

PĀRSKATS

PAR AS "LATVIJAS VALSTS MEŽI" PĒTĪJUMA

ATJAUNOJAMO ENERGORESURSU PRODUKTU RAŽOŠANAS,
PĀRSTRĀDES UN LOĢISTIKAS RŪPNIECISKAIS PĒTĪJUMS

DARBU IZPILDI

Pārskata nosaukums **BIOKURINĀMĀ SAGATAVOŠANA
SAVLAICĪGĀ UN NOVĒLOTĀ KOPŠANĀ AR
ROKAS DARBA INSTRUMENTIEM**

Līguma Nr. 3. 5.5-5.1-000p-101-12-8

Pārskata Nr. 2015/06

Pārskata versija 1.0

Izpildes laiks 20.10.2014 - 20.05.2015

Izpildītājs Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava"

Projekta vadītājs

A. Lazdiņš

KOPSAVILKUMS

Pētījuma mērķis ir noskaidrot strādnieku ar rokas motorinstrumentiem darba ražīgumu, gatavojot biokurināmo savlaicīgā un novēlotā skujkoku jaunaudžu kopšanas cirtē, kā arī novērtēt darba ražīgumu un biokurināmā pašizmaksu ietekmējošos faktorus, tajā skaitā zāgējamo koku suga un dimensijas, strādnieku pieredze un darba metodes, instrumentu izvēle (ķēdes zāģis ar un bez augstiem rokturiem vai uz muguras stiprināms meža tīrīšanas zāģis), attālums starp tehnoloģiskajiem koridoriem un meža tips.

Pētījumā noskaidrots, ka biokurināmā sagatavošana skujkoku jaunaudžu kopšanas cirtēs ar rokas motorinstrumentiem nodrošina pietiekoši lielu darba ražīgumu, lai biokurināmā realizācija nosegtu ražošanas izmaksas un nodrošinātu nelielu peļņu meža īpašniekam, ja vidējā koka caurmērs audzē ir vismaz 8 cm. Vislielāko darba ražīgumu var panākt, izmantojot ķēdes zāģi, kā arī ar meža tīrīšanas zāģi. Vērtējot aprīkojuma ergonomiskumu, labākais risinājums ir meža tīrīšanas zāģis. Ķēdes zāģa ar augstiem rokturiem darba ražīgumu samazina garāko koku pārzāgēšana. Atteikšanās no šīs darba operācijas būtiski uzlabos darba ražīguma rādītājus, taču palielinās biokurināmā pievešanas izmaksas. Pilnveidojot zāgēšanas darba metodi, pievešanā ir jāizmanto pievedējtraktors, kura kauss aprīkots ar kniebšanas mehānismu un koku pacelšanas funkciju, lai nozāgētos kokus ieceltu kravā vertikālā stāvoklī. Būtisku darba ražīguma palielinājumu var panākt, arī izvairoties no mazāko kociņu zāgēšanas, ja tie netraucē valdaudzes koku attīstībai. Biokurināmā sagatavošanas darba ražīgumu neietekmē attālums starp tehnoloģiskajiem koridoriem un zāgējamo koku suga. Nepastāv būtiska atšķirība darba ražīgumā, veicot jaunaudžu kopšanas cirtes savlaicīgi vai novēloti. Biokurināmā sagatavošanas darba ražīgumu būtiski ietekmē strādnieku pieredze un izmantotās darba metodes. Būtisku ietekmi rada arī darba apstākļi – labāki rādītāji ir silā; sliktākie – damaksnī un šaurlapju ārenī.

Kopšanas kvalitāte, veicot biokurināmā sagatavošanu ar rokas motorinstrumentiem, ir labāka, nekā Latvijā veiktajos mašinizētās kopšanas izmēģinājumos; bojāti koki pēc kopšanas nav konstatēti, koku izvietojums starp tehnoloģiskajiem koridoriem ir vienmērīgs. Tehnoloģisko koridoru tīkla sabiezināšana sekmē pārbiezinātas audzes veidošanos pēc kopšanas. Lai risinātu šo problēmu, darbu izpildītājiem un kvalitātes vērtētājiem jāvienojas par audzes biezuma aprēķinu, izslēdzot no tā koridoru platību. Paliesto koku skaita palielinājumu nodrošina atteikšanās no tehnoloģiskajiem koridoriem, izmantojot mazgabarīta tehniku. Mazgabarīta pievedējtraktors var strādāt arī harvardera režīmā, pievedot biokurināmo no audzēm, kas izkoptas ar rokas motorinstrumentiem, kā arī veicot kopšanu vietās, kur darbs ar motorinstrumentiem ir apgrūtināts. Mazgabarīta tehnikas pielietošanas rekomendāciju, kvalitātes un darba ražīguma standartu izstrādāšanai nepieciešami empīriski dati, kas raksturo dažādus augšanas apstākļus, koku sugas, zāgējamo koku dimensijas un darba metodes. Pētījums pierāda, ka roku darbs, neskatoties uz salīdzinoši nelielām sākotnējām investīcijām, nav lētāks par mašinizēto kopšanu, ja salīdzina ar mazgabarīta harvestera sniegumu Zviedrijā veiktajos izmēģinājumos. Tomēr, ņemot vērā darba ražīguma palielināšanas potenciālu, kā arī augsto darbu izpildes kvalitāti, biokurināmā sagatavošana ar rokas motorinstrumentiem rekomendējama ieviešanai ražošanas praksē.

Pētījums veikts LVMI Silava. Datu apstrādē un pārskata sagatavošanā piedalījās A. Lazdiņš, A. Zimelis, G. Spalva un S. Kalēja. Empīrisku datu ieguvu nodrošināja M. Okmanis, G. Prindulis, R. Ķepītis, G. Saule, J. Kalniņš un citi LVMI Silava darbinieki un LLU Meža fakultātes studenti.

Saturs

Kopsavilkums.....	2
Ievads.....	6
Izmēģinājumu objekti un Darba metodika.....	9
Pētījumu objekti.....	9
Taksācijas rādītāju noteikšana pēc audžu kopšanas.....	11
Pētījumā izmantotās tehnikas raksturojums.....	11
Darba metodes.....	15
Darba laika uzskaitē.....	16
Biomasas un krājas aprēķini.....	17
Bojājumu uzskaitē.....	18
Ražošanas izmaksu aprēķins.....	18
Darba rezultāti.....	19
Mežaudžu raksturojums.....	19
Kopšanas darba ražīgums.....	22
Kopšanas kvalitāte.....	38
Izmaksu un ieņēmumu analīze.....	41
Pašizmaksu ietekmējošo faktoru analīze.....	41
Kopšana ar ķēdes zāģi ar augstiem rokturiem.....	41
Meža tīrīšanas zāģis cirte.....	43
Jūtīguma analīze.....	45
Kopšana ar ķēdes zāģi ar rokturi.....	45
Jaunaudžu kopšana ar meža tīrīšanas zāģi.....	47
Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums.....	49
Jaunaudžu kopšana ar ķēdes zāģi ar rokturi.....	49
Jaunaudžu kopšana ar meža tīrīšanas zāģi.....	50
Secinājumi un ieteikumi praksei.....	53
Literatūra.....	55

Attēli

Att. 1 Ar krūmgriezi nozāģēti un koridoru malās savilkti sikkoki1.....	6
Att. 2 Ķēdes zāģis ar augstajiem rokturiem2.....	7
Att. 3: Izmēģinājumu objekti Meža pētīšanas stacijas Jelgavas novadā.....	9
Att. 4: Izmēģinājumu objekts AS "Latvijas valsts meži" Vidusdaugavas mežsaimniecībā.....	10
Att. 5: Parauglaukumu novietojuma shēma.....	11
Att. 6: Ķēdes zāģis Makita EA4300F3.....	12
Att. 7: Ķēdes zāģis Shindaiwa 452S4.....	13
Att. 8: Meža tīrīšanas zāģis Husqvarna 535FBX5.....	13
Att. 9: Ķēdes zāģa rokturi7.....	14
Att. 10: Koku gāšana ar ķēdes zāģi ar augstiem rokturiem.....	15
Att. 11: Hronometrāžā izmantotais laukdatore Allegro CX.....	16
Att. 12: Koku skaita sadalījums caurmēra pakāpēs.....	19
Att. 13: Krājas sadalījums izkoptajās audzēs.....	20
Att. 14: Regresijas vienādojums koku caurmēra un augstuma sakarības raksturošanai.....	21
Att. 15: Regresijas vienādojums koku caurmēra un stumbra krājas sakarības raksturošanai.....	21
Att. 16: Regresijas vienādojums koku caurmēra un virszemes biomasas sakarības raksturošanai.....	22
Att. 17: Nozāģēto koku īpatsvars sadalījumā caurmēra pakāpēs.....	23
Att. 18: Nozāģēto koku krājas un produktīvā darba laika patēriņa īpatsvars sadalījumā caurmēra pakāpēs.....	23

Att. 19: Viena strādnieka (9.) nozāgētie koki zāgēšanas secībā un to caurmērs.....	24
Att. 20: Produktīvā darba laika sadalījums.....	29
Att. 21: Produktīvā darba laika sadalījums atkarībā no zāgējamā koka caurmēra.....	30
Att. 22: Stundā produktīvā darba laika apstrādājamo koku skaita un nozāgējamā koka caurmēra sakarība.....	30
Att. 23: Iekārušos koku īpatsvara un nozāgējamā koka caurmēra sakarība.....	31
Att. 24: Stundā produktīvā darba laika sagatavojamā biokurināmā un nozāgējamā koka caurmēra sakarība.....	32
Att. 25: Produktīvā darba laika patēriņa 1 m ³ sagatavošanai un nozāgējamā koka caurmēra sakarība atkarībā no cirtes veida, veicot kopšanu ar ķēdes zāģi ar augstiem rokturiem.....	32
Att. 26: Produktīvā darba laika patēriņa 1 m ³ sagatavošanai un nozāgējamā koka caurmēra sakarība dažādiem strādniekiem, veicot kopšanu ar ķēdes zāģi ar augstiem rokturiem.....	33
Att. 27: Produktīvā darba laika patēriņa 1 m ³ sagatavošanai un nozāgējamā koka caurmēra sakarība, atkarībā no zāgējamo koku sugas.....	34
Att. 28: Produktīvā darba laika patēriņa 1 m ³ sagatavošanai un nozāgējamā koka caurmēra sakarība, atkarībā no attāluma starp tehnoloģiskajiem koridoriem.....	35
Att. 29: Produktīvā darba laika patēriņa 1 m ³ sagatavošanai un nozāgējamā koka caurmēra sakarība, atkarībā no meža tipa.....	35
Att. 30: Vidējais produktīvā darba laika patēriņš kopšanai atkarībā no meža tipa10.....	36
Att. 31: Produktīvā darba laika patēriņa 1 m ³ sagatavošanai un nozāgējamā koka caurmēra sakarība, atkarībā no izmantojamā zāģa tipa.....	37
Att. 32: Nogriežņu skaita un nozāgējamā koka caurmēra sakarība.....	38
Att. 33: Atstāto koku skaita izvietojums slejā.....	39
Att. 34: Atstāto koku caurmēra un attāluma no slejas centra sakarība.....	39
Att. 35: Priežu jaunaudze Sl meža tipā pēc kopšanas.....	40
Att. 36: Priežu jaunaudze Dm meža tipā pēc novēlotas kopšanas.....	41
Att. 37: Dzeltēnā krāsā ir papildus āķis koku nogāšanai vajadzīgā virzienā.....	44
Att. 38: Jutīguma analīze šķeldu scenārijā.....	46
Att. 39: Jutīguma analīze šķeldu scenārijā.....	48
Att. 40: Nozāgētā koka tilpuma ietekme uz šķeldu pašizmaksu abos scenārijos.....	49
Att. 41: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums daļēji atzarotu sikkoku piegādes scenārijā.....	50
Att. 42: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums daļēji šķeldu piegādes scenārijā.....	50
Att. 43: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums daļēji atzarotu sikkoku piegādes scenārijā.....	51
Att. 44: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums daļēji šķeldu piegādes scenārijā.....	51
Att. 45: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums daļēji šķeldu piegādes scenārijā, samazinot atalgojuma likmi līdz 4 EUR stundā.....	52

Tabulas

Tab. 1: Mežaudžu raksturojums atbilstoši Valsts meža dienesta datiem.....	10
Tab. 2: Mežaudžu raksturojums atbilstoši mērījumu rezultātiem.....	10
Tab. 3: Kopšanas intensitātes prognoze atbilstoši taksācijas rādītājiem.....	10
Tab. 4: Ķēdes zāģu un meža tīrīšanas zāģa specifikācijas.....	12
Tab. 5: Izstrādes darba laika uzskaites elementi.....	16
Tab. 6: Pārreķina koeficienti mežaudzes krājas aprēķināšanai.....	17
Tab. 7: Pārreķina koeficienti koku virszemes biomasas aprēķināšanai (Lazdiņš et al., 2013).....	17
Tab. 8: Izskoptās audzes raksturojums.....	19
Tab. 9: Darba ražīguma rādītāju kopsavilkums dažādiem strādniekiem.....	25
Tab. 10: Darba ražības rādītāju kopsavilkums atkarībā no zāgējamo koku sugas.....	25
Tab. 11: Darba laika uzskaites kopsavilkums sadalījumā pa strādniekiem (darba laiks pārreķināts minūtēs).....	26
Tab. 12: Dažādu strādnieku zāģēto koku raksturojums.....	26
Tab. 13: Dažādu strādnieku vidējie darba laika patēriņa rādītāji 1 koka apstrādei (sekundēs).....	27
Tab. 14: Dažādu sugu koku zāgēšanai pavadītā darba laika raksturojums (kopējais nostrādātais laiks minūtēs).....	27
Tab. 15: Dažādu sugu koku nozāgētās biomasas un krājas raksturojums.....	27
Tab. 16: Dažādu sugu koku zāgēšanas darba ražīguma kopsavilkums (sek. m-3).....	28
Tab. 17: Ievades dati pašizmaksas aprēķinu modeli.....	42
Tab. 18: Biokurināmā sagatavošanas un piegādes sistēmas pašizmaksas aprēķins.....	42

Tab. 19: Biokurināmā sagatavošanas scenāriju analīze.....	42
Tab. 20: Mežaudžu kopšanas izmaksas pārrēķinot uz 1 ha.....	43
Tab. 21: Biokurināmā un apaļo kokmateriālu sagatavošanas un piegādes sistēmas pašizmaksas aprēķins.....	45
Tab. 22: Biokurināmā sagatavošanas scenāriju analīze.....	45
Tab. 23: Mežaudžu kopšanas izmaksas pārrēķinot uz 1 ha.....	45
Tab. 24: Sugas ietekme uz darba ražīgumu, m ⁻³ produktīvā darba laika stundā.....	57
Tab. 25: Attāluma starp tehnoloģiskajiem koridoriem ietekme uz darba ražīgumu, m ⁻³ produktīvā darba laika stundā.....	57
Tab. 26: Dažādu strādnieku sniegums, m ⁻³ produktīvā darba laika stundā.....	58
Tab. 27: Meža tipa ietekme uz darba ražīgumu, m ⁻³ produktīvā darba laika stundā.....	58
Tab. 28: Instrumenta ietekme uz darba ražīgumu, m ⁻³ produktīvā darba laika stundā.....	59
Tab. 29: Cirtes veida ietekme uz darba ražīgumu, m ⁻³ produktīvā darba laika stundā.....	60
Tab. 30: Darba laika patēriņa struktūras, biomasas un darba apstākļu raksturojums.....	60
Tab. 31: Darba laika patēriņa struktūra 1 koka apstrādei, sekundes.....	61
Tab. 32: Audžu taksācijas rādītāji atsevišķos tehnoloģiskajos koridoros.....	63

IEVADS

Roku darba izmantošana, gatavojot biokurināmo jaunaudžu kopšanā, sekmē nodarbinātību lauku reģionos un ļauj būtiski palielināt biokurināmā piegādes, neveicot investīcijas dārgās mežizstrādes iekārtās. Strauju mehanizētas jaunaudžu kopšanas īpatsvara pieaugumu kavē arī kvalificēta darbaspēka trūkums, kas nav aizpildāms dažu gadu laikā; turpretim, iemaņas darbā ar ķēdes zāģi var apgūt ātri un arī mācību process neprasa investīcijas dārgā aprīkojumā.

Līdz šim Latvijā jaunaudžu kopšanas cirtes veic ar rokas motorinstrumentiem. Pakalpojuma sniedzēji, lielākoties, ir individuālie darba veicēji, kuriem maksā par gabaldarbu. Sīkkokus jaunaudžu kopšanas cirtēs nevāc. Rokas motorinstrumentu izmantošana lielā mērā nosaka to, ka jaunaudzes cenšas izkopt pēc iespējas ātrāk, kamēr rokas motorinstrumenti nodrošina vislielāko darba ražīgumu, attiecīgi, maksā vismazāk.

Visu rokas motorinstrumentu būtiska priekšrocība ir neatkarība no augšanas apstākļiem – cilvēki var pārvietoties un strādāt gan sausieņu meža tipos, gan slapjajņos, gan kūdreņos, kur mežizstrādes mašīnu izmantošana iespējama tikai uz sasalušas augsnes. Tas nozīmē, ka rokas motorinstrumenti padara pieejamus biokurināmā resursus, kas mehanizētās kopšanas gadījumā pieejami tikai noteiktos apstākļos. Sīkkoku pievešanai mežaudzēs uz augsnes ar mazu nestspēju, tāpat, nepieciešams sasalums, taču, pareizi sakraujot sīkkoku kaudzītes mežā, tās var atrasties mežā līdz pat 2 gadiem, būtiski nezaudējot kvalitatīvās īpašības.

Krūmgriezis piemērots līdz 6 m augstu koku zāgēšanai (Att. 1) un ir ergonomiski visērtākais motorinstrumentis jaunaudžu kopšanai. Vācot biokurināmo jaunaudžu kopšanas cirtēs, vienlaicīgi ar kopšanu jāizzāģē arī tehnoloģiskie koridori, kur var būt arī resnāki koki, kuru nozāģēšana ar krūmgriezi prasa daudz vairāk laika, nekā, veicot darbu ar ķēdes zāģi, tāpēc biokurināmā sagatavošanā jārēķinās ar to, ka strādniekiem jābūt arī ķēdes zāģim resnāku koku nozāģēšanai. Ķēdes zāģis nepieciešams arī tāpēc, ka krūmgriezis nav piemērots koku garumošanai.



Att. 1 Ar krūmgriezi nozāģēti un koridoru malās savilkti sīkkoki¹.

¹ Foto: K. Kons.

Sīkkoku savākšana prasa 2-3 reizes vairāk laika, nekā nozāgēšana (Lazdiņš *et al.*, 2007), tāpēc sīkkoku kaudzītes izdevīgāk gatavot nevis tieši pie tehnoloģiskajiem koridoriem, bet 2-3 m no tehnoloģiskā koridora malas. Tas ļauj būtiski saīsināt koku pievilkšanas attālumu. Koku resgaļiem jābūt pavērstiem perpendikulāri uz tehnoloģisko koridoru un saliktiem kopā. Tievgaļi var būt atstāti izklaidus. Sīkkoku kaudzītēm abpus tehnoloģiskajam koridoram jābūt novietotām pretī, lai pievedējtraktors var vienā apstāšanās reizē savākt vismaz 2 kaudzītes.

Izklaides atstātu sīkkoku savākšana ar pievedējtraktoru nav lietderīga, jo tas būtiski palielinās darba laika patēriņu pievešanai un koku bojājumus.

No vides aizsardzības viedokļa, krūmgriezis ir videi visdraudzīgākais izstrādes instruments, jo rada vismazākās emisijas un spiedienu un augsni, kā arī nodrošina individuālu attieksmi pret nogabalā sastopamajām dabas vērtībām, kas nav pamanāmas no mežizstrādes mašīnas operatora kabīnes.

Alternatīvs risinājums krūmgriežim jaunaudžu kopšanas cirtēs audzēs ar lielākiem kokiem, kur jau nepieciešama lielākās daļas koku garumošana un iespējama apaļo kokmateriālu sagatavošana, ir ķēdes zāģis ar augstajiem rokturiem (Att. 2). Papildus aprīkojuma izmantošana nodrošina labākus darba apstākļus (strādniekiem nav nepārtraukti jāpieliecas), vienlaikus ļaujot nozāgēt resnākus kokus. Izvēloties ķēdes zāģa augstos rokturus (rāmi), jārēķinās, ka ne visi rokturi pieļauj vieglu zāģa transformāciju no horizontālas uz vertikālu zāģēšanu (garumošanu). Ja rokturi neļauj viegli pagriezt zāģi, garumošanu un sortimentu gatavošanu jāveic pēc audzes izkopšanas vai pēc sīkkoku savākšanas tehnoloģisko koridoru malās. Jārēķinās ar to, ka, pieaugot koku augstumam, kļūst arvien grūtāk ar rokām tos izlocīt starp atstājamiem kokiem un pievilkt uz sīkkoku kaudzi, tāpēc 9-12 m augstu koku audzēs garumošanu, iespējams, ērtāk veikt pirms sīkkoku pievilkšanas. Arī šajā operācijā maksimāli jāizmanto "akumulēšanas" efekts, vienlaicīgi velkot uz kaudzi vairākus kokus un netērējot darba laiku sīkkokiem, kas tievāki par 4 cm.



Att. 2 Ķēdes zāģis ar augstajiem rokturiem².

Strādājot ar ķēdes zāģi, sīkkokus var novietot izklaidus audzē. Sagatavotie sīkkoki ir nozāgēti un tos var savākt ar mazgabarīta tehniku, pārvietojoties starp palikušajiem audzes kokiem.

² Foto: A.Zimelis.

Pielietojot šādu tehnoloģiju, nevar nodrošināt lielu pievešanas tehnikai darba ražīgumu, jo sagatavotais materiāls ir izvietots audzē izklaidus. Savukārt, ja nozāgētie sīkkoki savākti un nokrauti nelielās kaudzītes, pievešanas darba ražīgums palielinās. Veselu neatzarotu sīkkoku savākšana ar rokām ir fiziski smagāka, nekā daļēji atzarotu un sagarumotu sīkkoku savākšana, tāpēc veseli neatzaroti sīkkoki, strādājot ar rokas motorinstrumentiem, gatavojami tikai jaunaudzēs ar mazu dimensiju kokiem ($H < 6\text{ m}$) vai arī jāērķinās ar pievedējtraktora darba ražīguma samazināšanos, vācot sīkkokus (Lazdiņš *et al.*, 2012).

IZMĒĢINĀJUMU OBJEKTI UN DARBA METODIKA

Pētījumu objekti

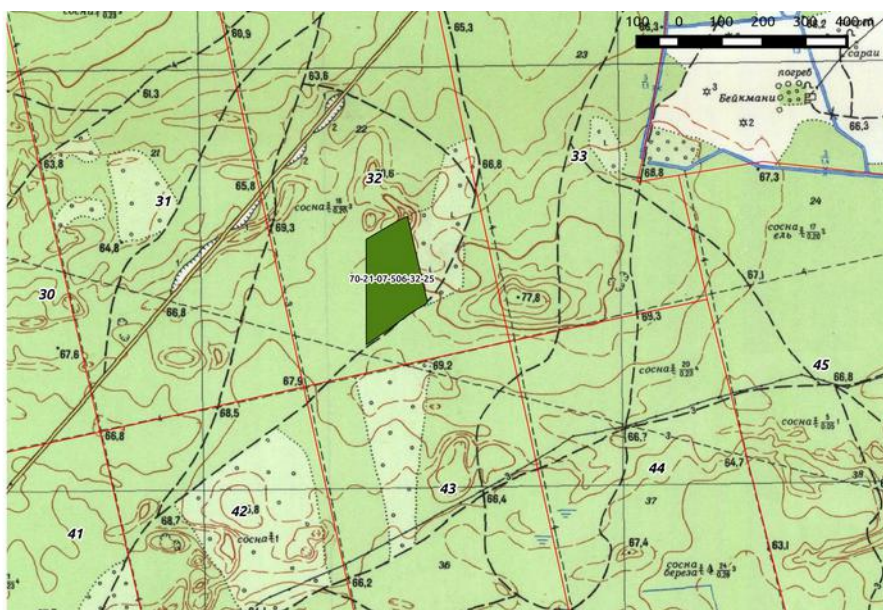
Izmēģinājumi veikti Meža pētīšanas stacijas Jelgavas novada 21. kvartālu apgabala 6. kvartāla 16. nogabalā un 4. kvartāla 22. nogabalā (Att. 3) un AS "Latvijas valsts meži" Vidusdaugavas mežsaimniecības 506. kvartālu apgabala 32. kvartāla 25. nogabalā (Att. 4). Kopējā izmēģinājumu platība 9,7 ha. Valdošā suga atbilstoši Meža valsts reģistra datiem visās audzēs ir priele, vidējā koka caurmērs – 2-10 cm, augstums – 2-9 m (Tab. 1).

Faktiskie taksācijas rādītāji, kas iegūti, veicot mērījumus pirms kopšanas, parāda, ka audzes vidējā koka caurmērs ir 7,8-10,8 cm, bet augstums – 7,2-11,1 m (Tab. 2). Faktiskie un pieņemtie taksācijas rādītāji būtiski atšķiras visās audzēs, vienā no tām – pat 4 reizes. AS "Latvijas valsts meži" audzē taksācijas rādītāji Meža valsts reģistrā bija būtiski lielāki par faktisko situāciju, bet Meža pētīšanas stacijas mežos – būtiski mazāki.

Atbilstoši faktiskajiem taksācijas rādītājiem, izmēģinājums "savlaicīga jaunaudžu kopšana" veikts objektos 21-6-16 un 506-32-25, bet izmēģinājums "novēlota jaunaudžu kopšana" – objektā 21-4-22.



Att. 3: Izmēģinājumu objekti Meža pētīšanas stacijas Jelgavas novadā.



Att. 4: Izmēģinājumu objekts AS "Latvijas valsts meži" Vidusdaugavas mežsaimniecībā.

Tab. 1: Mežaudžu raksturojums atbilstoši Valsts meža dienesta datiem

Audzes kods	Platība	Valdošā suga	Meža tips	Audzes formula	Audzes vecums	Vidējā koka caurmērs, cm	Vidējā koka augstums, m	Krāja, m ³ ha ⁻¹	Izcelsme
21-4-22	2,2	P	Dm	9P1E 19	19	6	5	37	Mākslīga
21-6-16	4,5	P	As	6P14 4B11	14	2	2	18	Mākslīga
506-32-25	3,0	P	Sl	10P 25	25	10	9	96	Mākslīga

Tab. 2: Mežaudžu raksturojums atbilstoši mērījumu rezultātiem

Objekts	Valdošā suga	Koku skaits, gab. ha ⁻¹	Vidējā koka caurmērs, cm	Vidējā koka augstums, m	Valdaudzes koku augstums, m	G, m ² ha ⁻¹	Stumbra biomasa, tonnas ha ⁻¹	Krāja, m ³ ha ⁻¹
21-4-22	P	2 143	10,8	11,1	11,3	22	59	141
21-6-16	B	2 027	8,4	8,5	9,3	12	31	63
506-32-25	P	2 360	7,8	7,2	8,4	15	52	72

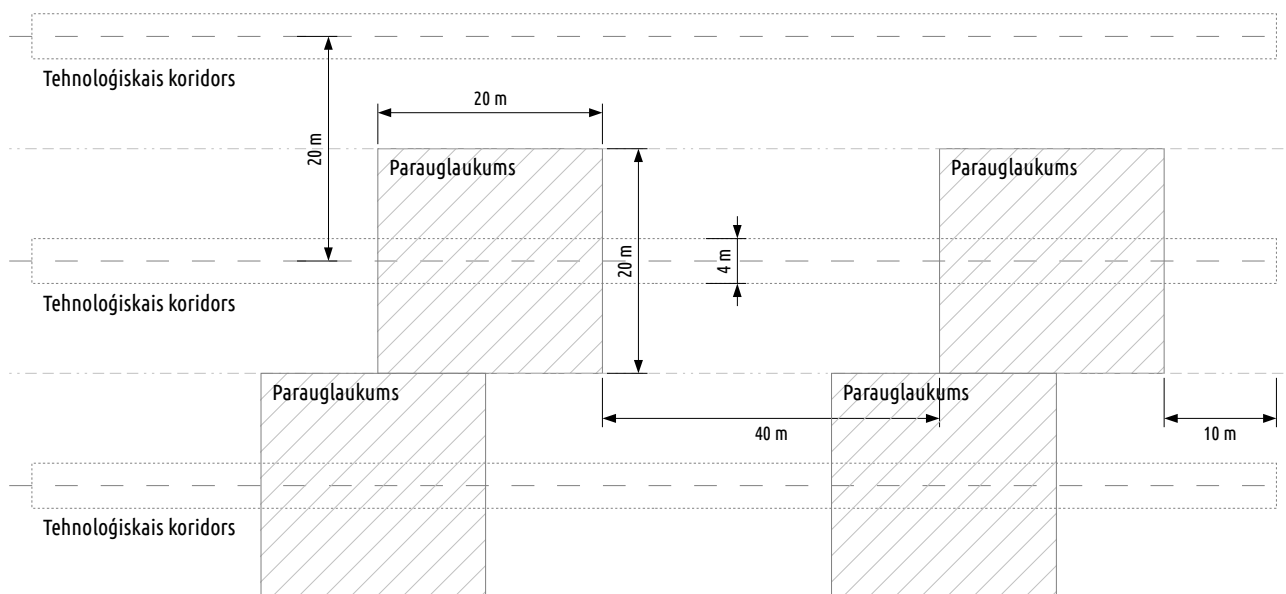
Tab. 3: Kopšanas intensitātes prognoze atbilstoši taksācijas rādītājiem

	Minimālais koku skaits, gab., ha ⁻¹	Attālums starp paliekošajiem kokiem, m	Maks. Izzāgējamo koku skaits audzē, gab., ha ⁻¹	Maks. Izzāgējamā stumbra biomasa audzē, tonnas ha ⁻¹	Maks. Izzāgējamā stumbra biomasa, tonnas ha ⁻¹	Maks. Izzāgējamā stumbru šķeldas, ber. m ³ ha ⁻¹
21-4-22	1400	2,4	314	8,6	20,3	122,0
21-6-16	1500	2,3	121	1,9	8,1	48,7
506-32-25	1400	-	16	-	-	-

Attālums starp tehnoloģiskajiem koridoriem objektā 21-4-22 bija 20, 18 un 15 m, objektā 21-6-16 – 20 un 15 m, bet objektā 506-32-25 – 20 m.

Taksācijas rādītāju noteikšana pēc audžu kopšanas

Audžu uzmērīšana veikta pēc kopšanas, lai noteiktu kopšanas kvalitāti un iegūtu datus nozāgēto koku raksturošanai. 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. 5). 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. 5: Parauglaukumu novietojuma shēma.

Pētījumā izmantotās tehnikas raksturojums

Pētījumā izmantoti 2 ķēdes zāģi (Makita EA4300F un Shindaiwa 452S) un meža tīrīšanas zāģis Husqvarna 535FBX. Ķēdes zāģi izmantoti ar augstiem rokturiem vai bez tiem. Shindaiwa 452S ķēdes zāģis ir nedaudz vieglāks un nedaudz jaudīgāks par Makita EA4300F. Darbā šī atšķirība nebija jūtama, taču Makita EA4300F biežāk radās tehniskas problēmas (ķēdes nomešana, sliedes saliekšana), kas, visticamāk, ir saistītas ar cilvēcisko faktoru, nevis tehnikas nepilnībām. Shindaiwa 452S nozīmīgākā pētījumā konstatētā tehniskā nepilnība ir spriegošanas mehānisma konstrukcija, kas neprasmīgas apiešanās rezultātā ātri sabojājās. Izmēģinājumu laikā spriegošanas mehānismu šim zāģim nācās mainīt 2 reizes. Makita EA4300F zāģa rokturi labāk pieguļ ķēdes zāģa rāmja stiprinājumiem, taču šo problēmu var risināt, Shindaiwa 452S zāģim uzliekot starp stiprinājumiem un rokturiem gumijas starplikas.

Degvielas patēriņš, atbilstoši ražotāja sniegtajai informācijai, ir apgriezti proporcionāls dzinēja jaudai – jaudīgākajam Shindaiwa 452S ir vismazākais degvielas patēriņš un mazāk jaudīgajam Husqvarna 535FBX – vislielākais (Tab. 4).

Latvijas tirgū Makita EA4300F (Att. 6) maksā 360-420 EUR; Shindaiwa 452S (Att. 7) – 460-520 EUR, bet Husqvarna 535FBX (Att. 8) meža tīrīšanas zāģis – 1000-1040 EUR, tajā skaitā PVN. Ķēdes zāģa rokturi (Att. 9) maksā 250 EUR, ieskaitot piegādi un PVN. Viena instrumentu komplekta cena ar Makita EA4300F zāģi maksā vidēji 640 EUR, bet ar Shindaiwa 452S zāģi – 740 EUR.

Meža tīrīšanas zāģim Husqvarna 535FBX patreiz nav rūpnieciski ražotu analoģu, taču ķēdes zāģa sliedes uzstādīšana krūmgrieža kāta galā nav jauna tehnoloģija un to plaši izmanto, piemēram, atzarošanas zāģos un mazākas jaudas krūmgriežos. Husqvarna 535FBX konstrukcijas galvenās priekšrocības ir ergonomiskums un spēja efektīvi veikt zāģēšanu gan horizontālā, gan vertikālā (atzarošana, ceļa tīrīšana) virzienā. Tomēr Husqvarna 535FBX nav paredzēts biokurināmā vākšanai kaudzītēs (koku gāšanai noteiktā virzienā). Meža tīrīšanas zāģis ir piemērotāks par rāmī iestiprinātu ķēdes zāģi garāko koku pārzāģēšanai pēc tam, kad tie nogāzti zemē.

Internetā ir atrodami video, kur esošā Husqvarna 535FBX zāģa konstrukcija pilnveidota, pieskrūvējot griezējmehānismam āķi, ar kuru koki nogāžami vēlamā virzienā. Ķēdes zāģa standarta komplektācijā šāds āķis neietilpst.

Tab. 4: Ķēdes zāģu un meža tīrīšanas zāģa specifikācijas.

Rādītājs	Makita EA4300F	Shindaiwa 452S	Husqvarna 535FBX
Dzinēja tilpums, cm ³	42,4	45,1	34,6
Maksimālais apgriezienu skaits, RPM	13500	13500	8400
Dzinēja jauda, kW	2,2	2,26	1,6
Degvielas tvertne, L	0,48	0,54	0,6
Eļļas tvertne	0,28	0,27	-
Masa, kg	4,9	4,6	12,4
Degvielas patēriņš pie pilnas slodzes, kg stundā	1,25	1,09	1,28



Att. 6: Ķēdes zāģis Makita EA4300F³.

³ Attēls: <http://www.freytool.com/maschinen/kettensaegen/motorsaegen/Benzin-Motorsaegen-Makita-EA4300F.html>



Att. 7: Ķēdes zāģis Shindaiwa 452S⁴.



Att. 8: Meža tīrīšanas zāģis Husqvarna 535FBX⁵.

Ķēdes zāģa rokturi (Att. 9, ražotājs somu uzņēmums Apuri tuote⁶) sver 2,45 kg, attiecīgi, kopā ar ķēdes zāģi instrumentu komplekts sver 7,35 kg, izmantojot Makita EA4300F zāģi, un 7,05 kg, izmantojot Shindaiwa 452S zāģi. Veicot kopšanu, zāģis ar rokturiem jātur vienā rokā (Att. 10). Tas ir fiziski smags darbs un strādniekiem prasa ilgāku laiku, lai adaptētos un pareizi sadalītu slodzi. Pirmās darba dienas, strādājot ar rāmī iestiprinātu ķēdes zāģi, ir būtiski smagākas, nekā nākošās, arī profesionāliem strādniekiem.

⁴ Attēls: http://ranchousemowers.com.au/index.php?main_page=index&cPath=3_10

⁵ Attēls: <http://www.husqvarna.com/za/products/forestry-clearing-saws/535fbx/>

⁶ <http://www.apurituote.fi/linkit/>

Pētījumā veikta rāmja modifikācija, par 10 cm pagarinot kātu, lai ar to nesalīkušā stāvoklī varētu strādāt arī vidēja auguma cilvēki, tomēr būtiska rāmja garuma ietekme pētījumos netika konstatēta, tāpēc turpmāk darbā nav analizēta. Rāmja garums ir būtisks, zāgējot krūmus, kas, zāgējot tuvāk pie zemes, ir stingrāki un vieglāk nozāgējami.



Att. 9: Kēdes zāga rokturi⁷.

⁷ Attēls: <http://www.apurituote.fi/kauppa/apuri-kaatokahva-korkea-malli/>



Att. 10: Koku gāšana ar ķēdes zāģi ar augstiem rokturiem.

Darba metodes

Kopšanā izmantota tradicionālā darba metode individuālu koku izkopšanai, kad vispirms izzāģē 3,5-4 m platus taisnus tehnoloģiskos koridorus, nozāģētos kociņus gāžot paralēli ceļam vai iekšā audzē. Tad veic atlikušās audzes daļas kopšanu, saglabājot veselīgākos valdošās sugas kokus un pārējo sugu kokus vietās, kur tie netraucē valdošās sugas koku attīstībai. Par 6 m garākos kociņus pārzāģē, lai kravas garums nepārsniegtu 6 m. Nozāģētos kociņus savelk nelielās kaudzītēs (4-5 kociņi kaudzītē), lai tos varētu saņemt vienā satvērienā ar pievedējtraktora kausu. Veicot zāģēšanu, maksimāli izmanto rāmja priekšrocības, ar vienu roku piedodot kokiem vēlamo krišanas virzienu, taču nepieciešamības gadījumā kokus pievelk ar rokām. Resnākos kokus ar rokām nevelk, atstājot tos nokrišanas vietās, tajā skaitā, ja koks pārkritis pāri tehnoloģiskajam koridoram, taču ceļam pārkritušos kokus sazāģē tā, lai pievedējtraktora operatoram būtu ērti tos satvert ar kausu.

Pameža kokus zāģē tikai tad, ja tas nepieciešams, lai attīrītu vietu kokmateriālu nokraušanai, kā arī tajos gadījumos, kad pamežs traucē pārvietošanos. Izņēmuma gadījums ir bērza pamežs priedes audzēs, ja bērzi nav nomākti un spēj konkurēt ar priedi.

Darba laika uzskaitē

Pētījuma ietvaros veikta kopšanas darba laika uzskaitē, 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.

Izstrādes darba laika uzskaitē veikta 1 maiņā, dienas gaišajā laikā. Maiņas ilgums – 6-8 stundas. Darba laika patēriņš noteikts katram darba ciklam (koka vai koku grupas nogāšanai un apstrādei) atsevišķi, fiksējot apstrādāto koku vidējo caurmēru, skaitu un citus rādītājus. Darba laika uzskaites elementi parādīti Tab. 5.

Tab. 5: Izstrādes darba laika uzskaites elementi

Rādītāju kategorija	Rādītāja nosaukums	Skaidrojuma
Informatīvie lauki	Egle	Raksturo nozāgēto koku sugu, atzīmējot pirmā darba ciklā nozāgētā koka, atskaitot pameža kociņus un krūmus, sugu. Darba laika uzskaites lapā atzīmē ar "1". Katram darba ciklam atbilst tikai 1 suga, pēc kuras rēķina koka augstumu, krāju un biomasu.
	Lapkoks	
	Priede	
	D 1.3, cm	Pēc acumēra noteikts koka caurmērs 1,3 m augstumā. Ik pēc 10-20 m audzē izvietoti koku caurmēra paraugi – kociem piestiprinātas baltas papīra lapiņas ar labi saredzamu uzrakstītu koka caurmēru. Lapiņas stiprinātas pie dažādu dimensiju kociem, lai hronometrētājs var novērtēt visu caurmēru diapazonu.
	Koku skaits	Darba ciklā apstrādājamo koku skaits, neskaitot pameža kociņus un krūmus, kas netiek vākti kaudzītēs.
	nogriežņu skaits	Uzraksta, cik nogriežņos sazāgēts garākais darba ciklā nozāgētais koks.
	iekārās (konstatē faktus)	Atzīmē ar "1", ja darba ciklā kāds koks ir iekāries citu koku vainagos.
Produktīvais darba laiks	iet	Pārvietošanās pa audzi, neskaitot ieiešanu audzē. Var būt ar ieslēgtu vai noslāpētu dzinēju.
	zāgē	Zāgē augošus kokus.
	nogāž koku	Nogāž (pastumj) nozāgētus vai aizzāgētus kokus.
	pārzāgē	Zāgē zemē guļošus kokus.
	čupā krauj	Velk kaudzītēs nozāgētos kociņus.
	pameža zāgēšana	Zāgē pameža sīkkokus un krūmus, ko pēc nozāgēšanas atstāj guļot zemē izklaidus.
	cits	Citas lietderīgas darbības, kas nav aprakstītas darba laika uzskaitē.

Rādītāju kategorija	Rādītāja nosaukums	Skaidrojuma
	remont	Neplānots tehnikas remonts.
	apkope	Plānota tehnikas apkope, kas ietver degvielas uzpildīšanu un ķēdes asināšanu.
Neproduktīvais darba laiks	stop	Nelietderīgi patērēts darba laiks, kā arī atpūtas, kuru laikā nenotiek tehnikas apkope.

Biomases un krājas aprēķini

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:

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

V – krāja (m^3);
 D – caurmērs 1,3 m augstumā (cm);
 L – stumbra garums (m);
 $\Psi, \alpha, \beta, \phi$ – koku sugai raksturīgi aprēķina koeficienti.

Koku sugai atbilstoši pārrēķina koeficienti doti Tab. 6

Tab. 6: Pārrēķina koeficienti mežaudzes krājas aprēķināšanai

Koku suga	Ψ	$\alpha\alpha$	$\beta\beta$	$\phi\phi$
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, bligzņa	$0,5020 \cdot 10^{-4}$	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:

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

D – caurmērs 1,3 m augstumā (cm).

X un Y pārrēķina koeficienti doti Tab. 7.

Tab. 7: Pārrēķina koeficienti koku virszemes biomasas aprēķināšanai (Lazdiņš et al., 2013)

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

Bojājumu uzskaitē

Bojājumi uzskatīti tikai parauglaukumos esošajiem kokiem, kuru krūšaugstuma caurmērs lielāks par 4 cm. Tika nodalīti 4 veidu bojājumi: stumbra bojājumi līdz 0,5 m virs zemes, no 0,5 m uz augšu, iezāgējums un sakņu bojājums. Par bojājumu tika uzskatīts mizas nobrāzums gan stumbram, gan saknei (sakne atrodas ne vairāk kā 70 cm attālumā no koka un saknes caurmērs vismaz 2 cm), ja kokam atsegtās koksnes laukums bija lielāks par 15 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 un galīgo uzskaiti un koku uzmērīšanu veicot pēc kokmateriālu pievešanas. Tā kā MPS audzēs kokmateriālu pievešana vēl nav veikta, bojājumu uzskaitē nav pabeigta un nav iekļauta šajā atskaitē.

Ražošanas izmaksu aprēķins

Pētījumā izmantots LVMI Silava izstrādātais darba stundas izmaksu aprēķinu modelis, kura pamatā ir Zviedrijā Skogforsk institūtā izstrādātais FLIS modelis. Darba stundas izmaksu aprēķinu modeļa veidošana aizsākta 2004. gadā, sadarbībā ar Skogforsk pētniekiem Magnus Thor un Henrik von Hofsten.

Ķēdes zāģu darba stundas pašizmaksas aprēķinos pieņemta vidējā iegādes cena. Komplekta mūža ilgums pieņemts 3000 darba stundas (Calvo *et al.*, 2013), neatkarīgi no zāģa tipa. Atlikusī vērtība – 15 % no iegādes cenas. Apkopes izmaksas pieņemtas 0,36 EUR darba stundā, atbilstoši vidējiem rādītājiem Itālijā veiktos pētījumos (Calvo *et al.*, 2013).

Degvielas patēriņš pieņemts atbilstoši ražotāja iesniegtajiem datiem, eļļas patēriņš pieņemts proporcionāli degvielas patēriņam, pieņemot, ka uz 1 bāku degvielas jāizmanto 1 bāka eļļas, atskaitot 10 % rezervi, kas paliek eļļas bācīnā pēc degvielas bākas izzāģēšanas⁸. Degvielas cena pieņemta 1,1 EUR L⁻¹, neskaitot PVN. Aprēķinos pieņemts, ka ķēdes eļļošanai izmanto biodegradablu eļļu, kas maksā 6,60 EUR L⁻¹, neskaitot PVN.

Strādnieku alga pieņemta atbilstoši vidējam mežsaimniecībā un mežizstrādē nodarbināto mēneša atalgojumam 2014. gadā uzņēmumos ar vismaz 50 nodarbinātajiem – 1012 EUR⁹ (6,325 EUR stundā). Mazajos uzņēmumos, atbilstoši Centrālās statistikas pārvaldes datiem, bruto ikmēneša atalgojums ir par 32 % mazāks – 684 EUR mēnesī.

Darbaspēka noslodzes aprēķinā pieņemts, ka kopšanas darbi notiek visu gadu, izņemot lieguma periodu, brīvdienas, kā arī atvaļinājumu, ko darbinieki var vēlēties izmantot vasarā. Neparedzētās dīkstāves darbinieku slimības, tehnikas bojājumu vai citu iemeslu dēļ pieņemtas 10 % no atlikušā laika.

⁸ Npublicēti LVMI Silava mērījumu dati, izzāģējot 5 degvielas bākas ar ķēdes zāģi.

⁹ Centrālais statistikas birojs, tabula – DSG02. STRĀDĀJOŠO MĒNEŠA VIDĒJĀ DARBA SAMAKSA PA DARBĪBAS VEIDIEM (euro).

DARBA REZULTĀTI

Mežaudžu raksturojums

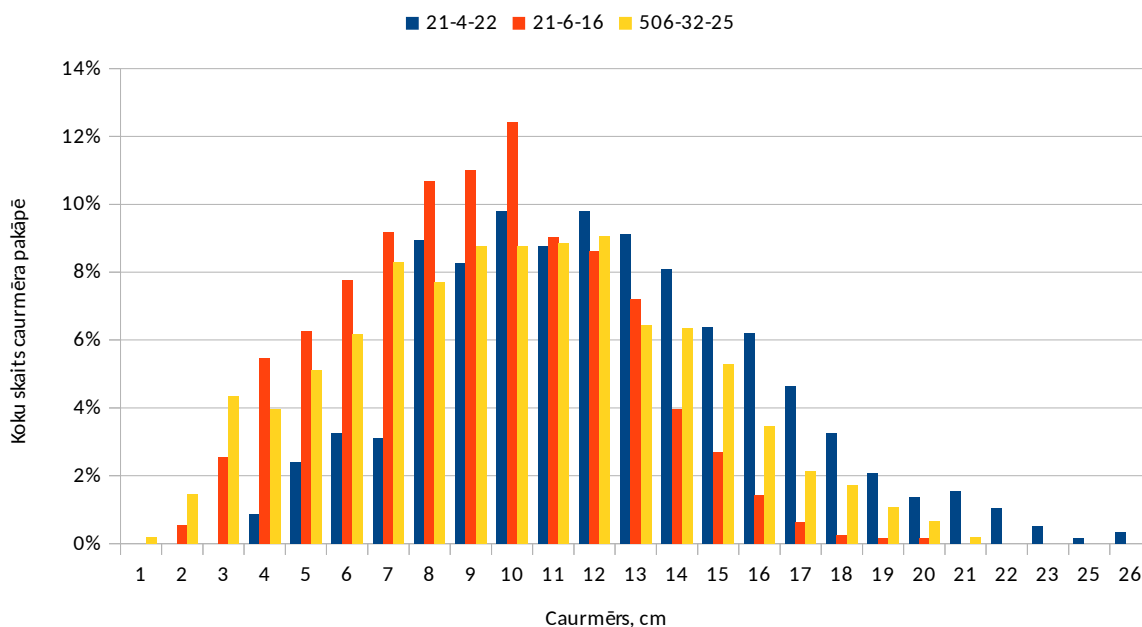
Mežaudžu uzmērīšana veikta pēc kopšanas darbu izpildes, vienlaicīgi novērtējot kopšanas kvalitāti un mežaudzes taksācijas rādītājus. Mērījumi veikti katram tehnoloģiskajam koridoram atsevišķi (Tab. 8). Mērīšanas laikā kokmateriāli vēl nebija pievesti, attiecīgi, darbā nav vērtēti pievedējtraktora radītie bojājumi, kas parasti ir daži procenti no kopējā bojājumu skaita.

Kopējā izkoptā platība ir 9,7 ha. Paliekošās audzes vidējā koka caurmērs ir 9-12 cm, augstums – 10-12 m, šķērslaukums – 8-13 m² ha⁻¹. Paliekošais koku skaits atbilst Ministru Kabineta noteikumu Nr. 935 2. pielikuma prasībām priežu audzēs. Tā kā audzē nav konstatēti bojāti koki, nav nepieciešama arī rezerve bojāto koku aizstāšanai.

Tab. 8: Izkoptās audzes raksturojums

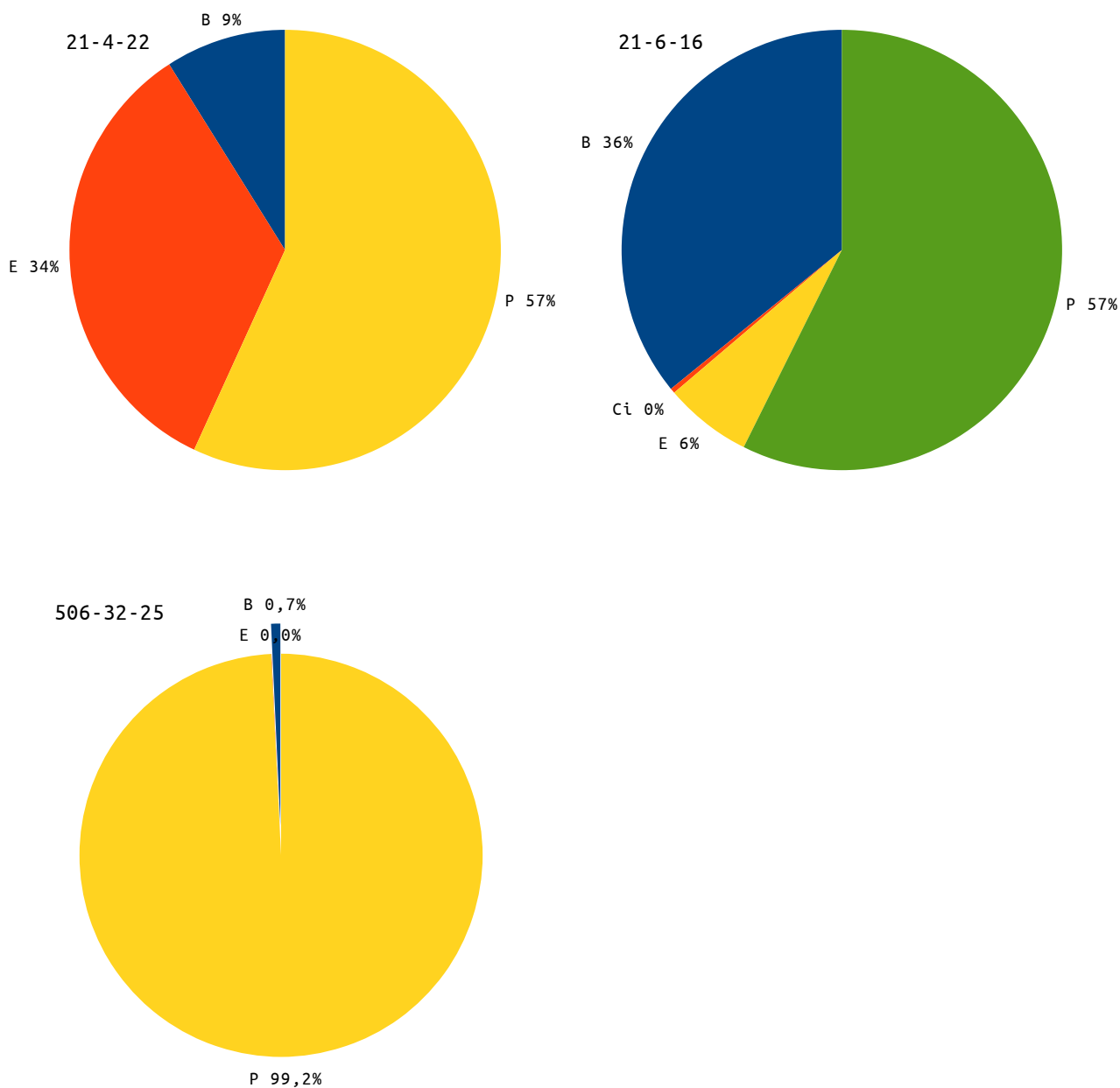
Objekts	Valdošā suga	Koku skaits, gab. ha ⁻¹	Valdošās sugas koku skaits, gab. ha ⁻¹	D, cm	H, m	G, m ² ha ⁻¹	Stumbra biomasa, tonnas ha ⁻¹	Vidējā koka biomasa, kg	Krāja, m ³ ha ⁻¹	Vidējā koka krāja, m ³ ha ⁻¹
21-4-22	P	995	562	12	12	13	39	38	84	0,079
21-6-16	P	1 053	688	10	11	8	22	25	41	0,054
506-32-25	P	1 081	1 075	9	10	10	28	25	49	0,046

Audzēs, kur veikta savlaicīga kopšana (21-6-16 un 506-32-25), par 10,1 cm tievāko koku īpatsvars pēc kopšanas ir, attiecīgi, 66 % un 54 %. Jaunaudzē, kur veikta novēlota kopšana, par 10,1 cm tievāko kociņu īpatsvars pēc kopšanas ir 37 % (Att. 12).



Att. 12: Koku skaita sadalījums caurmēra pakāpēs.

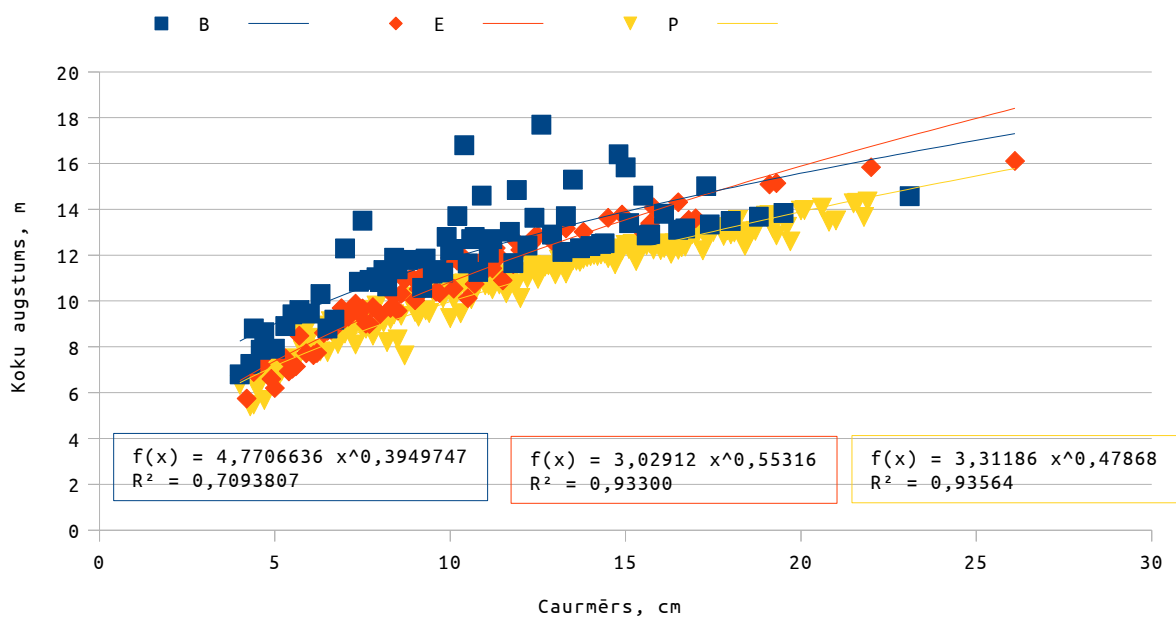
Lielāko daļu krājas visās audzēs pēc kopšanas veido priede (57-99 %); auglīgajos meža tipos grupu veidā saglabāts bērzs (9-36 %, Att. 13). Bērzs nav nozāgēts tajās vietās, kur priede nav izaugusi vai kopšanas laikā jau ir nomākta un augšanas gaitā būtiski atpalikusi vai nokaltusi. Kopšanas rezultātā priedes īpatsvars auglīgajos meža tipos (objekti 21-4-22 un 21-6-16) nav palielinājies.



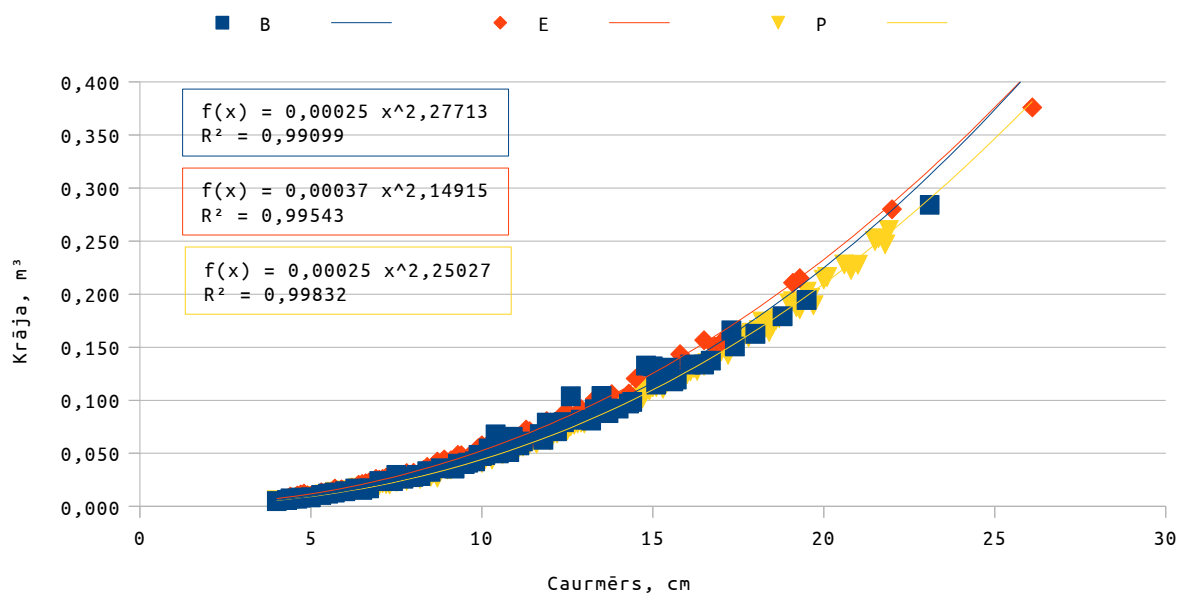
Att. 13: Krājas sadalījums izkoptajās audzēs.

Izmantojot mērījumu datus, izstrādāti regresijas vienādojumi kopšanā nozāgēto koku raksturošanai un krājas aprēķiniem. Zāģēšanas laikā noteikta koku suga (egle, priede vai lapkoks), tāpēc nozāgēto koku raksturošanai izmantoti 3 regresijas vienādojumi. Koku augstuma aprēķināšanai sagatavots logaritmiskās regresijas vienādojums (Att. 14), bet krājas

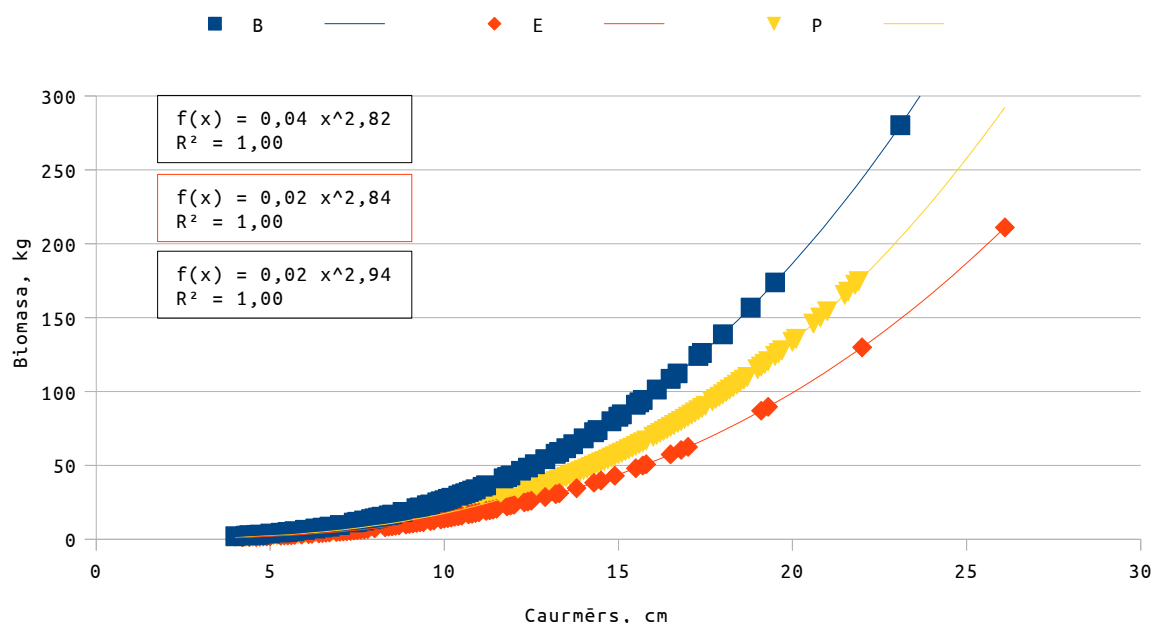
un biomasas raksturošanai izveidoti pakāpes vienādojumi, kas parādīti, attiecīgi, Att. 14 un Att. 15.



Att. 14: Regresijas vienādojums koku caurmēra un augstuma sakarības raksturošanai.



Att. 15: Regresijas vienādojums koku caurmēra un stumbra krājas sakarības raksturošanai.



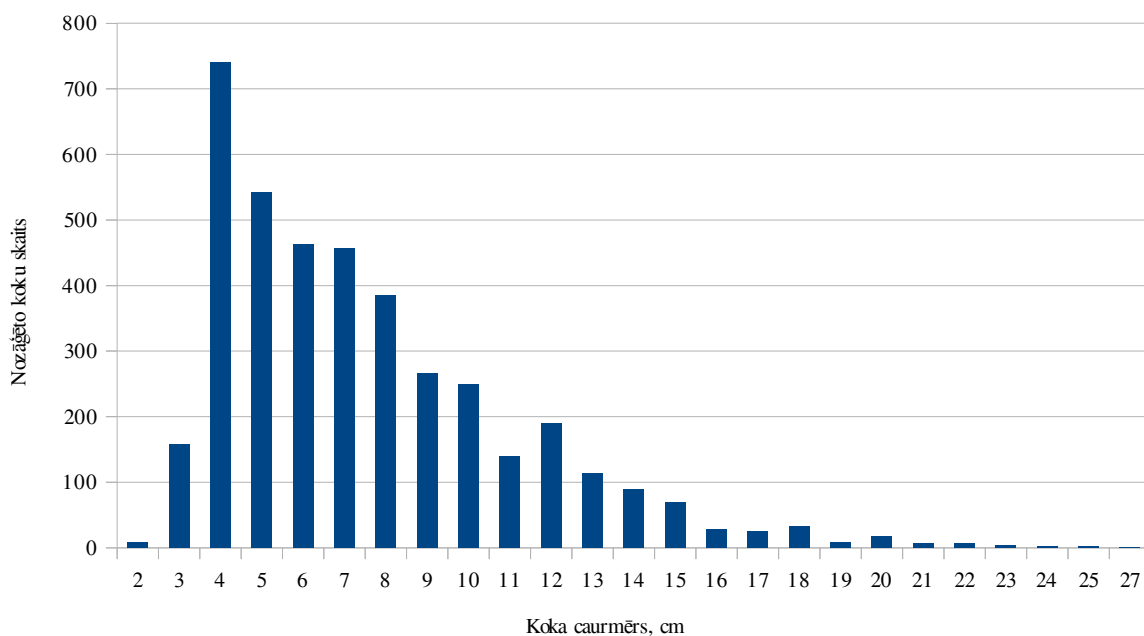
Att. 16: Regresijas vienādojums koku caurmēra un virszemes biomasas sakarības raksturošanai.

Kopšanas darba ražīgums

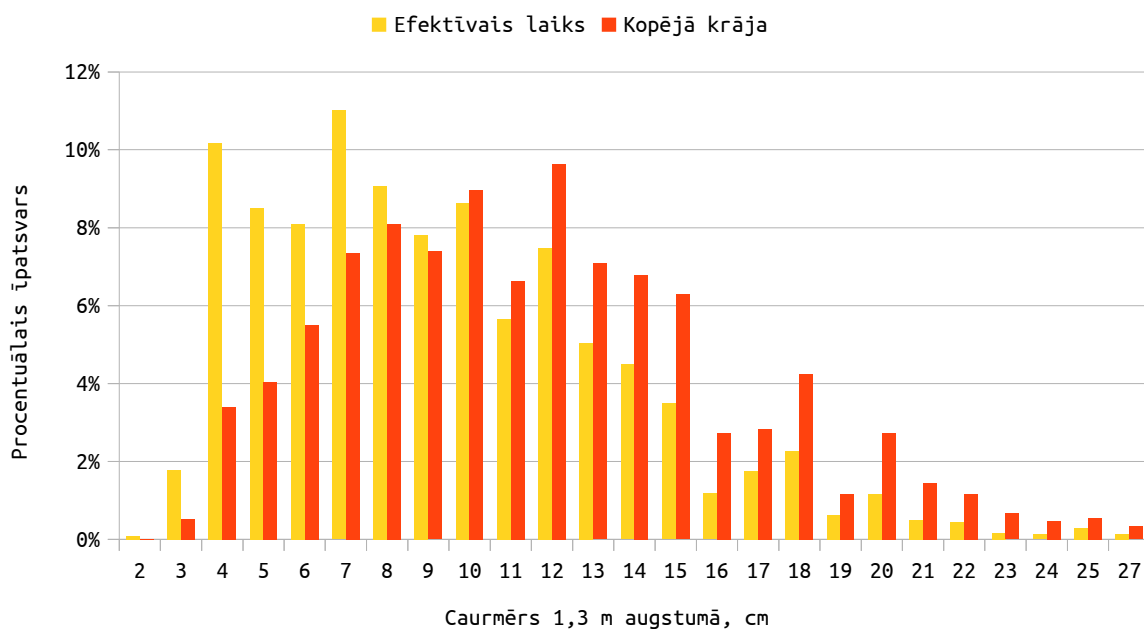
Detalizēta darba laika uzskaitē veikta 16 dienas, kurās nostrādātas 118 darba stundas. Pirms darba laika uzskaites uzsākšanas visi strādnieki nostrādāja vismaz 1 maiņu (6-8 stundas), neuzskaitot laiku, lai adaptētos darba metodēm un instrumentiem. Darba laika posms, kas netika uzskaitīts detalizēti (aptuveni puse no objektā 21-4-22 nostrādātā laika), darba ražīguma analizē nav ietverti, pieņemot, ka šajā laikā notika sākotnējā adaptācija darba metodēm un instrumentiem. Kopumā izmēģinājumos bija iesaistīti 10 strādnieki, kuru profesionālā sagatavotība un darba pieredze būtiski atšķīrās, parādot pieredzējušo un jauno strādnieku priekšrocības un trūkumus.

Kopšanas laikā zāgēti lielākoties par 8,1 cm tievāki koki (Att. 17), kuru īpatsvars no kopējā nozāgēto koku skaita ir 70 %, bet krāja – tikai 29 % no sagatavotajiem kokmateriāliem (Att. 18). Darba laika patēriņš par 8,1 cm tievāko kociņu nozāgēšanai ir 50 % no kopējā darba laika. Ņemot vērā, ka valdaudzēs koku augstums pēc kopšanas ir 10-12 m, atpalikušo, līdz 5 m augsto koku un krūmu zāgēšana ir nelietderīga un to vajag maksimāli ierobežot, lai palielinātu darba ražīgumu. Tomēr vidējie rādītāji neatspoguļo faktisko situāciju koptajās mežaudzēs, jo mazie kociņi aug ne tikai pamežā zem vidējā koka augstumam atbilstošiem kokiem, bet ir koncentrēti arī augšanā atpalikušo koku grupās, kur, atbilstoši vidējiem rādītājiem, mazu kociņu zāgēšana ir nepieciešama, lai atbrīvotu augšanas telpu skujkokiem. Kopšanas laikā ir jāizvērtē, vai šādās atpalikušo koku grupās ir vērts censties izkopt un saglabāt nīkuļojošus skujkokus vai ļaut veidoties lapkoku grupām. Ja nīkuļošanas iemesls ir pārliels mitrums, tad lapkoku saglabāšana, neveicot kopšanu var būt racionālāks risinājums. Mežkopjiem jābūt profesionāli labi sagatavotiem, lai spētu novērtēt, vai kopšana audzes daļā, kur stādītā vai sētā kultūra nīkuļo, ir lietderīga.

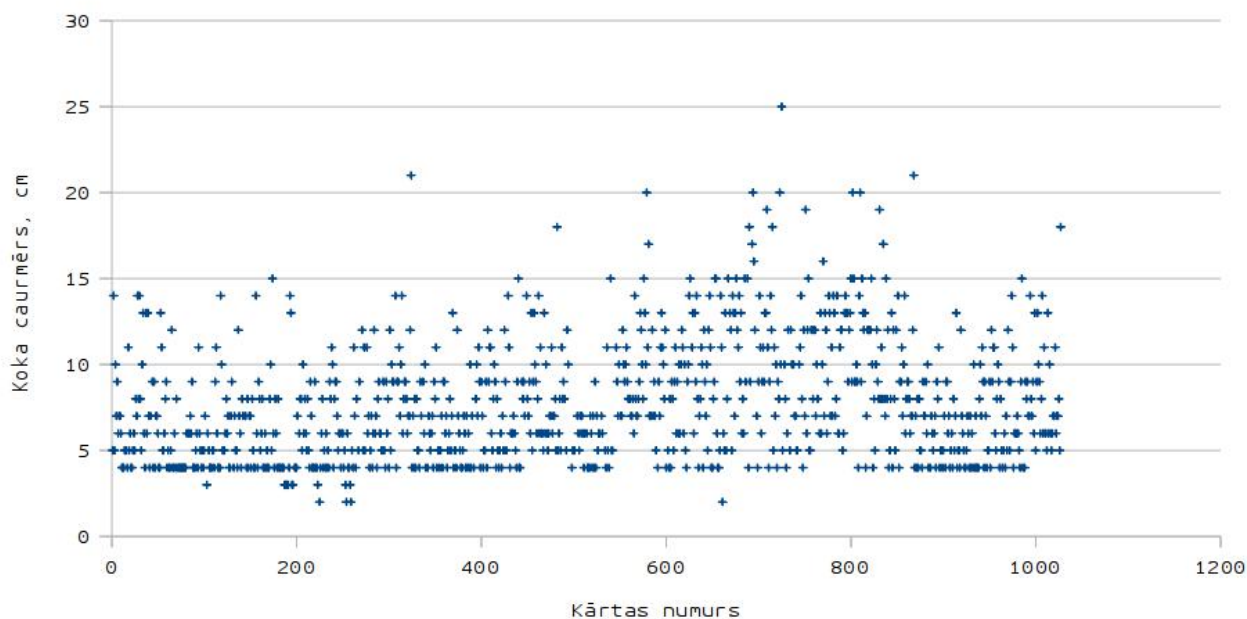
Pētījumā hipotēze par audžu nevienmērīgumu pārbaudīta, grafiski novērtējot nozāgēto koku caurmēru zāgēšanas secībā (Att. 19). Grafikā redzams, ka mazākie koki mijas ar lielākajiem, attiecīgi, mazākie nozāgētie kociņi vairumā gadījumu ir augšanā atpalikušie kociņi, kas vairs netraucē valdaudzes attīstībai, un no šo koku zāgēšanas var izvairīties.



Att. 17: Nozāgēto koku īpatsvars sadalījumā caurmēra pakāpēs.



Att. 18: Nozāgēto koku krājas un produktīvā darba laika patēriņa īpatsvars sadalījumā caurmēra pakāpēs.



Att. 19: Viena strādnieka (9.) nozāgētie koki zāgēšanas secībā un to caurmērs.

Darba laika uzskaites kopsavilkums minūtēs sadalījumā pa darba izpildītājiem dots Tab. 11; bet Tab. 12 apkopots dažādu strādnieku nozāgēto koku raksturojums. Tab. 13 nostrādātais laiks pārrēķināts darba laika patēriņā sekundēs 1 koka apstrādei. Tab. 14 un Tab. 15 apkopoti darba laika patēriņa dati egles, priedes un lapkoku zāgēšanai un nozāgēto koku raksturojums, bet Tab. 16 dots darba ražīguma pārrēķins 1 m^3 sagatavošanai, zāgējot priedi, egli un lapkokus.

Kopā izmēģinājumos sagatavoti kokmateriāli, kas atbilst 130 m^3 kokmateriālu, neskaitot treniņos nozāgētos kociņus. Vidējā nozāgētā koka caurmērs ir 8 cm un augstums 9 m, attiecīgi, lielu daļu no apstrādātajiem kociņiem vajadzēja pārzāgēt, lai sagatavotie nogriežņi nebūtu garāki par 6 m (vidēji no 1 koka sagatavoti 1,9 nogriežņi). Vidējā nozāgētā kociņa stumbra tilpums ir $0,032 \text{ m}^3$. Kopā izmēģinājumos, veicot darba laika uzskaiti, nozāgēti 4,3 tūkst. kociņi. Kopšana veikta, izzāgējot mazākos un augšanā atpalikušos kokus.

Vidēji 1 m^3 kokmateriālu sagatavošanai patērētas 44 minūtes produktīvā darba laika. Produktīvais darba laiks ir 92 % no plānotā darba laika. Iekārušos koku īpatsvars, kuru nogāšanai vajadzēja tērēt papildus darba laiku, ir vidēji 15 %, visbiežāk iekārās egles (23 % no kopējā nozāgēto koku skaita), veicot novēlotu kopšanas cirti.

Darba ražīguma rādītāju kopsavilkums dažādiem strādniekiem dots Tab. 9. Vidējais darba ražīgums (m^3 stundā) dažādiem strādniekiem atšķiras par līdz pat 3 reizēm, taču tas saistīts ne tikai ar atšķirīgām profesionālajām iemaņām, bet arī ar neviendabīgiem darba apstākļiem. Mazāki darba ražīguma rādītāji ir tiem strādniekiem, kas zāgēja mazāku dimensiju kokus, tomēr, arī zāgējot līdzīgus kociņus, dažādu strādnieku vidējie darba ražīguma rādītāji būtiski atšķiras, piemēram, 3. un 5. strādnieki zāgēja līdzīgu dimensiju kokus, bet 5 strādnieka darba ražīguma rādītāji ir vidēji par 22 % sliktāki. Tas nozīmē, ka strādnieku profesionālajai pieredzei ir būtiska nozīme.

Salīdzinot vidējo darba ražīgumu dažādu sugu koku zāgēšanai (Tab. 10), atšķirības vairs nav tik lielas, kā, salīdzinot strādniekus. Vidēji produktīvajā darba stundā sagatavo 1,4 m³ kokmateriālu, salīdzinoši visātrāk notiek lapkoku apstrāde – 1,5 m³ produktīvā darba stundā.

Tab. 9: Darba ražīguma rādītāju kopsavilkums dažādiem strādniekiem

Zāģeris	Koki produktīvā laika stundā	Koki darba stundā	Tonnas produktīvajā stundā	m ³ produktīvajā stundā
1.	50,44	46,42	0,563	1,302
2.	31,83	29,06	0,366	0,897
3.	30,48	26,98	0,591	1,448
4.	60,2	55,82	0,584	1,446
5.	22,19	19,8	0,510	1,154
6.	27,86	24,31	0,477	1,134
7.	21,31	19,94	0,138	0,408
8.	25,18	21,73	0,747	1,557
9.	33,79	30,46	0,449	1,167
10.	59,04	49,33	0,352	0,994

Tab. 10: Darba ražības rādītāju kopsavilkums atkarībā no zāgējamo koku sugas

Darba metode	m ³ efektīvā darba laika stundā	m ³ kopējā darba laika stundā
Egle	1,453	1,317
Lapkoks	1,486	1,372
Priede	1,328	1,221
Visas sugas	1,361	1,249

Tab. 11: Darba laika uzskaites kopsavilkums sadalījumā pa strādniekiem (darba laiks pārrēķināts minūtēs)

Zāģeris	Produktīvais darba laiks									Neproduktīvais laiks	iekārtie koki	iekārtie koki uz nozāģēto koku	Produktīvais laiks	Kopējais laiks
	iet	zāģē	nogāž koku	pārzāģē	čupā krauj	pameža zāģēšana	cits	remonts	apkope					
1.	197	83	73	77	139	91	57	9	55	68	27	4%	782	849
2.	65	30	20	37	54	65	15	0	31	30	17	10%	319	349
3.	59	40	36	50	51	51	21	0	8	41	33	20%	317	358
4.	255	93	63	71	181	97	33	0	105	71	69	8%	898	969
5.	91	54	72	66	135	68	14	0	30	64	72	37%	530	594
6.	61	46	36	67	85	36	16	0	12	52	23	14%	360	412
7.	18	5	5	4	7	18	3	81	0	10	4	8%	141	150
8.	123	72	57	90	111	68	67	18	55	105	47	17%	662	768
9.	289	203	230	263	187	388	62	100	161	206	275	26%	1 882	2 088
10.	67	35	33	20	36	105	29	65	41	85	32	8%	431	516

Tab. 12: Dažādu strādnieku zāģēto koku raksturojums

Zāģeris	Nozāģētie koki, gab.	egle	lapkoks	priede	D 1.3, cm	kopējais nogriežņu skaits	Vidējais nogriežņu skaits	Biomasa, kg	Krāja, m³
1.	657	18	47	592	6,9	1204	1,8	7 339,7	17,0
2.	169	6	18	145	7,3	336	2,0	1 943,7	4,8
3.	161	44	10	107	9,3	373	2,3	3 121,7	7,6
4.	901	0	34	867	6,7	1295	1,4	8 738,4	21,6
5.	196	21	15	160	9,8	524	2,7	4 504,8	10,2
6.	167	25	3	139	8,7	409	2,5	2 857,9	6,8
7.	50	4	3	43	6,3	71	1,4	322,7	1,0
8.	278	58	10	210	10,2	583	2,1	8 249,8	17,2
9.	1060	268	92	700	7,8	2305	2,2	14 075,4	36,6
10.	424	64	90	270	5,7	556	1,3	2 528,6	7,1

Tab. 13: Dažādu strādnieku vidējie darba laika patēriņa patēriņa rādītāji 1 koka apstrādei (sekundēs)

Zāģeris	Iet	Zāģē	Nogāž koku	Pārzāģē	Čupā krauj	Pameža zāģēšana	Cits	Remonts	Apkope	Nedarbi	Produktīvais laiks	Kopējais laiks	Produktīvā laika īpatsvars
1.	18,01	7,62	6,66	7,03	12,71	8,31	5,19	0,82	5,04	6,19	71,37	77,56	92%
2.	23,24	10,79	7,21	13,01	19,27	23,01	5,48	0	11,09	10,8	113,09	123,89	91%
3.	22,1	14,74	13,48	18,81	19,15	18,85	7,95	0	3,04	15,31	118,12	133,43	89%
4.	17	6,18	4,2	4,72	12,03	6,45	2,22	0	7,01	4,7	59,8	64,5	93%
5.	27,9	16,56	22,05	20,25	41,23	20,78	4,29	0	9,21	19,53	162,26	181,79	89%
6.	21,98	16,44	13,02	24,08	30,43	13,1	5,72	0	4,44	18,85	129,21	148,06	87%
7.	21,13	6,04	6,52	4,49	8,94	21,24	3,95	96,66	0	11,6	168,96	180,56	94%
8.	26,54	15,52	12,4	19,45	24,04	14,77	14,53	3,95	11,77	22,7	142,98	165,68	86%
9.	16,33	11,49	13,03	14,87	10,59	21,96	3,52	5,65	9,09	11,64	106,54	118,18	90%
10.	9,44	4,95	4,69	2,78	5,11	14,81	4,14	9,23	5,84	12	60,98	72,97	84%

Tab. 14: Dažādu sugu koku zāģēšanai pavadītā darba laika raksturojums (kopējais nostrādātais laiks minūtēs)

Koku suga	Iet	Zāģē	Gāž koku	Pārzāģē koku	Krauj kaudzē	Zāģē pamežu	Citi darbi	Apkope	Remonti	Nedarbi	Efektīvais laiks	Kopējais laiks	Efektīvais laiks no kopējā
Egle	178	144	116	155	144	128	53	51	27	103	996	1099	91%
Lapkoks	81	57	26	57	67	124	33	14	8	39	469	508	92%
Priede	949	459	484	530	772	685	209	318	73	391	4481	4872	92%
Visas sugas	1208	660	626	743	983	937	296	383	108	534	5945	6479	92%

Tab. 15: Dažādu sugu koku nozāģētās biomasas un krājas raksturojums

Darba metode	D1,3, cm	H, m	Koku skaits	Koki darba ciklā	Iekārušos koku īpatsvars	Koka krāja, m³	Kopējā krāja, m³	Koka biomasa, kg	Kopējā biomasa, tonnas	Nogriežņu skaits
Egle	8	10	522	1,042	23%	0,047	24	14	7	2,371
Lapkoks	7	10	505	1,583	7%	0,028	12	17	7	1,937

Darba rezultāti

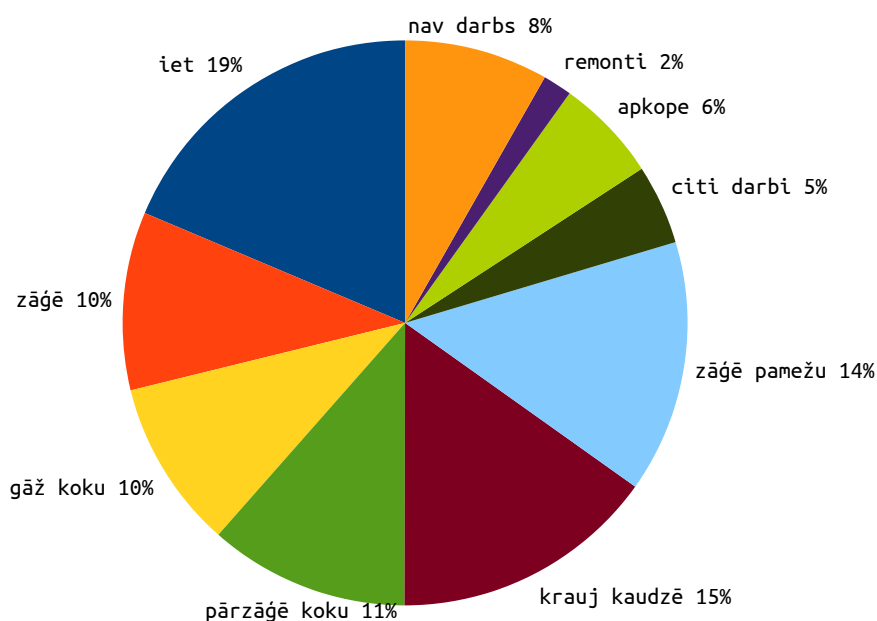
Atjaunojamo energoresursu produktu ražošanas, pārstrādes un loģistikas rūpnieciskais pētījums

Darba metode	D1,3, cm	H, m	Koku skaits	Koki darba ciklā	Iekārušos koku īpatsvars	Koka krāja, m ³	Kopējā krāja, m ³	Koka biomasa, kg	Kopējā biomasa, tonnas	Nogriežņu skaits
Priede	7	8	3280	1,024	14%	0,030	99	13	42	1,807
Visas sugas	8	9	4307	1,070	15%	0,032	135	13	56	1,887

Tab. 16: Dažādu sugu koku zāģēšanas darba ražīguma kopsavilkums (sek. m⁻³)

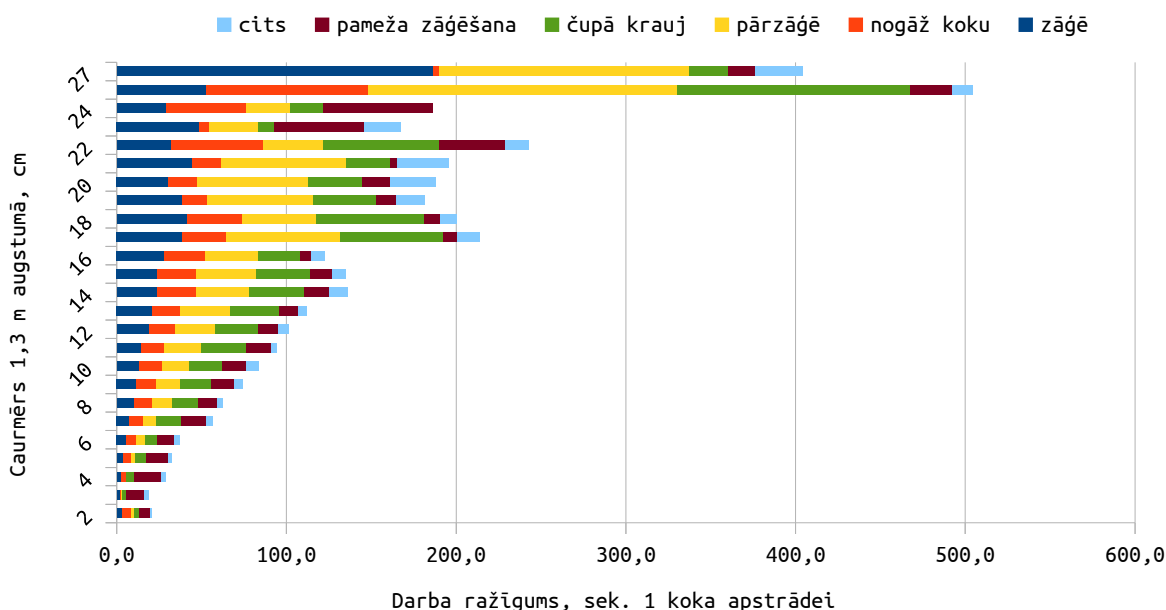
Darba metode	iet	zāģē	gāž koku	pārzāģē koku	krauj kaudzē	zāģē pamežu	citi darbi	apkope	remonti	nedarbi	Efektīvais laiks	Kopējais laiks
Egle	444	357	288	387	358	317	132	68	126	256	2478	2734
Lapkoks	419	297	136	297	348	643	173	39	70	202	2422	2624
Priede	574	278	293	321	467	415	127	44	193	237	2711	2948
Visas sugas	538	294	279	331	437	417	132	48	170	237	2645	2882

Visvairāk produktīvā darba laika patērēts iešanai pa audzi no koka uz koku (Att. 20), pārējās lielākās darba laika izmantošanas pozīcijas ir koku savākšana, pameža zāgēšana, garāko koku pārzāgēšana un koku zāgēšana. Iekārušos koku nogāšana aizņem 10 % darba laika. Darba laika pozīcijas, kuras var samazināt, uzlabojot darba metodi un paaugstinot profesionālo kvalifikāciju, ir iekārušos koku gāšana, koku savākšana kaudzēs un pameža zāgēšana. Pārējo darba laika elementu saīsināšana ir sarežģītāka. Iešanai un koku pārzāgēšanai patērēto laiku var samazināt, gatavojot garākus kokmateriālu nogriežņus, taču garāku kokmateriālu sagatavošana traucē pievešanu. Pameža zāgēšanas laiks ir maksimāli jāsamazina, izplaujot tikai tos kokus un krūmus, kas apgrūtina darbu, tajā skaitā redzamību vai traucē pārvietoties, bet saglabājot pameža kokus un krūmus uz tehnoloģiskajiem koridoriem, kā arī vietās, kur tie netraucē kopšanu.



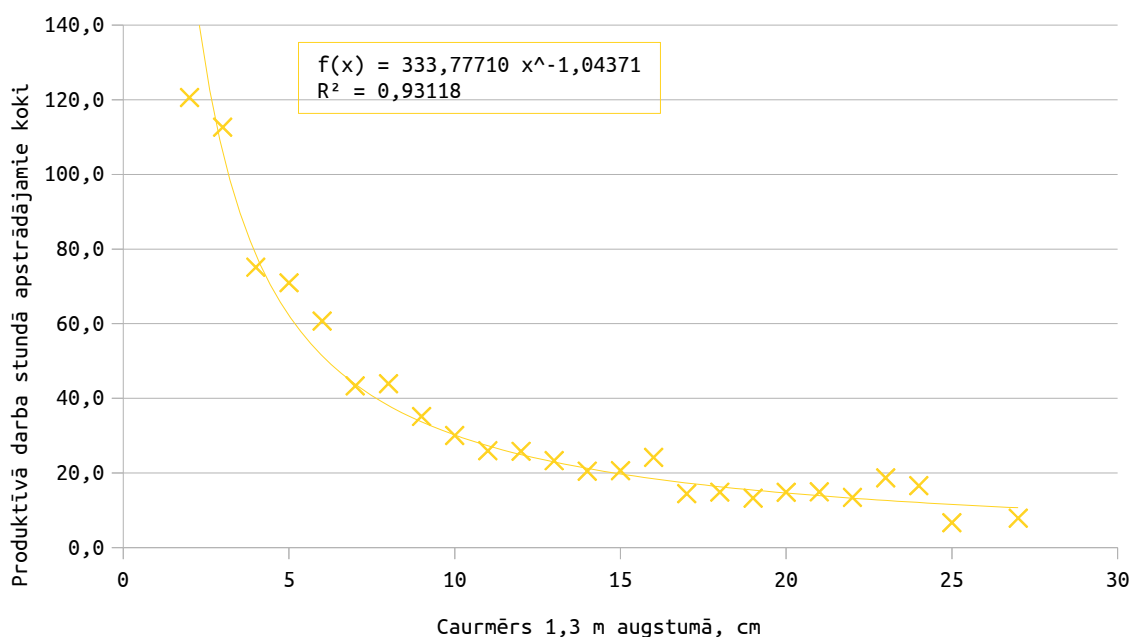
Att. 20: Produktīvā darba laika sadalījums.

Palielinoties nozāgējamo koku dimensijām, pieaug visu darba laika elementu ilgums 1 koka apstrādei. Vislielāko ietekmi uz darba laika patēriņa pieaugumu rada lielāko koku zāgēšana un pārzāgēšana (Att. 21). Straujais darba laika patēriņa lēciens, zāgējot par 24 cm resnākus kokus, var nebūt reprezentatīvs, jo šajās caurmēra pakāpēs nozāgēti tikai atsevišķi koki.



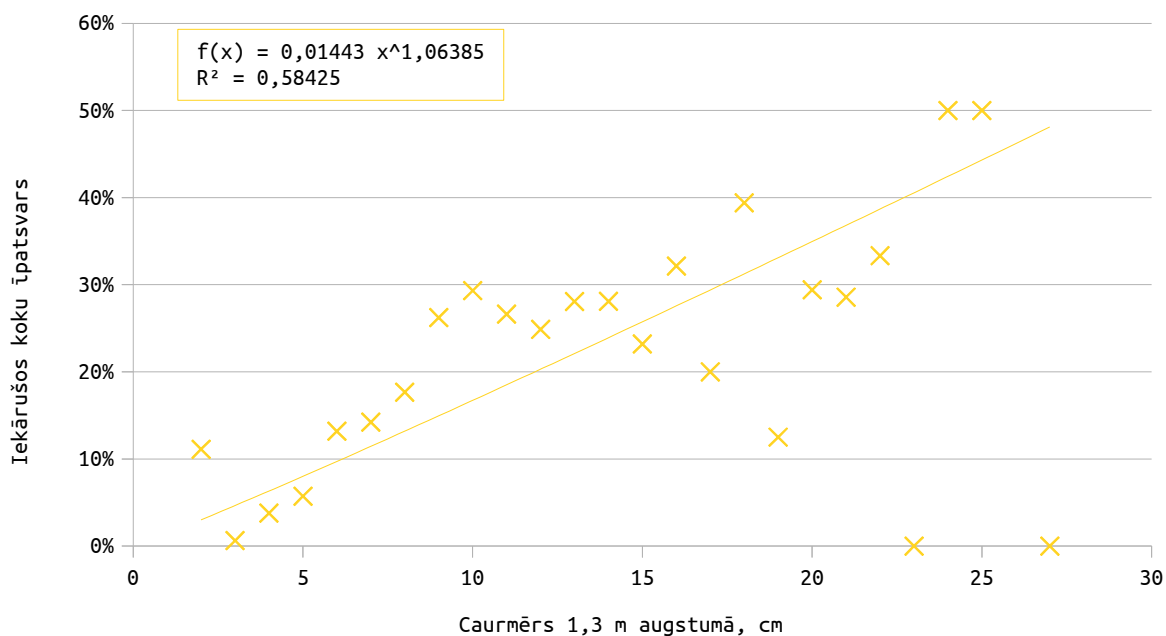
Att. 21: Produktīvā darba laika sadalījums atkarībā no zāgējamā koka caurmēra.

Produktīvā darba laika patēriņu 1 koka apstrādei izmēģinājumos raksturo pakāpes vienādojums (Att. 22). Stundā produktīvā darba laika nozāgējamo koku skaitu būtiski ietekmē zāgējamo koku caurmērs – pieaugot caurmēram no 2 līdz 10 cm, stundas laikā nozāgējamo koku skaits samazinās vairāk nekā 6 reizes, bet, zāgējot par 10 cm resnākus kokus, stundas laikā apstrādājamo koku skaits samazinās lēnāk (Att. 22). Ja vidējā nozāgējamā koka caurmērs ir 8 cm, stundā produktīvā darba laika var apstrādāt 44 kokus.



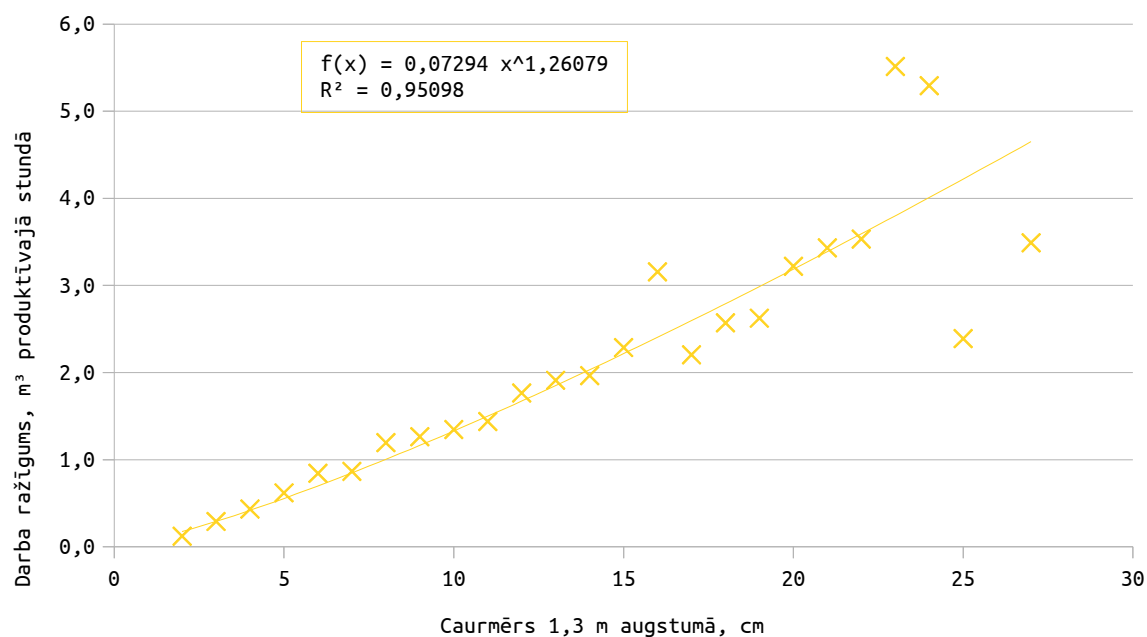
Att. 22: Stundā produktīvā darba laika apstrādājamo koku skaita un nozāgējamā koka caurmēra sakarība.

Pieaugot nozāgējamā koka caurmēram, palielinās iekārušos koku īpatsvars. Zāgējot 8 cm resnus kokus, iekaras 18 % kociņu, bet, zāgējot 15 cm resnus kokus, iekaras 23 % kociņu (Att. 23). Lielais iekārušos koku īpatsvars norāda uz potenciālajiem apdraudējumiem strādnieku veselībai, kas pieaug novēlotās kopšanas cirtēs.



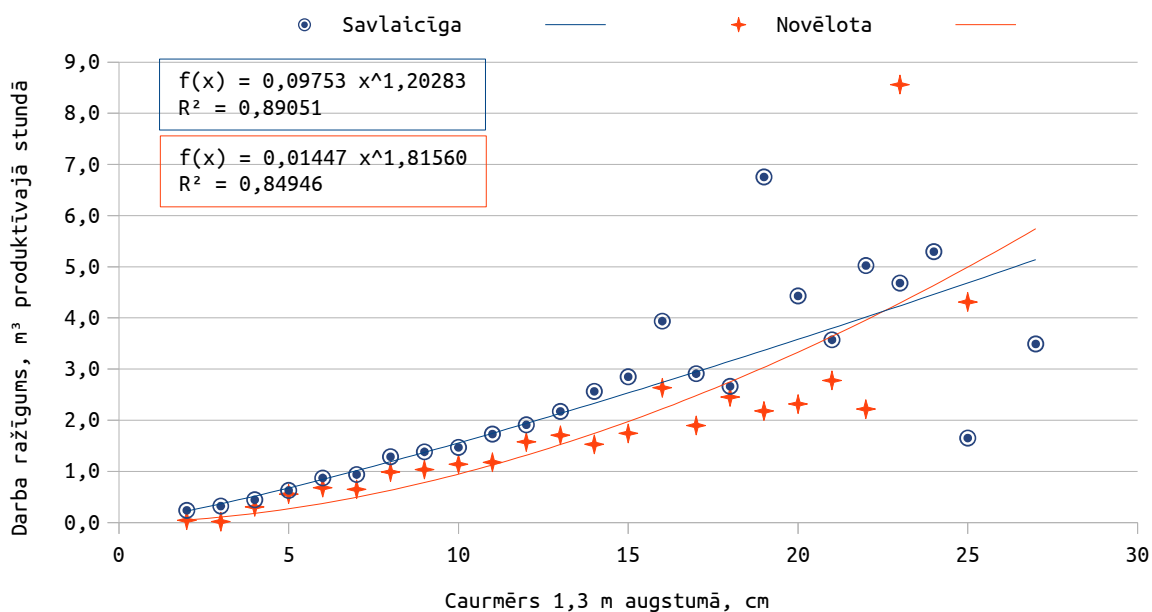
Att. 23: Iekārušos koku īpatsvara un nozāgējamā koka caurmēra sakarība.

Darba ražīgumu, atkarībā no zāgējamo koku caurmēra, raksturo pakāpes vienādojums (Att. 24). Zāgējot resnākus kokus, darba ražīgums pieaug. Vidējais darba ražīgums, zāgējot 8 cm resnus kokus, ir 1,2 m³ produktīvā darba stundā, bet, zāgējot 15 cm resnus kokus, 2,3 m³ produktīvā darba stundā.



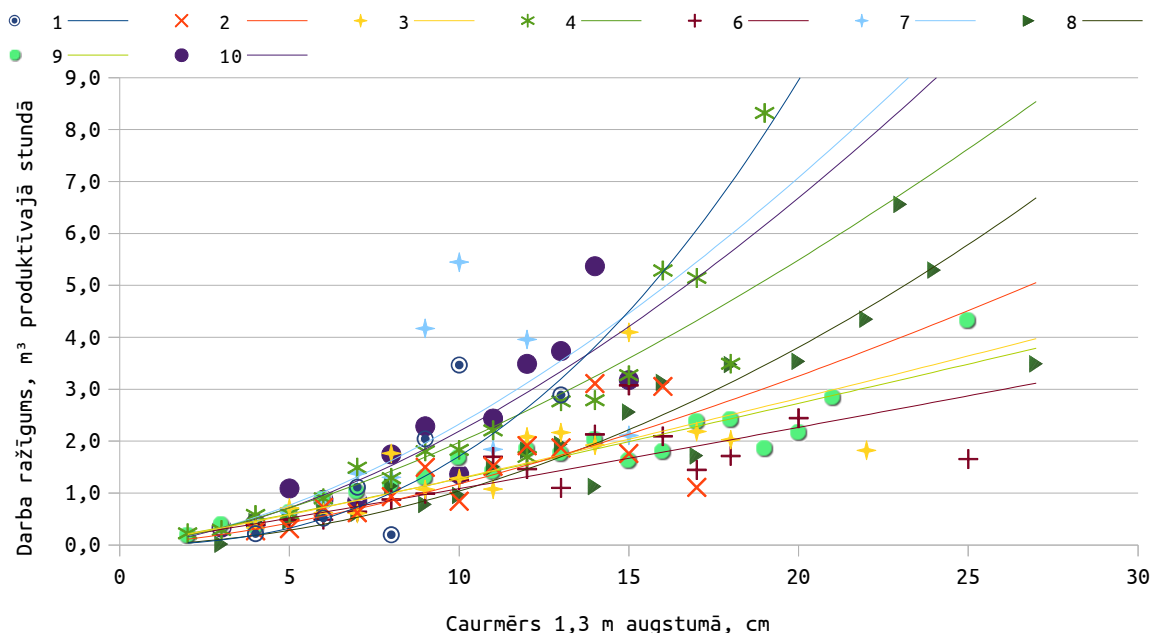
Att. 24: Stundā produktīvā darba laika sagatavojamā biokurināmā un nozāgējamā koka caurmēra sakarība.

Salīdzinot darba metodes (savlaicīga un novēlota kopšana), būtiskas atšķirības darba ražīgumā nav konstatētas (Att. 25), lai gan novēlotā kopšanā lēnāk pieaug darba ražīgums, zāgējot resnākus kokus. Iespējams, ka tas saistīts ar pameža koku zāgēšanas traucējošo ietekmi, kas bija mazāk raksturīga savlaicīgai kopšanai. Ņemot vērā, ka darba ražīguma atšķirības, atkarībā no cirtes veida, nav konstatētas, turpmākā datu analīze veikta, nedalot savlaicīgu un novēlotu jaunaudžu kopšanu, bet apvienojot visās cirtēs nozāgētos kokus caurmēra pakāpēs.



Att. 25: Produktīvā darba laika patēriņa 1 m³ sagatavošanai un nozāgējamā koka caurmēra sakarība atkarībā no cirtes veida, veicot kopšanu ar ķēdes zāģi ar augstiem rokturiem.

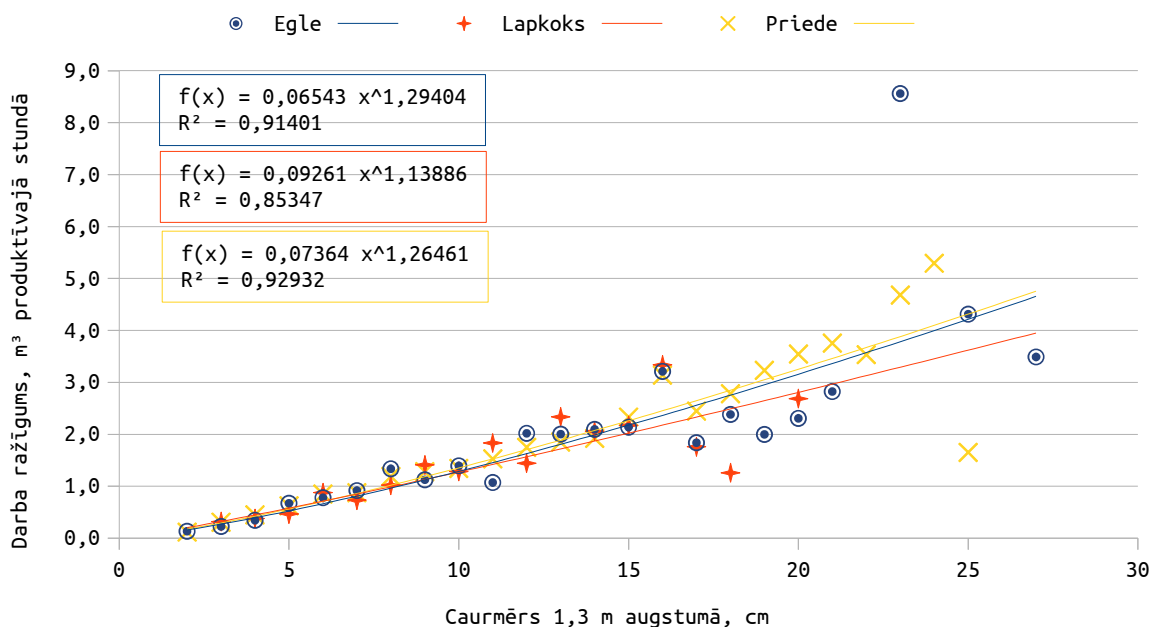
Pētījumā konstatēts, ka vislielāko ietekmi uz darba ražīgumu rada strādnieku profesionālā pieredze un izmantotās darba metodes. Att. 26 redzams, ka strādnieku darba ražīgums atšķiras vairākas reizes, it īpaši, zāgējot resnākus kokus, pie kam darba ražīgumam nav tiešas korelācijas ar strādnieka profesionālo pieredzi. Piemēram, 3. un 10. strādnieki ir ar vislielāko praktiskā darba pieredzi, bet 3. strādniekam sniegums ir viens no sliktākajiem, bet 10. strādniekam ir viens no labākajiem sniegumiem. Pārrunājot rezultātus ar pašiem darba izpildītājiem, konstatēts, ka 10. strādnieks ar ķēdes zāģi ar augstiem rokturiem nostrādājis vairāk kā mēnesi un labāk izkopiis darba metodi, bet 3. strādniekam nav iepriekšējas pieredzes darbā ar augstiem rokturiem, bet ir vismaz tikpat liela pieredze jaunaudžu kopšanā. Atšķirības darba ražīgumā skaidrojamas arī ar audzes neviendabīgumu, jo 10. strādnieks veica kopšanu veica audzes daļā, kur bija salīdzinoši liels mazo dimensiju skujkoku un lapkoku īpatsvars, kas retāk iekārās zaros, uzlabojot vidējos mežizstrādes darba ražīguma rādītājus. Strādnieks ar lielāko darba ražīgumu nozāgētos kokus uzreiz no stāvus stāvokļa nesa kaudzē, cenšoties izvairīties no zemē nogāšanas darba operācijas, līdz ar to ietaupot laiku un enerģiju, kas patērējams, lai no guļus stāvokļa kokus paceltu un pārvietotu uz kokmateriālu kaudzīti. Pieredzējušais strādnieks ar būtiski sliktākiem darba ražīguma rādītājiem skaidroja rezultātu ar vēlmi sadalīt spēkus vienmērīgi visas dienas garumā. Strādnieki, kas izmēģinājumos nozāgējuši lielāko koku skaitu (kopā ap 2000 gab.), ir ar numuru 4 un 9. Arī šajā gadījumā viens no strādniekiem uzrāda būtiski sliktāku rezultātu (4.), bet otram strādniekam (9.) ir viens no labākajiem darba ražīguma rādītājiem. Šajā gadījumā darba ražīgumu būtiski ietekmēja jau iepriekš konstatētais resnāko koku īpatsvars, jo 4. strādnieks pārsvarā strādāja labos apstākļos S1 meža tipā, bet 9. strādniekam vajadzēja strādāt auglīgajos meža tipos (Dm un As) ar būtiski lielāku pameža koku piejaukumu un lielāku darba laika patēriņu pameža zāgēšanai un koku nogāšanai.



Att. 26: Produktīvā darba laika patēriņa 1 m³ sagatavošanai un nozāgējamā koka caurmēra sakarība dažādiem strādniekiem, veicot kopšanu ar ķēdes zāģi ar augstiem rokturiem.

Veicot jaunaudžu kopšanu ar ķēdes zāģi ar augstiem rokturiem, nav konstatētas būtiskas atšķirības darba ražīgumā, atkarībā no zāgējamo koku sugas, taču, zāgējot resnākus

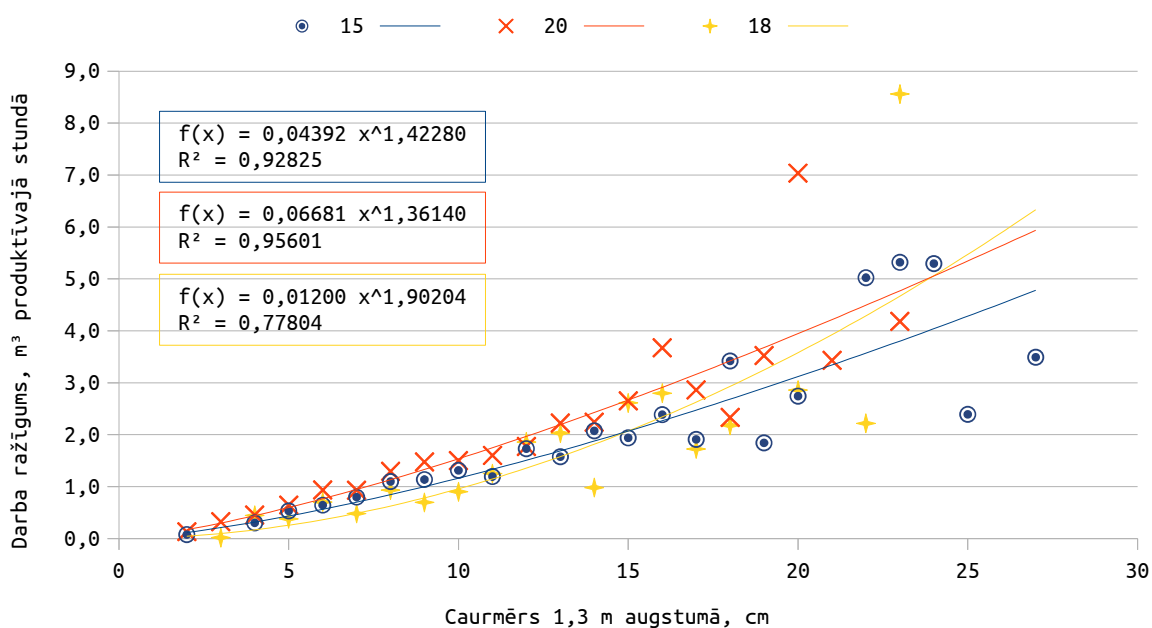
($D_{1,3} > 15$ cm) lapkokus, darba ražīgums ir nedaudz mazāks, nekā, zāgējot resnākus skujkokus (Att. 27). Atšķirība skaidrojama ar pieaugošu darba laika patēriņu koku nogāšanai; resnākajiem lapkokiem ir izteiktāka tendence iekārties zaros.



Att. 27: Produktīvā darba laika patēriņa 1 m³ sagatavošanai un nozāģējamā koka caurmēra sakarība, atkarībā no zāģējamo koku sugas.

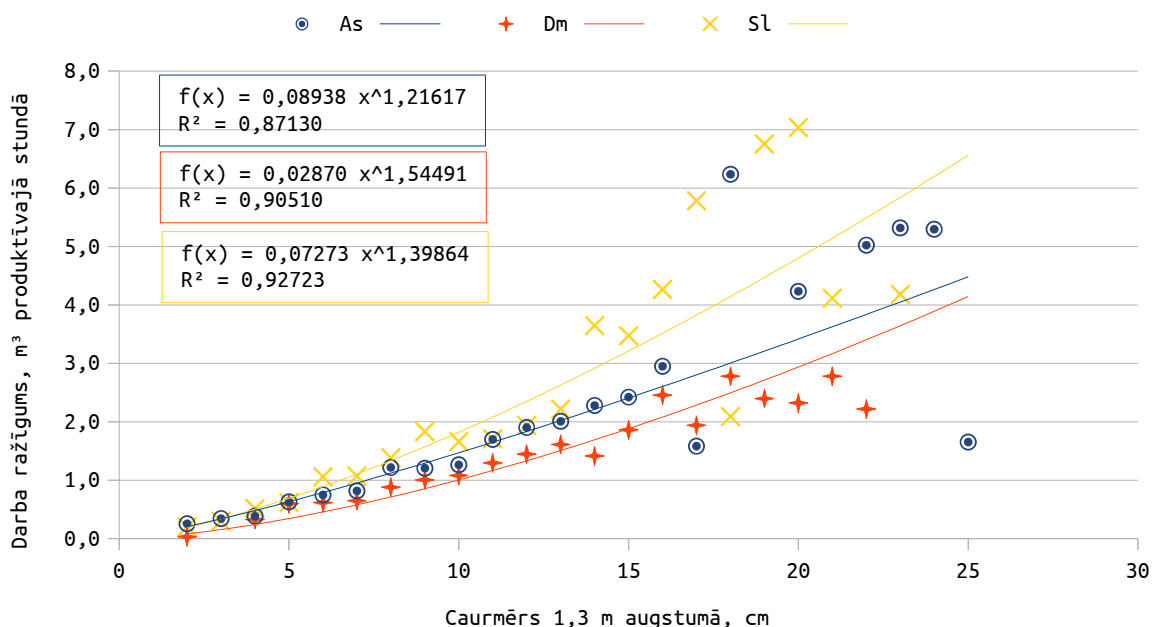
Izmēģinājumu objektos Mežu pētīšanas stacijā (21-4-22, 21-6-16) tehnoloģiskie koridori izvietoti ik pēc 15 m, 18 m un 20 m. Sākotnēji ierīkots arī izmēģinājumu variants, kur tehnoloģiskie koridori izvietoti ik pēc 30 m, paredzot kopšanu ar harvesteru (ar papildus "spoku ceļu" ierīkošanu), taču, veicot kopšanu ar rokas motorinstrumentiem, platākās joslas pārdalītas uz pusēm, iegūstot vairāk sleju, kur tehnoloģiskie koridori izvietoti ik pēc 15 m. Platības, kur tehnoloģiskie koridori sākotnēji izvietoti ik pēc 10 m, izmantotas mācībām, tāpēc darba laika uzskaites analīzē nav iekļautas.

Būtiskas atšķirības darba ražīgumā, atkarībā no attāluma starp tehnoloģiskajiem koridoriem, pētījumā nav konstatētas, taču mazliet labāki darba ražīguma rādītāji iegūti pie vislielākā attāluma starp tehnoloģiskajiem koridoriem (20 m). Samazinot attālumu starp koridoriem līdz 15 m, konstatēts vismazākais darba ražīgums (Att. 28). Līdzīgi rezultāti iegūti iepriekšējos pētījumos, veicot kopšanu ar harvesteru – ja attālums starp tehnoloģiskajiem koridoriem ir 15 m vai arī lielāks par 18 m, darba ražīgums samazinās (Kalēja *et al.*, 2014b). Veicot kopšanu ar rokas motorinstrumentiem, darba ražīguma samazinājums saistīts ar pieaugošu darba laika patēriņu pameža koku zāģēšanai uz koridoriem. Faktiski mazie kociņi netraucē kopšanu un, vairumā gadījumu, arī pievešanu, taču darba izpildītājam jābūt pietiekoši kvalificētam, lai spētu novērtēt, kur pameža kociņi netraucēs pievedējtraktoram un kur to novākšana ir vēlama. Audzes daļā ārpus tehnoloģiskā koridora lēmuma pieņemšana par pameža koku zāģēšanu ir vienkāršāka – strādnieki zāģē tikai tos kociņus, kas traucē nogāzt zāģējamo koku vai novietot kokmateriālus.



Att. 28: Produktīvā darba laika patēriņa 1 m³ sagatavošanai un nozāģējamā koka caurmēra sakarība, atkarībā no attāluma starp tehnoloģiskajiem koridoriem.

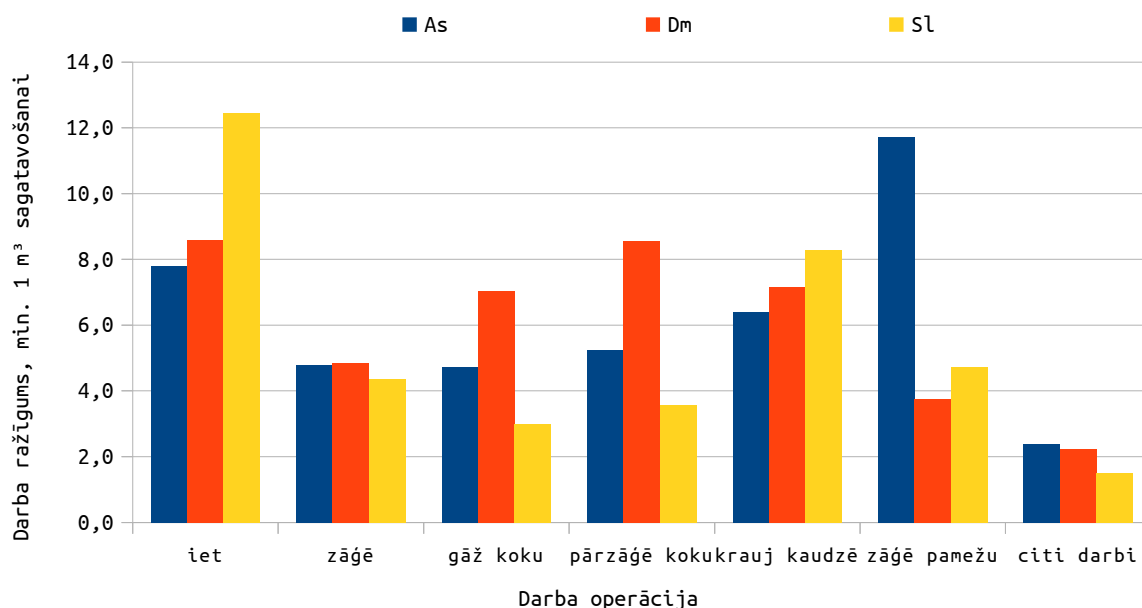
Būtiska ietekme uz darba ražīgumu konstatēta, salīdzinot darba laika uzskaites datus, kas iegūti, strādājot ar ķēdes zāģi ar augstiem rokturiem dažādos meža tipos. Vislabākie darba ražīguma rādītāji konstatēti silā un vissliktākie – damaksnī (Att. 29). Atšķirība starp silu un pārējiem meža tipi ir statistiski būtiska.



Att. 29: Produktīvā darba laika patēriņa 1 m³ sagatavošanai un nozāģējamā koka caurmēra sakarība, atkarībā no meža tipa.

Veicot kopšanu silā, būtiski mazāk laika, nekā damaksnī un šaurlapju ārenī, patērē koku gāšanai un pārzāgēšanai, bet vairāk laika patērē pārgājieniem un koku savilkšanai kaudzēs (Att. 30). Papildus darba laika patēriņš iešanai un sīkkoku kraušanai kaudzītēs skaidrojams ar mazākām zāgējamo koku dimensijām, attiecīgi, 1 m³ sagatavošanai jānozāgē vairāk koku un jānoiet lielāks attālums. Mazo dimensiju ietekme uz pārējām darba operācijām kompensējas ar būtisku darba ražīguma uzlabojumu koku gāšanas un pārzāgēšanas darba operācijām. Šaurlapju ārenī vismaz 2 reizes vairāk laika, nekā citos meža tipos, patērēts pameža zāgēšanai. Šajā objektā bija blīva bērza paauga, kas izveidojusies iznīkušo priežu vietā. Nepieciešamība nozāgēt bērzus, kas nākotnē konkurētu ar priedēm, skaidro lielo darba laika patēriņu pameža zāgēšanai. Citās audzēs bērza piemaisījums bija salīdzinoši neliels un tā izzāgēšanai patērēts būtiski mazāk laika.

Pētījumā secināts, ka darba ražīguma palielinājumu, veicot biokurināmā sagatavošanu ar rokas motorinstrumentiem, var panākt, atsakoties no pārzāgēšanas operācijas (4-8 min. m⁻³) un izmantojot pievešanā pievedējtraktoru, kas aprīkots ar vienkāršu kniebējgalvu, garāko koku paku pārkniebšanai. Šāds risinājums ļaus samazināt arī darba laika patēriņu iešanai gar nozāgētajiem kokiem, lai tos pārzāgētu, kā arī daļējai koku atzarošanai un kociņu kraušanai kaudzītēs. Kniebējgalvai jābūt aprīkotai ar koku pacelšanas funkciju, lai tos varētu pārvietot vertikālā stāvoklī.

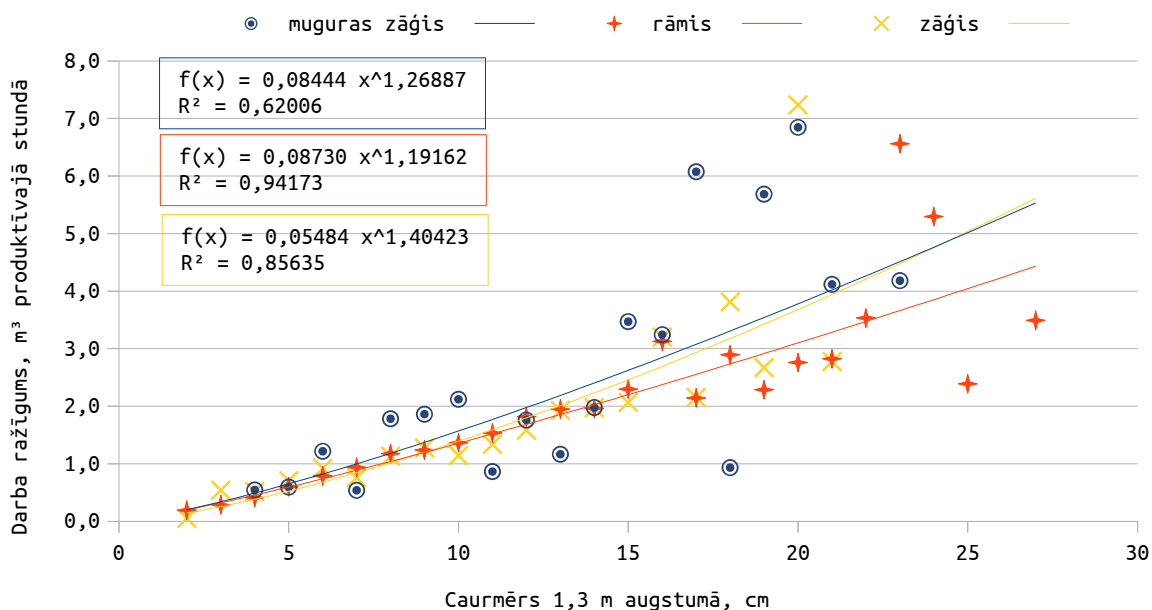


Att. 30: Vidējais produktīvā darba laika patēriņš kopšanai atkarībā no meža tipa¹⁰.

Viens no svarīgākajiem pētījuma uzdevumiem ir dažādu motorinstrumentu salīdzināšana, gatavojot biokurināmo jaunaudžu kopšanā. Att. 31 redzams, ka darbs ar ķēdes zāģi ar augstiem rokturiem ir mazāk ražīgs, nekā kopšana ar meža tīrīšanas zāģi un ķēdes zāģi bez rāmja. Meža tīrīšanas zāģis un ķēdes zāģis bez rāmja nodrošina līdzīgu darba ražīgumu. Ķēdes zāģis ar ar augstiem rokturiem ir mazāk efektīvs gan lielāko, gan mazāko kociņu zāgēšanā. Izmēģinājumos konstatēts, ka darba ražīgumu neuzlabo arī rāmja pagarināšana par 15 cm, salīdzinot ar ražotāja standarta izmēriem.

¹⁰ Vidējie rādītāji priedes zāgēšanai.

Tomēr, ja salīdzina ergonomiskās īpašības, ķēdes zāģim ar augstiem rokturiem ir būtiska priekšrocība – maiņas beigās strādnieki, kas adaptējušies šim aprīkojumam, ir mazāk noguruši, un viņiem neparādās muguras sāpes, kas raksturīgas ar ķēdes zāģi strādājošajiem. Negatīvu ietekmi uz darba ražīgumu, strādājot ar ķēdes zāģi ar augstiem rokturiem, rada koku pārzāģēšanas darba operācija, tāpēc, strādājot ar šāda veida aprīkojumu, ir jāgatavo veseli koki, nepieciešamības gadījumā tos pārkniebnot pievešanas laikā. Attiecīgi, pievedējtraktors ir jāaprīko ar kniebējgalvu.

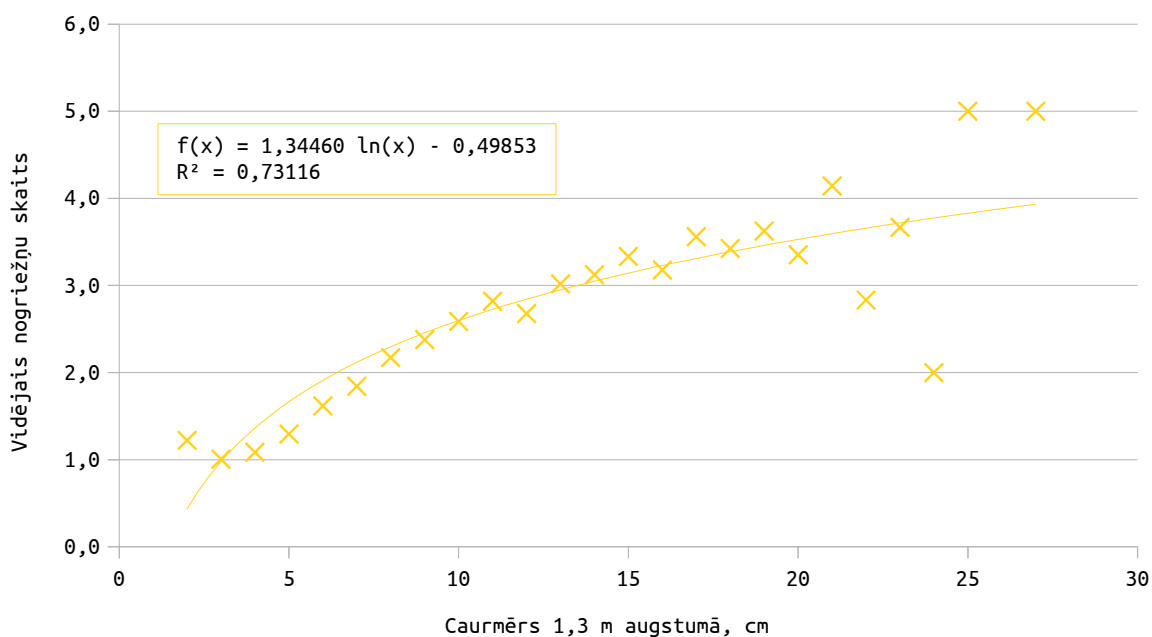


Att. 31: Produktīvā darba laika patēriņa 1 m³ sagatavošanai un nozāģējamā koka caurmēra sakarība, atkarībā no izmantojamā zāģa tipa.

Koku pārzāģēšanas ietekmi uz darba ražīgumu raksturo Att. 32; 10 cm resnus kokus pārzāģē 2 nogriežņos, bet 15 cm resnus kokus – 3 nogriežņos. Vidējā nozāģētā koka caurmērs izmēģinājumos ir 8 cm, attiecīgi, vidēji no katra nozāģētā koka sagatavo 2 nogriežņus.

Koku pārzāģēšanai nereti ir objektīvs skaidrojums, kas nav saistīts ar kvalitātes nosacījumiem kokmateriālu gatavošanai (izmēģinājumos gatavojām līdz 6 m garus nogriežņus, lai tos varētu pievest ar standarta pievedējtraktoru ar īsu rāmi); piemēram, ja koki ir nokrituši šķērsām pāri tehnoloģiskajam koridoram, to pārzāģē, lai atvieglotu darbu pievedējtraktora operatoram. Arī šis piemērs raksturo iespējamās priekšrocības, pievešanā izmantojot pievedējtraktoru, kas aprīkots ar kniebējgalvu.

Rekomendāciju izstrādāšanai par pievešanas procesa pilnveidošanu nepieciešami empīriski dati par darba metodes un aprīkojuma nomaiņas ietekmi uz motorinstrumentu operatoru un pievedējtraktora darba ražīgumu, kā arī jānoskaidro kniebējgalvas, kas visvairāk piemērotas šim darbam. Iespējams, ka ir jāizgatavo principiāli jauna kniebējgalva, kuras primārā funkcija ir kokmateriālu satveršana un iekraušana, bet kniebšana ir papildfunkcija.

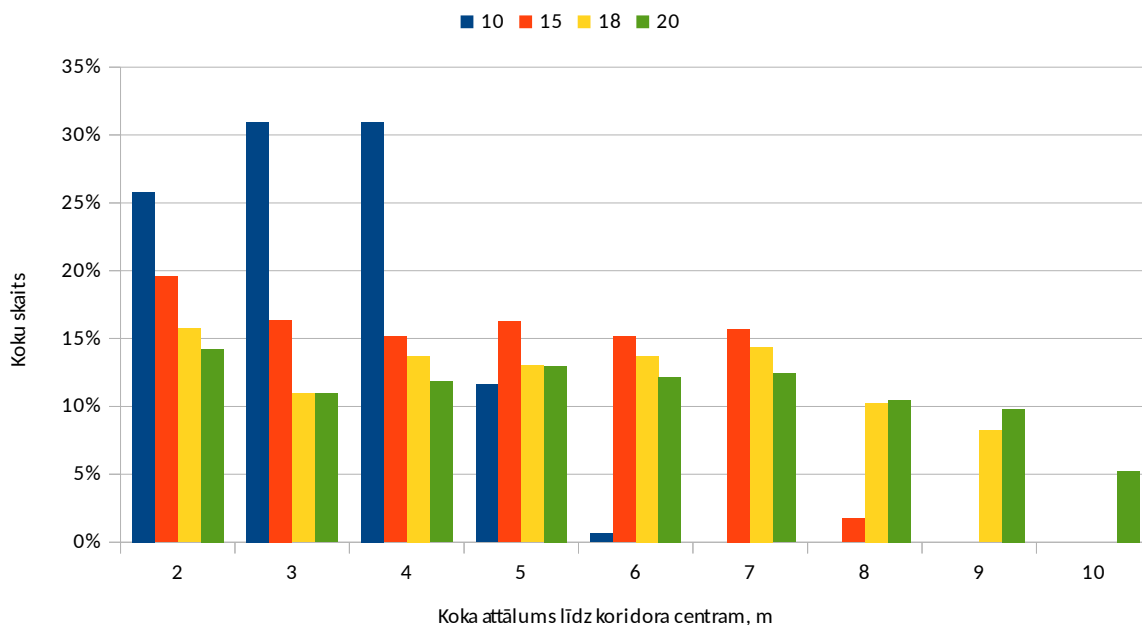


Att. 32: Nogriežņu skaita un nozāgējamā koka caurmēra sakarība.

Kopšanas kvalitāte

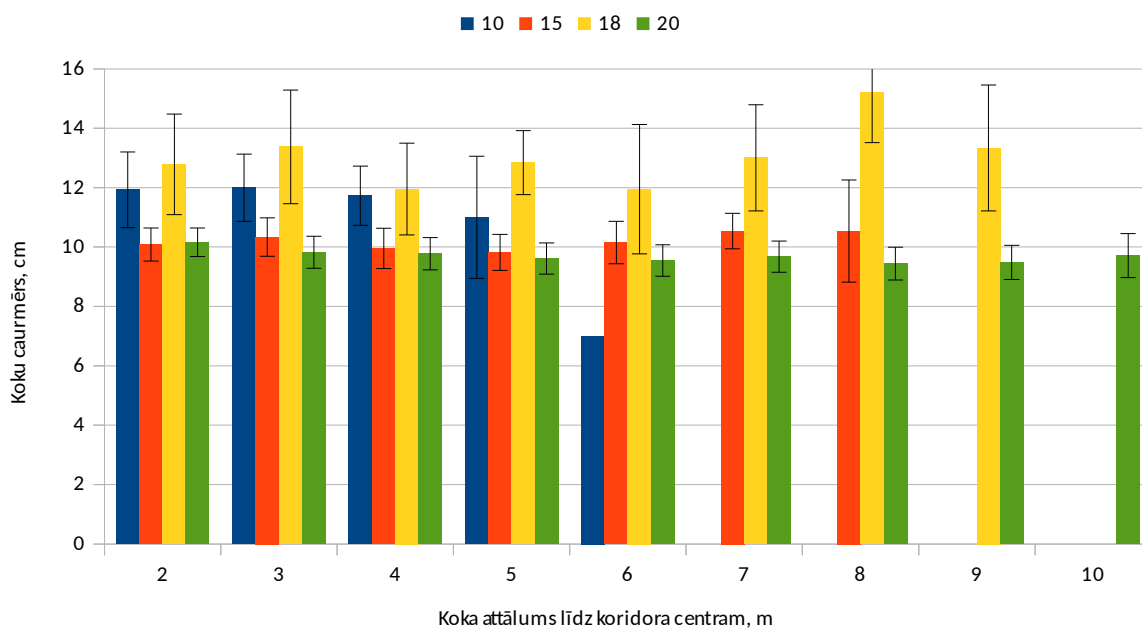
Attālums starp slejām izmēģinājumos ir 10-20 m. Koku izvietojums izkoptajās slejās, tajā skaitā, pārrēķinot uz krāju, ir vienmērīgs, lai gan tālāk no tehnoloģiskā koridora centra koku skaits samazinās (Att. 33). Samazinātais koku skaits izkopto sleju vidusdaļā skaidrojams ar izraudzīto darba metodi – kopšanu slejās paralēli tehnoloģiskajam koridoram. Vispirms strādnieks izkopj sleju, ejot vienā virzienā, tad, atgriežoties pa blakus esošo sleju, konstatē, ka kopšanas intensitāti varēja palielināt un izkoptās slejas vidusdaļā izzāgē vēl dažus kokus. Koridoru tīkla sablīvēšana liek palielināt saglabājamo koku skaitu izkoptajās slejās, lai nodrošinātu atbilstību kopšanas kvalitātes prasībām. Sablīvējot tehnoloģisko koridoru tīklu (attālums starp to centriem 10-15 m), kopšanas rezultātā iegūst pārbiezinātu audzi, kas formāli atbilst minimālā koku skaita vai šķērslaukuma normatīviem, bet faktiski nav pietiekoši izkopta un tajā netiek radīti optimāli apstākļi paliekošo koku attīstībai.

Labākas kopšanas kvalitātes nodrošināšanai attālums starp tehnoloģiskajiem koridoriem jāsaglabā 18-20 m robežās vai arī pilnībā jāatsakās no tehnoloģiskajiem koridoriem, izmantojot pievešanā manevrētspējīgu mazgabarīta tehniku, kas var pievest kokmateriālus pa 2,5 m platiem ceļiem.



Att. 33: Atstāto koku skaita izvietojums slejā.

Viena no hipotēzēm, kas pārbaudīta pētījumā, saistās ar pieņēmumu, ka strādnieki saglabā tievākus kokus tuvāk tehnoloģiskā koridora centram un resnākus kokus tālāk no tehnoloģiskā koridora centra. Nevienā no variantiem (attālums starp tehnoloģiskajiem koridoriem 10, 15, 18 un 20 m) šī hipotēze neapstiprinājās – pieaugot attālumam no tehnoloģiskā koridora centra, vidējā koka caurmērs statistiski būtiski nepalielinājās Att. 34, lai gan slejās, kur attālums starp tehnoloģiskajiem koridoriem ir 15 un 18 m, izkopto sleju vidusdaļā ir nedaudz resnāki koki.



Att. 34: Atstāto koku caurmēra un attāluma no slejas centra sakarība.

Paliekošo koku stumbra vai sakņu bojājumi pēc kopšanas nav konstatēti (augšanā atpalikušo un paaugas kociņu bojājumi nav ietverti uzskaitē). Koku skaits silā (506-32-25) samazinājās līdz 1081 gab. ha⁻¹, ja biezuma aprēķinā ieskaita tehnoloģiskos koridorus, un 1300 gab. ha⁻¹, ja koridoru platību neņem vērā. Atbilstoši atstāto koku skaita pārrēķinam uz kopējo audzes platību, kopšana veikta pārāk intensīvi, taču, vizuāli novērtējot vainagu projektīvo segumu (Att. 35), secināts, ka jau tuvāko gadu laikā vainagi atkal sakļausies un vajadzēs veikt atkārtotu kopšanu.



Att. 35: Priežu jaunaudze SI meža tipā pēc kopšanas.

Audzē, kur veikta novēlota kopšana, saglabāto koku skaits ir 995 gab. ha⁻¹, pārrēķinot uz kopējo audzes platību, un 1200 gab. ha⁻¹, pārrēķinot uz audzes platību bez tehnoloģiskajiem koridoriem. Arī šajā audzē vizuāls vainagu novērtējums pēc kopšanas (Att. 36) norādīja uz nepieciešamību drīzumā veikt atkārtotu kopšanu.

Izmēģinājumi ar rokas motorinstrumentiem apstiprina iepriekš mehanizētās kopšanas izmēģinājumos izdarīto secinājumu par nepieciešamību pārskatīt prasības minimālajam koku skaitam, ja kopšanas laikā ierīko tehnoloģiskos koridorus, t.i. pievešanu veic ar vidēji smagiem pievedējtraktoriem, ko parasti izmanto krājas kopšanas cirtēs. Alternatīvs risinājums, kas ļauj saglabāt lielāku koku skaitu līdz pirmajai krājas kopšanas cirtai, ir mazgabarīta tehnikas izmantošana, neierīkojot tehnoloģiskos koridorus jaunaudzū kopšanā.



Att. 36: Priežu jaunaudze Dm meža tipā pēc novēlotas kopšanas.

Izmaksu un ieņēmumu analīze

Pašizmaksu ietekmējošo faktoru analīze

Kopšana ar ķēdes zāģi ar augstiem rokturiem

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

Pašizmaksas aprēķinos pieņemts ka izmanto lietotu pievedējtraktoru, kas jau nostrādājis vismaz 10000 stundas un atlikušais kalpošanas laiks bāzes mašīnai ir 15000 stundas. Pievedējtraktora cena pieņemta atbilstoši vidējiem rādītājiem portāla Mascus¹¹ sludinājumos.

Vidējā koka caurmērs pieņemts atbilstoši vidējam rādītājam izmēģinājumos. Vidējais kokmateriālu pievešanas attālums pieņemts 150 m. Izvešanas attālums pieņemts 50 km. Rādītāji, kas raksturo harvestera un pievedējtraktora pašizmaksas aprēķina ievades datus, ir parādīti Tab. 17.

Pašizmaksas aprēķins veikts 2 scenārijiem – patērētājam piegādā šķeldu, ko sagatavo ar mobilo šķeldotāju augšgala krautuvē, vai arī veselus sīkkokus. Šķeldu vedēja tilpums pieņemts 90 ber. m³ (29,3 m³). Sīkkoku piegādes scenārijs ir teorētisks aprēķins, ko praksē nevar īstenot, jo Latvijā nav atbilstošas tehnikas neatzarotu sīkkoku piegādei.

¹¹ <http://www.mascus.com>

Tab. 17: Ievades dati pašizmaksas aprēķinu modelī

Rādītāji	Skaitliskā vērtība
Vidējā nozāgētā koka caurmērs, cm	7,5
Pievedējtraktora kravas tilpums, m ³	6,8
Efektīvais darba laiks iekraušanai / izkraušanai, min. kravai	15,0 / 3,3
Pievešanas / izvešanas attālums	150 m / 50 km
Pievedējtraktora braukšanas ātrums ar kravu / bez kravas, m min. ⁻¹	41 / 51
Biokurināmais % no apaļajiem kokmateriāliem / mizas īpatsvars % kokmateriālos	100 / 10
Šķeldu bēruma blīvums, ber. m ³ m ⁻³	3,1

Biokurināmā pašizmaksas aprēķinu kopsavilkums, tajā skaitā pieņēmumi par šķeldu piegādēm un biomasas smalcināšanu augšgala krautuvē, dots Tab. 18. Saskaņā ar biokurināmā piegāžu scenāriju salīdzinājumu sīkkoksnes piegādes scenārijs ir ekonomiski izdevīgāks, nekā šķeldu piegādes scenārijs (7,41 un 8,45 EUR ber. m⁻³). Ja sīkkoku piegādes scenārijā iekļauj sīkkoku šķeldošanu (1,51 EUR ber. m⁻³, Tab. 19), tad izdevīgāks ir šķeldu piegādes scenārijs. Būtisks nezināmais faktors ir sīkkoku piegādes transporta krāvnēsība. Aprēķinos pieņemts, ka tā atbilst vidējiem kokvedēju kravas tilpuma rādītājiem daļēji atzarotu skujkoku pievešanā.

Tab. 18: Biokurināmā sagatavošanas un piegādes sistēmas pašizmaksas aprēķins

Rādītājs	Zāģis	Pievedējtraktors	Kokvedējs	Biomasas smalcinātājs	Šķeldu vedējs	Sīkkoku transports
Atsevišķas tehnikas vienības izmaksas, EUR gadā						
Investīcijas	€ 173	€ 40 185	€ 17 301	€ 64 806	€ 17 308	€ 17 301
Personāls	€ 9 632	€ 57 214	€ 18 243	€ 32 121	€ 18 243	€ 18 243
Operacionālās izmaksas	€ 2 361	€ 74 126	€ 27 516	€ 149 520	€ 37 132	€ 27 516
Plānotā peļņa	€ 608	€ 8 576	€ 3 153	€ 12 322	€ 3 634	€ 3 153
Kopā, EUR gadā	€ 12 774	€ 180 101	€ 66 213	€ 258 769	€ 76 317	€ 66 213
Ražīgums						
Ražīgums, m³ E15-h⁻¹	1,0	16,3	-	31,4	9,0	6,6
Atsevišķas tehnikas vienības gada laikā saražoto kokmateriālu apjoms:						
biokurināmais, m ³ gadā	866	76430	-	63851	16023	11774
pārreķinot šķeldās:						
biokurināmais, ber. m ³ gadā	2657	234641	-	196021	49191	36147
Rezultāts						
Biokurināmais, EUR m⁻³	€ 14,76	€ 2,36	-	€ 4,05	€ 4,76	€ 5,62

Tab. 19: Biokurināmā sagatavošanas scenāriju analīze

Rādītājs	Zāģis	Pievedējtraktors	Kokvedējs	Biomasas smalcinātājs	Šķeldu vedējs	Sīkkoku transports	Kopā
Biokurināmais, EUR m ⁻³							
sīkkoku scenārijs	€ 14,76	€ 2,36	-			€ 5,62	€ 22,74
šķeldu scenārijs	€ 14,76	€ 2,36	-	€ 4,05	€ 4,76		€ 25,93
Biokurināmais, EUR ber. m ⁻³							
sīkkoku scenārijs	€ 4,81	€ 0,77	-			€ 1,83	€ 7,41
šķeldu scenārijs	€ 4,81	€ 0,77	-	€ 1,32	€ 1,55		€ 8,45

Ikgadējais viena strādnieka ražošanas apjoms, atbilstoši izmēģinājumam raksturīgajiem darba apstākļiem, ir 0,9 tūkst. m³; pievedējtraktora ikgadējais ražošanas apjoms ir 76 tūkst. m³,

attiecīgi, 1 pievedējtraktors teorētiski var apkalpot vismaz 80 strādniekus. Praksē situācija būs citāda, jo, lai pievestu aprēķināto kokmateriālu apjomu, pievedējtraktoram jāstrādā arī tajā laikā, kad noteikts jaunaudžu kopšanas liegums, attiecīgi, par 4 mēnešiem īsāku laiku un pievedējtraktora darba laikā nav ņemti vērā darbinieku atvaļinājumi un slimošanas, pieņemot, ka nepieciešamības gadījumā iespējama strādnieku aizstāšana.

Saskaņā ar iegūtajiem darba ražīguma aprēķinu rezultātiem biokurināmā gatavošana un pievešana jaunaudžu kopšanā, izmantojot brigādes, kuru sastāvā ir vairāki zāgētāji un pievedējtraktors, nav racionāli. Uzņēmumiem, kas plāno specializēties biokurināmā sagatavošanā ar rokas motorinstrumentiem, ieteicams izmantot pievešanas ārpakalpojumus vai kombinēt dažādus mežsaimnieciskās darbības veidus, lai noslogotu pievedējtraktoru visu laiku. Alternatīvs risinājums ir mazgabarīta pievedējtraktoru izmantošana, maksimāli atslogojot ar rokas motorinstrumentiem strādājošos (neveido koridorus, nepārzāgē garākos kokus, nevelk nozāgētos kokus kaudzēs), tomēr arī šajā gadījumā jāmeklē risinājums pievedējtraktora noslogošanai mežsaimnieciskās darbības ierobežojumu laikā. Piemēram, pievedējtraktoru, kas aprīkots ar griezējgalvu vai kniebējgalvu vai mehānisms ir maināms, pavasarī un vasaras sākumā var izmantot apauguma novākšanai aizaugušās lauksaimniecības zemēs un infrastruktūras objektos, kā arī kokmateriālu pievešanai sanitārajās cirtēs. Darba organizācijas un darba metožu optimizēšana, kombinējot roku darbu un mazgabarīta tehniku, ir nākotnē pētāmi jautājumi. Pieejamās zināšanas par rūpniecisku mazgabarīta meža tehnikas izmantošanu nav pietiekošas, lai izstrādātu rekomendācijas šāda veida tehnikas izmantošanai praksē.

Kopējās 1 ha izkopšanas pašizmaksa ir 1048 EUR šķeldu piegādes scenārijā un 919 EUR daļēji atzarotu sīkkoku piegādes scenārijā, tajā skaitā 596 EUR zāgēšanas un sīkkoku vākšanas izmaksas (Tab. 20). Ekonomiskā efekta aprēķinos pieņemtās vidējās jaunaudžu kopšanas izmaksas, nevācot biokurināmo, ir 135 EUR, attiecīgi, papildus izmaksas biokurināmā sagatavošanai ir 461 EUR ha⁻¹. Modelētās pievešanas izmaksas, ko ietekmē, galvenokārt, sagatavojamā biokurināmā daudzums, var būt pārlietu optimistiskas, jo, samazinoties vidējam audzē sagatavoto kokmateriālu daudzumam, palielināsies pārbraucienos patērētais laiks un izdevumi. Lai samazinātu nelietderīgo laika patēriņu pārbraucienos un pārbraucienu izmaksas, ir maksimāli jāsamazina strādnieku slodze un jāpalielina pievedējtraktora veicamo darbu apjoms. Papildus jau iepriekš uzskaitītajiem ieteikumiem darba organizācijas uzlabošanai, jāizvērtē iespēja ar pievedējtraktoru strādāt mežizstrādes mašīnas vai harvardera režīmā vietās, kur rokas motorinstrumentu izmantošana ir apgrūtināta (lielāku dimensiju koki, biezs pamežs).

Tab. 20: Mežaudžu kopšanas izmaksas pārrēķinot uz 1 ha

Rādītājs	Zāģis	Pievedējtraktors	Kokvedējs	Biomassas smalcinātājs	Šķeldu vedējs	Sīkkoku transports	Kopā
Biokurināmā sagatavošanas izmaksas, EUR ha ⁻¹ :							
sīkkoku scenārijs	€ 596	€ 95				€ 227	€ 919
šķeldu scenārijs	€ 596	€ 95		€ 164	€ 192		€ 1 048

Meža tīrīšanas zāģis cirte

Aprēķinos izmantotie izmēģinājumu rezultāti ir kopšanas darba ražīgums. Dati par pievešanas, šķeldošanas un kurināmā piegādes darba ražīgumu ietekmējošiem faktoriem aizgūti no iepriekš īstenotiem pētījumiem un ir identiski tiem, kas izmantoti pašizmaksu ietekmējošo rādītāju analizē ķēdes zāģim ar augstiem rokturiem.

Vidējā koka caurmērs pieņemts atbilstoši vidējam rādītājam izmēģinājumos. Vidējais kokmateriālu pievešanas attālums pieņemts 150 m. Izvešanas attālums pieņemts 50 km. Rādītāji, kas raksturo pievedējtraktora pašizmaksas aprēķina ievades datus, parādīti Tab. 17.

Pašizmaksas aprēķini veikti 2 scenārijiem – patērētājam piegādā daļēji atzarotas sīkkoksni un gatavu šķeldu, ko sagatavo ar mobilo šķeldotāju augšgala krautuvē. Šķeldu vedēja tilpums pieņemts 90 ber. m³ (29,3 m³), bet kokvedēja lielums ieņemts 60 m³ ar vidējo tilpīguma koeficientu 0,4 neatkarīgi no tā, vai pieved biokurināmo vai papīrmalku.

Biokurināmā pašizmaksas aprēķinu kopsavilkums dots Tab. 21. Sīkkoku piegādes scenārijā izmaksās nav ietverta biomasas smalcināšana. Biokurināmais aprēķinā ietverta arī miza.

Biokurināmā piegāžu scenāriju salīdzinājums parāda, ka sīkkoku piegādes scenārijs ir ekonomiski izdevīgāks, nekā šķeldu piegādes scenārijs (7,0 un 8,0 EUR ber. m⁻³, Tab. 22). Ja sīkkoku piegādes scenārijā ietver šķeldošanas izmaksas, tad šķeldu scenārijs kļūst ekonomiski izdevīgāks, tāpat, kā strādājot ar ķēdes zāģi. Iepriekšējā nodaļā jau runāts par to, ka sīkkoku piegādes scenārijs Latvijas apstākļos pagaidām iespējams tikai teorētiski, jo nav atbilstošas tehnikas koksnes pārvadāšanai un trūkst arī ilgstošai sīkkoku uzglabāšanai bez kvalitātes zudumiem nepieciešamās pieredzes.

Salīdzinot izmēģinājumos izmantotos instrumentus, konstatēts, ka biokurināmā sagatavošanu izdevīgāk veikt ar meža tīrīšanas zāģi (abos scenārijos izmaksas ir par 5-6 % mazākas), tomēr atšķirība nav būtiska. Meža tīrīšanas zāģis ir ergonomiskāks un tas ir piemērots garāko kociņu pārzāģēšanai pēc nogāšanas, tomēr šī zāģa jauda nav pietiekoša lielāko kociņu gāšanai. Atsakoties no garāko koku pārzāģēšanas operācijas, lielāks darba ražīguma pieaugums paredzams, strādājot ar zāģi ar augstiem rokturiem. Meža tīrīšanas zāģim nepieciešams konstruktīvs uzlabojums – pie ķēdes mehānisma stiprinājuma pieskrūvējams āķis kociņu nogāšanai vajadzīgā virzienā (Att. 37). Šāda papildaprīkojuma esamība būtiski uzlabotu darba ražīgumu, gāžot kokus. Lielākas jaudas dzinēja uzstādīšana arī pozitīvi ietekmētu darba ražīgumu, taču dzinēja jaudu ierobežo ķēdes piedziņas mehānisma izturība.



Att. 37: Dzeltenā krāsā ir papildus āķis koku nogāšanai vajadzīgā virzienā.

Ilggadējais meža tīrīšanas zāģa operatora ražošanas apjoms, atbilstoši izmēģinājumam raksturīgajiem darba apstākļiem, ir 1 tūkst. m³, attiecīgi nedaudz lielāks, nekā strādājot ar ķēdes zāģi ar augstiem rokturiem, tomēr atšķirība nav būtiska. Veicot biokurināmā sagatavošanu ar meža tīrīšanas zāģi, tieši tāpat, kā strādājot ar ķēdes zāģi, pievešanas pakalpojums ir jāpērk no ārējiem izpildītājiem vai arī pievedējtraktors pamatdarbā ir jāizmanto krājas kopšanas cirtēs vai galvenajā cirtē. Mazgabarīta tehnikas izmantošana pievešanā un

jaunaudžu kopšana, neierīkojot tehnoloģiskos koridorus, jāizvērtē, veicot izmēģinājumus dažādos augšanas apstākļos.

Tab. 21: Biokurināmā un apaļo kokmateriālu sagatavošanas un piegādes sistēmas pašizmaksas aprēķins

Rādītājs	Zāģis	Pievedējtraktors	Kokvedējs	Biomassas smalcinātājs	Šķeldu vedējs	Sīkkoku transports
Atsevišķas tehnikas vienības izmaksas, EUR gadā						
Investīcijas	€ 238	€ 40 185	€ 17 301	€ 64 806	€ 17 308	€ 17 301
Personāls	€ 9 632	€ 57 214	€ 18 243	€ 32 121	€ 18 243	€ 18 243
Operacionālās izmaksas	€ 2 709	€ 74 126	€ 27 516	€ 149 520	€ 37 132	€ 27 516
Plānotā peļņa	€ 629	€ 8 576	€ 3 153	€ 12 322	€ 3 634	€ 3 153
Kopā, EUR gadā	€ 13 208	€ 180 101	€ 66 213	€ 258 769	€ 76 317	€ 66 213
Ražīgums						
Ražīgums, m³ E15-h⁻¹	1,1	16,3	-	31,4	9,0	6,6
Atsevišķas tehnikas vienības gada laikā saražoto kokmateriālu apjoms						
biokurināmais, m³ gadā	978	76430	-	63851	16023	11774
pārrēķinot šķeldās:						
biokurināmais, ber. m³ gadā	3003	234641	-	196021	49191	36147
Rezultāts						
Kokmateriāli & biokurināmais, EUR m⁻³	€ 13,50	€ 2,36	-	€ 4,05	€ 4,76	€ 5,62

Tab. 22: Biokurināmā sagatavošanas scenāriju analīze

Rādītājs	Zāģis	Pievedējtraktors	Kokvedējs	Biomassas smalcinātājs	Šķeldu vedējs	Sīkkoku transports	Kopā
Biokurināmais, EUR m⁻³							
sīkkoku scenārijs	€ 13,50	€ 2,36				€ 5,62	€ 21,48
šķeldu scenārijs	€ 13,50	€ 2,36		€ 4,05	€ 4,76		€ 24,67
Biokurināmais, EUR ber. m⁻³							
sīkkoku scenārijs	€ 4,40	€ 0,77				€ 1,83	€ 7,00
šķeldu scenārijs	€ 4,40	€ 0,77		€ 1,32	€ 1,55		€ 8,04

Kopējās 1 ha izkopšanas izmaksas ir 997 EUR šķeldu piegādes scenārijā un 868 EUR daļēji atzarotu sīkkoku piegādes scenārijā (Tab. 23).

Tab. 23: Mežaudžu kopšanas izmaksas pārrēķinot uz 1 ha

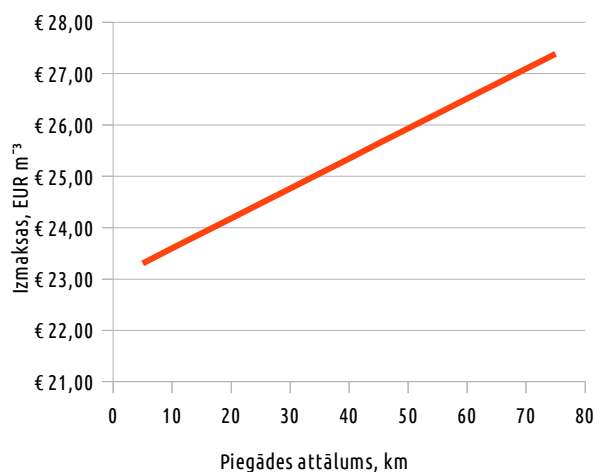
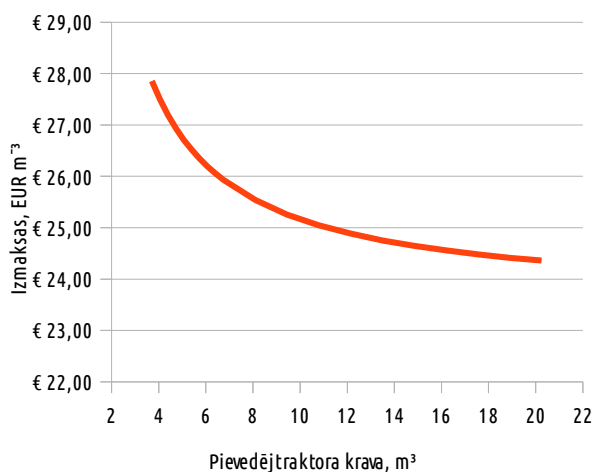
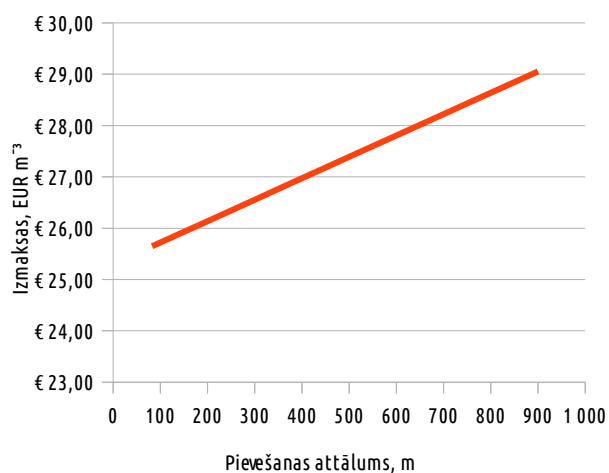
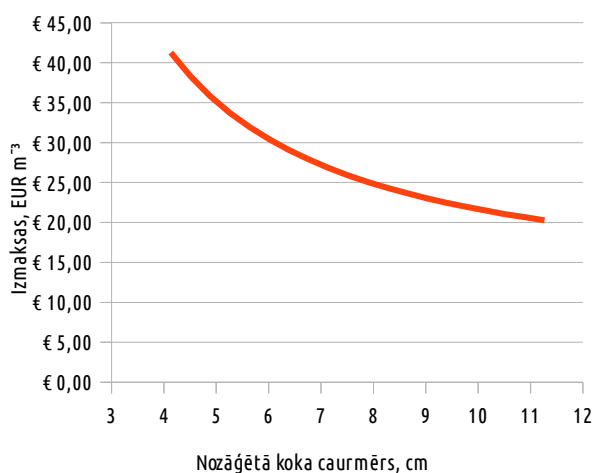
Rādītājs	Harvesters	Pievedējtraktors	Kokvedējs	Biomassas smalcinātājs	Šķeldu vedējs	Sīkkoku transports	Kopā
Biokurināmā sagatavošanas izmaksas, EUR ha⁻¹:							
sīkkoku scenārijs	€ 545	€ 95				€ 227	€ 868
šķeldu scenārijs	€ 545	€ 95		€ 164	€ 192		€ 997

Jutīguma analīze

Kopšana ar ķēdes zāģi ar rokturi

Biokurināmā sagatavošanas sistēmas jutīguma analīzes grafikos Att. 38 redzams, ka lielāko ietekmi uz pašizmaksu rada vidējā izzāgējamā koka caurmēra izmaiņas; samazinoties vidējam nozāgējamā koka caurmēram par 45 %, kokmateriālu sagatavošanas izmaksas palielinās vairāk

nekā 2 reizes; turpretim, vidējā nozāgējamā koka caurmēram palielinoties par 50 %, kokmateriālu sagatavošanas izmaksas samazinās par 48 %. Būtisks rādītājs ir arī pievedējtraktora kravas tilpnes izmantošanas efektivitāte; pievedot sīkkokus, tā samazinās proporcionāli pievedamo kociņu caurmēram. Tas pats notiek arī sīkkoku piegādes laikā (Kalēja *et al.*, 2014a). Tāpēc, zāgējot tievākus kociņus, veidojas kumulatīvs izmaksu pieauguma efekts, vispirms samazinoties darba ražīgumam zāgēšanas laikā, tad pievedot kokmateriālus un, ja patērētājam piegādā sīkkokus nevis šķeldas, arī izvešanas laikā.



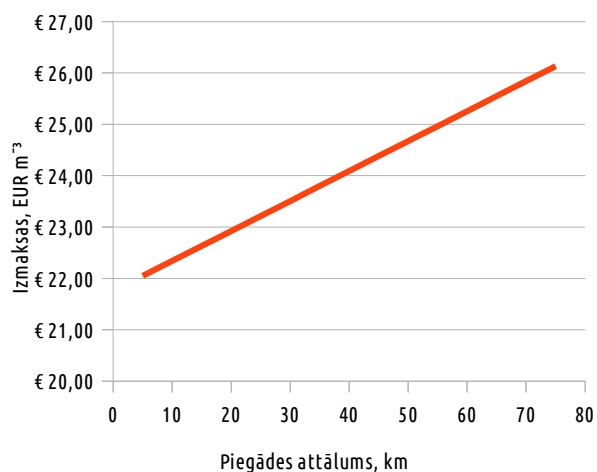
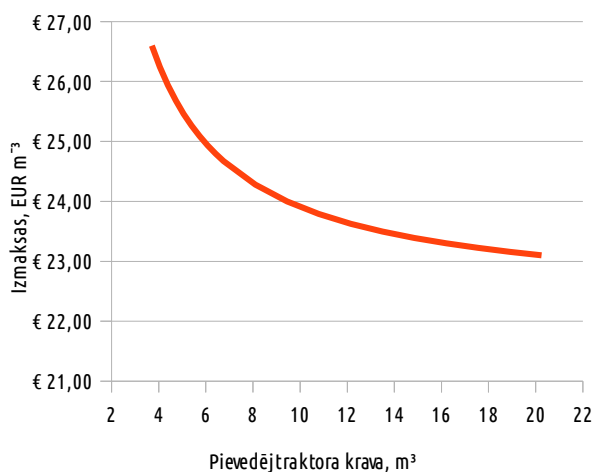
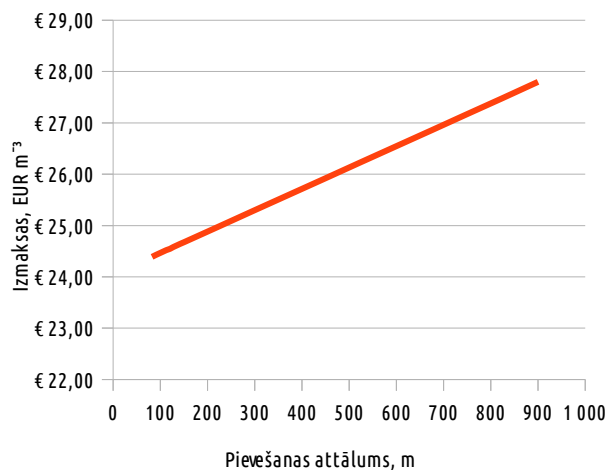
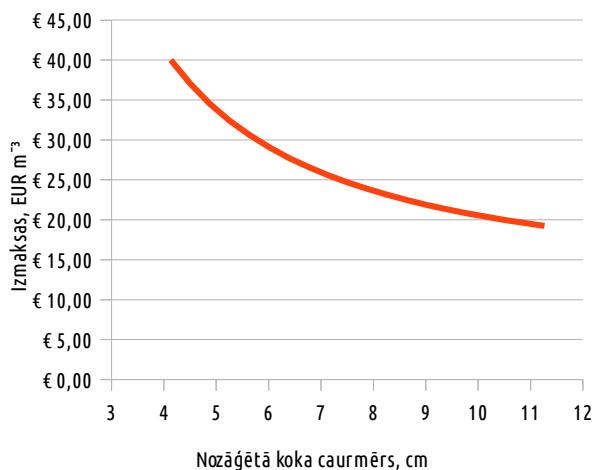
Att. 38: Jutīguma analīze šķeldu scenārijā.

Pašgājēju smalcinātāju pielietošana jaunaudžu kopšanā ir tehniskais risinājums, kas vismaz daļēji ļauj izvairīties no izmaksu pieauguma pievešanas un izvešanas laikā, zāgējot mazus (caurmērs 4-6 cm) kociņus. Šāda veida iekārtu izmantošanai nepieciešami tehnoloģisko koridori un noturīga augsne, jo pašgājēji smalcinātāji ir smagi. Mazās kociņu dimensijas ļauj

samazināt izmantojamo iekārtu jaudu un, attiecīgi, arī izmaksas, taču samazina arī iekārtu pielietošanas iespējas. Latvijā, kā arī citās Baltijas un Ziemeļeiropas valstīs, pēdējos gados nav veikti pētījumi par pašgājēju smalcinātāju izmantošanu meža darbos, pieņemot, ka tehnoloģija nav perspektīva sakarā ar iekārtu dārdzību un ierobežotajām pielietošanas iespējām (Lazdiņš *et al.*, 2012).

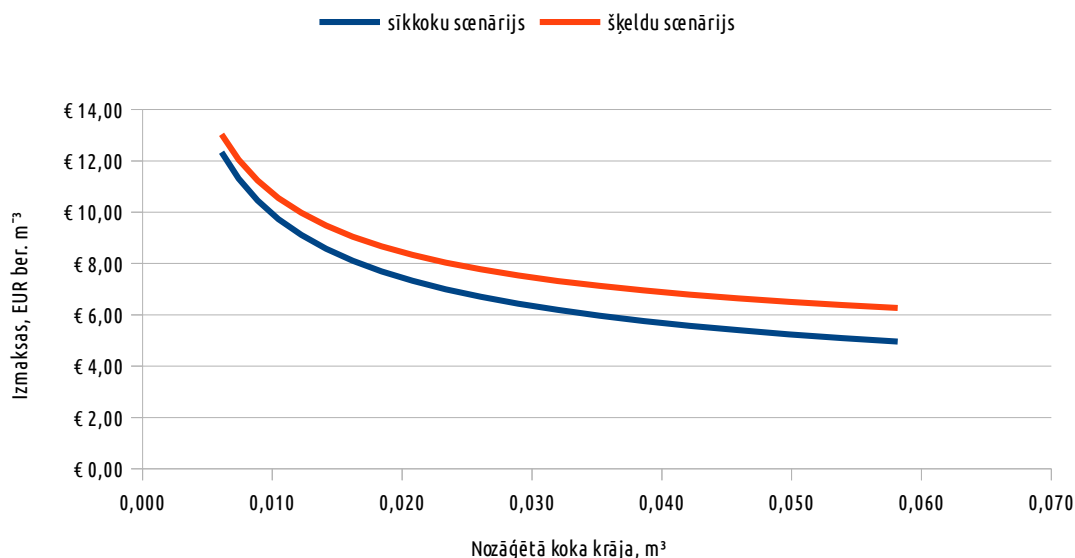
Jaunaudžu kopšana ar meža tīrīšanas zāģi

Arī, veicot kopšanu ar meža tīrīšanas zāģi, lielāko ietekmi uz šķeldu pašizmaksu rada vidējā izzāģējamā koka caurmērs; samazinoties vidējam nozāģējamā koka caurmēram par 45 %, kokmateriālu sagatavošanas izmaksas palielinās 2,2 reizes; turpretim, vidējā nozāģējamā koka caurmēram palielinoties par 50 %, kokmateriālu sagatavošanas izmaksas samazinās par 38 % (Att. 39). Būtiska ietekme ir arī pārējiem jutīguma analīzē ietvertajiem faktoriem (pievešanas attālums, pievedējtraktora kravas lielums un kokmateriālu piegādes attālums).



Att. 39: Jutīguma analīze šķeldu scenārijā.

Zāgējamo koku dimensiju samazināšanās vai pieauguma ietekme uz biokurināmā izmaksām būtiski neatšķiras, veicot kopšanu ar ķēdes zāģi vai meža tīrīšanas zāģi. Arī, salīdzinot sīkkoku un šķeldu piegādes scenāriju, atšķirība nav būtiska (Att. 40, piemērs ar meža tīrīšanas zāģi), taču būtisku ietekmi var radīt, piemēram, pašgājēju smalcinātāju izmantošana pievedejtraktora vietā. Jutīguma analīzē nav vērtēta kokvedēja kravas samazināšanās, vedot tievākus kociņus, tāpēc praksē izmaksu pieaugums, samazinoties zāgējamo kociņu caurmēram, sīkkoku piegādes scenārijā būs straujāks, nekā šķeldu piegādes scenārijā.



Att. 40: Nozāgētā koka tilpuma ietekme uz šķeldu pašizmaksu abos scenārijos.

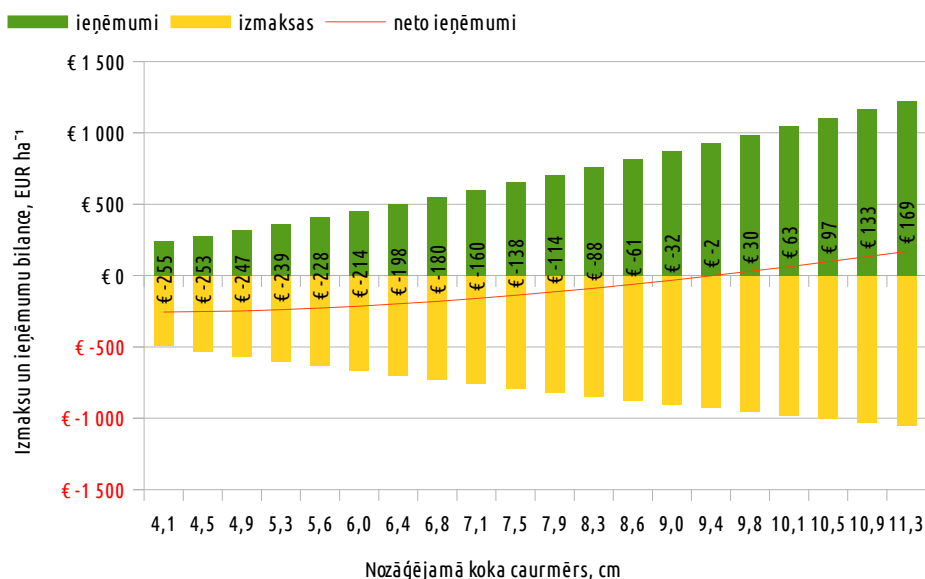
Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums

Jaunaudžu kopšana ar ķēdes zāģi ar rokturi

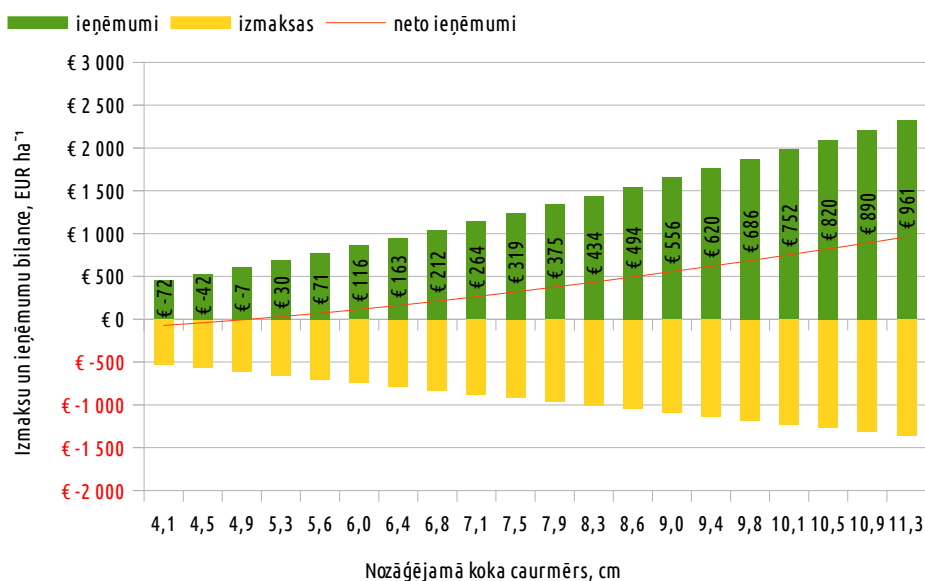
Izmaksu un ieņēmumu analīzē izdarītie pieņēmumi par kokmateriālu cenu un procentuālo sadalījumu dots Att. 45. Šķeldu cena pieņemta 10 EUR ber. m⁻³. Sīkkoku cena ar piegādi pieņemta 16,20 EUR m⁻³. Biokurināmā pašizmaksas aprēķinā nav ietvertas kopšanas izmaksas atbilstoši vidējam izcenojumam jaunaudžu kopšanā (Lazdiņa *et al.*, 2012).

Neto ieņēmumi no sašķeldota materiāla piegādes patērētājam ir lielāki, nekā no sīkkoku piegādes (Att. 41 un Att. 42). Atbilstoši faktiskajiem rādītājiem pētījumā izkoptajās audzēs (vidējais nozāgētā koka caurmērs 7,5 cm), neto ieņēmumi sīkkoku piegādes scenārijā ir negatīvi (-138 EUR ha⁻¹), t.i. kopšana veikta ar zaudējumiem, bet šķeldu piegādes scenārijā neto ieņēmumi ir 319 EUR ha⁻¹. Sīkkoku sagatavošanas scenārijā ieņēmumu un izdevumu starpība ir pozitīva tikai tādā gadījumā, ja vidējais nozāgējamā koka caurmērs ir vismaz 10 cm. Neto ieņēmumi sīkkoku un šķeldu sagatavošanas scenārijā izlīdzinās, ja sīkkoku cena pieaug līdz 27,5 EUR m⁻³.

Šķeldu piegādes scenārijā biokurināmā sagatavošana atmaksājas tad, ja vidējā nozāgējamā koka caurmērs ir vismaz 5,6 cm (vidējā audzes koka caurmērs pirms kopšanas 8,7 cm). Aprēķinā nav ietverts izmaksu pieaugums sakarā ar pievedējtraktora kravas apjoma samazināšanos. Izmaksu pieaugums pievešanas laikā, zāģējot mazākus kociņus, norāda uz nepieciešamību atteikties no koku pārzāģēšanas kopšanas laikā, nepieciešamības gadījumā garākos kokus pārkniebnot vai pārzāģējot ar pievedējtraktora kausu. Šāda darba metode ļaus palielināt kravas apjomu, taču faktiskā darba metodes pilnveidošanas ietekme jānovērtē eksperimentāli.



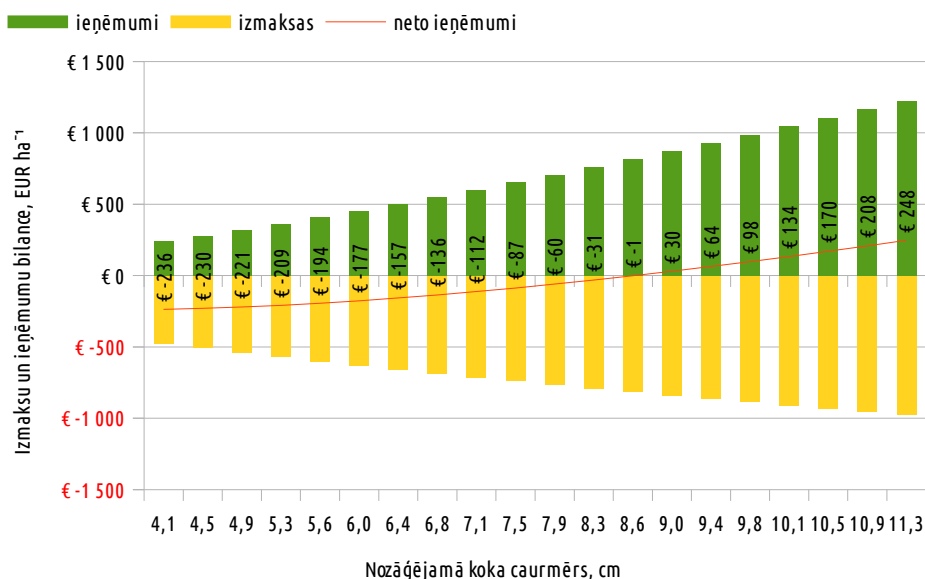
Att. 41: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums daļēji atzarotu sīkkoku piegādes scenārijā.



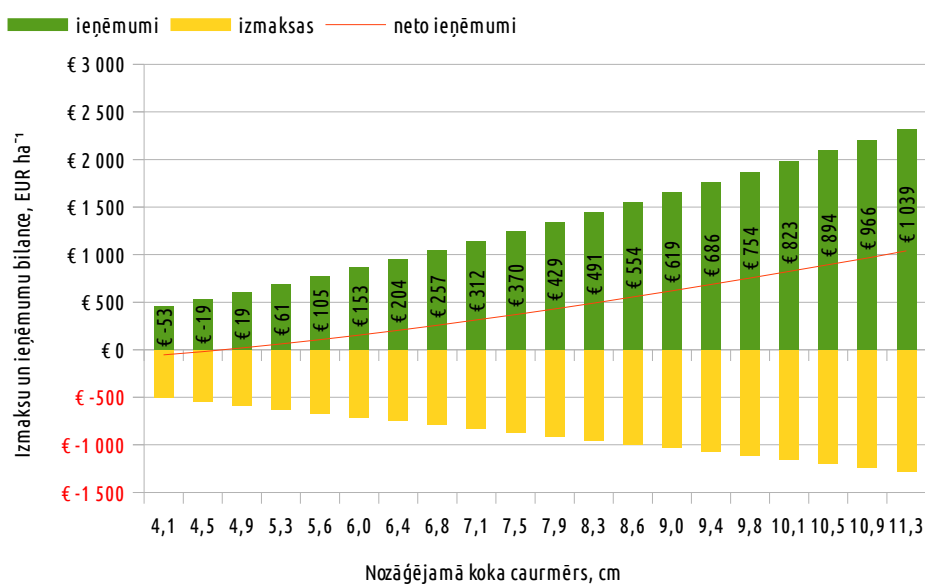
Att. 42: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums daļēji šķeldu piegādes scenārijā.

Jaunaudžu kopšana ar meža tīrīšanas zāģi

Atbilstoši faktiskajiem rādītājiem pētījumā izkoptajās audzēs (vidējais nozāgētā koka caurmērs 7,5 cm), neto ieņēmumi sīkkoku piegādes scenārijā ir negatīvi (-87 EUR ha⁻¹), bet šķeldu piegādes scenārijā ieņēmumu un izdevumu attiecība ir pozitīva – 370 EUR ha⁻¹ (Att. 43 un Att. 44). Minimālais nozāgējamo koku caurmēram jābūt vismaz 9,4 cm, lai daļēji atzarotu sīkkoku piegāžu scenārijs nodrošinātu pozitīvu naudas plūsmu, bet šķeldu piegādes scenārijā pozitīvu naudas plūsmu var nodrošināt arī vidēji 5 cm resnu koku zāģēšana (vidējā koka caurmērs pirms kopšanas 8,4 cm).

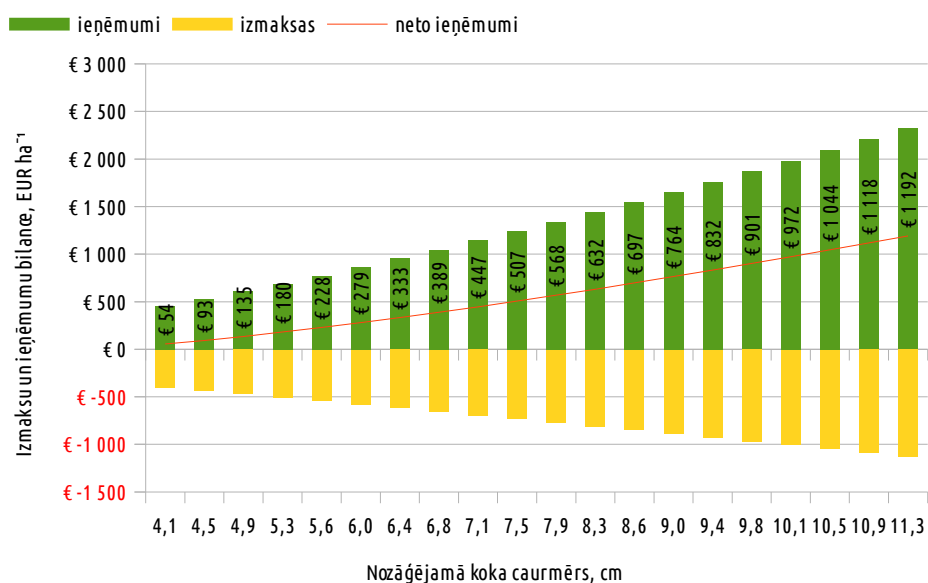


Att. 43: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums daļēji atzarotu sīkkoku piegādes scenārijā.



Att. 44: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums daļēji šķeldu piegādes scenārijā.

Informācija par mežsaimniecībā nodarbināto atalgojumu lielākajos (vairāk par 50 nodarbinātajiem) un mazākajos uzņēmumos, kas pieejama Centrālās statistikas pārvaldes datu bāzēs, būtiski atšķiras. Ja biokurināmā sagatavošanas izmaksas rēķina pēc mazo uzņēmumu iesniegtajām atalgojuma likmēm (vidēji 4 EUR stundā pirms nodokļu nomaksas), biokurināmā sagatavošana ar rokas motorinstrumentiem ir izdevīga pat tad, ja vidējā nozāgētā koka caurmērs ir 4,1 cm (vidējā koka caurmērs audzē pirms kopšanas ir 7,5 cm (Att. 45).



Att. 45: Ieņēmumu un izdevumu salīdzinājums dažādi šķeldu piegādes scenārijā, samazinot atalgojuma likmi līdz 4 EUR stundā.

2015. gada sākumā LVMI Silava veica Vimek harvestera 404 T5 un pievedējtraktora 610 darba ražīguma novērtēšanas izmēģinājumus Zviedrijā (Lazdiņš *et al.*, 2015). Pētījumā noskaidrots, ka, zāgējot vidēji 7,3 cm resnus kokus, neto ieņēmumi šķeldu piegādes scenārijā ir 482 EUR ha⁻¹, bet biokurināmā pašizmaksa – 7,0 EUR ber. m⁻³. Veicot jaunaudžu kopšanu ar rokas remontinstrumentiem, biokurināmā pašizmaksa līdzīgos darba apstākļos saskaņā ar šī pētījuma rezultātiem ir 8,0-8,5 EUR ber. m⁻³. Izmēģinājumos ar John Deere 1070 harvesteru, kas aprīkots ar paketējošo griezējgalvu, konstatēts, ka, vidējā nozāgējamā koka caurmēram samazinoties līdz 7,5 cm, skujkoku audzēs šķeldu pašizmaksa pieaug līdz 12,7 EUR ber. m⁻³ (Kalēja *et al.*, 2014b). Ar citām mežizstrādes mašīnām iegūtie rādītāji ir sliktāki.

SECINĀJUMI UN IETEIKUMI PRAKSEI

1. Biokurināmā sagatavošana skujkoku jaunaudžu kopšanas cirtēs ar rokas motorinstrumentiem nodrošina pietiekoši lielu darba ražīgumu, lai biokurināmā realizācija nosegtu ražošanas izmaksas un nodrošinātu nelielu peļņu meža īpašniekam, ja audzes vidējā koka caurmērs pirms kopšanas ir vismaz 8 cm. Izdevīgākais un patreiz arī vienīgais tehniski īstenojamais biokurināmā piegāžu paņēmieni ir šķeldošana augšgala krautuvē un gatava biokurināmā piegāde patērētājam; attiecīgi, sagatavoto materiālu var izmantot apkurē un industriālo granulu ražošanai, bet tas nav piemērots premium granulu ražošanai.
2. Vislielāko darba ražīgumu jaunaudžu kopšanas cirtē var panākt, izmantojot ķēdes zāģi, kas nav aprīkots ar augstiem rokturiem, kā arī ar meža tīrīšanas zāģi. Ķēdes zāģa ar augstiem rokturiem darba ražīgumu samazina būtiski lielāks darba laika patēriņš koku pārzāģēšanai, attiecīgi, atteikšanās no šīs darba operācijas var būtiski paaugstināt ķēdes zāģa ar augstiem rokturiem darba ražīgumu. Atteikšanās no koku pārzāģēšanas uzlabos arī meža tīrīšanas zāģa un ķēdes zāģa bez rokturiem darba ražīgumu, taču ietekme būtu mazāka. Lai koku pārzāģēšana nebūtu nepieciešama, pievešanā ir jāizmanto pievedējtraktors, kura kauss aprīkots ar kniebšanas mehānismu garāko koku saīsināšanai. Pievedējtraktoram jābūt aprīkotam arī ar koku pacelšanas funkciju, lai nozāģētos kokus ieceltu kravā vertikālā stāvoklī.
3. Būtisku darba ražīguma palielinājumu, gatavojot biokurināmo ar ķēdes zāģi vai meža tīrīšanas zāģi var panākt, izvairoties no mazāko kociņu (pameža) zāģēšanas, ja tie netraucē valdaudzes koku attīstībai. Tieši tāpat kā mašinizētās kopšanas izmēģinājumos, lielākā daļa izmēģinājumos ar rokas motorinstrumentiem nozāģēto koku ir tievāki par 8,1 cm, un strādnieki patērē 50 % darba laika, lai sagatavotu 29 % no kopējā biokurināmā apjoma. Tipiska problēma, kas izriet no tradicionāliem priekšstatiem par kopšanas kvalitāti un kas jārisina caur apmācību, ir pameža nozāģēšana uz tehnoloģiskajiem koridoriem, lai gan uz koridoriem augošie kociņi netraucē ne pievedējtraktoram, ne arī valdaudzes koku attīstībai.
4. Pieaugot zāģējamo koku dimensijām, visstraujāk palielinās darba laika patēriņš koku nozāģēšanai un pārzāģēšanai, tāpēc straujš, gandrīz dubults, darba ražīguma pieaugums novēlotās jaunaudžu kopšanas cirtēs iespējams, atsakoties no koku pārzāģēšanas, nepieciešamības gadījumā veicot šo darbu ar pievedējtraktoru. Darba metodes pilnveidošanas ietekme uz pievedējtraktora darba ražīgumu, kā arī piemērotākais mehānisms garāko koku pārkniebšanai jāizvēlas eksperimentālā ceļā, salīdzinot dažādu ražotāju izstrādājumus.
5. Biokurināmā sagatavošanas darba ražīgumu būtiski neietekmē attālums starp tehnoloģiskajiem koridoriem un zāģējamo koku suga, lai gan resnāku lapkoku nozāģēšanai patērē vairāk laika, nekā resnākiem skujkokiem. Nepastāv būtiska atšķirība darba ražīgumā, veicot jaunaudžu kopšanas cirtes savlaicīgi vai novēloti, lai gan lielākas koku dimensijas novēlotās kopšanas cirtēs nosaka vidēji lielāku darba ražīgumu, nekā savlaicīgā jaunaudžu kopšanā.
6. Biokurināmā sagatavošanas darba ražīgumu būtiski ietekmē strādnieku pieredze un izmantotās darba metodes. Efektīvāko strādnieku darba ražīgums ir vairākas reizes lielāks par mazāk ražīgo darbinieku sniegumu. Strādnieks ar vislabākajiem darba ražīgumu rādītājiem nozāģētos kokus nesa kaudzē, cenšoties izvairīties no zemē nogāšanas darba operācijas, līdz ar to ietaupot laiku, kas patērējams, lai no guļus stāvokļa kokus paceltu un pārvietotu uz kokmateriālu kaudzīti. Šāda pieeja prasa labu darba plānošanu, domājot "vairākus gājienus uz priekšu", lai automatizētu nozāģējamo koku izvēli un gāšanas virzienu, kā arī samazinātu pameža zāģēšanas nepieciešamību.

7. Biokurināmā sagatavošanas darba ražīgumu būtiski ietekmē arī darba apstākļi – labāki darba ražīguma rādītāji ir silā; savukārt, jaunaudzēs uz auglīgākām augsnēm darba ražīgumu samazina pameža zāgēšana un darba laika patēriņa pieaugums koku gāšanai un pārzāgēšanai, kas saistīts ar mazo kociņu un valdaudzes koku palielinātā vainaga projektīvā seguma traucējošo ietekmi.
8. Kopšanas kvalitāte, veicot biokurināmā sagatavošanu ar rokas motorinstrumentiem, ir būtiski labāka, nekā Latvijā veiktajos mašinizētās kopšanas izmēģinājumos; pēc kopšanas ar motorinstrumentiem nav konstatēts neviens bojāts koks. Arī koku izvietojums starp tehnoloģiskajiem koridoriem ir vienmērīgs, taču 2 izkopto joslu saskares vietās raksturīgs mazāks koku skaits, jo strādnieks faktiski izkopj šo platību 2 reizes.
9. Tehnoloģisko koridoru tīkla sabiezināšana sekmē pārbiezinātas audzes veidošanos pēc kopšanas, jo strādnieki pieņem, ka izkoptajās joslās jāatstāj tehnoloģisko koridoru platībai proporcionālie lielāks koku skaits, t.i. ja tehnoloģiskie koridori aizņem 20 % mežaudzes platības, izkoptajās joslās atstāj par 20 % vairāk koku. Darbu izpildītājiem un kvalitātes vērtētājiem jāvienojas, ka šāda pieeja ir nepareiza un tehnoloģisko koridoru platība jāizslēdz no audzes biezuma aprēķina.
10. Alternatīvs risinājums kopējā paliekošo koku skaita palielināšanai un kopšanas kvalitātes uzlabošanai ir atteikšanās no tehnoloģisko koridoru ierīkošanas jaunaudžu un zemākas bonitātes audzēs, iespējams, arī 1. krājas kopšanas cirtē, izmantojot mazgabarīta tehniku, kam pietiek ar līdz 2,5 m platiem ceļiem. Šādas darba metodes ieviešanai praksē, tajā skaitā kvalitātes un darba ražīguma standartu izstrādāšanai, nepieciešami empīriski dati, kas raksturo dažādus augšanas apstākļus, koku sugas, zāgējamo koku dimensijas un darba metodes. Metodiskās bāzes izstrādāšanai jaunaudžu kopšanas cirtēm, neierīkojot tehnoloģiskos koridorus, jākļūst par vienu no turpmāko pētījumu prioritātēm, tajā skaitā jāizstrādā rekomendācijas pievedējtraktoru, kas aprīkoti ar kniebējgalvu, izmantošanai kokmateriālu pievešanā pēc izstrādes ar rokas motorinstrumentiem.
11. Biokurināmā piegāžu sistēmas analīze parāda, ka, veicot biokurināmā sagatavošanu ar rokas motorinstrumentiem, jāizmanto pievedējtraktors, kas pamatdarbā strādā krājas kopšanas vai galvenajā cirtē, jo mežizstrādes ar rokas motorinstrumentiem darba ražīgums ir vairākus 10 reižu mazāks, nekā pievedējtraktora darba ražīgums. Alternatīvs risinājums ir mazgabarīta pievedējtraktora, kas var strādāt arī harvardera režīmā, izmantošana biokurināmā pievešanai no audzēm, kas izkoptas ar rokas motorinstrumentiem. Harvarders var veikt kopšanu vietās, kur darbs ar rokas motorinstrumentiem ir apgrūtināts, piemēram, tur, kur aug garāki koki vai arī kopšanu apgrūtina biezs pamežs.
12. Pētījums pierāda, ka roku darbs, neskatoties uz salīdzinoši nelielām sākotnējām investīcijām, nav būtiski lētāks par mašinizēto kopšanu. Salīdzinot ar Zviedrijā iegūtiem datiem, kopšanas cirtē izmantojot Vimek 404 T5 harvesteru, ar rokas motorinstrumentiem sagatavotais biokurināmais izrādījies dārgāks. Bet, salīdzinot ar Latvijā veiktajiem mašinizētās jaunaudžu kopšanas cirsu izmēģinājumiem, biokurināmā sagatavošana ar rokas motorinstrumentiem ir būtiski lētāka. Ņemot vērā darba ražīguma palielināšanas potenciālu, atsakoties no koku pārzāgēšanas un pameža zāgēšanas, kā arī augsto darbu izpildes kvalitāti, biokurināmā sagatavošana ar rokas motorinstrumentiem (ķēdes zāģi ar augstiem rokturiem vai pilnveidotu meža tīrīšanas zāģi) rekomendējama ieviešanai ražošanas praksē kā viena no metodēm biokurināmā sagatavošanai jaunaudžu kopšanas cirtēs.

LITERATŪRA

1. Calvo, A., Manzone, M. & Spinelli, R. (2013). Long Term Repair and Maintenance Cost of some Professional Chainsaws. *Croat. j. for. eng.* 34(2013)(2), 265–272.
2. Kalēja, S., Brencis, M. & Lazdiņš, A. (2014a). *Apaļo kokmateriālu un šķeldu piegādes ražīguma salīdzinājums jaunaudžu kopšanā*. Salaspils. (Atjaunojamo energoresursu produktu ražošanas, pārstrādes un loģistikas rūpnieciskais pētījums; 2014/02).
3. Kalēja, S., Zimelis, A., Prindulis, U. & Lazdiņš, A. (2014b). *Tehnoloģisko koridoru izvietojuma blīvuma novērtēšana savlaicīgā un novēlotā jaunaudžu kopšanā*. Salaspils.
4. Lazdiņa, D., Lazdiņš, A., Zimelis, A. & Lazdāns, V. (2012). Productivity of tending depending on intensity of overgrowth. *Proceedings of OSCAR 2012*, Riga, 2012. pp 134–136. Riga: LSFRI Silava.
5. Lazdiņš, A., Lazdāns, V. & Zimelis, A. (2012). *Enerģētiskās koksnes sagatavošanas tehnoloģijas kopšanas cirtēs, galvenās izmantošanas cirtēs un meža infrastruktūras objektos*. Salaspils. (Atjaunojamo energoresursu produktu ražošanas, pārstrādes un loģistikas rūpnieciskais pētījums; 3. 5.5-5.1-000p-101-12-8).
6. Lazdiņš, A., Liepiņš, K., Lazdiņa, D., Jansons, Ā., Bārdule, A. & Lupiķis, A. (2013). *Mežsaimniecisko darbību ietekmes uz siltumnīcefekta gāzu emisijām un CO₂ piesaisti novērtējums (pārskats par 2013. gada darba uzdevumu izpildi)*. Salaspils. (5.5-5.1/001Y/110/08/8).
7. Lazdiņš, A., Zariņš, J., Daugaviete, M., Lazdiņa, D., Liepiņš, J., Nartiša, M., Liepiņš, K. & Miezīte, O. (2007). *Kritēriju izstrāde dabiski apmežojušos lauksaimniecības zemju efektīvai apsaimniekošanai (Pārskats par Meža attīstības fonda pasūtītā pētījuma izpildi)*.
8. Lazdiņš, A., Zimelis, A., Prindulis, U. & Kalēja, S. (2015). *Vimek harvestera 404 T5 un pievedējtraktora 610 ražīgums jaunaudžu kopšanā Zviedrijā*. Salaspils. (2015/09).
9. Liepa, I. (1996). *Pieauguma mācība*. Jelgava: LLU.

1. Pielikums: Darba ražīguma rādītāju kopsavilkums

Tab. 24: Sugas ietekme uz darba ražīgumu, m^{-3} produktīvā darba laika stundā

Caurmērs, cm	Egle	Lapkoks	Priede
2	0,134		0,119
3	0,227	0,321	0,308
4	0,347	0,381	0,452
5	0,672	0,466	0,623
6	0,779	0,877	0,849
7	0,918	0,733	0,875
8	1,338	1,021	1,190
9	1,126	1,411	1,282
10	1,395	1,286	1,345
11	1,072	1,834	1,527
12	2,020	1,445	1,751
13	2,004	2,335	1,850
14	2,095	2,062	1,921
15	2,138	2,172	2,332
16	3,213	3,339	3,139
17	1,839	1,761	2,449
18	2,383	1,260	2,783
19	1,999		3,233
20	2,308	2,687	3,546
21	2,824		3,755
22			3,534
23	8,560		4,682
24			5,295
25	4,313		1,653
27	3,491		

Tab. 25: Attāluma starp tehnoloģiskajiem koridoriem ietekme uz darba ražīgumu, m^{-3} produktīvā darba laika stundā

Caurmērs, cm	15 m	20 m	18 m
2	0,076	0,132	
3		0,322	0,018
4	0,303	0,454	0,446
5	0,533	0,646	0,381
6	0,643	0,934	0,702
7	0,797	0,932	0,481
8	1,099	1,295	0,934
9	1,137	1,475	0,695
10	1,313	1,500	0,901
11	1,193	1,601	1,252
12	1,731	1,773	1,858
13	1,576	2,223	2,030
14	2,075	2,242	0,982

Caurmērs, cm	15 m	20 m	18 m
15	1,938	2,650	2,610
16	2,385	3,671	2,798
17	1,909	2,861	1,725
18	3,420	2,331	2,178
19	1,842	3,523	
20	2,743	7,035	2,860
21		3,432	
22	5,024		2,218
23	5,319	4,181	8,560
24	5,295		
25	2,390		
27	3,491		

Tab. 26: Dažādu strādnieku sniegums, m³ produktīvā darba laika stundā

Caurmērs, cm	1	2	3	4	5	6	7	8
2				0,225				0,176
3				0,290			0,018	0,383
4	0,219	0,272	0,333	0,578	0,381	0,493	0,450	0,350
5		0,315	0,714	0,603	0,486	0,618	0,470	0,609
6	0,519	0,723	0,624	0,898	0,488	0,809	0,635	0,856
7	1,114	0,620	0,607	1,490	0,641	1,382	0,609	1,025
8	0,197	0,932	1,765	1,290	0,876	1,303	1,137	1,139
9	2,044	1,497	1,071	1,804	0,989	4,170	0,784	1,287
10	3,466	0,844	1,281	1,832	1,251	5,447	0,957	1,666
11		1,517	1,075	2,207	1,698	1,843	1,509	1,403
12		1,912	2,082	1,696	1,463	3,958	1,826	1,837
13	2,890	1,871	2,164	2,768	1,099		1,939	1,748
14		3,110	1,921	2,788	2,129		1,127	2,017
15		1,762	4,095	3,271	3,073	2,110	2,562	1,620
16		3,054		5,286	2,094		3,133	1,787
17		1,109	2,184	5,144	1,446		1,717	2,365
18			2,027	3,491	1,715		3,476	2,399
19				8,319				1,842
20					2,442		3,537	2,155
21								2,824
22			1,823				4,349	
23							6,561	
24							5,295	
25					1,653			4,313
27							3,491	

Tab. 27: Meža tipa ietekme uz darba ražīgumu, m³ produktīvā darba laika stundā

Caurmērs, cm	As	Dm	Sl
2	0,255	0,032	0,204

Caurmērs, cm	As	Dm	Sl
3	0,344		0,300
4	0,386	0,329	0,517
5	0,631	0,598	0,620
6	0,750	0,615	1,059
7	0,818	0,651	1,071
8	1,218	0,883	1,386
9	1,206	1,007	1,832
10	1,264	1,081	1,660
11	1,699	1,298	1,709
12	1,902	1,447	1,936
13	2,008	1,613	2,218
14	2,280	1,414	3,645
15	2,422	1,862	3,474
16	2,950	2,457	4,266
17	1,583	1,939	5,783
18	6,235	2,780	2,090
19		2,399	6,755
20	4,233	2,322	7,035
21		2,779	4,117
22	5,024	2,218	
23	5,319		4,181
24	5,295		
25	1,653		

Tab. 28: Instrumenta ietekme uz darba ražīgumu, m⁻³ produktīvā darba laika stundā

Caurmērs, cm	Husqvarna 535FBX	Ķēdes zāģis ar augstiem rokturiem	Ķēdes zāģis bez augstiem rokturiem
2		0,194	0,053
3		0,286	0,542
4	0,546	0,412	0,520
5	0,594	0,602	0,706
6	1,219	0,790	0,923
7	0,539	0,939	0,759
8	1,783	1,177	1,130
9	1,862	1,238	1,275
10	2,120	1,365	1,144
11	0,865	1,535	1,339
12	1,761	1,819	1,584
13	1,165	1,949	1,927
14	1,979	1,962	1,975
15	3,470	2,299	2,065
16	3,243	3,125	3,201
17	6,075	2,145	2,153
18	0,933	2,893	3,812

Caurmērs, cm	Husqvarna 535FBX	Ķēdes zāģis ar augstiem rokturiem	Ķēdes zāģis bez augstiem rokturiem
19	5,686	2,288	2,671
20	6,846	2,761	7,236
21	4,117	2,824	2,779
22		3,534	
23	4,181	6,561	
24		5,295	
25		2,390	
27		3,491	

Tab. 29: Cirtes veida ietekme uz darba ražīgumu, m³ produktīvā darba laika stundā

Caurmērs, cm	Savlaicīga jaunaudžu kopšana	Novēlota kopšana
2	0,239	0,045
3	0,322	0,018
4	0,444	0,304
5	0,627	0,556
6	0,871	0,682
7	0,940	0,650
8	1,287	0,987
9	1,382	1,036
10	1,469	1,140
11	1,729	1,178
12	1,910	1,575
13	2,174	1,706
14	2,565	1,528
15	2,847	1,742
16	3,937	2,634
17	2,910	1,898
18	2,664	2,455
19	6,755	2,181
20	4,429	2,318
21	3,572	2,779
22	5,024	2,218
23	4,682	8,560
24	5,295	
25	1,653	4,313
27	3,491	

Tab. 30: Darba laika patēriņa struktūras, biomasas un darba apstākļu raksturojums

Caurmērs, cm	Efektīvais laiks	Koku skaits	Vidējais nogriežņu skaits	Kopējā krāja	Iekārušos koku īpatsvars	Tiešais darba laiks, koki produktīvā darba stundā
2	0%	0%	1,222	0%	11%	121
3	2%	5%	1,006	1%	1%	113
4	10%	18%	1,085	3%	4%	75

Caurmērs, cm	Efektīvais laiks	Koku skaits	Vidējais nogriežņu skaits	Kopējā krāja	Iekārušos koku īpatsvars	Tiešais darba laiks, koki produktīvā darba stundā
5	9%	13%	1,294	4%	6%	71
6	8%	12%	1,618	5%	13%	61
7	11%	11%	1,842	7%	14%	43
8	9%	9%	2,171	8%	18%	44
9	8%	6%	2,378	7%	26%	35
10	9%	6%	2,587	9%	29%	30
11	6%	4%	2,820	7%	27%	26
12	7%	4%	2,677	10%	25%	26
13	5%	3%	3,018	7%	28%	23
14	4%	2%	3,124	7%	28%	21
15	3%	2%	3,333	6%	23%	21
16	1%	1%	3,179	3%	32%	24
17	2%	1%	3,560	3%	20%	14
18	2%	1%	3,424	4%	39%	15
19	1%	0%	3,625	1%	13%	13
20	1%	0%	3,353	3%	29%	15
21	1%	0%	4,143	1%	29%	15
22	0%	0%	2,833	1%	33%	13
23	0%	0%	3,667	1%	0%	19
24	0%	0%	2,000	0%	50%	17
25	0%	0%	5,000	1%	50%	7
27	0%	0%	5,000	0%	0%	8

Tab. 31: Darba laika patēriņa struktūra 1 koka apstrādei, sekundes

Caurmērs, cm	zāģē	nogāž koku	pārzāģē	krauj čupā	pameža zāģēšana	cits
2	3,5	4,9	1,8	3,2	6,2	1,1
3	2,2	0,6	0,3	2,8	10,3	2,6
4	2,9	2,6	0,5	4,3	16,0	2,6
5	4,0	4,4	2,5	6,6	12,6	2,3
6	5,5	6,2	4,8	7,5	9,6	3,2
7	7,3	8,3	7,7	14,8	15,0	3,9
8	10,4	10,6	11,6	15,6	10,8	3,0
9	11,3	12,3	13,7	18,4	13,8	4,7
10	13,5	13,2	16,2	19,4	13,8	7,3
11	14,4	14,0	21,2	26,8	14,7	3,1
12	19,3	15,6	23,6	24,7	11,6	6,5
13	21,0	16,8	29,4	28,4	11,6	5,0
14	23,9	23,0	31,0	32,8	14,4	11,0
15	23,8	23,1	35,2	32,2	12,8	7,6
16	27,8	24,3	31,5	24,3	6,7	7,9
17	38,3	26,3	67,2	60,4	8,3	13,0
18	41,8	31,9	44,2	63,6	9,4	9,4

Caurmērs, cm	zāģē	nogāž koku	pārzāģē	krauj čupā	pameža zāģēšana	cits
19	38,8	14,3	62,9	36,8	11,9	16,9
20	30,6	16,7	65,4	31,8	16,5	26,6
21	44,1	17,7	73,6	25,8	4,2	30,2
22	32,4	53,7	35,7	68,2	38,6	14,0
23	48,4	6,2	29,0	9,2	53,4	21,4
24	29,4	46,8	26,1	19,5	64,2	0,0
25	52,8	95,4	182,1	137,1	24,9	12,0
27	186,0	4,2	147,0	22,8	16,2	28,2

Tab. 32: Audžu taksācijas rādītāji atsevišķos tehnoloģiskajos koridosos

Kods	Koridors	D, cm	H, m	Valdaudzes koku H, m	Koku attālums līdz centram, m	Koku skaits, gab. ha ⁻¹	Valdaudzes koku skaits, gab. ha ⁻¹	G, m ² ha ⁻¹	Stumbra biomasa, tonnas ha ⁻¹	Vidējā koka biomasa, kg	Krāja, m ³ ha ⁻¹	Vidējā koka krāja, m ³	Attālums starp koridoriem, m
21-4-22	1	7,60	11,74	12,32	3,37	950	763	12	37	39	75	0,08	10
21-4-22	2	7,90	12,07	12,69	3,17	988	763	11	33	34	75	0,08	10
21-4-22	3	11,80	11,92	12,56	4,41	983	775	13	37	38	86	0,09	15
21-4-22	4	14,60	11,96	12,36	5,14	1 014	861	14	43	43	94	0,09	18
21-4-22	5	16,20	11,22	11,91	5,61	1 013	756	13	42	42	83	0,08	20
21-6-16	1	13,20	8,09	9,20	5,33	1 100	600	6	15	14	31	0,03	20
21-6-16	2	14,00	9,29	10,28	5,49	1 167	825	8	24	21	45	0,04	20
21-6-16	3	12,00	8,34	9,14	5,34	1 000	667	7	18	18	34	0,03	20
21-6-16	4	24,40	8,34	9,67	5,32	1 017	592	7	19	18	35	0,03	20
21-6-16	5	15,30	9,22	10,28	4,53	1 020	707	8	22	22	41	0,04	15
21-6-16	6	16,80	9,06	9,97	4,33	1 120	800	9	26	23	46	0,04	15
21-6-16	7	16,60	9,61	10,41	4,33	1 107	860	10	32	29	55	0,05	15
21-6-16	8	14,00	8,87	9,58	4,39	933	687	8	21	23	43	0,05	15
506-32-25	1	4,10	7,69	8,74	5,58	1 025	575	7	19	19	35	0,03	20
506-32-25	2	4,40	8,88	9,01	5,30	1 100	1 025	13	38	34	64	0,06	20
506-32-25	3	10,90	7,42	9,24	5,31	1 363	713	10	30	22	51	0,04	20
506-32-25	4	7,40	8,68	9,13	5,90	925	788	10	31	34	53	0,06	20
506-32-25	5	15,40	8,02	9,02	5,76	1 283	875	11	32	25	56	0,04	20
506-32-25	6	13,80	8,33	8,91	5,89	1 150	892	10	28	24	52	0,04	20
506-32-25	7	7,90	8,72	8,98	5,42	988	863	10	30	30	53	0,05	20
506-32-25	8	6,50	8,66	9,08	5,57	813	700	9	27	33	45	0,06	20
506-32-25	9	7,50	8,51	8,75	4,92	938	825	9	24	25	44	0,05	20
506-32-25	10	8,00	7,75	8,86	5,94	1 000	625	7	20	20	37	0,04	20

Kods	Koridors	D, cm	H, m	Valdaudzes koku H, m	Koku attālums līdz centram, m	Koku skaits, gab. ha ⁻¹	Valdaudzes koku skaits, gab. ha ⁻¹	G, m ² ha ⁻¹	Stumbra biomasa, tonnas ha ⁻¹	Vidējā koka biomasa,kg	Krāja, m ³ ha ⁻¹	Vidējā koka krāja, m ³	Attālums starp koridoriem, m
506-32-25	11	7,70	8,28	8,82	5,60	963	775	8	23	24	42	0,04	20
506-32-25	12	5,00	8,18	8,69	5,19	1 250	975	10	24	19	48	0,04	20
506-32-25	13	5,20	8,61	8,88	5,48	1 300	1 125	13	35	27	64	0,05	20