 6 (4. un 5. darba metode) līdz 11 % (1. darba metode), bet ar Ponsse Ergo harvesteru – robežās no 7 (3. darba metode) līdz 13 % (1. darba metode).
8. Šķeldu pašizmaksas jutīguma analīze parāda, ka lielāko ietekmi uz šķeldu pašizmaksu rada šķeldu transportēšanas attālums un vidējā kopšanā izzāgējamā koka tilpuma izmaiņas. Jutības analīzes rezultāti norāda uz nepieciešamību noteikt minimālo robežu zāgējamo koku dimensijām, taču



nepieciešami pētījumu dati par pameža saglabāšanas ietekmi uz pievedējtraktora ražīgumu un pievesto kokmateriālu kvalitāti.

9. Atstāto koku izvietojums audzēs ir vienmērīgs, tādējādi jāsecina, ka tehnoloģisko koridoru izvietojums bijis pietiekami blīvs, lai nodrošinātu audzes vienmērīgu izkopšanu. Strādājot ar Ponsse Ergo harvesteru bojāto koku skaits uz hektāra ir par 15 % mazāks kā strādājot ar John Deere 1070 D harvesteru. Detalizēta bojājumu struktūras analīze John Deere 1070 D un Ponsse Ergo harvesteram neparāda statistiski būtiskas atšķirības ( $p < 0,05$ ) starp krājas kopšanā pielietotajām darba metodēm. John Deere 1070 D harvesters visvairāk paliekošo koku bojājumus radījis strādājot ar 2. un 3. darba metodi, Ponsse Ergo harvesters- strādājot ar 3., 4. un 5. darba metodi. Strādājot ar 1. darba metodi, abi harvesteri radījuši vismazāk paliekošo koku bojājumus.

## LITERATŪRA

1. AS "Latvijas valsts meži" (2014). Tehniskās prasības mežizstrādes teknikai. AS "Latvijas valsts meži". Available from: [http://www.lvm.lv/images/lvm/Profesionaliemi/Mežizstrāde/Prasības\\_tehnikai\\_un\\_aprikojumam/Prasības\\_mezizstrades\\_tehnikai\\_v\\_04.pdf](http://www.lvm.lv/images/lvm/Profesionaliemi/Mežizstrāde/Prasības_tehnikai_un_aprikojumam/Prasības_mezizstrades_tehnikai_v_04.pdf).
2. 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].
3. Latvijas Republikas Saeima (2000). Meža likums (ar labojumiem līdz 13.10.2011.). VSIA Latvijas Vēstnesis.
4. Lazdiņš, A., Liepiņš, K., Lazdiņa, D., Jansons, Ā., Bārdule, A. & Lupiķis, A. (2013). *Mežsaimniecisko darbību ietekmes uz siltumnīcefekta gāzu emisijām un CO<sub>2</sub> piesaisti novērtējums (pārskats par 2013. gada darba uzdevumu izpildi)*. Salaspils. (5.5-5.1/001Y/110/08/8).
5. Lazdiņš, A. & Makovskis, K. (2012). Complex analysis of forest biomass resources on base of National statistical forest inventory. Lisbon.
6. Liepa, I. (1996). *Pieauguma mācība*. Jelgava: LLU.
7. Osis, J. (2012). AS Latvijas valsts meži biomasas produkti un to attīstības tendences. Rīga.