

# PĀRSKATS

PAR AS "LATVIJAS VALSTS MEŽI" PASŪTĪTĀ PĒTĪJUMA IZPILDI

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: ATJAUNOJAMO ENERGORESURSU PRODUKTU RAŽOŠANAS,  
PĀRSTRĀDES UN LOĢISTIKAS RŪPNIECISKAIS PĒTĪJUMS

ENERĢĒTISKĀS KOKSNES SAGATAVOŠANAS  
TEHNOLOĢIJAS KOPŠANAS CIRTĒS, GALVENĀS  
IZMANTOŠANAS CIRTĒS UN MEŽA INFRASTRUKTŪRAS  
OBJEKTOS

LĪGUMA NR.: 3. 5.5-5.1-000p-101-12-8

IZPILDES LAIKS: 01.04.2012. - 31.07.2012. - 2. REDAKCIJA

IZPILDĪTĀJS: LATVIJAS VALSTS MEŽZINĀTNES INSTITŪTS "SILAVA"



PROJEKTA VADĪTĀJS:

A. Lazdiņš

## Kopsavilkums

Pētījuma uzdevums ir, izmantojot literatūras datus, salīdzināt biokurināmā sagatavošanas tehnoloģijas kopšanas cirtēs, galvenās izmantošanas cirtēs un meža infrastruktūras objektos, kā arī noteikt Latvijas apstākļiem optimālāko, t.i., ekonomiski pamatotāko un vidi saudzējošāko sagatavošanas tehnoloģiju un piegādes modeli katram cirtes veidam.

Sagaidāmais pētījuma nodevums ir pilns ražošanas procesa raksturojums dažādām biokurināmā sagatavošanas tehnoloģijām un to kombinācijām sadalījumā pa resursu avotiem (galvenā cirte, meža infrastruktūras objektu apaugums, kopšanas cirtes) un veidiem (mežizstrādes atliekas, celmi, sīkkoki), balstoties uz literatūras datiem; tehnoloģiju saraksts prioritārā secībā atbilstoši ekonomiskajiem, mežsaimnieciskajiem, ekoloģiskajiem, ietekmes uz vidi un tehniskajiem (pielietojšanas iespēju) kritērijiem; identificētas perspektīvākās tehnoloģijas.

Tehnoloģisko procesu vērtēšanai izraudzīta 5 baļļu sistēma, katram no procesiem aprēķinot vidējo aritmētisko no visu attiecīgajā procesā iesaistīto operāciju vidējā vērtējuma. Visām operācijām vidējā vērtējumā ir vienāda nozīme, taču katra operācija, piemēram, pievešana, vērtēta individuāli katram cirtes veidam, ņemot vērā tā specifiku. Katras operācijas vērtējums veidots no 2-3 ekspertu neatkarīga subjektīva vērtējuma, kā aritmētiskais vidējais.

**Jaunaudzēs visi augstāko vērtējumu ieguvušie, attiecīgi, saskaņā ar ekspertu vērtējumu Latvijas apstākļiem piemērotākie, biokurināmā piegāžu tehnoloģiskie procesi** ietver daļēji atzarotu sīkkoku piegādi patērētājam, kas Latvijā valsts mežos pašlaik netiek praktizēta. Visaugstāko vērtējumu ieguva roku darbs – tehnoloģiskie procesi, kas sākas ar jaunaudžu kopšanu ar motorzāģi ar augstiem rokturiem. Būtiskākais šīs pagaidām lētākās tehnoloģijas trūkums ir darbaspēka pieejamības samazināšanās, kā rezultātā kļūst arvien grūtāk piesaistīt darbu izpildei pietiekoši kvalificētus, apmācītus strādniekus. No mehanizētās izstrādes iekārtām augstu vērtējumu izstrādes operācijā ieguvis harvesters ar standarta griezējgalvu ar akumulējošiem satvērējiem, kā arī ekskavators ar teleskopisku harvestera strēli un harvestera griezējgalvu. Vērtējot ekskavatoru izmantošanas iespējas jaunaudzēs, jāņem vērā to lielie gabarīti, kas var radīt saglabājamo koku bojājumu skaita pieaugumu. Tāpat, jānoskaidro ekskavatoru īpašnieku vēlme sniegt mežizstrādes pakalpojumus un gatavība investēt papildus aprīkojumā un operatoru apmācībā. Zemāko vērtējumu, tāpat kā citos cirtes veidos, jaunaudžu kopšanā ieguva šķeldošana cirsmā, kas ir dominējošā tehnoloģija Centrāleiropā (pārsvārā plantācijās), bet netiek izmantota Ziemeļvalstīs. Būtisks šķērslis biokurināmā ražošanas uzsākšanai jaunaudzēs ir piemērotas tehnikas un aprīkojuma trūkums un operatoru nesagatavotība.

**Pētījumu prioritātes biokurināmā piegāžu no jaunaudzēm** efektivitātes paaugstināšanai ir biokurināmā resursi un to pieejamība, kā arī izdevumu un ienākumu attiecība dažādās jaunaudzēs, atkarībā no koku taksācijas rādītājiem; meža kopšanas režīms adaptēšana biokurināmā iegūšanas veicināšanai; optimāls tehnoloģisko koridoru izvietojums dažāda vecuma un koku sugu audzēs; biokurināmā sagatavošanas ietekme uz turpmāko mežaudžu attīstību; tehnoloģiskie risinājumi, kas nepieciešami, lai uzlabotu esošās darba metodes un ieviestu praksē adaptētas mežsaimniecības metodes.

**Arī krājas kopšanā Latvijas apstākļiem piemērotākie biokurināmā piegāžu tehnoloģiskie procesi** ietver daļēji atzarotu sīkkoku sagatavošanu. Visaugstāko ekspertu vērtējumu ieguva tehnoloģiskie procesi, kas sākas ar mežaudžu kopšanu ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu vai motorzāģi. Augstu vērtējumu ieguvusi pievešana ar meža pievedējtraktoru uz kāpurķēdēm, kas ir salīdzinoši dārga tehnoloģija, bet nodrošina minimālu iespējamo kaitējumu videi. Mežizstrādes atlieku biokurināmā sagatavošanas vērtējums atpaliek no daļēji atzaroto sīkkoku piegādes vērtējuma. Visaugstāko vērtējumu ieguvusi mežizstrādes atlieku vākšana ar rokām un harvesteru vai ekskavatoru ar standarta griezējgalvu, pievedot atliekas ar meža

pievedējtraktoriem uz riteņu vai kāpurķēžu bāzes un šķeldas pie patērētāja nogādājot ar konteineru sistēmām.

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

**Kailcirtē, kā Latvijas apstākļiem piemērotākie, identificēti tehnoloģiskie procesi,** kas sākas ar izstrādi ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu. Šī tehnoloģija piemērota lapkoku, galvenokārt, baltalkšņa audžu izstrādei. Roku darbs ieguvis zemāku vērtējumu, nekā mehanizētā izstrāde. Pētījuma rezultāti liecina, ka izstrādes efektivitāte lapkoku audzēs nav atkarīga no bāzes mašīnām dažādās ražošanas operācijās, bet gan no resursu īpašībām, t.i. priekšrocības ir biokurināmā sagatavošanai lapkoku audzēs ar lielu standarta sortimentu sagatavošanai nepiemēroto koku īpatsvaru, kā arī zemas bonitātes audzēs. LVM valdījumā šādu audžu nav daudz, tāpēc mazkustīgākas tehnikas (ekskavatoru) izmantošanas priekšrocības var mazināt lielākas izmaksas tehnikas pārvadāšanas izmaksu pieaugums. Salīdzinot dažādus mežizstrādes atlieku biokurināmā piegādes variantus kailcirtēs, augstāko vērtējumu ieguvuši tehnoloģiskie procesi, kas saistīti ar mežizstrādes atlieku saiņošanu cirmsmā. Būtiskākais šīs tehnoloģijas trūkums ir tehnoloģiskā procesa atkarība no saiņotāja operatora kvalifikācijas.

**Pētījumu prioritātes biokurināmā ieguves kailcirtēs efektivitātes paaugstināšanai** ir meža biokurināmā iegūšanas ietekme uz meža atjaunošanas kvalitāti un darba ražīgumu; lēmuma pieņemšanas instrumenti biokurināmā sagatavošanas metodes izvēlei, kā arī harvestera un pievedējtraktora informācijas sistēmu integrēšana, lai, balstoties uz harvestera darba datnēm, novērtētu resursu apjomu izvietojumu un kvalitatīvos rādītājus un saplānotu pievedējtraktora darbu; centralizētas smalcināšanas sistēmas analīze un biokurināmā starpkrautuvju ierīkošanas ekonomisko, organizatorisko un tehnisko jautājumu izpēte; mežizstrādes atlieku kurināmā kvalitātes uzlabošanas iespēju analīze un kvalitātes novērtēšanas un prognozēšanas sistēmas izveide; mežizstrādes atlieku izvākšanas ietekme uz vidi (augu barības elementu apriti, oglekļa mineralizāciju u.c.); pelnu izmantošana meža mēslošanā; tehnisko risinājumu un darba metožu izstrādāšana saiņošanas darba ražīguma palielināšanai un kritisko operatoru apmācības momentu identificēšana un integrēšana mācību materiālos.

Latvijas apstākļiem piemērotākais celmu izstrādes tehnoloģiskais process paredz vienlaicīgu celmu izstrādi un augsnes sagatavošanu meža atjaunošanai ar celmu izstrādes kausiem ar augsnes sagatavošanas agregātu, celmu pievešanu uz augšgala krautuvi ar pievedējtraktoru ar paplašinātu kravas tilpni un divpakāpju smalcināšanu, transportējot rupji sadrupinātus celmus ar konteineravedēju. Divpakāpju smalcināšanas praktiskās īstenošanas iespējas Latvijā ir jāizvērtē eksperimentāli, jo šāds risinājums vēl nav ieviests praksē nevienā Eiropas valstī.

**Prioritārās pētījumu jomas meža biokurināmā ieguves veicināšanai no celmiem** ir mežkopības, meža atjaunošanas un mežizstrādes darbu integrācija un tehnikas operatoru mežsaimnieciska izglītošana; dažādu celmu smalcināšanas variantu adaptēšana prognozējamam stāvoklim biokurināmā tirgū Latvijā; Latvijas apstākļiem pielāgotas konteineru sistēmas ar kompaktizēšanas mehānismu un dažādām izkraušanas iespējām izstrādāšana; kvalitātes standartu un tehnisko prasību celmu biokurināmā sagatavošanai un vienlaicīgai augsnes sagatavošanai izstrādāšanai, kā arī izstrādes normu izveidošana celmu biokurināmā sagatavošanai.

**Latvijas apstākļiem piemērotāko tehnoloģisko procesu starpprodukts grāvju trašu apaugumā** ir daļēji atzaroti sīkkoki. Vienādu vērtējumu ieguvusi izstrāde ar motorzāģi

un harvesteru. Augstāks vērtējums ir kombinētās izstrādes tehnoloģijām, kas atzītas par perspektīvākajām arī Zviedrijā. Grāvju trašu apauguma izstrādē lielu ietekmi uz tehnoloģiju izvēli atstās apauguma novākšanas kvalitātes prasības; ja harvesteri nespēs nodrošināt atbilstošu mežizstrādes atlieku savākšanas kvalitāti, priekšplānā izvirzīsies veselu koku izstrādes tehnoloģijas vai kombinētās izstrādes tehnoloģijas, apvienojot mehanizēto izstrādi ar roku darbu atlieku savākšanā.

**Prioritārās pētījumu jomas meža biokurināmā ieguves veicināšanai no grāvjiem** ir apauguma raksturošanas metodes, tajā skaitā lēmuma pieņemšanas atbalsta instrumentu izveide tehnoloģiju un darba metožu izvēlei; aprēķinu datu ieguve caurmēra sadalījuma vienādojumu izstrādāšanai un citu grāvju apaugumu raksturojošo rādītāju noteikšanai, atkarībā no meža tipa, apauguma vecuma un robežjošos mežaudžu taksācijas rādītājiem; praksē izmantojamo izstrādes tehnoloģiju un to kombināciju efektivitātes paaugstināšanas risinājumi; jaunu tehnoloģiju testēšana.

Projekta laiks 01.04.2012. - 31.07.2012. Projekta izpildītāji ir Andis Lazdiņš, Agris Zimelis, Valentīns Lazdāns. Projekts īstenots Latvijas Valsts mežzinātnes institūtā "Silava".

# Saturs

<b>Kopsavilkums.....</b>	<b>2</b>
<b>Saturs.....</b>	<b>4</b>
<b>Metodika.....</b>	<b>8</b>
<b>Tehnoloģiju analīze.....</b>	<b>10</b>
Biokurināmā sagatavošana jaunaudzēs.....	10
Izstrādes tehnoloģijas.....	13
Biokurināmā sagatavošana ar harvesteru.....	13
Harvesters ar akumulējošo kniebējgalvu.....	13
Harvesteri ar griezējgalvām.....	14
Standarta harvestera griezējgalvas.....	16
Sīkkoku izstrāde ar harvarderu un pievedējtraktoru.....	18
Sīkkoku izstrāde ar pārbūvētu ekskavatoru.....	19
Šķeldotāji uz harvardera vai pievedējtraktora bāzes.....	23
Sīkkoku saiņošana cīsmā.....	24
Roku darbs jaunaudžu kopšanā.....	26
Krūmgriezis.....	26
Motorzāģis.....	27
Kopsavilkums par izstrādes tehnoloģijām.....	28
Pievešanas tehnoloģijas.....	31
Veselu sīkkoku pievešana.....	31
Meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu.....	31
Meža pievedējtraktori uz buldozera šasijas.....	33
Pievedējtraktors uz lauksaimniecības traktora bāzes.....	34
Daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu pievešana.....	35
Ar meža pievedējtraktoru.....	36
Sīkkoku pievešana ar harvarderu.....	36
Ar pievedējtraktoru uz lauksaimniecības traktora bāzes.....	36
Šķeldu pievešana.....	37
Kopsavilkums par pievešanas tehnoloģijām.....	38
Biomases uzglabāšana augšgala krautuvē.....	41
Biomases smalcināšanas tehnoloģijas.....	45
Biomases smalcināšana cīsmā.....	45
Biomases šķeldošana augšgala krautuvē vai pie patērētāja.....	45
Biomases smalcināšana pie ar lieljaudas drupinātājiem.....	46
Kopsavilkums par smalcināšanas tehnoloģijām.....	48
Biomases piegāde patērētājam.....	50
Šķeldu piegāde.....	50
Konteineru sistēma.....	50
Šķeldu pārvadāšana puspiekabēs.....	50
Konteineri ar hidraulisko grīdu.....	51
Sīkkoku un saiņu transports.....	52
Kopsavilkums par transportēšanas tehnoloģijām.....	53
Mazgabarīta tehnika jaunaudžu kopšanā.....	55
Jaunaudžu kopšana, gatavojot biokurināmo un apaļkoksnes sortimentus.....	56
Biokurināmā sagatavošanas darba operāciju jaunaudzēs analīzes rezultāti.....	57
Biokurināmā sagatavošanas tehnoloģijas krājas kopšanas cirtēs.....	59
Mežizstrādes atlieku un sīkkoku izstrādes tehnoloģijas.....	60
Krājas kopšana ar motorzāģi.....	61
Krājas kopšana ar harvesteru vai harvarderu.....	61
Kopsavilkums par izstrādes tehnoloģijām krājas kopšanas cirtēs.....	64
Pievešanas tehnoloģijas.....	66
Mežizstrādes atlieku pievešana.....	66
Ar meža pievedējtraktoru.....	67
Ar harvarderu.....	67
Ar pievedējtraktoru uz lauksaimniecības traktora bāzes.....	67
Kopsavilkums par pievešanas tehnoloģijām.....	67
Biomases uzglabāšana.....	69

<i>Biomasa smalcināšana.....</i>	<i>72</i>
<i>Biokurināmā piegāde patērētājam.....</i>	<i>74</i>
<i>Kopsavilkums par biokurināmā sagatavošanu krājas kopšanā.....</i>	<i>76</i>
<i>Celmu izstrāde krājas kopšanas cirtēs.....</i>	<i>78</i>
<b>Biokurināmā sagatavošanas tehnoloģijas kailcirtēs.....</b>	<b>79</b>
<i>Mežizstrādes atlieku un pameža koksnes izstrādāšana.....</i>	<i>81</i>
<i>Izstrādes tehnoloģijas.....</i>	<i>81</i>
Ar rokas motorinstrumentiem.....	81
Mehanizētā izstrāde.....	82
Kopsavilkums par izstrādes tehnoloģijām.....	85
<i>Biomasa pievešanas tehnoloģijas.....</i>	<i>89</i>
<i>Biomasa uzglabāšana.....</i>	<i>89</i>
<i>Biomasa smalcināšana.....</i>	<i>89</i>
<i>Biomasa piegāde patērētājam.....</i>	<i>90</i>
<i>Kopsavilkums par biokurināmā sagatavošanu kailcirtē.....</i>	<i>93</i>
<i>Biokurināmā sagatavošana kailcirtēs no celmiem.....</i>	<i>96</i>
<i>Celmu izstrādes tehnoloģijas.....</i>	<i>100</i>
<i>Celmu pievešanas tehnoloģijas.....</i>	<i>111</i>
<i>Biomasa uzglabāšana.....</i>	<i>115</i>
<i>Celmu biomasa smalcināšana.....</i>	<i>115</i>
<i>Celmu biomasa piegāde patērētājam.....</i>	<i>118</i>
<i>Kopsavilkums par biokurināmā sagatavošanu no celmiem kailcirtēs.....</i>	<i>120</i>
<b>Biomasas ieguve no meža infrastruktūras objektiem - grāvju trasēm.....</b>	<b>122</b>
<i>Izstrādes tehnoloģijas.....</i>	<i>125</i>
<i>Apauguma novākšana ar motorzāģi.....</i>	<i>125</i>
<i>Apauguma novākšana ar harvesteru.....</i>	<i>126</i>
Grāvju trašu apauguma izstrāde ar harvesteru.....	126
Izstrāde ar pievedējtraktoru vai harvarderu.....	127
Izstrāde ar pārbūvētu ekskavatoru.....	128
<i>Kombinētās izstrādes tehnoloģijas.....</i>	<i>128</i>
Šķeldotājs uz harvardera vai pievedējtraktora bāzes.....	130
<i>Kopsavilkums par biokurināmā sagatavošanu grāvju trašu apaugumā.....</i>	<i>130</i>
<i>Pievešanas tehnoloģijas.....</i>	<i>132</i>
<i>Biomasa uzglabāšana augšgala krautuvē.....</i>	<i>132</i>
<i>Biomasa smalcināšana.....</i>	<i>132</i>
<i>Biomasa piegāde patērētājam.....</i>	<i>132</i>
<i>Biokurināmā sagatavošanas grāvju trašu apaugumā tehnoloģisko procesu analīzes rezultāti.....</i>	<i>135</i>
<b>Secinājumi un ieteikumi pētījumu programmas pilnveidošanai.....</b>	<b>137</b>
<b>Izmantotā literatūra.....</b>	<b>139</b>

## Tabulas

1. Tabula: Biokurināmā tehnoloģiju salīdzināšanas kopsavilkuma tabula.....	30
2. Tabula: Pievešanas tehnoloģiju salīdzināšanas kopsavilkuma tabula.....	40
3. Tabula: Biokurināmā uzglabāšanas tehnoloģiju salīdzināšanas kopsavilkuma tabula.....	44
4. Tabula: Dažādu drupinātāju un šķeldotāju salīdzinājums (Skogforsk, 2011).....	48
5. Tabula: Biokurināmā smalcināšanas tehnoloģiju salīdzināšanas kopsavilkuma tabula.....	49
6. Tabula: Biokurināmā piegādes alternatīvu salīdzināšanas kopsavilkuma tabula.....	54
7. Tabula: Augstāko vērtējumu ieguvušie tehnoloģiskie procesi.....	58
8. Tabula: Izcērtamo koku skaita sadalījums % pa caurmēra pakāpēm retināšanas un skrajcirtes vecuma audzēs.....	62
9. Tabula: Biokurināmā sagatavošanas tehnoloģiju salīdzinošs vērtējums krājas kopšanas cirtēs.....	65
10. Tabula: Biokurināmā pievešanas tehnoloģiju salīdzinošs vērtējums krājas kopšanas cirtēs.....	68
11. Tabula: Biokurināmā uzglabāšanas tehnoloģiju salīdzinošs vērtējums krājas kopšanas cirtēs.....	71
12. Tabula: Biokurināmā smalcināšanas tehnoloģiju salīdzinošs vērtējums krājas kopšanas cirtēs.....	73
13. Tabula: Biokurināmā transporta tehnoloģiju salīdzinošs vērtējums krājas kopšanas cirtēs.....	75
14. Tabula: Augstāko vērtējumu ieguvušie tehnoloģiskie procesi.....	76
15. Tabula: Augstāko vērtējumu ieguvušie mežizstrādes atlieku pārstrādes tehnoloģiskie procesi.....	77
16. Tabula: Biokurināmā sagatavošanas tehnoloģiju vērtējums kailcirtēs.....	87
17. Tabula: Biokurināmā saiņošanas vērtējums kailcirtēs.....	88
18. Tabula: Biomasas pievešanas tehnoloģiju vērtējums kailcirtēs.....	91
19. Tabula: Biomasas uzglabāšana augšgala krautuvē.....	91
20. Tabula: Biokurināmā smalcināšanas tehnoloģiju vērtējums kailcirtēs.....	92
21. Tabula: Biokurināmā transporta tehnoloģiju vērtējums kailcirtēs.....	92
22. Tabula: Augstāko vērtējumu ieguvušie tehnoloģiskie procesi.....	93
23. Tabula: Augstāko vērtējumu ieguvušie mežizstrādes atlieku pārstrādes tehnoloģiskie procesi.....	94
24. Tabula: Atsevišķu celmu raušanas kausu raksturojums (Skogforsk, 2011; Lazdiņš, 2012).....	104
25. Tabula: Celmu biokurināmā sagatavošanas tehnoloģiju vērtējums kailcirtēs.....	110
26. Tabula: Celmu pievešanas tehnoloģiju vērtējums kailcirtēs.....	114
27. Tabula: Celmu smalcināšanai piemēroto drupinātāju salīdzinājums (Skogforsk, 2011).....	116
28. Tabula: Biokurināmā smalcināšanas tehnoloģiju vērtējums kailcirtēs.....	117
29. Tabula: Celmu biomasas transporta tehnoloģiju vērtējums kailcirtēs.....	119
30. Tabula: Augstāko vērtējumu ieguvušie tehnoloģiskie procesi.....	120
31. Tabula: Grāvju apaugums biokurināmā ieguvei (Thor, Iwarsson-Wide, et al., 2008).....	122
32. Tabula: Biokurināmā sagatavošanas un piegāžu tiešās izmaksas (Ls ber. m3, Lazdiņš and Thor, 2009).....	122
33. Tabula: Grāvju apauguma raksturojums (Lazdāns et al., 2008b).....	124
34. Tabula: Biomasas un koku skaits izmēģinājumiem atlasītajos grāvjos (Lazdiņš et al., 2012).....	129
35. Tabula: Biokurināmā sagatavošanas tehnoloģiju salīdzinošs vērtējums grāvju trašu apaugumā.....	131
36. Tabula: Biokurināmā pievešanas tehnoloģiju salīdzinošs vērtējums grāvju trašu apaugumā.....	133
37. Tabula: Biokurināmā uzglabāšanas tehnoloģiju salīdzinošs vērtējums grāvju trašu apaugumā.....	133
38. Tabula: Biokurināmā smalcināšanas tehnoloģiju salīdzinošs vērtējums grāvju trašu apaugumā.....	133
39. Tabula: Biokurināmā ceļu transporta alternatīvu salīdzināšanas kopsavilkuma tabula.....	134
40. Tabula: Augstāko vērtējumu ieguvušie tehnoloģiskie procesi.....	135

## Attēli

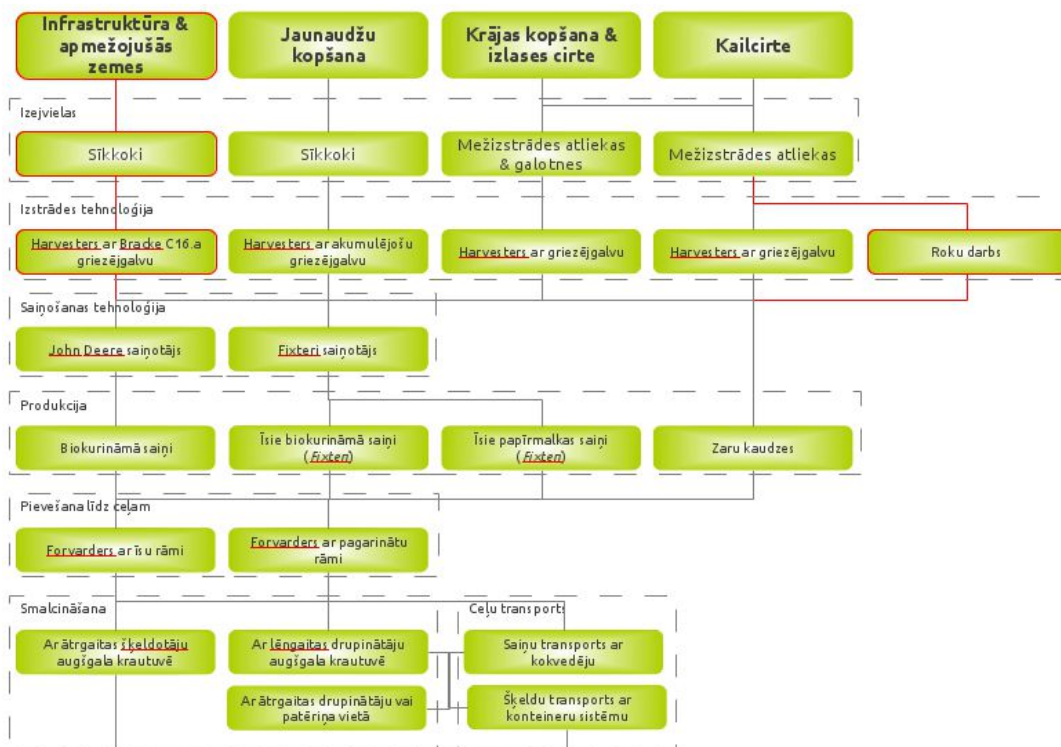
Att. 1 Tehnoloģisko procesu shēmas piemērs.....	8
Att. 2 Vienas tonnas sausnes iegūšanai nepieciešams koku skaits (Nordfjell, 2012).....	11
Att. 3 "Strēles koridoru" shematiskās kopšanas tehnoloģiskā shēma (Bergström et al., 2010).....	12
Att. 4 Biokurināmā sagatavošanas shēma jaunaudžu kopšanā.....	13
Att. 5 Akumulējošā kniebējgalva Naarva Grip 1500-25E.....	14
Att. 6 Bracke C16.b akumulējošā griezējgalva.....	15
Att. 7 Tigercat griezējgalva, modelis 2000.....	16
Att. 8 LogMax 4000 griezējgalva.....	16
Att. 9 Griezējgalva Silvatec GS350.....	17
Att. 10 Mehānisms biomasas ieguvei (Bergström, 2009).....	17
Att. 11 Ar kniebējgalvu aprīkots Ponsse Buffalo pievedējtraktors.....	18
Att. 12 Logman 811C harvaders.....	19
Att. 13 Kreisajā pusē John Deere 753J, labajā pusē John Deere 759J harvesters.....	20
Att. 14 Mežizstrādei pielāgots JCB8147 ekskavators.....	21
Att. 15 Mežizstrādei pielāgots New Holland E215B ekskavators.....	21
Att. 16 ProSilva harvesters uz buldozera šasijas.....	22
Att. 17 Valmet 801 Combi Bioenergy šķeldotājs.....	24
Att. 18 Harvesters – saiņotājs Fixteri uz ekskavatora bāzes.....	24
Att. 19 Fixteri sagatavotie sikkoku saiņi.....	25
Att. 20 Ar krūmgriezi nozāģēti un koridoru malās savilkti sikkoki.....	26

Att. 21 Motorzāģis ar augstajiem rokturiem.....	27
Att. 22 Dažādas izstrādes tehnoloģijas un to galaprodukti.....	29
Att. 23 Ponsse Gazelle pievedējtraktors.....	32
Att. 24 Ponsse 10W pievedējtraktors.....	33
Att. 25 ProSilva pievedējtraktors uz buldozera šasijas.....	34
Att. 26 Kokmateriālu pievešanai pielāgots Valtra traktors.....	35
Att. 27 Ford markas traktors, kas pielāgots sikkoku pievešanai.....	35
Att. 28 Neliels lauksaimniecības traktors ar aprīkojumu kokmateriālu pievešanai.....	37
Att. 29 Šķeldu konteineru pārbēršana.....	38
Att. 30 Dažādu materiālu krāvuma blīvums.....	38
Att. 31 „Cepures” izveidošana efektīvāka mitruma samazināšanai.....	42
Att. 32 Sikkoku kaudzes pārklāšana ar ūdensnecaurīdīgu papīru.....	43
Att. 33 Saiņu uzglabāšana mežā (kreisajā pusē) un pie patērētāja.....	43
Att. 34 Bruks 805 šķeldotājs.....	46
Att. 35 Ātrgaitas drupinātājs CBI Mabnum Force 6800.....	47
Att. 36 Lēngaitas drupinātājs Komptech Crambo 5000.....	47
Att. 37 Konteineru tipa šķeldas vedējs.....	50
Att. 38 Šķeldu vedējs ar puspiekabe.....	51
Att. 39 Konteiners ar kustīgu grīdu.....	52
Att. 40 Saiņu pievešana patērētājam.....	52
Att. 41 Mazgabarīta tehnika „dzelzs zirgs”.....	55
Att. 42 Pārbūvēts mazgabarīta lauksaimniecības traktors.....	55
Att. 43 Biokurināmā sagatavošanas shēma.....	56
Att. 44 LogMax 4000B griezējgalva.....	58
Att. 45 Par 11 cm tievāko koku īpatsvars atkarībā no vidējā koka caurmēra atbilstoši beta sadalījumam.....	60
Att. 46 Dažādas izstrādes tehnoloģijas un to galaprodukti krājas kopšanas cirtēs.....	64
Att. 47 Mežizstrādes atliekas lapkoku cīsmā pie augšgala krautuves.....	66
Att. 48 Mežizstrādes atlieku krautņu izvietošana.....	70
Att. 49 Sortimentu gatavošana un sikkoku vākšana un garumošana pārstrādei biokurināmajā baltalkšņā audzēs.....	80
Att. 50 Rottne H8 harvesters.....	83
Att. 51 John Deere biomasas saiņotājs.....	85
Att. 52 Dažādas izstrādes tehnoloģijas un to galaprodukti kailcirtēs.....	86
Att. 53: Celmu biomasu, salīdzinot ar pārējiem meža biokurināmā veidiem (Adamovičs et al., 2009).....	97
Att. 54: Darba laika patēriņa sadalījums celmu biokurināmā sagatavošanai un piegādei (Adamovičs et al., 2009).....	97
Att. 55: Celmu biokurināmā ražošanas izmaksu sadalījums (Lazdiņš et al., 2009).....	98
Att. 56: CO <sub>2</sub> emisiju sadalījums celmu biokurināmā ražošanas un piegāžu procesā (Lazdiņš and Von Hofsten, 2009).....	98
Att. 57: Celmu raušanas un pacīlu gatavošanas kauss MCR-500.....	99
Att. 58: Celmu raušanas kauss Biorex 30.....	102
Att. 59: Celmu raušanas kauss Biorex 4050.....	102
Att. 60: Celmu raušanas kauss ar augsnes gatavotāju.....	103
Att. 61 Krājas kopšanas cirtēm paredzēts celmu urbis.....	108
Att. 62 Celmu griezējs.....	108
Att. 63 Celmu pievešana ar nepārbūvētu pievedējtraktoru.....	112
Att. 64 Pievedējtraktors ar slēgtu aizmuguri.....	112
Att. 65 Pareizi veidota celmu kaudze.....	113
Att. 66 Celmu transportēšanas konteiners ar kompaktizētāju.....	118
Att. 67: Sikkoksnes un krūmu mulčētājs.....	123
Att. 68 Biokurināmā sagatavošanas shēma infrastruktūras apaugumā.....	125
Att. 69 Eksperimentāla sikkoku izstrādes griezējgalva.....	127
Att. 70 Dažādas izstrādes tehnoloģijas un to galaprodukti.....	130



## Metodika

Tehnoloģiju analīzes veikšanai vispirms veido principiālo shēmu, kurā ietverti visi ražošanas un piegādes etapi, izejvielas, starpprodukti un gala produkts. Tehnoloģiskā shēma, kas sākotnēji piedāvāta, kā projekta eksperimentālās daļas matrica, parādīta Att. 1.



Att. 1 Tehnoloģisko procesu shēmas piemērs.

Pēc dažādu tehnoloģisko procesu identificēšanas veic tehnoloģiju raksturojumu sadalījumā pa ražošanas operācijām, t.i. izstrāde (un saiņošana, ja paredzēta), pievešana, uzglabāšana (tajā skaitā žāvēšana augšgala krautuvē), smalcināšana, piegāde patērētājam (vai starpproduktu piegāde patērētājam ar sekojošu smalcināšanu). Ražošanas tehnoloģiju raksturojumā piemin, kāds starpprodukts vai galaprodukts tiek sagatavots.

Tehnoloģijām, kas dublējas dažādiem resursiem, piemēram, smalcināšanai un transportam pie patērētāja, raksturojumu gatavo tikai vienu reizi, bet turpmākajās nodaļās ievieto atsauces uz attiecīgo nodaļu.

Raksturojot izstrādes operāciju, apraksta, kādā veidā koki tiek nozāgāti un savākti cirmā. Ja pievešana, saiņošana vai smalcināšana notiek vienlaicīgi ar izstrādi, tad pie izstrādes vērtē visu procesu kopumā, piemēram, jaunaudžu kopšanu ar harvesteru, kam uzmontēts šķeldotājs un kas izved no cirmsas jau sasmalcinātu biokurināmo.

Tekstā katram tehnoloģiskajam procesam sagatavo aprakstu atbilstoši šādiem kritērijiem:

- ekonomiskais,
- mežsaimnieciskais,
- tehniskais,
- ietekmes uz vidi,
- ekoloģiskais vērtējums.

Tehnoloģiskos procesus iedala arī pēc galaprodukta – veseli sīkkoki, biokurināmā saiņi (šajā gadījumā jāpiemin, ka saiņus var sagatavot, šķirojot papīrmalkas un biokurināmā

sortimentus), daļēji atzaroti sīkkoki (arī te papildus var sagatavot sīkos sortimentus, daļēji atzarotas sīkkoku galotnes biokurināmajam un neatzarotas galotnes biokurināmajam, bet var arī visu sīkkoku laist biokurināmajā) vai šķeldas.

Tehnoloģiskā procesa raksturojumu sāk ar vispārīgu aprakstu – izmantojamā tehnika, darba metodes, vai pielieto Latvijā un Ziemeļvalstīs, turpmāko ražošanas operāciju īpatnības (vai ir vajadzīga speciāla tehnika pievešanā, kas atbilst, piemēram, saiņiem).

Ekonomiskajā vērtējumā raksturo, vai tehnoloģijai ir kādas priekšrocības, salīdzinot ar pārējām, kas ļauj samazināt ražošanas izmaksas, vai, tieši pretēji, ir būtiski trūkumi, kas palielina ražošanas izmaksas (piemēram, saiņošanas iekārtas rada būtiskas papildus izmaksas, tajā pat laikā neradot darba ražības pieaugumu, bet saiņošanas iekārta var atmaksāties, ja gatavo papīrmalkas un biokurināmā saiņus).

Mežsaimnieciskajā vērtējumā raksturo mežsaimnieciskās ietekmes, ko rada attiecīgā tehnoloģija, piemēram, vienlaidus pļaušana (biokurināmā sagatavošana koridoros) var būt ekonomiski izdevīga plantācijās, kopjot salīdzinoši nelielus kokus (līdz 6 m augstumā). Saskaņā ar Latvijas mežsaimniecības priekšstatiem kopšana jāveic pēc iespējas ātrāk, lai nodrošinātu, ka mežaudzes attīstība netiek kavēta. Atsevišķu koku zāģēšanas tehnoloģijas ir ekonomiski efektīvas, ja koku augstums ir 9 m vai vairāk, tāpēc šādu tehnoloģiju plaša ieviešana, nepārplānojot mežsaimniecisko darbību agrotehniskās kopšanas operācijā (nesamazinot koku skaitu savlaicīgi), var samazināt krājas pieaugumu Latvijas mežos. Attiecīgi atsevišķu koku izstrādes tehnoloģijas saistītas ar lielākiem (nepārbaudītiem) mežsaimnieciskiem riskiem. Pie mežsaimnieciskā raksturojuma ietver arī bojājumu risku, piemēram, saiņošanai un atzarotu koku pievešanai ir priekšrocības, salīdzinot ar neatzarotu veselu koku izstrādi, jo mazinās bojājumu risks pievešanas operācijā. Piemēram, šķeldošana cismā var būt saistīta ar slimību, piemēram trupes izplatīšanās risku.

Tehniskajā raksturojumā apraksta, kādas bāzes mašīnas izmantojamās attiecīgo iekārtu darbināšanai, kādu mašīnu pielietošana var uzlabot ekonomiskos rādītājus vai mazināt negatīvo mežsaimniecisko ietekmi, piemēram, jaunaudžu kopšanā visām tehnoloģijām negatīvo mežsaimniecisko ietekmi var mazināt, izmantojot tehniku uz kāpurķēdēm. Tehniskajā raksturojumā ietver arī galaproduktu vai starpprodukta aprakstu.

Ietekmes uz vidi raksturojumā koncentrējas uz iespējamo emisiju apjomu (vai tehnoloģijai nepieciešamas vidēji jaudīgākas iekārtas, nekā citām tehnoloģijām, attiecīgi, ir lielākas emisijas), spiedienu uz grunti un tā mazināšanas iespējām, kā arī ietekmi uz ūdeni (vairumā gadījumu nebūs aktuāls). Piemērs lielām emisijām ir harvesteru ar šķeldotājiem izmantošana cismās – lai darbinātu šķeldotāju, ir nepieciešams jaudīgs dzinējs, attiecīgi, būs liels degvielas patēriņš. Piemērs lielai ietekmei uz grunti ir harvarderi vai pievedējtraktori, kas krauj sīkkokus sev vezumā zāģēšanas brīdī – šīs iekārtas rada ilgstošu pastāvīgu ietekmi uz augsni, jo ilgāk nekā pievedējtraktors stāv vienā vietā ar kravu, attiecīgi augsnes sablīvēšanās risks ir lielāks.

Ekoloģiskajā vērtējumā ietver trokšņu līmeni (ar šķeldotāju aprīkotām iekārtām būs lielāks), iespējamo ietekmi uz saudzējamiem kokiem (vedot veselus neatzarotus kokus, būs grūtāk veidot līkumus koridoros, tāpēc nāksies izzāģēt arī saudzējamus kokus, kas pagādīsies traktoram ceļā) un lielu dimensiju nedzīviem kokiem, kas ir būtisks bioloģiskās daudzveidības saglabāšanas elements.

Tehnoloģijas apraksta noslēgumā uzskaita tehnoloģijas pielietošanas Latvijā priekšrocības vai trūkumus.

Nodaļas noslēgumā visiem tehnoloģiskajiem procesiem sadalījumā pa ražošanas operācijām dod vērtējumu 5 balļu sistēmā (jo vairāk, jo labāk) un identificē labākos risinājumus. Apvienojot labākos tehniskos risinājumus dažādās ražošanas operācijās, iegūst perspektīvākos tehnoloģiskos procesus. Tehnoloģiju raksturojumā ņem vērā starpproduktus un galaproduktus, kas ietverti ražošanas procesā, t.i. veselu koku un daļēji atzarotu sīkkoku pievešanu uz augšgala krautuvi vērtē atsevišķi.

## Tehnoloģiju analīze

### Biokurināmā sagatavošana jaunaudzēs

Jaunaudzes ir skujkoku, ošu un ozolu mežaudze līdz 40 gadu vecumam, baltalkšņu mežaudze līdz 10 gadu vecumam, pārējo koku sugu mežaudzes – līdz 20 gadu vecumam (Latvijas Republikas Saeima, 2000).

Jaunaudžu jeb sastāva kopšanu veic, lai veicinātu konkrētiem meža augšanas apstākļiem vislabāk piemērotu koku sugu attīstību. Jāpiemin arī tas, ka kopšana palielina nākotnes meža ražību un atstājamo koku vērtību, kas ir atkarīga no stādu vai sēkļu ģenētiskajām īpašībām (Bisenieks, 2005a).

Latvijā jaunaudžu kopšanu veic ar krūmgriezi vai, retos gadījumos pie lielāka koku caurmēra, ar motorzāģi. Jaunaudzes tiek uzskatītas par koptām ja to augstums ir 2-10 m (Ministru Kabinets, 2012) un koku skaits atbilst ministru kabineta noteikumiem Nr. 308. Savukārt, AS „Latvijas valsts meži” (LVM) ir ieviesuši savā ražošanā stingrākas prasības, tādējādi, garantējot, ka visas koptās jaunaudžu platības atbildīs izvirzītajiem noteikumiem un tajā pat laikā potenciāli samazinot kopšanas efektu, jo pakalpojumu sniedzēji samazina kopšanas intensitāti vēl vairāk, lai nepārsniegtu uzņēmuma iekšējās prasības, kā rezultātā var netikt sasniegts viens no kopšanas uzdevumiem – augšanas tilpnes atbrīvošana mērķa kokiem.

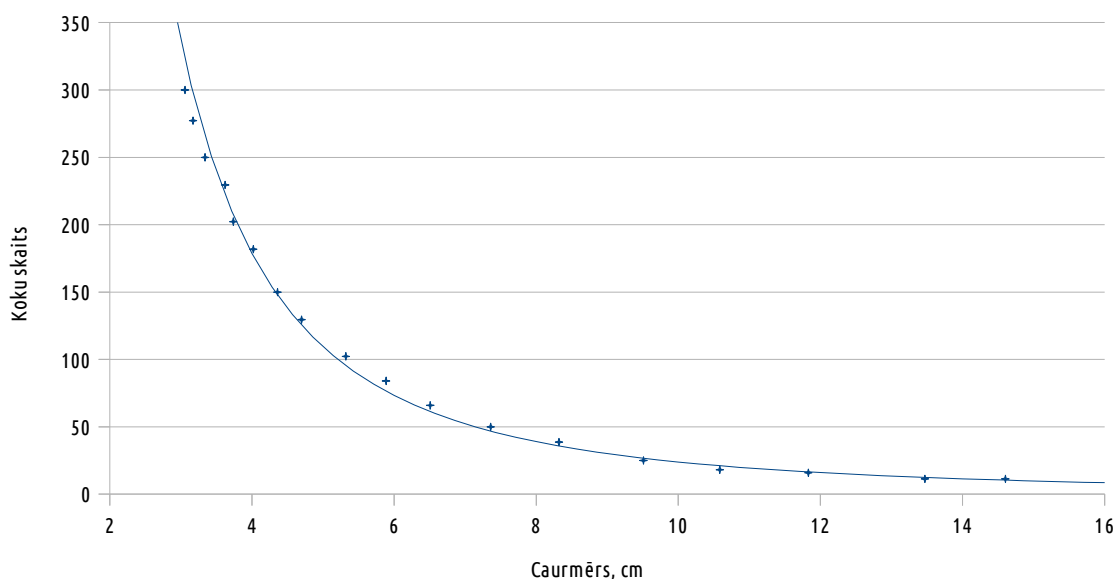
Latvijā veikti pētījumi lielākoties ir vērsti uz darba ražīguma paaugstināšanu, bet, neskatoties uz to, var gūt priekšstatu par koksnes apjomiem, kuri tiek nozāģēti un atstāti satrūdēšanai. Izmantojot šos resursus Latvija var palielināt savu energoneatkarību, vienlaicīgi radot ekonomiskus priekšnosacījumus sastāva kopšanai un nākotnes meža vērtības palielināšanai. Biokurināmā gatavošana sastāva kopšanā veicinātu jaunu darba vietu rašanos meža un citos sektoros.

Nesen veiktajā pētījumā noskaidroja nepieciešamo darba laika patēriņu un nepieciešamo degvielas daudzumu jaunaudžu kopšanā. Jaunaudžu koku skaits bija 6-83 tūkst. gab ha<sup>-1</sup>. Izcērtamo koku skaits objektos svārstījās no 3-71 tūkst. gab ha<sup>-1</sup> (Zimelis et al., 2012) Līdz ar to var secināt, ka biomasas ieguve šādās audzēs var būt rentabla, jo izzāgējamo koku skaits ir liels. Tajā pat laikā, liels neliela izmēra izzāgējamo koku skaits negatīvi ietekmē darba ražīgumu, samazinot procesa rentabilitāti.

Pareizi kopjot jaunaudzes tiek panākts tās ātrāka un kvalitatīvā augšana, kas dod iespēju sasniegt mērķi par 10-20 gadiem ātrāk (Bisenieks, 2005a).

Pielietojot mūsdienīgas mežizstrādes mašīnas, var veikt kvalitatīvu mežaudžu kopšanu, kuras rezultātā var iegūt biokurināmo, kā arī lietkoksnis sortimentus no jaunaudžu kopšanas. Jaunaudžu kopšanas tehnoloģijas var iedalīt četrās grupās: izstrāde ar harvesteru, harvarderu (vai pievedējtraktoru), kombinētās izstrādes un smalcināšanas iekārtas, kā arī izstrāde, izmantojot roku darbu. Kombinētās izstrādes iekārtām praktiska nozīme ir plantāciju tipa stādījumos, jo parastās mežaudzēs to darbu aprūtinā celmi, kritušie koki un neviendabīgais reljefs.

Piemēram, Zviedrijā arvien lielāka uzmanība tiek pievērsta jaunaudzēs iegūstamās biomasas apjoma novērtēšanai un iegūšanas tehnoloģiju efektivitātes paaugstināšanai. Jaunaudžu biomasas aprēķiniem, izmanto meža inventarizācijas datus. Zviedrijā ir 2,77 milj. ha mežaudžu, kur koku augstums ir zem 12 m. Tas ir 12,3 % no kopējās meža platības. Kopējais biomasas apjoms šajās audzēs ir 149 milj. tonnas sausas, jeb 50 tonnas ha<sup>-1</sup>. Savukārt, jaunaudzes, kurās koki ir līdz 15 m augsti, aizņem 18,4 % no Zviedrijas meža zemēm (4,3 milj. ha). Iegūstamais apjoms ir 258 milj. tonnas sausas, jeb 62 tonnas ha<sup>-1</sup>. Sakarība starp koku caurmēru un 1 tonnas iegūšanai nepieciešamo koku skaitu parādīta Att. 2.

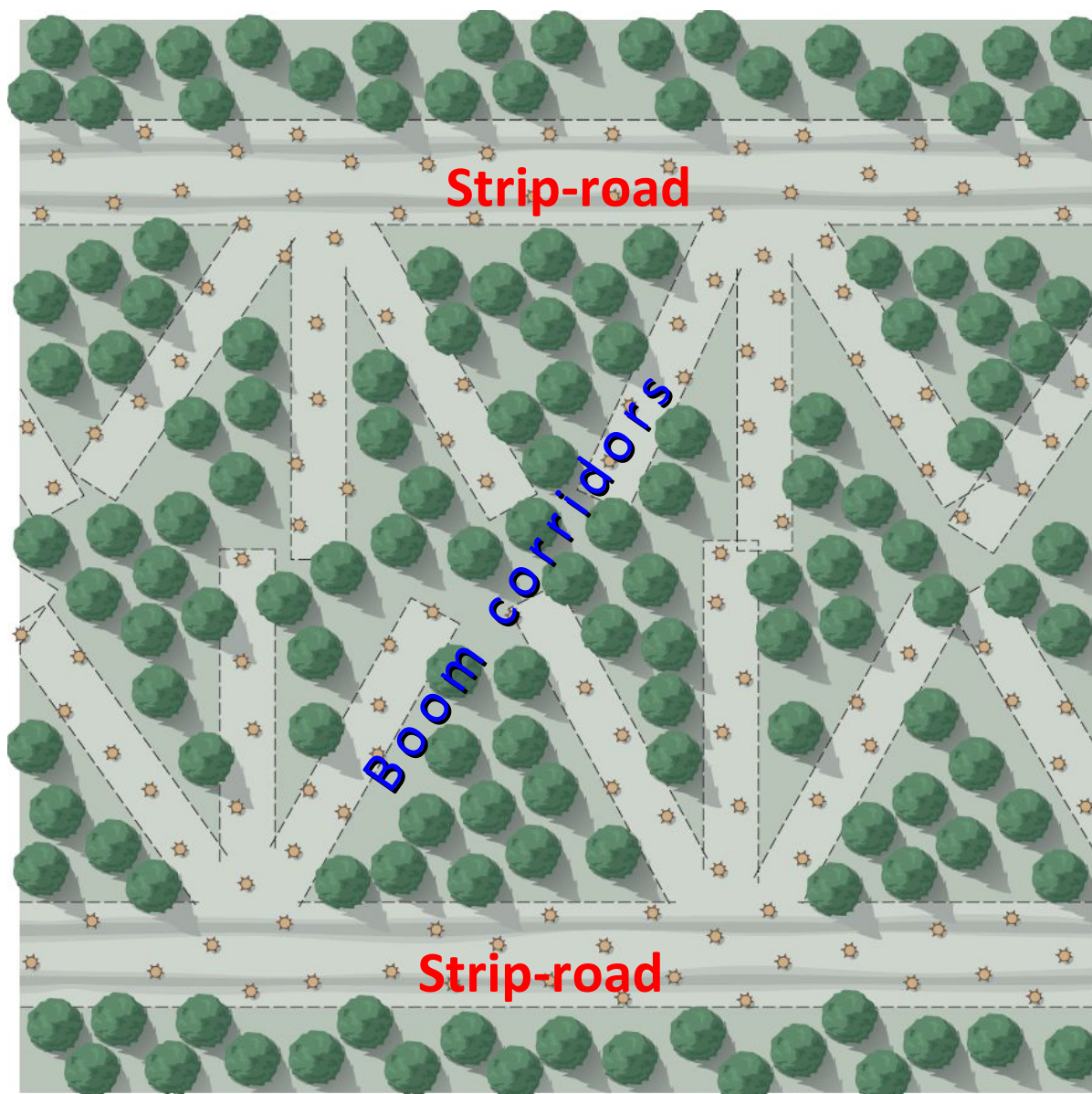


**Att. 2 Vienas tonnas sausnes iegūšanai nepieciešams koku skaits (Nordfjell, 2012).**

Att. 2 parāda, ka gadījumā, kad jaunaudzēs vidējais koku caurmērs ir 5 cm, vienas tonnas sausnes iegūšanai ir nepieciešami 150 koki. Savukārt koku caurmēram sasniedzot 8 cm nepieciešamais koku skaits samazinās līdz 50 gab.

Pētījumi Zviedrijā liecina, ka nav ekonomiski izdevīgi iegūt biokurināmo, pielietojot mazgabariņa mežizstrādes tehniku, ja audzes vidējā koka caurmērs pirms kopšanas ir mazāks par 8 cm. No kokiem ar lielāku caurmēru ekonomiski pamatoti ir iegūt biomasu nevis papīrmalku.

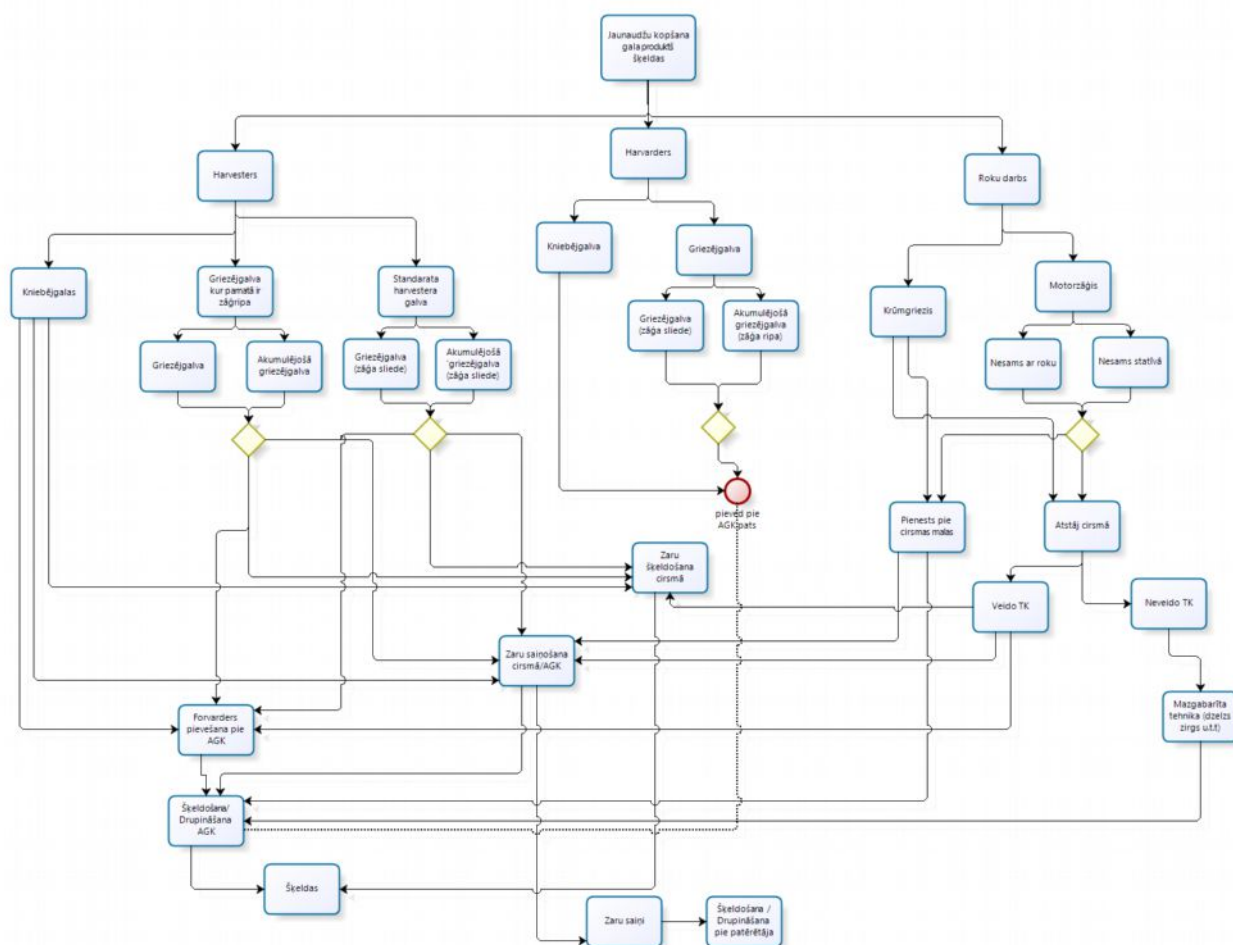
Zviedrijā jaunaudžu kopšanai izstrādāta jauna shematiskās kopšanas tehnoloģija „Boom corridors” (strēles koridors) ar īpaši konstruētu akumulējošo griezējgalvu. Pētījumā noskaidrots, ka, pielietojot šo tehnisko risinājumu, panāk par 16 % lielāku darba ražīgums, salīdzinājumā ar klasisko jaunaudžu kopšanu (Bergström, 2009; Bergström et al., 2010). “Strēles koridoru” kopšanas shēma parādīta Att. 3.



Att. 3 "Strēles koridoru" shematiskās kopšanas tehnoloģiskā shēma (Bergström et al., 2010).

Pielietojot jaunaudzū kopšanā šāda veida tehnoloģiju, Latvijā teorētiski tiktu pārkāptas mežsaimnieciskās prasības, jo kopējā izcirstā platība ir lielāka par likumā pieļaujamo. Pielietojot šo tehnoloģiju, tehnoloģiskie koridori ir 20 % no kopējās audzes platības un strēles koridorā izstrādātā sleja ir vēl 2 m plata (Nordfjell, 2011)

Pētījumā salīdzināta biokurināmā sagatavošana jaunaudzēs, izmantojot harvesteru, pievedējtraktoru (vai harvarderu) un rokas darba instrumentus. Tehnoloģiskā procesa shēma sadalījuma pa ražošanas operācijām, t.i. sagatavošana (un saiņošana, ja paredzēta), pievešana, uzglabāšana (tajā skaitā žāvēšana augšgala krautuvē), šķeldošana, piegāde patērētājam parādīta Att. 4.



Att. 4 Biokurināmā sagatavošanas shēma jaunaudžu kopšanā.

## Izstrādes tehnoloģijas

### Biokurināmā sagatavošana ar harvesteru

Tehnoloģisko operāciju analīzē pieņemts, ka, mehanizēti veicot kopšanu jaunaudzēs, vienmēr izmanto griezēģgalvas vai kniebēģgalvas ar papildus sīkkokus akumulēšanas satvērējiem, kas ļauj vienlaicīgi apstrādāt vairākus kokus. Kniebēģgalvu vai griezēģgalvu, kas paredzētas 1 koka vienlaicīgai apstrādāšanai pielietošana jaunaudžu kopšanā nav ekonomiski pamatota.

#### Harvesters ar akumulējošo kniebēģgalvu

Harvesteriem jaunaudžu kopšanai, kur jauno kociņu dimensijas ir nelielas un sagatavotais produkts būtu biokurināmais kā darba agregātu var izvēlēties „akumulējošo kniebēģgalvu” (Att. 5).

Būtiska kniebēģgalvu priekšrocība ir spēja strādāt ar tuvu novietotiem stumbriem, piemēram, atvasājos, kas rada grūtības griezēģgalvām. Viens no lielākajiem trūkumiem ir ierobežotas iespējas nogriezt vienlaicīgi vairākus kokus, t.i. strādāt pļaušanas režīmā.





**Att. 5 Akumulējošā kniebējgalva Naarva Grip 1500-25E<sup>1</sup>.**

Akumulējošās kniebējgalvas apstrādā kokus ar caurmēru līdz 25 cm. Kniebējgalvu priekšrocības ir salīdzinoši neliels izmērs (Att. 5 redzamā kniebējgalva sver 360 kg) un vienkārša uzbūve. Saskaņā ar Lielbritānijā veiktu pētījumu datiem, šādas iekārtas pašizmaksa, ja to montē uz harvestera, ir 31 £ stundā (Webster, 2007)

Tirgū ir pieejamas daudzas akumulējošā tipa kniebējgalvas, kuras var pielietot sīkkoku ieguvei jaunaudzēs. Ir kniebējgalvas, kas spēj gatavot sortimentus, t.i. atzarot un sagarumot sīkkokus, taču šāds materiāls piemērots tikai papīrmalkas vai kurināmā sagatavošanai. Šādu kniebējgalvu priekšrocība jaunaudzēs ir arī spēja sagarumot kokus bez pārtveršanas. Parastajām kniebējgalvām ir jāmēģina nogriezt koku vairākos paņēmienos, laižoties pa stumbru uz leju, vai pārkniebt jau nogāztus kokus, kas blīva apauguma apstākļos var būt problemātiski.

Latvijā ekonomisko, ekoloģisko vērtējumu var izteikt aptuveni, jo līdz šim jaunaudžu kopšana tiek veikta vienīgi ar krūmgriežiem. Ekonomiski kniebējgalvu izmantošana biokurināmā un papīrmalkas gatavošanai ir izdevīgāka, nekā standarta harvestera griezējgalvu izmantošana, taču šīm iekārtām ir ierobežotas pielietošanas iespējas.

Jaunaudžu kopšanā vienkāršās kniebējgalvas izdevīgi izmantot uz pievedējtraktoriem, kas iekraujot var pārkniebt garākos kokus, kas sniedzas ārpus kravas tilpnes.

*Kniebējgalvas var sagatavot veselus neatzarotus kokus, daļēji atzarotus sagarumotus (3-5 m) biokurināmā sortimentus, papīrmalku un tehnoloģisko koksni.*

*Harvesteri ar griezējgalvām*

Akumulējošā griezējgalva paredzēta vairāku koku satveršanai un nozāgēšanai. Populārākie ražotāji Bracke (Att. 6) un Tigercat. Att. 6 redzamā iekārta paredzēta jaunaudžu, krājas kopšanas, pameža un grāvju apauguma noņemšanai. Tigercat specializējas uz lielu dimensiju koku gāšanas galvām. Jaunaudzēs un apauguma novākšanai ieteikts izmantot modeļus 1800 un 2000 (Att. 7).

Bracke griezējgalvā izmanto ķēdes mehānismu, kas ļauj būtiski palielināt nozāgējamā koka maksimālo caurmēru, salīdzinot ar griezējgalvām, kurās pielieto ripzāģus. Neliela izmēra griezējgalvu ar ripzāģiem priekšrocības ir salīdzinoši maza cena un vienkārša ekspluatācija. Taču ar šādām galvām nevar nozāgēt lielus kokus. Tiklīdz zāģa ripas

<sup>1</sup> Foto: Webster, 2007.

diametrs palielinās virs 30-40 cm, būtiski palielinās tās cena, kā arī prasības attiecībā pret rāmja mehānisko izturību<sup>2</sup>. Šādas griezējgalvas pielietojamas lielos harvesteros, kas strādā galvenajā cirtē. Alternatīvs risinājums ir 2-3 zāģa ripu apvienošana vienā mehānismā, taču praksē pagaidām šādas iekārtas netiek lietotas.

Griezējgalvu galvenā priekšrocība jaunaudžu kopšanā ir spēja strādāt pļaušanas režīmā. t.i. nopļaut un atstāt sīkkokus, kuru savākšana nav ekonomiski lietderīga. Tāpat kā kniebējgalvas, griezējgalvas ir salīdzinoši viegli izmantojamas tuvu novietotu koku izzāģēšanai atvasājos.

Viens no būtiskākajiem griezējgalvu, it īpaši tādu, kas redzamas Att. 6 trūkumiem, ir apgrūtināta uz zemes gulošu koku satveršana, attiecīgi, strādājot jaunaudzēs, sīkkoku garumošanas nepieciešamības gadījumā iespējama tikai, pakāpeniski zāģējot koka nogriežņus no galotnes uz leju. Praksē pielietojamie jaunaudžu kopšanas griezējgalvu modeļi nav piemēroti sortimentu gatavošanai. Viens no nedaudziem izņēmumiem ir LogMax 4000 griezējgalva, kas ir aprīkota ar ripzāģi un ruļļiem, kas ļauj veikt sortimentāciju un pārvietot kokus un salīdzinoši ērtiem akumulējošiem satvērējiem (Att. 8).



Att. 6 Bracke C16.b akumulējošā griezējgalva<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Avots: personiska komunikācija ar SIA "Orvi" valdes priekšsēdētāju I. Gusarevu (15.07.2012).

<sup>3</sup> Avots: <http://www.brackeforest.com>





Att. 7 Tigercat griezējgalva, modelis 2000<sup>4</sup>.



Att. 8 LogMax 4000 griezējgalva<sup>5</sup>.

*Harvesteri ar griezējgalvām var sagatavot tos pašus sortimentus, ko kniebējgalvas. Teorētiski tās var gatavot arī zāgbaļķus, taču praksē lietotās griezējgalvas, kas aprīkotas ar ripzāģi un ir piemērotas jaunaudžu kopšanai, nav paredzētas atzarošanai un sortimentu gatavošanai, attiecīgi, biokurināmajam tās sagatavo tikai veselu koku sortimentu.*

#### *Standarta harvestera griezējgalvas*

Parastā tipa harvestera galvas, kuras lielākoties ir paredzētas sortimentu gatavošanai, ir izmantojamas arī biomasas ieguvei jaunaudžēs (Att. 9). Priekšrocības ar šāda veida mehānismu pielietošanai ir to spēja daļēji atzarot vai vispār neatzarot kociņus ar mazu caurmēru. Harvestera galvas var izmantot arī pļaušanas režīmā, lai gan, to darot, jārēķinās, ka sliede un ķēdes kalpos īsāku laiku. Šādam mehānismam ir lielāks koku

<sup>4</sup> Avots: <http://www.tigercat.com/en/1800/1800-overview>.

<sup>5</sup> Avots: *Efficient forest fuel supply systems Composite report from a four year R&D programme 2007-2010, 2011.*

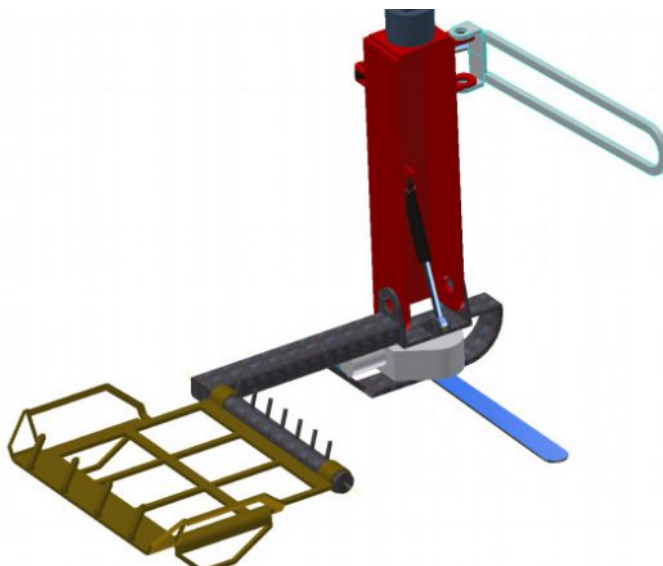
zāgēšanas darba ražīgums, nekā kniebējgalvām, bet mazāks, nekā griezējgalvām ar ripzāģi.



**Att. 9 Griezējgalva Silvatec GS350<sup>6</sup>.**

Standarta griezējgalvu trūkumiem pieskaitāms palielināts saglabājamo koku bojājumu īpatsvars, jo šādas galvas nav piemērotas tuvu novietotu koku zāgēšanai, it īpaši ierobežotas redzamības apstākļos.

Harvestera galva (SuperCut 300) ir konstruēta tā, lai tā nozāgētu kokus un virzot galvu uz priekšu audzē nozāgētie koki sakristu uz nelielas platformas ar kuras palīdzību var vieglāk savākt sīkkokus (Att. 11). Mehānisma priekšrocības ir liels darba ražīgums, kurš, pateicoties vieglai konstrukcijai, ļauj veikt vienlaicīgi vairāku koku zāgēšanu.



**Att. 10 Mehānisms biomasas ieguvei (Bergström, 2009).**

Latvijā izplatītāko griezējgalvu tirgotāji nerekomendē izmantot harvesterus ar standarta aprīkojumu sīkkoku zāgēšanai, tajā skaitā pameža tīrīšanai. Tajā pat laikā Somijā un Zviedrijā šāds risinājums ir ieviests mežizstrādes praksē, un zinātniskajās

<sup>6</sup> Avots: <http://pdf.directindustry.com/pdf/silvatec-skovmaskiner/grapple-saw-gs350/56916-171450.html>

publikācijās nav atrodama informācija par griezējgalvu mūža ilgumu samazināšanos, izmantojot tās sīkkoku zāgēšanai.

Lai noteiktu, kāds harvestera aprīkojums ir piemērotāks sastāva kopšanai, ir jāsalīdzina dažādu ražotāju iekārtas un jānovērtē operatora kvalifikācijas ietekme uz darba ražīgumu un iekārtām radītajiem defektiem. Uzņēmējiem, kas plāno strādāt gan sastāva, gan krājas kopšanas cirtēs, nākotnē lietderīgi iegādāties to ražotāju aprīkojumu, kas izrādīsies vispiemērotākie sīkkoku zāgēšanai.

Atkarībā no pielietotās griezējgalvas, ir nepieciešams izvēlēties piemērotāko mazākās klases harvesteru, kurš būtu atbilstoši pēc tehniskajiem parametriem. Uz doto brīdi Latvijā nav veikti plaši pētījumi par mazgabarīta vai mazās klases harvesteriem, kuri būtu pielietojami jaunaudžu kopšanas darbos. Mazāko harvesteru, piemēram, ROTTNE H8, būtisks trūkums ir īsa strēle. Ja strēles garums ir mazāks par 10 m, harvesteram ir jānobrauc no tehnoloģiskā koridora, lai izkoptu visu audzi, kā rezultātā būtiski krītas darba ražība un palielinās saglabājamo koku bojājumu daudzums. Mazos harvesterus ar īsu strēli izdevīgi izmantot sortimentu gatavošanai krājas kopšanas cirtēs, kur šāda tehnika var veidot t.s. "spoku ceļus" starp tehnoloģiskajiem koridoriem. Sastāva kopšanā saglabājamo koku skaits ir par lielu, lai veidotu spoku ceļus. Optimāls harvestera izmērs ir tāds lai pie pilnas izlices (vismaz 10 m), tas spētu vertikālā stāvoklī pievilkt tehnoloģiskā koridora malai 2-3 15 m garus kokus.

*Harvesteri ar standarta griezējgalvām ar sliedi ir visuniversālākie mežizstrādes instrumenti, kas var gatavot kurināmo gan veselu koku veidā, gan, nepieciešamības gadījumā, izzāgēt sortimentus.*

#### Sīkkoku izstrāde ar harvarderu un pievedējtraktoru

Mūsdienu tehnoloģiskie risinājumi ļauj efektīvi izmantot pievedējtraktorus gan sortimentu pievešanai, gan kā harvesterus, uzstādot tiem griezējgalvu vai kniebējgalvu (Att. 11). Galvenā priekšrocība apstākļi, ka šāda mašīna spēj nozāgētos vai nokniebtos kokus kraut uzreiz kravas tilpnē un biokurināmā sagatavošanai nepieciešama tikai viena mašīna. Pievedējtraktorus, kas pielāgoti biokurināmā sagatavošanai jaunaudžu kopšanā, parasti aprīko ar kniebējgalvām, jo tās ir parocīgākas materiālu novietošanai un sakārtošanai kravas tilpnē.



**Att. 11 Ar kniebējgalvu aprīkots Ponsse Buffalo pievedējtraktors<sup>7</sup>.**

Harvarderi (Att. 12) pēc darba metodes būtības strādā līdzīgi, kā pievedējtraktori ar griezējgalvu vai kā harvesterus. Ja harvarders aprīkots ar griezējgalvu, sortimenti un biokurināmais parasti tiek nokrauti tehnoloģisko koridoru malās, pēc tam mašīnu transformē par pievedējtraktoru un brauc savākt materiālus. Attiecīgi, ar šādu darba metodi un sagatavotajiem produktiem harvarders ne ar ko neatšķiras no harvestera. Harvardera izmantošana mežizstrādei pievedējtraktora komplektācijā, t.i. nozāgēto

<sup>7</sup> Foto: A. Lazdiņš.



koku iekraušana kravas tilpnē, nenolaizot tos zemē, iespējama ar kniebējgalvu, taču šādā gadījumā izdevīgāk iegādāties pievedējtraktoru, kas maksā vismaz 2 reizes mazāk.

Harvarderi Latvijā nav izplatīti, jo to darba ražīgums ir mazāks, kā vienam mežizstrādes komplektam (harvesters un pievedējtraktors), bez tam harvarderam raksturīgs liels dīkstāves laiks griezējgalvai, kas ir viena no dārgākajām harvestera detaļām, kamēr mašīna ir transformēta par pievedējtraktoru.

Izmantojot pievedējtraktorus vai harvarderus, kā kombinēto tehniku (harvesters un pievedējtraktors vienlaicīgi) pastāv risks, ka palielināsies tehnikas negatīvā ietekme uz vidi – augsnes sablīvējums, jo mašīnai ir liela masa un tā uzturas cīsmā ar piekrautu kravas tilpni ilgāk nekā pievedējtraktors. Bez tam šāda darba metode prasa augstu profesionalitātes līmeni no operatora, lai nodrošinātu maksimāli augstu darba ražīgumu, nesabojājot tehniku.



Att. 12 Logman 811C harvarders<sup>8</sup>.

Harvarderu un pievedējtraktoru sagatavotie biokurināmā sortimenti neatšķiras no harvestera sagatavotajiem sortimentiem. Ņemot vērā, ka harvarderi paredzēti plašākam pielietojumam, tie parasti ir aprīkoti ar universālākiem darba orgāniem, t.i. sortimentu gatavošanas griezējgalvām. Pievedējtraktorus parasti aprīko ar kniebējgalvām, kas apgrūtina papīrmalkas un daļēji atzarotu sīkkoku gatavošanu.

#### Sīkkoku izstrāde ar pārbūvētu ekskavatoru

Vēl viens alternatīvs risinājums jaunaudžu kopšanas mehanizācijai, ir uz kāpurķēžu ekskavatoru bāzes būvēti harvesteri vai pārbūvēti ekskavatori, kas pielāgoti mežizstrādei. Uz ekskavatoru bāzes būvēta harvestera piemērs ir John Deere mežizstrādes produktu sērija uz kāpurķēdēm (Att. 13). Parasti šādi harvesteri ir salīdzinoši smagi (virs 25 tonnām) un piemēroti darbam ar lielu dimensiju kokiem. Lielākā daļa John Deere harvesteru uz kāpurķēdēm ir aprīkoti ar griezējgalvām ar ripzāģi un akumulējošo satvērēju, attiecīgi, tie ir piemēroti veselu koku zāģēšanai, nevis sortimentācijai.

Ņemot vērā specializāciju uz lielu dimensiju kokiem, kāpurķēžu harvesteru strēles ir masīvas un salīdzinoši īsas (7-8 m), lai harvesters maksimāli var izmantot savu jaudu galvenajā cirtē. Teorētiski šādu harvesteru izmantošana sastāva kopšanas cirtēs ir iespējama, taču tehnika ir pārāk smagnēja un specializēta veselu koku izstrādei, kas Latvijā pēdējā desmitgadē netiek praktizēta, tāpēc tai nebūtu pielietojuma galvenajā cirtē.

Alternatīvs risinājums ir standarta ekskavatoru pārbūve mežizstrādes vajadzībām, komplektējot ar sortimentācijas galvām vai kniebējgalvām. Arī šajā gadījumā vienkāršākais un izplatītākais risinājums harvestera galvas stiprināšana standarta ekskavatora strēles galā izmantošanai galvenajā cirtē Att. 14 lielu dimensiju koku

<sup>8</sup> Avots: <http://www.logman.fi/pages/in-english/combi-machines.php>.

zāgēšanai. Šajā gadījumā, lai strādātu kopšanas cirtēs, var izvēlēties mazāku ekskavatoru. Investīcijas mežizstrādes tehnikā, izmantojot standarta ekskavatorus, kas aprīkoti ar harvestera galvu, ir vismaz 2 reizes mazākas, nekā neliela, kopšanai piemērota harvestera iegāde.

Visu ekskavatoru ar standarta strēli trūkums ir salīdzinoši nelielais darbības rādiuss – 7-9 m pie pilnas izlīces, attiecīgi, Latvijā sastāva kopšanās šīs mašīnas nevar izpildīt nosacījumu par ne vairāk kā 20 % no mežaudzes zem tehnoloģiskajiem koridoriem. Strēle ir masīva, tāpēc pastāv risks, ka šādas mašīnas radīs vairāk mehānisku bojājumu saglabājamiem kokiem, lai gan pētījumu datu par to nav.

Saskaņā ar Somijā veikto pētījumu rezultātiem harvesteru uz ekskavatora bāzes pielietošana kopšanas cirtēs ir izdevīgāka, nekā vidējās klases vai lielo harvesteru izmantošana, galvenokārt, pateicoties būtiski mazākām investīcijām. Tomēr pastāv arī tehniskas problēmas, kas saistītas ar ekskavatoru uzbūvi, piemēram, jau pieminētais strēles garums un bāzes mašīnas dimensijas (Väätäinen et al., 2004). Aptaujājot somu mežizstrādātājus, kas izmanto ekskavatorus, celtniekus, kas izmanto ekskavatorus būvniecībā un harvesteru aprīkojuma ražotājus, konstatēja, ka lielākajiem ekskavatoru trūkumiem pieder apgrūtināta pārvietošanās kalnos un maza mobilitāte (vairāk jāizmanto treilera pakalpojumi). Būvtehnikas īpašnieki izrādīja lielu interesi izmantot ekskavatorus ziemā mežizstrādē, tāpēc pētījumā secināts, ka nākotnē šīs mežizstrādes tehnikas virziens Somijā var attīstīties (Bergroth et al., 2006).



Att. 13 Kreisajā pusē John Deere 753J, labajā pusē John Deere 759J harvesters <sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Avots: <http://mediabin.deere.com/Main.asp>





Att. 14 Mežizstrādei pielāgots JCB8147 ekskavators<sup>10</sup>.

Nākošais ekskavatoru pārbūves etaps, kas tiek pielietots arī Latvijā, ir standarta strēles nomainas ar garāku harvestera strēli un standarta griezējgalvas uzstādīšana. Att. 15 redzamā ekskavatora masa ir 26 tonnas un strēles izlīces attālums – 11 m, attiecīgi, tas var bez grūtībām strādāt, ja attālums starp tehnoloģiskajiem koridoriem ir 20 m. Darbam galvenajā cirtē ekskavatora virsbūve tiek pastiprināta, darbam kalnos un uz akmeņainām augsnēm nereti izmanto arī ķēžu stiprinājumus, kas neļauj ekskavatoram nobraukt no ķēdēm uz nelīdzenas virsmas. Neskatoties uz papildus investīcijām aprīkojumā, šāds harvesters būs aptuveni 2 reizes lētāks par standarta lielās klases harvesteru. Ja ekskavatoru izmanto sastāva kopšanas cirtēs, virsbūves stiprinājumi, izņemot logu stiklu nomainu, nav nepieciešami, jo zāgējamo koku dimensijas ir nelielas un darba apstākļi drošāki, nekā galvenajā cirtē. Šajā gadījumā, gan jāreķinās, ka harvesteru varēs izmantot tikai sastāva kopšanas cirtēs. Strēles nomaina apgrūtina harvestera izmantošanu gan mežizstrādei, gan grāvju rakšanai, nebraucot uz servisa centru aprīkojuma pārmontēšanai. Harvesteri uz ekskavatora bāzes, kas aprīkoti ar standarta strēli, var nomainīt kausu lauka apstākļos un izmantot to pasu mašīnu grāvju rakšanai vai augsnes gatavošanai blakus esošajās audzēs.



Att. 15 Mežizstrādei pielāgots New Holland E215B ekskavators<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> Avots: [http://www.flickr.com/photos/expired\\_patent/7321745344/lightbox/](http://www.flickr.com/photos/expired_patent/7321745344/lightbox/).

<sup>11</sup> Foto: A. Lazdiņš.

Visu ekskavatoru kopīgs trūkums ir lielle gabarīti; strādājot 4 m platā tehnoloģiskajā koridorā ekskavators var sabojāt tehnoloģiskā koridora malā augošo saglabājamo koku mizu. Otrs trūkums ir zema klīrenss; ja cirsmā ir liels pielūžņojums, ekskavatoram var rasties lielas grūtības pārvietoties pa to. Normālos apstākļos ekskavators var atbalstīties uz kausa un pārcelt sevi pāri celmiem vai lielu dimensiju kritālām, bet ar harvestera griezējgalvu tas nav iespējams.

Alternatīvs risinājums mežizstrādes mašīnas uzlikšanai uz ķēdēm ir buldozera pārbūve, taču šāda veida mašīnu prototipi pagaidām nav radīti. Izņēmums ir harvesteri uz buldozera šasijas bāzes, piemēram, ProSilva izstrādātais harvestera prototips (Att. 16). Šim harvesteram izveidots paaugstināts klīrenss, visi 4 "riteņi" ir ar neatkarīgu piekari, un šasija ir izturīgāka par standarta ekskavatora šasiju. ProSilva un tam līdzīgie harvesteri ir piemēroti darbam kalnos un uz nenoturīgas grunts.

Šādu harvesteru cena ir tikpat liela vai pat lielāka, nekā standarta harvesteru ar riteņu piedziņu cena, tāpēc to izmantošana attaisnojas galvenajā cirtē, bet ne sastāva kopšanā. Buldozera šasijai ir priekšrocības kokmateriālu pievešanā, jo tā ir vairāk piemērota lielu kravu vilkšanai vai stumšanai, atšķirībā no ekskavatora šasijas, kas nav piemērota šādām slodzēm.



Att. 16 ProSilva harvesters uz buldozera šasijas<sup>12</sup>.

Tehnoloģiju izvērtējumā iekļauti 2 ekskavatoru pārbūves varianti – standarta ekskavators ar standarta strēli un pārbūvēts ekskavators ar teleskopisku harvestera strēli, kas aprīkoti ar standarta harvestera griezējgalvu ar akumulējošo satvērēju un griezējgalvu ar ripzāģi ar akumulējošu satvērēju.

Būtiskākā ekskavatoru priekšrocība ir iespēja samazināt investīcijas tehnikā un izmantot ekskavatorus dažādiem darbiem (nomainot strēli vai tikai kausu), tādējādi mazinot investīciju risku. Harvesteri uz ekskavatora bāzes rada mazāku spiedienu uz augsni, attiecīgi, mazāks augsnes sablīvēšanās risks un sakņu bojājumi. Tomēr šī priekšrocība izpaužas tikai tad, ja arī pievešanā izmantot pievedējtraktorus, kas aprīkoti ar kūdrai piemērotām ķēdēm vai pievedējtraktorus uz buldozera šasijas bāzes. Ekskavatoru ar standarta strēli trūkums ir nelielais darbības rādiuss, kas pie 20 m attāluma starp koridoriem rada nepieciešamību pabeigt kopšanu ar rokām vietās, kuras ekskavators nevar aizsniegt. Tehniskajiem riskiem pieder arī zema

<sup>12</sup> Avots: <http://www.prosilva.fi/en/products>.

klīrenss, kas apgrūtina ekskavatoru izmantošanu pielūžņotās cirmās un nelīdzenās platībās.

Viena no tehniskajām priekšrocībām, salīdzinot ar standarta harvesteru, ir strēles novietojums – tā ir blakus operatora kabīnei, attiecīgi, operators vienmēr skatās strēles virzienā, nodrošinot labāku kopjamās teritorijas redzamību. Līdzīgi strēle novietota arī, piemēram Logman harvarderam (Att. 12), kas šai mašīnai rada priekšrocības jaunaudzju kopšanā. Vidējās klases ekskavatori, kas izmantojami sastāva kopšanā ir smagāki un stabilāki par attiecīgās klases harvesteriem, tāpēc tie var pilnvērtīgāk izmantot sīkkoku akumulēšanas funkciju, arī strādājot uz pilnu izlīci. Ņemot vērā iespēju izvēlēties sastāva kopšanai ekskavatoru ar mazākas jaudas dzinēju un masu, kā arī salīdzinoši mazāko ietekmi uz augsni, harvesteru uz ekskavatoru bāzes ietekme uz vidi var būt mazāka, nekā standarta harvesteriem.

#### Šķeldotāji uz harvardera vai pievedējtraktora bāzes

Tehnoloģiski sarežģītāks risinājums ir šķeldotāji uz pievedējtraktora, harvardera vai lauksaimniecības traktora bāzes, kas var iebruukt cirmā un vienlaicīgi nozāgēt un sasmalcināt sīkkokus vai arī savākt un sasmalcināt pirms tam nozāgētus un turpat cirmā apžāvētus kokus. Šādi šķeldotāji ir aprīkoti ar bunkuru, kurā savākt 10-20 ber. m<sup>3</sup> kurināmā (Att. 17). Šādā veidā nav izmantojami parastie šķeldotāji, kuriem smalcināmā materiāla padeves lafete parasti atrodas sānos.

Šķeldošana cirmā jaunaudzēs ir izplatīta tehnoloģija, piemēram, Īrijā, Lielbritānijā un Dānijā, kur izplatīti plantāciju tipa meži. Ziemeļvalstīs un Baltijas valstīs šī tehnoloģija praksē netiek pielietota.

Valstīs, kur sīkkoku un mežizstrādes atlieku šķeldošana cirmā ir ierasta prakse, izmanto mazas jaudas šķeldotājus (liela jauda nav nepieciešama, jo mežā šķeldotāja operators nespēj pievadīt koksni tikpat ātri, kā pie kaudzes), kas paredzēti salīdzinoši nelielu dimensiju koksnes smalcināšanai. Šādiem šķeldotājiem ir ierobežotas izmantošanas iespējas, jo, smalcinot mežizstrādes atliekas vai sīkkokus augšgala krautuvē, tāpat kā smalcinot lielu dimensiju apaļkoksni, nepieciešamas iekārtas ar lielāku jaudu.

Neskatoties uz šķeldotāju nelielo jaudu, bāzes mašīnas šādām iekārtām parasti ir jaudīgākas par vidusmēra pievedējtraktoru vai harvarderu, jo tām ir jānodrošina piedziņa gan strēlei un satvērējam, gan šķeldotājam, gan riteņiem. Attiecīgi, šādu mašīnu degvielas patēriņš visās darba operācijās ir lielāks, nekā izvēloties mašīnu ar darba apstākļiem pielāgotu jaudu. Arī iekārtu masa ir lielāka par pievedējtraktora masu, kas rada pastiprinātu negatīvu ietekmi uz augsni. Arī vibrācija, ko rada šķeldotājs, var pastiprināt augsnes sablīvēšanos. Kā negatīva ietekme vērtējama arī palielinātais trokšņu līmenis.

Tehnoloģijas būtiskākā priekšrocība ir spēja vienlaicīgi veikt 3 mašīnu (harvestera, pievedējtraktora un šķeldotāja) darbu.

Ekonomiskais ieguvums no šādu mašīnu izmantošanas Latvijas apstākļos jaunaudzēs ir apšaubāms, jo investīcijas mašīnas iegādei ir lielākas, nekā izmantojot tradicionālo harvestera, pievedējtraktora un šķeldotāja ražošanas procesu (tradicionālajā variantā var izmantot lietotu mašīnu, investējot tikai jaunaudzju kopšanai specifiskajos mašīnu elementos, piemēram, griezējgalvā, kā arī sadalīt ražošanas riskus, nodarbinot mašīnas gan sastāva kopšanā, gan citās cirtēs. Iespēja darboties dažādos ciršu veidos ļauj koncentrēt ražošanu, samazinot pārvaldīšanas attālumus. Uz jaunaudzēm specializētu iekārtu izmantošana ir apgrūtināta arī sakarā ar sezonālajiem ierobežojumiem sastāva kopšanai.





Att. 17 Valmet 801 Combi Bioenergy šķeldotājs<sup>13</sup>

Šķeldotāji, kas uzmontēti harvarderiem vai pievedējtraktoram, sagatavo un pieved augšgala krautuvē gatavas svaigas vai apžāvētas koksnes šķeldas. Apžāvētu šķeldu sagatavošanas priekšnosacījums ir sīkkoku apžāvēšana cīsmā, kas var radīt kaitēkļu izplatīšanās risku, tāpēc šādas tehnoloģijas pielietošana nav rekomendējama bez ilgstošām pārbaudēm dažādos augšanas un meteoroloģiskajos apstākļos.

#### Sīkkoku saiņošana cīsmā

Harvesteru – saiņotāju izmantošana sastāva kopšanas cirtēs ir jauns tehnisks risinājums, kas izstrādāts, sadarbojoties Somijas un Norvēģijas zinātniekiem. Šīs tehnoloģijas mērķis ir paaugstināt papīrmalkas un biokurināmā sagatavošanas ražību un vienkāršot loģistiku, veicot jaunaudžu kopšanu. Principiālā atšķirība no galvenajā cirtē Somijā plaši pielietotajiem saiņotājiem un sīkkoku harvesteriem ar dažāda tipa griezēj- un kniebēj-galvām, ir sīkkoku nozāģēšanas, akumulēšanas un saiņošanas funkciju apvienošana vienā mašīnā, efektīvāk izmantojot tehnikas un cilvēkresursus. Tehnoloģijas radīšanas mērķis ir paaugstināt jaunaudžu kopšanas ekonomisko efektivitāti, lai ilgtermiņā nodrošinātu papīrmalkas un biokurināmā piegāžu drošību un vienlaicīgi motivētu meža īpašniekus veikt jaunaudžu kopšanu, lai palielinātu nākotnes meža vērtību. Patreiz vienīgais praksē strādājošais šīs tehnoloģijas paraugs ir harvester – saiņotājs Fixteri (Att. 18 un Att. 19), ko izstrādājusi Biotukki Oy kompānija (Väätäinen et al., 2007). Patreiz Fixteri saiņotājs tiek piegādāts ar Logman harvarderu kā bāzes mašīnu.



Att. 18 Harvester – saiņotājs Fixteri uz ekskavatora bāzes<sup>14</sup>.

<sup>13</sup> Avots: [https://ciweb.chydenius.fi/project\\_files/FI-INFO-pdf-b/INFO-F124.pdf](https://ciweb.chydenius.fi/project_files/FI-INFO-pdf-b/INFO-F124.pdf)

<sup>14</sup> Attēls no – [http://www.biotukki.fi/en/fixteri\\_baler.htm](http://www.biotukki.fi/en/fixteri_baler.htm).



**Att. 19 Fixteri sagatavotie sīkkoku saiņi<sup>15</sup>.**

Harvestera – saiņotāja pielietošana kombinētai enerģētiskās koksnes un papīrmalkas sagatavošanai ļauj paaugstināt kompaktizētas lieldimensiju enerģētiskās koksnes pievešanas efektivitāti un samazināt jaunaudžu kopšanas izmaksas. Somijas zinātnieki uzsver šīs metodes būtisko nozīmi un praktiskās pielietošanas iespējas, sākot ar mežizstrādes atlieku izvākšanu un beidzot ar sīkkoksnes kokmateriālu un enerģētiskās koksnes izstrādi (Hakkila, 2004). Jaunaudzēs tradicionālais mežizstrādes process, izmantojot harvesteru, pievedējtraktoru un ceļa malā strādājošo saiņotāju vai smalcinātāju un kokvedēju vai šķeldotāju nav pietiekoši ekonomiski izdevīgs un konkurētspējīgs risinājums lielu transportēšanas izdevumu dēļ (Asikainen and Laitila, 2004). Citi pētījumi liecina, ka saiņotāja pielietošana kopšanas cirtēs var būt izdevīga tikai tajā gadījumā, ja tas ir apvienots ar mežizstrādes mašīnu, kā tas ir izdarīts Fixteri harvesterā - saiņotājā (Väätäinen et al., 2007).

Fixteri izmantošana ļauj samazināt sīkkoku gāšanas un izvešanas izmaksas, pateicoties īpašajai akumulējošajai griezējgalvai un automatizētajai standarta izmēra saiņu sagatavošanas iekārtai. Saiņus var pārstrādāt kopā ar parasto papīrmalku, mizošanas un smalcināšanas procesā atdalot enerģētiskās koksnes (zari un mizas) un papīrmalkas (stumbra koksne un lielākie zari) frakcijas. Pētījumu rezultāti liecina, ka celulozes kvalitāte, izmantojot šādas izejvielas nepasliktinās un celulozes rūpnīcās nav nepieciešamas būtiskas tehnoloģiskā procesa izmaiņas. Kopšanas mežsaimnieciskā kvalitāte ar Fixteri ir laba, jo būtiski samazinās pievešanas procesā bojāto koku īpatsvars, savukārt ražību ir jādubulto, lai nodrošinātu augstāku peļņas procentu un, attiecīgi, lielāku meža īpašnieku ieinteresētību veikt meža kopšanu (Väätäinen et al., 2007).

Izmantojot kombinēto papīrmalkas un enerģētiskās koksnes sagatavošanas metodi, enerģētiskās koksnes frakcijas (vainaga biomasa), gan papīrmalkas frakcijas ir iesaiņotas vienā kopīgā saiņī. Šīs frakcijas neatdala, līdz tās nokļūst mizošanas iekārtās celulozes rūpnīcā. Saiņi parasti ir 2,6-2,7 m gari, to caurmērs ir 60...80 cm. Saiņa tilpums ir 0,5 m<sup>3</sup>, bet enerģētiskais potenciāls – aptuveni 0,4-0,5 MWh (Jylhä P., 2007). No 1 ha jaunaudžu kopšanā Somijā iegūst 80-180 saiņu, atkarībā no audzes atrašanās vietas un sastāva<sup>16</sup>.

Fixteri saiņotājs ir apgādāts ar griezējgalvu, pieņemot, ka vienā reizē koki tiek nozāģēti un sasaiņoti. Izmēģinājumi ar John Deere saiņotāju liecina, ka mitruma saturs šādos saiņos uzglabāšanas laikā nesamazinās (Thor et al., 2006), tāpēc, gatavojot saiņus no svaigas koksnes, jāreķinās, ka patērētājs saņems mitras šķeldas. Saiņotāju var izmantot arī iepriekš nozāģētu (piemēram, ar rokām) vai nokniebtu veselu koku sasaiņošanai. Šajā gadījumā var sagatavot apžāvētas koksnes saiņus, no kuriem var iegūt sausākas šķeldas.

<sup>15</sup> Foto – Andis Bārdulis.

<sup>16</sup> Avots – <http://www.pinox.com>, apmeklēts 03.10.2008

### Roku darbs jaunaudžu kopšanā

Roku darba izmantošana jaunaudžu kopšanā, gatavojot biokurināmo, sekmēs nodarbinātību lauku reģionos un ļaus būtiski palielināt enerģētisko koksnes piegādes, neveicot investīcijas dārgās mežizstrādes iekārtās. Strauju mehanizētas jaunaudžu kopšanas īpatsvara pieaugumu kavē arī kvalificēta darbaspēka trūkums, kas nav aizpildāms dažu gadu laikā.

Līdz šim mūsu valstī visi jaunaudžu kopšanas darbi veikti ar rokas motorinstrumentiem. Pakalpojuma sniedzēji lielākoties ir individuālie darba veicēji, kuriem maksā par gabala darbu. Sīkkoki sastāva kopšanā netiek vākti. Rokas motorinstrumentu izmantošana lielā mērā nosaka to, ka jaunaudzes cenšas izkopt pēc iespējas ātrāk, kad 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 enerģētiskās koksnes resursus, kas mehanizētās kopšanas gadījumā pieejami tikai noteiktos apstākļos. Skaidrs, ka sīkkoku pievešanai uz slapjas augsnes ar mazu nestspēju, tāpat, nepieciešams sasalums, taču, pareizi sakraujot sīkkoku kaudzītes mežā, tās var stāvēt arī 2 sezonas, būtiski nezaudējot kvalitatīvās īpašības.

#### *Krūmgriezis*

Krūmgriezis piemērots līdz 6 m augstu koku zāgēšanai (Att. 20) un ir ergonomiski visērtākais motorinstruments jaunaudžu kopšanai. Vācot biokurināmo jaunaudžu kopšanā, vienlaicīgi ar kopšanu jāizzāģē arī tehnoloģiskie koridori, kur var trāpīties arī resnāki koki, kuru izzāģēšana ar krūmgriezi prasa daudz vairāk laika, nekā ar motorzāģi, tāpēc biokurināmā sagatavošanā jāreķinās ar to, ka strādniekiem jābūt arī motorzāģim resnāku koku nozāģēšanai. Motorzāģis nepieciešams arī tāpēc, ka krūmgriezis nav piemērots koku garumošanai.



**Att. 20 Ar krūmgriezi nozāģēti un koridoru malās savilkti sīkkoki<sup>17</sup>.**

Sīkkoku savākšana prasa 2-3 reizes vairāk laika, nekā nozāģēšana (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 pārvērstiem 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.

<sup>17</sup> Foto: K. Kons.



Izklaidus 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.

*Veicot jaunaudžu kopšanu ar krūmgriezi, raksturīgākais biokurināmā sortiments ir veseli koki.*

#### *Motorzāģis*

Alternatīvs risinājums krūmgriežim jaunaudžu kopšanā audzēs ar lielākiem kokiem, kur jau nepieciešama lielākās daļas koku garumošana un iespējama apaļkoksnes sortimentu sagatavošana, ir motorzāģis ar augstajiem rokturiem (Att. 21). Papildus aprīkojuma izmantošana nodrošina labākus darba apstākļus (strādniekiem nav nepārtraukti jāpieliecas), vienlaikus ļaujot nozāgēt resnākus kokus. Izvēloties motorzāģa rāmi (augstos rokturus), jāreķinās, ka ne visi rāmji pieļauj vieglu zāģa transformāciju no horizontālas uz vertikālu zāģēšanu (garumošanu). Ja rāmis neļauj viegli pagriezt zāģi, garumošanu un sortimentu gatavošanu jāveic pēc audzes izkopšanas vai pēc sīkkoku savākšanas tehnoloģisko koridoru malās. Jāreķinās 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. 21 Motorzāģis ar augstajiem rokturiem<sup>18</sup>.**

Strādājot ar motorzāģi, sīkkokus var novietot izklaidus audzē. Sagatavotie sīkkoki ir nozāģēti un tos iespējams savākt ar mazgabarīta tehniku, pārvietojoties starp palikušajiem audzes kokiem. Pielietojot šādu tehnoloģiju, nav iespējams panākt augstu darba ražīgumu tieši pievešanas teknikai, jo sagatavotais materiāls ir izklaidus. Savukārt, ja nozāģētie sīkkoki būtu savākti un nokrauti nelielās kaudzītēs, pielietojot pievedējtraktoru, var panākt augstāku darba ražīgumu. Veselu neatzarotu sīkkoku savākšana ar rokām ir fiziski smagāka, nekā daļēji atzarotu un sagarumotu sīkkoku savākšana, tāpēc veselu neatzarotu sīkkoku sortiments, strādājot ar rokām, veidosies tikai jaunaudzēs ar mazu dimensiju kokiem ( $H < 6$  m).

Plānojot darbu, jāizvēlas izstrādes tehnoloģija, kas ļauj vislabāk izmantot pieejamās mašīnas. Proti, ja pieejams ir mazgabarīta tehnika, materiālu var kraut kaudzēs starp kokiem. Savukārt, ja pieejams ir tikai mazās klases pievedējtraktori, ir jāveido

<sup>18</sup> Foto: A.Zimelis.

tehnoloģiskie koridori un nozāgēto materiālu jānokrauj paralēli tehnoloģiskajam koridoram.

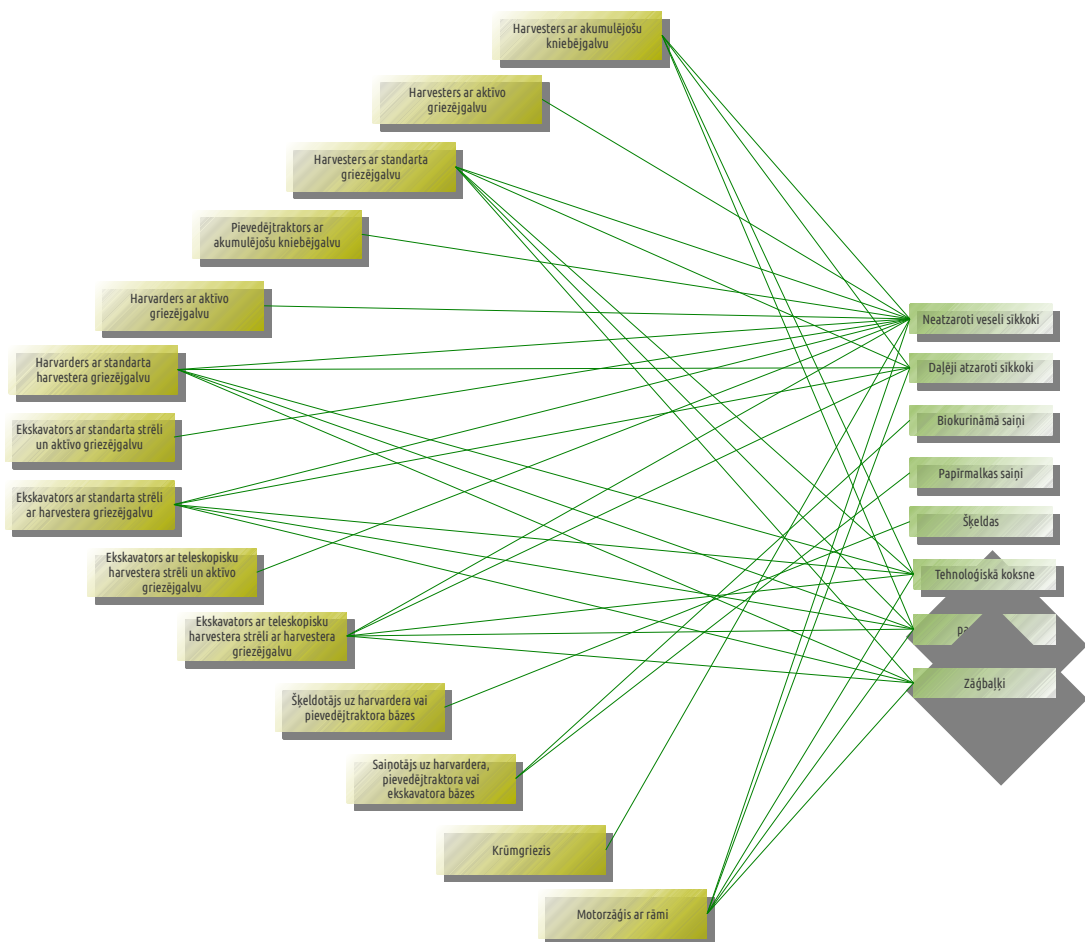
*Veicot kopšanu ar motorzāģiem, var sagatavot biokurināmo no veseliem nozāgētiem sīkkokiem, sagarumotiem neatzarotiem sīkkokiem, kā arī daļēji atzarotiem sagarumotiem sīkkokiem.*

#### Kopsavilkums par izstrādes tehnoloģijām

Pētījumā identificēti 14 tehnoloģiskie risinājumi izstrādes operācijai jaunaudžu kopšanā. Tehnoloģisko risinājumu vērtējums dots 1. Tabulā. tabulā; galaprodukti, kas veidojas dažādu risinājumu pielietošanas rezultātā parādīti Att. 22. Universālākās tehnoloģijas, kas var sagatavot visvairāk dažādu biokurināmā sortimentu, attiecīgi, pielāgoties dažādiem darba apstākļiem, ir standarta harvestera griezējgalvas, kas montētas uz harvestera, harvardera vai ekskavatora. Līdzīgu sortimentu dažādību var iegūt, strādājot ar rokām, ar motorzāģi. Visšaurākā specializācija ir aktīvajām griezējgalvām un krūmgriezīm, kas var sagatavot tikai vienu biokurināmā sortimentu – veselus kokus.

Visām identificētajām tehnoloģijām veikts salīdzinājums, vērtējot 5 kritērijus:

- ekonomiskais vērtējums – investīcijas, tehnikas izmantošanas iespējas dažādiem mērķiem (risku dalīšana), dažādu sortimentu gatavošanas iespējas;
- mežsaimnieciskais vērtējums – kopšanas darbu izpildes kvalitāte, bojājumu un slimību izplatīšanās risks;
- tehniskais vērtējums – mehanizācijas līmenis, bāzes mašīnas tehniskie rādītāji, kas ierobežo vai, tieši pretēji, rada priekšrocības to izmantošanai;
- ietekmes uz vidi vērtējums – degvielas patēriņš, spiediens uz augsni, citāda veida piesārņojums;
- ekoloģiskais vērtējums – trokšņu līmenis, ietekme uz bioloģiskās daudzveidības elementiem (nedzīvā koksne, bioloģiski vērtīgie koki).



**Att. 22 Dažādas izstrādes tehnoloģijas un to galaprodukti.**

Tehnoloģiju salīdzinājums 1.tabulā rāda, ka vienīgās tehnoloģijas, kas ir būtiski pārākas par citām, ir roku darbs. Otrajā vietā ir harvesters, kas aprīkots ar aktīvo griezējgalvu vai standarta harvestera galvu. Sliktākais vērtējums ir uz harvardera vai pievedējtraktora montētam šķeldotājam.

Tehnoloģiju salīdzināšanas rezultāti liecina, ka jebkuram no risinājumiem ir savi trūkumi, piemēram, uz tehnikas uz ekskavatora bāzes vērtējumu pazemina mežsaimnieciskā ietekme – liels bojājumu risks dēļ masīvās strēles un lielajiem gabarītiem, un ekoloģiskie riski – lai pārvietotos cirmās šādiem ekskavatoriem ir jānovāc lielu dimensiju nedzīvā koksne. Harvarderiem un pievedējtraktoriem, tāpat, vērtējumu samazina ekoloģiskie riski, jo šīs mašīnas ir mazāk manevrētspējīgas, salīdzinot ar standarta harvesteru. Jāņem vērā, ka pievešanas operācijā harvestera manevrētspējai nav nozīmes, jo pievedējtraktors "iztaisnos" lielāko daļu harvestera veidoto tehnoloģisko koridoru līkumu, it īpaši, ja ir jāpieved veseli koki.

1. Tabula: Biokurināmā tehnoloģiju salīdzināšanas kopsavilkuma tabula

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
1.	Harvesters ar akumulējošu kniebējgalvu ( <i>sagatavo veselus neatzarotus kokus, daļēji atzarotu sagarumotu biokurināmā sortimentu, papīrmalku un tehnoloģisko koksni</i> )	1	4	5	2	4	3,2
2.	Harvesters ar aktīvo griezējgalvu ( <i>sagatavo veselus neatzarotus kokus</i> )	2	4	5	3	4	3,6
3.	Harvesters ar standarta griezējgalvu ( <i>sagatavo veselus neatzarotus kokus, daļēji atzarotu sagarumotu biokurināmā sortimentu, papīrmalku, tehnoloģisko koksni un zāģbaļķus</i> )	3	3	5	3	4	3,6
4.	Pievedējtraktors ar akumulējošu kniebējgalvu ( <i>sagatavo un pieved veselus neatzarotus kokus</i> )	3	3	4	4	3	3,4
5.	Harvarders ar aktīvo griezējgalvu ( <i>sagatavo veselus neatzarotus kokus</i> )	1	4	5	4	3	3,4
6.	Harvarders ar standarta harvestera griezējgalvu ( <i>sagatavo veselus neatzarotus kokus, daļēji atzarotu sagarumotu biokurināmā sortimentu, papīrmalku, tehnoloģisko koksni un zāģbaļķus</i> )	2	3	5	4	3	3,4
7.	Ekskavators ar standarta strēli un aktīvo griezējgalvu ( <i>sagatavo veselus neatzarotus kokus</i> )	4	3	3	4	2	3,2
8.	Ekskavators ar standarta strēli ar harvestera griezējgalvu ( <i>sagatavo veselus neatzarotus kokus, daļēji atzarotu sagarumotu biokurināmā sortimentu, papīrmalku, tehnoloģisko koksni un zāģbaļķus</i> )	5	2	3	4	2	3,2
9.	Ekskavators ar teleskopisku harvestera strēli un aktīvo griezējgalvu ( <i>sagatavo veselus neatzarotus kokus</i> )	3	4	3	4	3	3,4
10.	Ekskavators ar teleskopisku harvestera strēli ar harvestera griezējgalvu ( <i>sagatavo veselus neatzarotus kokus, daļēji atzarotu sagarumotu biokurināmā sortimentu, papīrmalku, tehnoloģisko koksni un zāģbaļķus</i> )	4	3	3	4	3	3,4
11.	Šķeldotājs uz harvardera vai pievedējtraktora bāzes ar kniebējgalvu vai aktīvo griezējgalvu ( <i>sagatavo un pieved ceļmalā šķeldas, var strādāt pēc jebkura harvestera, harvardera vai ar rokām izkoptā cismā</i> )	2	3	4	2	1	2,4
12.	Saiņotājs uz harvardera, pievedējtraktora vai ekskavatora bāzes ar kniebējgalvu vai aktīvo griezējgalvu ( <i>sagatavo biokurināmā un papīrmalkas saiņus, var strādāt pēc citām mežizstrādes mašīnām vai ar rokām izkoptās cismās vai pats veikt kopšanu un saiņošanu vienlaicīgi</i> )	3	4	4	3	2	3,2
13.	Krūmgriezis ( <i>sagatavo veselus kokus</i> )	4	5	1	5	5	4,0
14.	Motorzāģis ar augstiem rokturiem ( <i>sagatavo veselus neatzarotus kokus, daļēji atzarotu sagarumotu biokurināmā sortimentu, papīrmalku, tehnoloģisko koksni un zāģbaļķus</i> )	5	5	2	5	5	4,4

## Pievešanas tehnoloģijas

Plānojot sīkkoku un saiņu pievešanu jaunaudzēs, pievešanu uzmanība ir jāpievērš:

- pievedējtraktora masai;
- kravas tilpnes garumam un ietilpībai;
- riteņu skaitam;
- strēles izlīces garumam.

Jaunaudžu kopšanā sagatavojamie biokurināmā sortimenti ir veseli neatzaroti sīkkoki, daļēji atzaroti sīkkoki un koku galotnes, tehnoloģiskā koksne, biokurināmā saiņi un šķeldas. Pievešanas tehnoloģiju raksturojums sagatavots, atbilstoši iegūstamajiem biokurināmā sortimentiem. Tehnoloģiju salīdzinājuma tabulā savstarpēji salīdzināti ne tikai dažādi mehānismi, bet arī to pielietošana dažādu biokurināmā sortimentu pievešanā.

### Veselu sīkkoku pievešana

Iepriekšējā nodaļā, vērtējot izstrādes tehniskos risinājumus, konstatēts, ka veseli koki var kļūt par visraksturīgāko jaunaudžu kopšanā sagatavojamo sortimentu, jo to var sagatavot ar pilnīgi visiem jaunaudžu kopšanā izmantojamiem mehānismiem un darba ražīgums veselu koku izstrādei ir lielāks, nekā citu sortimentu sagatavošanai.

Galvenie izaicinājumi veselu koku pievešanā ir:

- koku garums – izstrādātie koki var būt 4-15 m gari vai vēl garāki, attiecīgi pievedējtraktoram, pirmkārt, ir jāspēj sagarumot pārāk garie koki, otrkārt, izbaukt no cirsmas tā, lai nesabojātu paliekošos kokus, treškārt, nepazaudēt garo koku kravu pa ceļam;
- nokraušanas vieta – ne vienmēr varēs atrast 10 m platu joslu mežmalā sīkkoku nokraušanai;
- izstrādes procesā netiek sagatavoti zari ceļu veidošanai, tāpēc pievedējtraktoram, kas nav aprīkots ar kniebējgalvu, var rasties grūtības izvest biokurināmo, neradot augsnes bojājumus vai vienkārši nenogrimstot.

Pirmo un pēdējo problēmu var atrisināt, aprīkojot pievedējtraktoru ar nelielu kniebējgalvu, ne obligāti ar akumulējošu satvērēju, kas izmantojama garāko koku pārkniebšanai un materiāla sagatavošanai ceļa pakošanai nepieciešamības gadījumā. Šāds risinājums ir izdevīgāks, nekā likt harvesteram vai citam mežizstrādes mehānismam griezt garākos kokus noteikta garuma nogriežņos, jo tas neatrisina otru problēmu – materiāla sagādi ceļu pakošanai. Nokraušanas vietu nevar nodrošināt ar tehniskiem risinājumiem, tomēr, ja pievedējtraktors ir aprīkots ar kniebējgalvu, tas var "apcirt" garākos kokus, nodrošinot to, ka koku garums nepārsniedz pieejamās krautnes platumu. Būtiski, ka ar kniebējgalvu "nocirtās" galotnes var pārvietot vēlamajā vietā, neatlaižot satvērējus.

Turpmākajās nodaļās aprakstīta veselu koku pievešana ar meža un lauksaimniecības traktoriem. Veselu sīkkoku pievešana izstrādes procesā ar pievedējtraktoru, kas aprīkots ar akumulējošu kniebējgalvu, nav iekļauts aprakstā, jo tas jau ir raksturots nodaļā Sīkkoku izstrāde ar harvesteru un pievedējtraktoru.

### *Meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu*

Izplatītākais risinājums sīkkoku pievešanai jaunaudzēs ir vidējās vai mazās klases meža pievedējtraktori ar riteņu piedziņu, piemēram, Ponsse Gazelle (Att. 23) vai Vilmek 608.2, kā mazākās klases pārstāvis. Šie pievedējtraktori spēj pārvadāt 10-14 tonnas sīkkoku. Pielietojot mazgabarīta tehniku, lielākās priekšrocības ir nelielas izmaksas, mazāka slodze uz augsni un audzes saglabāšana, jo nav jāveido tehnoloģiskie koridori 4 m platumā.

Jaunaudzēs svarīgi, lai pievedējtraktors radītu pēc iespējas mazāku spiedienu uz augsni un tam būtu pēc iespējas lielāka kravnesība, lai pārbraucienu skaits katrā tehnoloģiskajā koridorā būtu iespējami mazāks. Riteņtraktoriem spiediena uz augsni samazināšanai var izmantot kāpurķēdes (ir jāizvēlas augsnēm ar mazu nestspēju paredzētas kāpurķēdes,



pretējā gadījumā negatīvā ietekme uz augsni var būt vēl lielāka, nekā bez ķēdēm), palielināt asu skaitu vai kombinēt šos abus risinājumus, kā redzams Att. 24. Vēl viens paņēmieni, ko praktizē mežizstrādātāji ziemeļvalstīs, bet kas nav īpaši efektīvs, salīdzinot ar kāpurķēdēm, ir spiediena samazināšana riepās (Nugent et al., 2003).



**Att. 23 Ponsse Gazelle pievedējtraktors<sup>19</sup>.**



**Att. 24 Vimek firmas pievedējtraktors.**

<sup>19</sup> Foto: A. Lazdiņš.



**Att. 24 Ponsse 10W pievedējtraktors<sup>20</sup>.**

Pievedējtraktora izmantošana sīkkoku pievešanai ir salīdzinoši dārgs risinājums, taču to pašu pievedējtraktoru var izmantot gan sastāva gan krājas kopšanā, gan arī galvenajā cirtē, sadalot investīciju riskus.

Pievedot veselus kokus, pievedējtraktoru ieteicams aprīkot ar kniebējgalvu, izvēloties tādu modeli, kas pēc iespējas mazāk apgrūtina iekraušanu un izkraušanu. Statņi ir jāuzstāda visaugstākajā pozīcijā, lai pa ceļam krava neizjuktu. Iekraujot sīkkokus, ir jāskatās, lai kāds koks vai lielāks zars nenostājas perpendikulāri kravai. Ar šādiem "izaugumiem" var sabojāt visus tehnoloģiskā koridora malās augošos kokus. Praksē to ne vienmēr ir viegli izdarīt, jo operators blīvajā koku lapotnē var neredzēt, kā kravas telpā nokrīt atsevišķi koki. Tāpēc svarīgi, pirmkārt, rūpīgi veidot kravu, otrkārt, izstrādes laikā veidot pietiekoši plašus tehnoloģiskos koridorus (4 m), lai samazinātu koridoru malās augošo koku bojājumu risku un uzlabotu redzamību.

Pievedot veselus kokus, jāreķinās ar nepieciešamību pagriezties tehnoloģiskā koridora galā, tāpēc ap cismām ir jābūt izzāgētām joslām pievedējtraktora pārbraucieniem, rēķinoties ar 10-12 m garas mašīnas pagrieziena leņķi. Veicot veselu koku pievešanu jaunaudžu kopšanā sabojāto vai savlaicīgi izzāgēto koku skaits līdzīgos apstākļos vienmēr būs lielāks, nekā, pievedot daļēji atzarotus sīkkokus, saiņus vai šķeldas. Tas ir viens no būtiskākajiem veselu koku izstrādes tehnoloģijas trūkumiem.

Veselu koku pievešana nerada būtiski lielāku negatīvo ietekmi uz vidi, ja neskaita mežsaimnieciskos riskus, tomēr, izvedot veselus kokus, no mežaudzes tiek izvāktas arī lapās un skujās uzkrātās barības vielas, kas var negatīvi ietekmēt saglabājamo koku augšanas gaitu. Savukārt, augšgala krautuvē tiks uzkrātas barības vielas koncentrētā veidā, kas, visticamāk, ieskalosies kādā no ūdenskrātuvēm. Teorētiski barības vielu iznesi no mežaudzes var novērst, atstājot kokus ilgāku laiku cismā (ļaujot lapām un skujām nobirt), taču tas var palielināt kaitēkļu savairošanās risku.

Materiālu pievešanā sastāva kopšanas cirtēs pievedējtraktora strēle ar lielu izlīci nav uzskatāma par priekšrocību, bet gan par trūkumu, jo ar garu strēli ir grūtāk manevrēt, attiecīgi, palielinās saglabājamo koku bojājumu risks.

#### *Meža pievedējtraktori uz buldozera šasijas*

Efektīvākais risinājums ietekmes uz vidi mazināšanai un resursu pieejamības nodrošināšanai pievešanas operācijā ir pievedējtraktoru uz buldozera šasijas ar neatkarīgu piekari izmantošana. Šādus pievedējtraktorus ražo, piemēram, somu uzņēmums ProSilva (Att. 25).

Šādi pievedējtraktori ir dārgāki par analogas kravnesības pievedējtraktoriem uz riteņiem, neatkarīgi no tā, vai riteņi ir apgādāti ar kāpurķēdēm vai nē. Šādu pievedējtraktoru

<sup>20</sup> Avots: <http://www.ponsse.com/products/forwarders/10w>.

izmantošana ekonomiski attaisnojas, ja ir bieži jāstrādā kopšanas cirtēs kūdreņos, kur riteņtraktoru izmantošana ir iespējama tikai ziemā uz sasalušas augsnes.

Kāpurķēžu traktoru degvielas patēriņš, ņemot vērā lielo kravnesību (15 tonnas), nav lielāks kā vidējās klases pievedējtraktoriem ar riteņu piedziņu. Ņemot vērā neatkarīgo piekari, lielu dimensiju kritālas un celmi nerada grūtības pārvietoties pa cirsma, arī pagrieziena rādiuss nav lielāks, kā riteņtraktoriem.



Att. 25 ProSilva pievedējtraktors uz buldozera šasijas<sup>21</sup>.

#### *Pievelājtraktors uz lauksaimniecības traktora bāzes*

Pievešanas izmaksu samazinājumu var panākt, izmantojot pārbūvētus lauksaimniecības traktorus. Piemēram, Att. 26 redzamais pievelājtraktors uz Valtra traktora bāzes maksā ap 110 tūkst. EUR. Jaunaudžu kopšanā vairumā gadījumu nebūs aktuāla galvenā tehniskā problēma, ar ko šāda veida traktoriem nākas saskarties galvenajā cirtē – zemais klīrens, jo izzāgājamo koku celmi būs pietiekoši mazi, lai traktors var tiem pārbraukt, bet iepriekšējās aprites lielo celmu virszemes daļa kopšanas laikā (20-30 gadi pēc iepriekšējās galvenās cirtes) jau būs sadalījusies.

Lauksaimniecības traktoru degvielas patēriņš neatšķiras no meža traktoru rādītājiem, arī riteņu spiediens uz augsni ir sabalansēts, lai neradītu dažādu spiedienu uz augsni. Mitrās augsnēs ar zemu nestspēju lauksaimniecības traktori rada lielāku augsnes bojājumu risku, jo atšķirībā no meža traktoriem, tiem nevar uzlikt kopīgas kāpurķēdes uz priekšējo asu riteņiem. Tāpēc lauksaimniecības traktorus jaunaudžu kopšanā ieteicams izmantot tikai uz sausām minerālaugsnēm.

Vēl lētāks risinājums ir pielāgotu vieglo lauksaimniecības traktoru (Att. 27) izmantošana veselu sīkkoku pievešanai. Šāda veida tehnikas izmantošana saistīta ar 2 papildus riskiem – hidrosūkņa jauda var būt nepietiekoša hidromanipulatora un kniebējgalvas darbināšanai, ja ir nepieciešama sīkkoku "cirpšana", un traktors var būt par vieglu, lai neapgāžoties vai nesavārojošies ieceltu (jo, atšķirībā no kailcirtes, jaunaudžu kopšanā sortimenti ir tieši jāieceļ, nevis jāievelk) sīkkokus kravas kastē.

Lauksaimniecības traktoru priekšrocība ir spēja patstāvīgi pārvietoties starp cirsma, tiem nav jāizmanto treilera pakalpojumi. Bez tam lauksaimniecības traktorus var izmantot to tiešajam pielietojumam – lauksaimniecībā. Plānojot iegādāties specializētu tehniku, kas izmantojama tikai kopšanā, tam ir liela nozīme, ņemot vērā sezonālos mežizstrādes aizliegumus.

<sup>21</sup> Avots: Uusitalo, 2012.





Att. 26 Kokmateriālu pievešanai pielāgots Valtra traktors<sup>22</sup>.



Att. 27 Ford markas traktors, kas pielāgots sīkkoku pievešanai<sup>23</sup>.

#### Daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu pievešana

Daļēji atzarotu sīkkoku un to galotņu izstrāde pēdējos gados kļuvusi par populārāko biokurināmā sagatavošanas tehnoloģiju jaunaudzēs Ziemeļvalstīs, jo tā ļauj saglabāt mežaudzē skujās un lapās ieslēgtās barības vielas, palielina pievešanas darba ražīgumu un samazina saglabājamo koku bojājumu risku, ļauj izmantot krājas kopšanās pielietoto tehniku un darba iemaņas, kā arī nodrošina ceļa pakošanai nepieciešamo materiālu (Skogforsk, 2011).

Daļēji atzarotu sīkkoku pievešanas priekšrocība ir arī kompaktāka krava, kas ļauj samazināt manevrēšanai nepieciešamo laukumu. Optimālos apstākļos piekrauts pievedējtraktors var braukt arī atpakaļgaitā, jo koku vainagi kravas kastē neaizsedz skatu un nepastāv risks, ka nozāģētie koki aizķersies aiz saglabājamiem kokiem, radot mehāniskus bojājumus. Augšgala krautuvē daļēji atzarotiem sīkkokiem nepieciešama tikpat plata krautnes josla kā apaļkokiem, attiecīgi, varbūtība atrast krautnei piemērotu vietu kopjamās audzes tuvumā ir krietni lielāka, nekā izstrādājot veselus kokus. Saskaņā ar Zviedrijā veiktu pētījumu rezultātiem kravas

<sup>22</sup> Avots: <http://www.ihb.de/wood/srvAuctionView.html?AucTid=17831063>.

<sup>23</sup> Avots: <http://www.athestonfirewood.co.uk>.

tilpnes izmantošana, pārvadājot daļēji atzarotus sīkkokus ir 95 % no kravas tilpnes izmantošanas, pārvadājot papīrmalku (Bjorheden, 2011).

Pārvadājot daļēji atzarotus sīkkokus vai saiņus, pievedējtraktoram nav nepieciešams papildus aprīkojums garāko koku sagriešanai.

#### *Ar meža pievedējtraktoru*

Daļēji atzarotu sīkkoku pievešanai jaunaudzū kopšanā var izmantot standarta pievedējtraktorus ar riteņu vai kāpurķēžu piedziņu. Izdevīgāk izmantot tādus pievedējtraktorus, ko mežizstrādes sezonālo ierobežojumu laikā var izmantot arī galvenajā cirtē vai celmu pievešanā, lai nepieļautu ilgstošu tehnikas dīkstāvi.

Daļēji atzarotu sīkkoku pievešanā neparādās pagarināta rāmja (un kravas tilpnes) priekšrocības, jo koki ir dažāda garuma un tos var sakraut tikai vienā rindā. Taču pieredzējis operators var izmantot pagarinātā pievedējtraktora kravas tilpni efektīvāk, kraujot sīkkokus ar tievgaļiem kopā, izvietojot kokus nevis vienā, bet "pusotrā" rindā.

Pievedot saiņus, izdevīgāks pievedējtraktors ar pagarinātu rāmi, kas spēj sakraut līdz 6 m garu kravu. Tomēr, strādājot uz augsnēm ar zemu nestspēju, kravas palielināšana var palielināt pievedējtraktora negatīvo ietekmi uz augsni un saglabājamo koku saknēm.

#### *Sīkkoku pievešana ar harvarderu*

Sīkkoku izstrāde un pievešana ar harvarderu saskaņā ar somu zinātnieku pētījumiem ir izdevīga tad, ja pievešanas attālums ir mazāks par 150 m, bet kopējais izstrādājamais apjoms ir mazāks par 100 m<sup>3</sup> (līdz 50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). Pārējos gadījumos attaisnojas tradicionālās 2 mašīnu sistēmas izmantošana (Kärhä, 2006). Zviedrijā veiktos pētījumos konstatēts, ka harvardera produktivitāti var paaugstināt par 20 %, ja harvarders izstrādes laikā nenoņem kravas nodalījuma statņus un krauj sagatavoto sīkkoksni tieši kravas tolpnē. Šāda darba metode prasa augstu operatora kvalifikāciju, tāpēc tās izplatīšanās ierobežojošais faktors var būt kvalificēta darbaspēka trūkums (Wester and Eliasson, 2003a). Papildus grūtības rada tas, ka kopšanā operatoram jādalā uzmanība starp mežsaimniecisku jautājumu risināšanu (izzāgējamo koku izvēle), zāgēšanu un mašīnas vadīšanu. Ja tam nāk klāt arī pastiprināta uzmanība sortimentēšanas procesā (lai neiztriektu zāgējamus kokus cauri kabīnes stiklam), var ciest pārējo darbu kvalitāte.

#### *Ar pievedējtraktoru uz lauksaimniecības traktora bāzes*

Tieši tāpat kā veselu koku pievešanā (nodaļa Veselu sīkkoku pievešana), daļēji atzarotus sīkkokus un saiņus var pievest ar pārbūvētiem lauksaimniecības traktoriem. Atšķirībā no veselu koku pievešanas, daļēji atzarotus sīkkokus var pievest arī ar pavisam maziem traktoriem (Att. 28), ja to manipulators ir pietiekoši jaudīgs, lai var pacelt un ielikt (nevis ievilkt) kravas kastē vairākus sīkkokus, bet tam vairumā gadījumu sagādās problēmas veselu koku iecelšana kravas kastē.

Mazie lauksaimniecības traktori ar pievedējtraktora aprīkojumu maksā vismaz 10 reizes lētāk, nekā mazāks klases pievedējtraktors, taču tiem ir mazāks darba ražīgums, tāpēc ietaupījumus investīcijās kompensē atalgojuma daļas pieaugums.



**Att. 28 Neliels lauksaimniecības traktors ar aprīkojumu kokmateriālu pievešanai<sup>24</sup>.**

#### Šķeldu pievešana

Kombinētās izstrādes un smalcināšanas iekārtas jau raksturotas iepriekšējās nodaļās (Šķeldotāji uz harvardera vai pievedējtraktora bāzes), tāpēc šeit netiks izskatīta detalizētāk. Šķeldu pievešanai no cirsmas pastāv vairāki tehniski risinājumi:

- cirmā strādā 2 mašīnas: šķeldotājs uz harvardera vai pievedējtraktora bāzes un pievedējtraktors ar konteineru platformu; pirmā mašīna gatavo šķeldas un, kad bunkurs ir pilns, sazinās ar otrās mašīnas operatoru un cirsmas malā pārber šķeldas no šķeldotāja bunkura traktora bunkurā, savukārt traktors tālāk pārber šķeldas mašīnas kravas kastē vai konteinerā (Att. 29), vai uz zemes;
- šķeldotājs strādā cirmā viens pats un, kad konteiners ir pilns, patstāvīgi brauc uz augšgala krautuvi, kur pārber šķeldas kravas mašīnas konteinerā vai zemē un brauc atpakaļ uz cirmu;
- trešais variants, kas līdzīgs iepriekšējam – šķeldotājs brauc uz augšgala krautuvi, nomaina konteineru un atgriežas cirmā, bet kravas mašīna savāc pilno(s) konteinerus un ved šķeldas pie patērētāja.

Šķeldu pievešana no cirsmas var būt izdevīgāka, ja ar šķeldu pievešanu aizstāj mežizstrādes atlieku pievešanu, jo šķeldu krāvuma blīvums ir vismaz 2 reizes lielāks, nekā mežizstrādes atlieku krāvuma blīvums ("Biomass Transportation and Delivery Fact Sheet 4.5," n.d.), tomēr jāreķinās, ka pievešanu veic ar tehnikas vienību, kas maksā 3 reizes vairāk par vidusmēra pievedējtraktoru, bez tam šī tehnikas vienība ir izmantojama tikai sīkkoku smalcināšanai, kas ir sezonāls darbs.

Dažādu mobilo šķeldotāju bunkura tilpums ir 10-30 m<sup>3</sup> (Wynsma et al., 2007). Reāli kopšanas cirtēs var izmantot šķeldotājus ar nelieliem (10-15 m<sup>3</sup>) bunkuriem. Maksimālo tilpumu ierobežo gan mašīnas pašmasa, gan bunkura gabarīti.

Mašīnas gabarīti un masa nosaka arī to, ka degvielas patēriņš biokurināmā pievešanai ir lielāks, nekā, piemēram, apaļkoku pievešanai, bet tas kompensējas, pateicoties efektīvākai kravas tilpnes izmantošanai, salīdzinot ar mežizstrādes atliekām. Mobilo šķeldotāju masa ir par 30-70 % lielāka, nekā tādas pašas kravnesības apaļkoku pievedējtraktora masa, tāpēc mobilie šķeldotāji rada lielāku ietekmi uz augsni un tiem ir mazākas izmantošanas iespējas uz augsnēm ar mazu nestspēju.

<sup>24</sup> Avots: <http://arbtalk.co.uk/forum/general-chat/4868-alpine-tractor.html>.



Att. 29 Šķeldu konteinera pārbēršana<sup>25</sup>.



Att. 30 Dažādu materiālu krāvuma blīvums<sup>26</sup>.

#### Kopsavilkums par pievešanas tehnoloģijām

Pētījumā identificēti 12 tehnoloģiskie risinājumi pievešanas operācijai jaunaudžu kopšanā. Tehnoloģisko risinājumu vērtējums dots 2. tabulā; biomasas produkti, kas jātransportē pievešanas operācijā parādīti Att. 22. Universālākie tehniskie risinājumi ir meža pievedējtraktori uz riteņu vai kāpurķēžu bāzes, lielākais pielietojamas potenciāls, ņemot vērā, ka aptuveni 30 % jaunaudžu, kurās var sagatavot biokurināmo, atrodas uz augsnēm ar mazu nestspēju, ir pievedējtraktoriem uz kāpurķēžu bāzes.

Visām identificētajām tehnoloģijām veikts salīdzinājums, vērtējot 5 kritērijus:

- ekonomiskais vērtējums – investīcijas, tehnikas izmantošanas iespējas dažādiem mērķiem, pievešanas izmaksas;
- mežsaimnieciskais vērtējums – darba izpildes kvalitāte, bojājumu un slimību izplatīšanās risks;

<sup>25</sup> Avots: biopress, Torben Skøtt.

<sup>26</sup> Avots: "Biomass Transportation and Delivery Fact Sheet 4.5," n.d..

- tehniskais vērtējums – mehanizācijas līmenis, mašīnas tehniskie rādītāji, kas ierobežo vai rada priekšrocības to izmantošanai;
- ietekmes uz vidi vērtējums – degvielas patēriņš, spiediens uz augsni;
- ekoloģiskais vērtējums – trokšņu līmenis, ietekme uz bioloģiskās daudzveidības elementiem (nedzīvā koksne, bioloģiski vērtīgie koki).

Tehnoloģiju salīdzinājums 2. tabulā rāda, ka pievešanas tehnoloģijas, kas ir būtiski pārākas par citām, ir daļēji atzarotu sīkkoku pievešana ar meža pievedējtraktoriem. Otrajā vietā ir biokurināmā saiņu pievešana. Zemāks vērtējums saistīts ar to, ka veselu koku biokurināmā saiņiem ir mazāks krāvuma blīvums, attiecīgi, ar vienādas kravnesības tehniku to pievešana izmaksās dārgāk.

Viszemākais novērtējums ir šķeldu pievešanai, jo šis tehniskais risinājums saistīts ar vislielākajām izmaksām, tas ir šauri specializēts un rada vislielāko negatīvo ietekmi uz vidi. Lauksaimniecības traktora vērtējumu pazemina mežsaimnieciskie un tehniskie riski, kas ierobežo šīs tehnikas pielietošanu, savukārt, harvardera vērtējumu pazemina lielās izmaksas – faktiski pievešanu veic ar mašīnu, kas maksā tikpat, cik harvesters.



2. Tabula: Pievešanas tehnoloģiju salīdzināšanas kopsavilkuma tabula

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
Veselu sīkkoku pievešana, veselu koku sortimentu var iegūt visos izstrādes tehnoloģiskajos procesos (nodaļa Izstrādes tehnoloģijas, 1. Tabula. tabula)							
1.	Meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu	3	3	5	3	5	3,8
2.	Meža pievedējtraktoru uz buldozera šasijas	2	4	4	4	5	3,8
3.	Ar pievedējtraktoru uz lauksaimniecības traktora bāzes	4	2	3	2	4	3,0
4.	Ar harvarderu	2	3	5	4	5	3,8
Daļēji atzartu sīkkoku pievešana, daļēji atzartu sīkkoku sortimentu iegūst ar kniebējgalvu un standarta harvestera griezējgalvu, kas montētas uz harvestera, pievedējtraktora (kniebējgalva) vai harvardera, kā arī, strādājot ar rokas darba instrumentiem							
5.	Meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu	4	4	5	4	5	4,4
6.	Meža pievedējtraktoru uz buldozera šasijas	3	5	4	5	5	4,4
7.	Ar pievedējtraktoru uz lauksaimniecības traktora bāzes	5	3	3	3	4	3,6
8.	Ar harvarderu	3	4	5	4	5	4,2
Šķeldu pievešana, šķeldas cismā sagatavo ar smalcināšanas iekārtām, kas montētas uz harvardera vai pievedējtraktora un aprīkotas ar šķeldu uzkrāšanas bunkuru							
9.	Šķeldotāja bunkurā	1	1	3	2	3	2,0
Biokurināmā saiņu pievešana, saiņus gatavo ar saiņotāju, kas montēts uz pievedējtraktora vai harvardera un pats veic izstrādi (kopšanu) vai seko cismā citām mežizstrādes mašīnām							
10.	Meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu	3	4	5	4	5	4,2
11.	Meža pievedējtraktoru uz buldozera šasijas	2	5	4	5	5	4,2
12.	Ar pievedējtraktoru uz lauksaimniecības traktora bāzes	4	3	3	3	4	3,4

## Biomases uzglabāšana augšgala krautuvē

Biomases uzglabāšanas mērķis augšgala krautuvē ir samazināt mitruma saturu kurināmajā, izmantojot saules un vēja enerģiju, un atbrīvoties lapām un skujām, kas satur lielāko daļu kokaugu biomasā uzkrāto barības vielu elementu, tajā skaitā kālija un hlora, kas ir apkures sistēmām "kaitīgākie" elementi – kālijs sekmē kušņu veidošanos, bet hlors veicina metāla detaļu koroziju. Somijā un ASV veiktos pētījumos konstatēts, ka labvēlīgos apstākļos relatīvais mitruma saturs skujkoku mežizstrādes atliekās uzglabāšanas laikā var samazināties līdz 20 % (Nurmi, 2001; Gautam et al., 2012). Ja nav lietus, tad šādu mitruma saturu koksne var panākt 4 nedēļu laikā un nav nozīmes, vai mežizstrādes atliekas žūst harvesterā veidotās kaudzītēs cismā vai augšgala krautuvē. Praksē šādi rezultāti nekad netiek sasniegti, jo pēc katras lietusgāzes mitruma saturs koksne strauji palielinās un Latvijā bez nokrišņu periodi nav garāki par 1 nedēļu. Tas nozīmē, ka Latvijas apstākļos jāreķinās ar pieticīgākiem rezultātiem. To apliecina arī agrāk veikti pētījumi, piemēram, 2004. gadā uzsāktais pētījums par mežizstrādes atlieku pārstrādi biokurināmajā galvenajā cirtē (Thor et al., 2006), kurā konstatēts, ka pēc 6 mēnešu uzglabāšanas mitruma saturs šķeldās nav mazāks par 40 %. Arī projekta BalBic<sup>27</sup> ietvaros veiktā šķeldu kvalitātes novērtējumā konstatēts, ka, neatkarīgi no tā, cik ilgi šķeldas uzglabātas un vai ir lietots pārseguma papīrs, relatīvais mitruma saturs nesamazinās zem 33 %, bet vidējais mitruma saturs ziemā smalcinātā koksne ir 45 %. 2004. gadā uzsāktajā mežizstrādes atlieku pārstrādes pētījumā konstatēts arī, ka relatīvais mitruma saturs svaigu mežizstrādes atlieku saiņos uzglabāšanas laikā nemainās un saglabājas virs 50 %.

Celmu izstrādes izmēģinājumos Somijā konstatēts, ka vienu mēnesi pēc izstrādes relatīvais mitruma saturs koksne samazinās no 53 % līdz 31 % un turpmākajos mēnešos būtiskas izmaiņas nenotiek – pēc lietus mitruma saturs pieaug, saulainās un siltās dienās samazinās. Tajā pat laikā koksnes enerģētiskā vērtība 2-3 gadu laikā nesamazinās (Laurila and Lauhanen, 2010).

Latvijā nav veikti pētījumi par mitruma satura izmaiņām uzglabāšanas laikā veselos kokos un daļēji atzarotos kokos. Diskutējot par šo jautājumu ar Ziemeļvalstu ekspertiem, secināts, ka arī tur šādu pētījumu trūkst. Praktiķu secinājums ir tāds, ka veseli koki, kas nokrauti ar lapām un skujām, žūst sliktāk, nekā daļēji atzaroti un sagarumoti koki, kuru miza ir bojāta ar harvesteru ruļļiem vai motorzāģi. Arī šādu koku krāvums nodrošina labāku gaisa cirkulāciju.

Eksistē vairāki paņēmieni, kā uzlabot biokurināmā kvalitāti sīkkoku krautnēs. Viens no paņēmieniem ir „cepures” veidošana (Att. 31), lai mitrums nenonāk uz stumbru galiem, kur mitruma uzsūkšanās notiek visintensīvāk. Otrs paņemiens, ko pielieto arī Latvijā, ir speciāla mitruma necaurlaidīga papīra pārseguma uzklāšana. Ņemot vērā, ka veselu sīkkoku krāvums var būt 10 m plats, bet papīrs tikai 3-4 m plats, ir svarīgi, kurā vietā šo pārsegumu uzklāj. Saskaņā ar Ziemeļvalstu praktiķu paustu viedokli, papīru vislabāk klāt uz resgaļiem, kur koncentrēta lielākā koksnes masa. Daļēji atzarotus sīkkokus, tāpat kā celmus, aplāt ar papīru nav lietderīgi, jo pirmajā gadījumā krāvums nodrošina pietiekoši labu aerāciju, bet otrajā gadījumā celmu krautnēm ir nepieciešams lietus, lai atbrīvotos no augsnes.

Daļēji atzarotu sīkkoku kaudzes pielīdzināmas cismā ilgstoši uzglabātiem apaļkoku sortimentiem, kas var kļūt par kaitēkļu izplatīšanās perēkli, lai gan zinātniska pamatojuma šādam uzskatam nav.

Darbā izvērtētas 4 biomasas uzglabāšanas alternatīvas augšgala krautuvē:

- veselu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma;
- veselu sīkkoku uzglabāšana ar pārsegumu (Att. 32);
- daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma;
- saiņu uzglabāšana bez pārseguma (Att. 33).

<sup>27</sup> <http://www.balbic.eu>.

Visos variantos pieņemts, ka saiņotus vai citādi apstrādātus sīkkokus izved no cirmsas tūlīt pēc kopšanas, t.i. neatstāj cirmā apžūt, jo sīkkoku atstāšana cirmā var būt saistīta ar kaitēkļu savairošanās risku. Praksē gan notiek tieši pretēji, visa sastāva kopšanā nozāģētā sīkkoksne paliek mežā satrūdēšanai, tāpēc šim jautājumam ir jāveltī atsevišķs pētījums.

Visiem alternatīvajiem risinājumiem veikts salīdzinājums, vērtējot 5 kritērijus:

- ekonomiskais vērtējums – investīcijas, uzturēšanas izmaksas;
- mežsaimnieciskais vērtējums – bojājumu un slimību izplatīšanās risks;
- tehniskais vērtējums – tehnisko ierobežojumu esamība, piemēram nokraušanai nepieciešamais laukums, ietekme uz kurināmā kvalitāti;
- ietekmes uz vidi vērtējums – piesārņojums ar biogēnajiem elementiem<sup>28</sup>;
- ekoloģiskais vērtējums – iespējamā ietekme uz bioloģiskās daudzveidības elementiem<sup>29</sup>.



Att. 31 „Cepures” izveidošana efektīvāka mitruma samazināšanai<sup>30</sup>.

<sup>28</sup> Vērtējumā pieņemts, ka sīkkokus izved no cirmsas tūlīt pēc izstrādes.

<sup>29</sup> Šajā vērtējumā visām tehnoloģijām piešķirti 3 punkti, jo zinātnisku pētījumu par sīkkoku uzglabāšanas ietekmi uz bioloģisko daudzveidību, salīdzinot dažādus paņēmienus, rezultāti autoriem nav pieejami.

<sup>30</sup> Avots: Finnish Forest Research Institute Metla.



Att. 32 Sīkkoku kaudzes pārklāšana ar ūdensnecaurlaidīgu papīru<sup>31</sup>.



Att. 33 Saiņu uzglabāšana mežā (kreisajā pusē) un pie patērētāja<sup>32</sup>.

Pētījumā identificēto 4 biomasas uzglabāšanas tehnoloģisko risinājumu vērtējums dots 3. tabulā. Augstāko vērtējumu ieguvusi daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu uzglabāšana bez pārseguma. Daļēji atzaroto sīkkoku uzglabāšanas vērtējumu nedaudz pazemina Latvijas normatīvos noteiktā prasība apsegt lielāko dimensiju mežizstrādes atliekas ar zariem, lai mazinātu fitosanitāros riskus (Ministru Kabinets, 2008). Praktiski tas nav iespējams, jo zari ir atstāti cīsmā. Tāpat, nevar apsegt ar zariem veselu koku krautnes, jo sīkkoki nav atzaroti.

Zemāks novērtējums dots veselu sīkkoku uzglabāšanai, jo tam nepieciešama lielāka platība un veselu koku uzglabāšana (ar lapām un skujām) veicina barības vielu iznesi no meža ekosistēmām.

<sup>31</sup> Foto: A. Lazdiņš.

<sup>32</sup> Attēla kreisajā pusē Foto: A. Lazdiņš, attēla labajā pusē avots: <http://www.aebiom.org/>.

3. Tabula: Biokurināmā uzglabāšanas tehnoloģiju salīdzināšanas kopsavilkuma tabula

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
1.	Veselu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma	4	4	5	3	3	3,8
2.	Veselu sīkkoku uzglabāšana ar pārsegumu	3	4	5	4	3	3,8
3.	Dalēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma	5	4	5	5	3	4,4
4.	Saiņu uzglabāšana bez pārseguma	5	5	5	4	3	4,4



## Biomases smalcināšanas tehnoloģijas

Jaunaudzēs sagatavojamo biokurināmā sortimentu īpašības maz ietekmē biomasas smalcināšanas tehnoloģijas, t.i. jebkura sortimenta smalcināšanai var izmantot jebkuru no industriālajiem drupinātājiem vai šķeldotājiem, tāpēc smalcināšanas etaps skatīts neatkarīgi no sagatavotajiem sortimentiem.

Pētījumā izskatītas 3 tehnoloģijas, neskaitot mobilos, cīsmā strādājošos šķeldotājus – biomasas šķeldošana augšgala krautuvē, biomasas drupināšana pie patērētāja ar lieljaudas drupinātājiem ar dīzeļmotora piedziņu un drupināšana ar lieljaudas drupinātājiem ar elektropiedziņu.

### Biomases smalcināšana cīsmā

Biomases smalcinātāji, kas strādā cīsmā, vienlaicīgi veicot izstrādi vai arī pēc citām mežizstrādes mašīnām, kas iepriekš nozāgējusi sīkkokus, raksturoti nodaļā Šķeldotāji uz harvardera vai pievedējtraktora bāzes. šādiem šķeldotājiem raksturīga mazāka jauda (faktiski tie atbilst mazākās klases šķeldotājiem ar rokas padevi, ko Latvijā agrāk nereti iegādājās pašvaldības, lai sasmalcinātu nomaļus un zarus). Tekstā jau pieminētā Valmet 801 Combi Bioenergy pašmasa ir 19800 kg, bunkura tilpums 27 m<sup>3</sup>, dzinēja jauda 140 kW, griezes moments 740 Nm pie 1200 rpm. Šķeldotājam ir hidrauliskā vai kardāna piedziņa.

Būtiskie šāda veida šķeldotāju trūkumi ir šaurā specializācija, nelielais darba ražīgums un lielā masa, kas kopumā rada lielus ekonomiskos, vides un mežsaimnieciskos riskus. Šķeldošana mežā saistīta ar paaugstinātu trokšņu līmeni, kas rada vēl papildus ekoloģiskos riskus. Sakarā ar šķeldošanas iekārtas novietojumu, mobilajiem šķeldotājiem parasti ir zemāks klīrenss, nekā bāzes mašīnai, kas, savukārt, apgrūtina to pārvietošanos pielūžņotās cīsmās.

### Biomases šķeldošana augšgala krautuvē vai pie patērētāja

Latvijā, arī Ziemeļvalstīs, visizplatītākais biokurināmā smalcināšanas paņēmieni ir augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju. Kā bāzes mašīnu šādiem šķeldotājiem izmanto kravas automašīnas ar paaugstinātu caurejamību, lauksaimniecības traktoros un, arvien retāk, meža pievedējtraktoros. Latvijā populārākais risinājums sakarā ar nelielajiem pārbraucienu attālumiem ir uz lauksaimniecības traktora puspiekabes montēti šķeldotāji.

Vieni no izplatītākajiem šķeldotājiem Baltijas reģionā ir dažādas Bruks 805 modifikācijas (Att. 34). Šķeldotāja padeves mehānisma atveres izmēri ir 720 x 850 mm, attiecīgi, tas var bez grūtībām smalcināt arī saiņotu biomasu, dzinēja jauda 331 kW, pašmasa 11 tonnas, vilcējam jābūt ar vismaz 16 tonnu kravnesību. Šim šķeldotājam ir arī neliels bunkurs šķeldu uzkrāšanai, piemēram tajā laikā, kad tiek nomainīts kravas mašīnas konteiners.

Vairumā gadījumu šķeldotājiem ir sānos novietota padeve, kas nodrošina ērtu strādāšanu pie sīkkoku kaudzēm, gatavā produkcija tiek padota bunkurā, ja tāds ir, uz sāniem vai aizmuguri. Spējai iepūst šķeldas aizmugurē stāvošā mašīnā ir būtiska loma vietās, kur ceļš ir par šauru, lai šķeldotājs un kravas mašīna var nostāties blakus. Atsevišķu modifikāciju agrāk ražotiem šķeldotājiem, tajā skaitā Bruks, bija zemu novietota šķeldu pūtēja izplūdes caurule, kā rezultātā šādām mašīnām sagādāja grūtības iepūst šķeldas konteineros ar augstākiem bortiem vai arī vietās, kur šķeldotājam ir jānobrauc zemākā vietā, lai dotu vietu šķeldu vedējam. Uz kravas mašīnas montētus šķeldotājus nereti aprīko ar paceļamu operatora kabīni, kas palīdz bez lāpstas palīdzības precīzi aizpildīt šķeldu vedēja kravas tilpni.

Mobilo šķeldotāju darba ražīgums ir 50-90 ber. m<sup>3</sup> stundā. Galvenais darba ražīgumu ierobežojošais faktors ir dīkstāves šķeldu vedēju vai konteineru nomainīšanas laikā, kā arī pārbraucienu laikā no cīsmas uz cīsmu.



Att. 34 Bruks 805 šķeldotājs<sup>33</sup>.

Mobilajiem šķeldotājiem ir salīdzinoši liels degvielas patēriņš – līdz 1,5 L ber. m<sup>3</sup>, kas ir viens no lielākajiem to trūkumiem. Šķeldotājiem ir siets, kas neizlaiž rupjākās koksnes daļiņas no smalcināšanas tilpnes, taču parasti šīs iekārtas netiek aprīkotas ar sijāšanas galdiem, kas ļauj atbrīvoties no smalkās “komposta” frakcijas.

Šķeldošanai augšgala krautuvē piemēroti veseli koki, daļēji atzarotus sīkkokus labāk transportēt pie patērētāja vai uz lielāku krautuvi, jo apaļkoku krāvuma blīvums ir lielāks, nekā šķeldām, attiecīgi, transporta izmaksas ir mazākas. Arī tehnikas dīkstāve (šķeldu vedējiem iekraušanās laikā) ir mazāka. Vairāk laika tiek patērēts, izkraujot mašīnu, taču to kompensē darba laika ietaupījums iekraujoties.

Augšgala krautuvēs strādājoši šķeldotāji rada palielinātu fona troksni, kas var negatīvi ietekmēt tuvējo mežu faunu šķeldošanas laikā, lai gan trokšņu izplatīšanās attālums, attiecīgi, arī ietekmēta teritorija ir neliela.

#### Biomases smalcināšana pie ar lieljaudas drupinātājiem

Drupinātājus izmanto, galvenokārt, pie patērētāja vai lielākās starpkrautuvēs. Drupinātājus var izmantot veselu koku, apaļkoksnes, mežizstrādes atlieku, saiņu un celmu smalcināšanai, taču drupinātāji parasti ir specializēti un noteiktu biomasas veidu, piemēram, drupinātāji ar sānu padevi ir piemēroti veselu koku, saiņu, apaļkoksnes sortimentu un mežizstrādes atlieku smalcināšanai, bet drupinātāji ar augšējo padevi piemēroti celmu un saiņu smalcināšanai. Drupinātāji iedalās arī ātrgaitas un lēngaitas. Ātrgaitas drupinātāja piemērs ir Latvijā strādājošais CBI Magnum Force 6800 (Att. 35) ar 750 kW dzinēju, gala padevi un darba ražīgumu līdz 500 ber. m<sup>3</sup> stundā. Lēngaitas drupinātāja piemērs, kas gan nav atrodams Latvijā, ir Komptech Crambo 5000 (Att. 36) ar pieticīgāku 328 kW dzinēju, augšējo padevi un līdz 250 ber. m<sup>3</sup> stundā darba ražību. Lēngaitas drupinātāju var aprīkot ar sijāšanas galdu, lai atbrīvotos no smalkās frakcijas, gatavā materiāla transportieri var uzstādīt tā, lai tas iemestu šķeldas tieši kravas mašīnā, kas var nostāties aiz drupinātāja, taču kravas izlīdzināšanu ir jāveic ar rokām. Lēngaitas drupinātājs var strādāt arī augšgala krautuvē, taču tas nav tik mobils kā šķeldotājs uz puspiekabes. Jaudīgo ātrgaitas drupinātāju galvenā problēma, strādājot ar sīku dimensiju koksni un celmiem, ir neefektīva drupinātāja jaudas izmantošana, kā rezultātā degvielas patēriņš var būt 3-4 reizes lielāks, nekā strādājot ar lēngaitas drupinātājiem, kas, pateicoties augšējai padevei, dzinēja jaudu spēj izmantot efektīvāk. Lēngaitas drupinātāji, pateicoties iebūvējamajām sijāšanas sistēmām, var nodrošināt labāku šķeldu kvalitāti, tajā skaitā mazāku augsnes piemaisījumu šķeldās.

Drupinātāju izmantošanas priekšrocības sīkkoku un saiņu smalcināšanai ir liela ražība un neatkarība no smalcināmā materiāla kvalitātes. Lielākās priekšrocības smalcināšanai

<sup>33</sup> Avots: [http://www.mascus.com/image/product/large/wfw/Bruks-805-2,1594\\_1.jpg](http://www.mascus.com/image/product/large/wfw/Bruks-805-2,1594_1.jpg)

pie patērētāja ir efektīvāka tehnikas izmantošana (var pilnībā izvairīties no dīkstāvēm) un iespēja izmantot drupinātājus ar elektrisko piedziņu, kuru “degviela” neapliekas ar akcīzes nodokli un enerģijas izmantošanas lietderības koeficients ir vairākas reizes lielāks, nekā degvielai.

Zviedrijā veikti pētījumi un pilot-izmēģinājumi par mobilo šķeldotāju darbināšanu ar elektroenerģiju, ierīkojot krautnes netālu no transformatoriem, kas var nodrošināt pietiekoši lielu jaudu. Latvijā šāds tehnoloģisks risinājums nav pētīts, taču ekonomisko atdevi var mazināt cirsma nelielais izmērs – šķeldotājam bieži jāpārbrauc, attiecīgi, bieži jānovāc un no jauna jāuzstāda elektroinstalācija. Iespējams, ka arī atbilstošas caurlaidības transformatori ar tik lielu rezerves jaudu lauku teritorijās vairs nav īpaši izplatīti.

Biežāk pieminētais drupinātāju trūkums ir neviendabīgas šķeldas, kas rada aizsprostojumus celulozes šķeldām paredzētās kurināmā padeves sistēmās. Drupinātājās šķeldās nereti ir lielāks smalkās frakcijas piejaukums (Glazar, 2006).



Att. 35 Ātrgaitas drupinātājs CBI Mabnum Force 6800<sup>34</sup>.



Att. 36 Lēngaitas drupinātājs Komtech Crambo 5000<sup>35</sup>.

<sup>34</sup> Foto: V. Lazdāns.

<sup>35</sup> Foto: A. Lazdiņš.

Atsevišķu Zviedrijā izplatītāko drupinātāju raksturojums dots 4.tabulā. Tabulā redzams, ka vismazāko enerģijas patēriņu mežizstrādes atlieku smalcināšanai radījis Bruks 805, savukārt, Crambo 6000, kuram teorētiski vajadzēja būt visekonomiskākajam, radījis vislielāko enerģijas patēriņu, smalcinot mežizstrādes atliekas. Ekonomisks zviedru pētījumos izrādījās arī CBI 8400. Šie rezultāti parāda, cik svarīgi izvēlēties pareizo tehniku katram smalcināmās biomasas veidam, un ka liela jauda pie pareizas noslodzes var nodrošināt būtisku degvielas patēriņa samazinājumu.

**4. Tabula: Dažādu drupinātāju un šķeldotāju salīdzinājums (Skogforsk, 2011)**

Iekārta	Dzinēja jauda, KW	Padeves veids	Materiāls	Enerģijas patēriņš, kW sausnas tonna <sup>-1</sup>	Degvielas patēriņš, L h <sup>-1</sup>	Enerģijas bilance, patērētais pret iegūto
Willibald 5000	338	Drupinātājs ar sānu padevi	Mežizstrādes atliekas	56,3	40,1	94,1
CBI 8400	783	Drupinātājs ar sānu padevi	Mežizstrādes atliekas	19,6	113	271
CBI 8400	783	Drupinātājs ar sānu padevi	Apaļkoksne	22,9	186	226
Bruks 805 uz kravas mašīnas	412	Šķeldotājs ar sānu padevi	Mežizstrādes atliekas	18,9	48,7	280
Komptech Crambo 6000	328	Drupinātājs ar augšējo padevi	Mežizstrādes atliekas	87,7	87,0	60,4

#### Kopsavilkums par smalcināšanas tehnoloģijām

Pētījumā identificēto 4 biomasas smalcināšanas tehnoloģisko risinājumu vērtējums dots 5. tabulā. Augstāko vērtējumu ieguvusi smalcināšana pie patērētāja ar drupinātāju ar elektropiedziņu. Veselu koku smalcināšanai augstāk novērtētais risinājums ir šķeldošana augšgala krautuvē. Saiņiem tehnoloģijas izvēli noteiks attālums līdz patēriņa vietai – jo patēriņa vieta ir tālāk, jo izdevīgāka var būt šķeldošana augšgala krautuvē. Saiņi izmanto kravas tilpni mazāk efektīvi, nekā šķeldas. Attiecībā uz daļēji atzarotiem kokiem nepieciešami papildus pētījumi par kravas tilpnes izmantošanas efektivitāti, jo pieņēmums par lielāku efektivitāti balstīts uz pētījumiem par papīrmalku (vienāda garuma baļķiem, kas ļauj izmantot kravas tilpni visefektīvāk).

Zemākais novērtējums, tāpat kā citos ražošanas operācijās, dots šķeldošanai cismā ar mobilo šķeldotāju uz harvardera vai pievedējtraktora bāzes.

5. Tabula: Biokurināmā smalcināšanas tehnoloģiju salīdzināšanas kopsavilkuma tabula

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
1.	Smalcināšana cīsmā ar mobilo šķeldotāju	1	2	2	2	3	2,0
2.	Smalcināšana augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju	3	4	3	3	4	3,4
3.	Smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem	4	5	5	4	5	4,6
4.	Smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu	5	5	4	5	5	4,8



## Biomases piegāde patērētājam

Jaunaudžu kopšanā sagatavojamie biokurināmā sortimenti ir veseli koki. daļēji atzaroti, sagarumoti sīkkoki, biokurināmā saiņi un šķeldas, attiecīgi, ceļu transports, kas jāizmanto biomasas izvešanai pie patērētāja, ir šķeldu vedēji un kokvedēji. Pētījumā izskatīti 3 šķeldu vedēju varianti un 1 apaļkoku transporta variants – kokvedējs ar puspiekabi.

### Šķeldu piegāde

Šķeldu transporta tehnoloģiju novērtējumā iekļauta konteineru sistēma, šķeldu vedējs ar puspiekabi un konteineru sistēma ar hidraulisko grīdu.

#### *Konteineru sistēma*

Statistikas dati nav apkopoti, taču atbilstoši praktiķu vērtējumam konteineru sistēma (Att. 37) ir izplatītākais šķeldu transportēšanas veids Latvijā. Parasti izmanto 2-3 konteineru sistēmu, t.i. mašīna transportē 2 konteinerus, bet 3. tiek izmantots, lai samazinātu šķeldotāja dīkstāvi. Mašīna iebruc cīrsmā vienlaicīgi ar abiem konteineriem vai arī, ja ir ierobežota vieta vai apgrūtināti braukšanas apstākļi, ievēd konteinerus cīrsmā pa vienam. Katra konteineru tilpums ir 30-35 m<sup>3</sup>, attiecīgi, vienā braucienā mašīna var aizvest 60-70 ber. m<sup>3</sup> šķeldu. Zviedrijā eksperimentāli izmanto t.s. konteineru autovilcienus, savienojot vienā virtēnē 3-4 konteinerus, taču praksē šī tehnoloģija pagaidām nav ieviesusies.

Konteineru izkraušana notiek ar hidropacēlāja palīdzību, izgāžot uz aizmuguri vai sāniem, tomēr biežāk uz aizmuguri.



**Att. 37 Konteineru tipa šķeldas vedējs<sup>36</sup>.**

Konteineru sistēma ir visdrošākā šķeldu transportēšanas tehnoloģija, jo tā ir vispietiecīgākā attiecībā pret braukšanas apstākļiem. Trīs konteineru izmantošana ļauj samazināt šķeldotāja dīkstāves arī pie liela transportēšanas attāluma.

#### *Šķeldu pārvadāšana puspiekabēs*

Puspiekabju lielākā priekšrocība ir ietilpība, vienā reizē var pārvadāt 90 ber. m<sup>3</sup> šķeldu (Att. 38), attiecīgi degvielas patēriņš 1 ber. m<sup>3</sup> pārvadāšanai ir par līdz pat 24 % mazāks, nekā, izmantojot konteineru sistēmu. Taču garās puspiekabes nav tik manevrētspējīgas kā konteinervedēji un nevar iebruc visos meža ceļos, kas būvēti, vadoties no kokvedēju vajadzībām un iespējām. Puspiekabes biežāk izmanto šķeldu pārvadāšanai no kokapstrādes uzņēmumiem. Pilsnēvērtīgai puspiekabju izmantošanai pie liela pārvadāšanas attāluma ir jāierīko biokurināmā starpkrautuve, kurās var koncentrēt un smalcināt dažādus biokurināmā veidus.

<sup>36</sup> Avots: SIA Kvinta A.

Puspiekabes, tāpat izkrauj ar hidropacelāju, izgāžot uz sāniem vai aizmuguri. Šķelidojot puspiekabēm jāstāv blakus šķeldotājam, nevis aiz tā, jo šķeldotājs saviem spēkiem nevar aizpūst šķeldas līdz puspiekabes priekšgalam.



**Att. 38 Šķeldu vedējs ar puspiekabe<sup>37</sup>.**

#### *Konteineri ar hidraulisko grīdu*

Piegādājot biokurināmo pašvaldību katlumājām, jāreķinās ar to kurināmā noliktavu īpatnībām. Ja noliktava ir ar jumtu un nav paredzēta vieta parasto konteineru vai puspiekabju izkraušanai vai tam piemērotā vieta atrodas tālu no kurināmā noliktavas, kurināmo var piegādāt tikai ar konteineriem vai puspiekabēm ar kustīgo grīdu (Att. 39), kuras var izkraut, neizmantojot hidropacelāju. Konteineru tilpums atšķiras dažādiem ražotājiem. Var iegādāties 30-40 m<sup>3</sup> lielus konteinerus šķeldu pārvadāšanai.

Šādas sistēmas ir dārgākas un to izkraušana prasa vairāk laika, taču tajos gadījumos, kad katlumājas īpašnieki nav iedziļinājušies šķeldu pārvadāšanas tehnikas īpatnībās un izvēlējušies investīciju operācijā lētāko un vienkāršāko kurināmā noliktavas variantu, šādas tehnikas esamība var būt vienīgais risinājums dalībai pašvaldību siltumapgādes uzņēmumu konkursos par kurināmā piegādi.

Alternatīvs risinājums izmaksu samazināšanai ir stapkrautuvju ierīkošana netālu no patēriņa vietas, piegādājot biokurināmo uz stapkrautuvēm apaļkoksnes veidā vai ar lētākajām parasto konteineru sistēmām vai puspiekabē, bet tālāk pie patērētāja – jau ar konteineriem ar hidraulisko grīdu.

<sup>37</sup> Foto: A. Zimelis.



Att. 39 Kontainers ar kustīgu grīdu<sup>38</sup>.

#### Sīkkoku un saiņu transports

Daļēji atzarotus sīkkokus un saiņus transportē uz starpkrautuvi vai tieši pie patērētāja. Sīkkoku un saiņu transportam var izmantot parastos kokvedējus (Att. 40). Saskaņā ar Somijā veiktiem pētījumiem vidējā kokvedēja krava, pievedot īsu papīrmalku, ir 47,2 m<sup>3</sup> (Nurminen, 2007), kas, pārrēķinot uz šķeldām, ir aptuveni 118 ber. m<sup>3</sup>. Jāatzīst, ka zinātniskās publikācijās neizdevās atrast konkrētu informāciju par kravas tilpnes izmantošanas efektivitāti, pievedot daļēji atzarotu sīkkoksni. Tieši tāpat nav konkrētu datu par to, cik lietderīgi tiek izmantoti kokvedēji, pārvadājot sīkkoku saiņus. Tāpēc pētījumā izdarītie pieņēmumi par kravu lielumiem ir jāpārbauda turpmākajos izpētes operācijās.



Att. 40 Saiņu pievešana patērētājam<sup>39</sup>.

<sup>38</sup> Avots: [http://www.brun-umwelttechnik.de/en/products/sliding-floor\\_technology/](http://www.brun-umwelttechnik.de/en/products/sliding-floor_technology/)

<sup>39</sup> Avots: <http://www.fixteri.fi/images/>.

---

### Kopsavilkums par transportēšanas tehnoloģijām

Pētījumā identificēto 4 biomasas piegādes tehnoloģisko risinājumu vērtējums dots 6. tabulā. Augstāko vērtējumu ieguvusi apaļkoku transportēšana. Otrs augstākais vērtējums ir konteinersistēmām, savukārt, viszemākais, konteinersistēmām ar kustīgo grīdu, jo tās ir dārgākas un smagākas, attiecīgi, patērē vairāk degvielas. Puspiekabe, kam ir otrs augstākais vērtējums attiecībā uz ietekmi uz vidi, zaudēja punktus mežsaimnieciskajā vērtējumā, jo tikai daļa augšgala krautuvju ir pieejama ar šādām mašīnām, kā arī ekoloģiskajā vērtējumā, jo šādu mašīnu izmantošanai jābūvē plašāki ceļi, kam teorētiski var būt negatīva ietekme uz bioloģisko daudzveidību un meža zemju izmantošanas ekonomisko atdevi.

Pētījumā nav izskatītas integrētās dzelzceļa un autoceļu transporta sistēmas, kas ļauj izmantot vienus un tos pašus konteinerus uz dzelzceļa un autoceļiem. Šādas sistēmas patreiz tiek aktīvi izstrādātas Vācijā un Ziemeļvalstīs, galvenokārt, lai uzlabotu torificētās koksnes un kokskaidu granulu loģistiku (Pöllabauer, 2011).

6. Tabula: Biokurināmā piegādes alternatīvu salīdzināšanas kopsavilkuma tabula

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
1.	Šķeldu piegāde ar konteinervedējiem (60-70 m³)	3	5	4	3	5	4,0
2.	Šķeldu piegāde puspiekabē (90 m³)	4	4	3	4	3	3,6
3.	Šķeldu piegāde konteineros ar kustīgo grīdu (60-70 m³)	2	5	4	2	4	3,4
4.	Daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu piegāde (~ 118 ber. m³)	5	5	5	5	5	5,0



## Mazgabarīta tehnika jaunaudzū kopšanā

Pētījumā nav vērtētas mazgabarīta tehnikas pielietošanas iespējas jaunaudzū kopšanā, tāpēc nodaļas noslēgumā dots vispārīgs šo tehnoloģiju raksturojums.

Pielietojot jaunaudzū kopšanā roku darbu, nelielās audzēs pievešanā var izmantot mazgabarīta tehniku, kas mūsdienās ir pilnveidota un atsevišķos mežsaimnieciskās ražošanas segmentos spēj konkurēt ar lielo tehniku. Latvijā pazīstamākais "dzelzs zirgu" ražotājs ir zviedru kompānija Lennartsfors. Šādu mašīnu bāzes modeļi parasti ir aprīkoti ar 5-10 Zs dzinējiem, diferenciāļa bloķētājmehānismu, aizsargaprīkojumu darbam mežā, platformu stāvēšanai vai kokmateriāliem un sakabes mehānisma kravas kastes pievienošanai (Att. 41). Bāzes modelim pievienoj kravas platformu, rokas vai elektrisko vinču, kā arī teleskopisko iekrāvēju. Jauna "dzelzs zirga" cena ar papildus aprīkojumu var sasniegt 10000 EUR, tāpēc šādu iekārtu iegādes lietderīgums ir rūpīgi jāizvērtē.

Līdzīgi izmantojami arī mazgabarīta traktori (Att. 42), kas pielāgoti darba mežā.

Mazgabarīta tehnika ir universāla, jo nelielos nogabalos tā ir pielietojama, sākot no jaunaudzēm, līdz pat galvenajai izmantošanai. Rūpnieciskā ražošana šāda vaida tehnika var būt izmantojama tikai jaunaudzēs, kur neatmaksājas izmantot meža pievedējtraktoru. Mazās tehnikas lielākās priekšrocības ir neliels izmērs, manevrētspēja un maza ietekme uz augsni. Pārejāmība pielūžņotās cirmās šai teknikai ir sliktāka, nekā rūpnieciskajā ražošanā izmantojamajai teknikai.



Att. 41 Mazgabarīta tehnika „dzelzs zirgs”<sup>40</sup>.



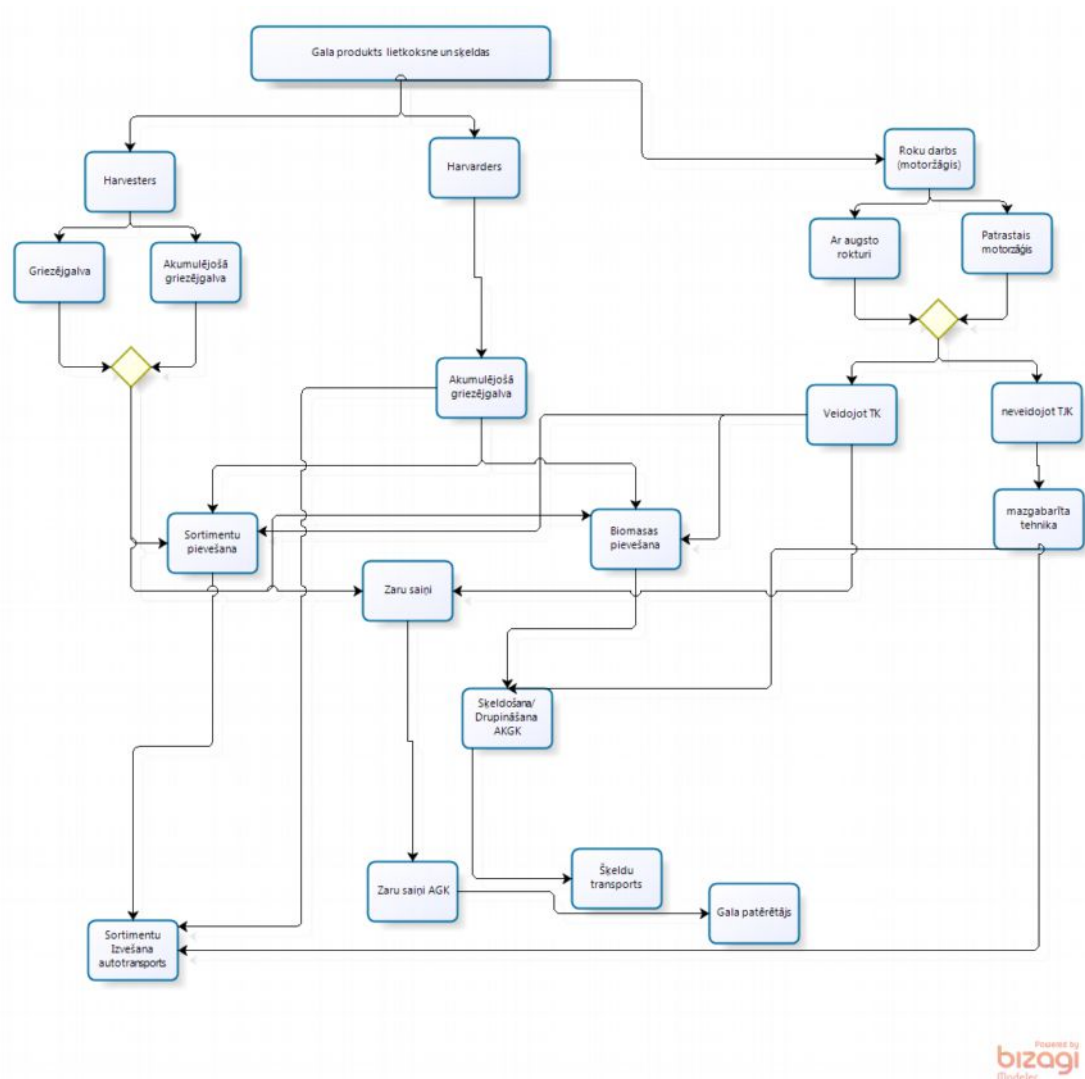
Att. 42 Pārbūvēts mazgabarīta lauksaimniecības traktors<sup>41</sup>.

<sup>40</sup> Foto: A.Zimelis.

<sup>41</sup> Foto: A.Zimelis.

## Jaunaudžu kopšana, gatavojot biokurināmo un apaļkoksnes sortimentus

Lai izmantotu visus koksnes resursus un gūtu maksimālus ienākumus, veicot kopšanu jaunaudzēs, kurās koku caurmērs ir lielāks par 10 cm, racionāli izvērtēt kombinēto tehnoloģisko shēmu, kad ar vienu mehānismu tiek sagatavota gan lietskoksne, gan biokurināmais. Lai tehnoloģiski nodrošinātu apaļkoku sortimentu sagatavošanu, nav pielietojamas izplatītākās griezējgalvas ar ripzāģi, kā arī krūmgrieži, jo šie instrumenti nav paredzēti stumbru garumošanai. Biokurināmā un apaļkoku sortimentu sagatavošanas tehnoloģiskā shēma parādīta Att. 43.



Att. 43 Biokurināmā sagatavošanas shēma.

Tehnoloģiskajā shēmā atspoguļota gan biomasas ieguve, gan arī sortimentu ražošana. Veicot izstrādi ar harvesteru, ir jāveido tehnoloģiskie koridori, kā arī jāizmanto galvas, kuras ir paredzētas koku atzarošanai. Izvēloties piemērotāko mehānismu un darba metodi, ir jāņem vērā kvalitātes prasības pārīrmalkai:

- SIA „Stora Enso Mežs”, SIA „MetsaForest” – maksimāli pieļaujamais atstāto zaru garums pie caurmēra 1 cm skujkokiem ir 8 cm, lapkokiem – bērzs (izņemot apsi) pie caurmēra 1 cm – 16 cm (Metsa Forest Latvia, 2012; Stora Enso Mežs, 2012);
- AS „Woodmark” – atstāto zaru augstums neatkarīgi no koku sugas ir 3 cm

(Woodmark AS, 2012)

Līdz ar to teorētiski vairāku koku vienlaicīga atzarošana var būt apgrūtināta, lai iegūtu kvalitatīvus sortimentus. Jāņem vērā, ka kvalitātes prasības var arī mainīties.

Savukārt, kvalitātes prasībās enerģētiskajai koksnei lielākais uzsvars ir uz minerālo daļiņu (augšnes) piejaukumu. Palielinoties augšnes īpatsvaram, palielinās pelnu saturs. Šis faktors ir lielākoties tas kurš regulē šķeldas izmantošanu. Teorētiski tiek pieņemts, ka pelnu daudzums ir 5-7 %, bet praksē tas dažkārt ir līdz 20 % sakarā ar minerālaugšnes piejaukumu. Kopumā, līdzīgi kā lietkokšnes sortimentiem, kvalitātes prasības nosaka gala patērētājs – katlumāja, jo dažādām kurtuvēm un kurināmā padeves sistēmām ir atšķirīgas specifikācijas līdz ar to arī piegādājama produkta ir nepieciešams īpaši pielāgots (frakcionālais sastāvs, pelnu daudzums, mitrums utt.). Lai sagatavotu kvalitatīvu produktu, lielāka uzmanība jāpievērš sīkkoku vākšanas un šķeldošanas procesam. Piemēram, lai šķeldojošos sīkkokus vai zarus, ar greifera tipa satvērēju netiktu paņemta līdzīgu minerālaugšne.

### Biokurināmā sagatavošanas darba operāciju jaunaudzēs analīzes rezultāti

Veicot visu iespējamo ražošanas procesu analīzi, identificēti 412 biokuronāmā piegāžu varianti jaunaudzēs. Desmit augstāko vērtējumu ieguvušo tehnoloģisko procesu starpprodukts ir atzaroti sagarumoti koki, visiem 12 augstāko vērtējumu ieguvušajiem tehnoloģiskajiem procesiem piegāžu process ietver daļēji atzartu sīkkoku piegādi patērētājam (7. tabula). Visaugstāko vērtējumu ieguvu tehnoloģiskie procesi, kas sākas ar meža audžu kopšanu ar motorzāģi ar augstiem rokturiem. Strādājot ar motorzāģi, augstu vērtējumu ieguvusi pat pievešana ar meža pievedējtraktoru uz kāpurķēdēm, kas ir salīdzinoši dārga tehnoloģija. Būtiski atcerēties, ka tehnoloģiju analīze balstās uz pieņēmumu, ka daļēji atzartu sīkkoku krāvējs izmanto kokvedēja kravas tilpni tikpat lietderīgi kā papīrmalka. Tāpat, ir pieņemts, ka smalcināšanu varēs veikt pie patērētāja, kas vairumā gadījumu būs iespējams kokrūpniecības uzņēmumos, piemēram, granulā ražotnēs, bet ne vienmēr pie pašvaldību katlumājām, tāpēc vispirms ir jāizvērtē starpkrautuvju ierīkošanas ietekme uz biokurināmā piegāžu izmaksām un tikai tad var dot pozitīvu atzinumu smalcināšanas pārņemšanai no meža uz starpkrautuvēm vai patērētāja vietu.

No mehanizētās izstrādes iekārtām augstu vērtējumu ieguvis harvesters ar standarta griezējgalvu, kā arī ekskavators ar teleskopisku harvestera strēli un harvestera griezējgalvu, kuras lielākie plusi ir spēja pielāgoties dažādiem darba apstākļiem. Būtiski, lai arī mašīnu operatori ir spējīgi un pietiekoši zinoši, lai strādātu dažādos darba apstākļos. Viens no harvestera griezējgalvas galvenajiem trūkumiem sastāva kopšanā ir garā sliede, kas pielāgota resnu koku zāgēšanai un jaunaudzēs sliktas redzamības apstākļos var radīt iegriezumus saglabājamajos kokos. Bojājumu samazināšanai ir lietderīgi izskatīt iespēju saīsināt zāga sliedi vai uzstādīt vienkāršu brīdināšanas sistēmu, kas savlaicīgi informē operatoru par saskaršanos ar citu koku. Visos tehnoloģiskajos procesos parādās pievedējtraktori uz kāpurķēžu traktora vai meža pievedējtraktora bāzes, smalcināšanas operācijā augstāko vērtējumu ieguvuši drupinātāji ar elektropiedziņu, taču, gatavojot sīkkokus ar rokas darba instrumentiem, augstu vidējo atzīmi nodrošina arī pie patērētāja uzstādīts drupinātājs ar dīzeļdzinēju.

Zviedrijā un Norvēģijā veiktos pētījumos labākos rezultātus jaunaudžu kopšanā uzrādījusi griezējgalva LogMax 4000 (Att. 44), kas piemērota gan sastāva, gan krājas kopšanai, gan arī apauguma un pameža novākšanai (Iwasson Wide and Belbo, 2010). Sagaidāms, ka 2013. gadā būs pieejama Brache sīkkoku griezējgalvas modifikācija, kas ir aprīkota ar koku vilkšanas ruļļiem. Šo griezējgalvu varēs izmantot arī sīkkoku sagatavošanai un rupjai atzarošanai ar ruļļiem.

Att. 44 LogMax 4000B griezējgalva<sup>42</sup>.

Analīzes rezultāti liecina, ka jaunaudzēs lielāka uzmanība jāpievērš daļēji atzarotu sagarumotu sīkkoku piegāžu organizēšanai un attiecīgo tehnoloģiju izpētei. Turpmāko pētījumu jomas ir darba ražīguma novērtēšana, veicot daļēji atzarotu sīkkoku sagatavošanu ar motorzāģi ar augstiem rokturiem, daļēji atzarotu koku transportēšana pa ceļiem, smalcināšana ar dažādiem drupinātājiem un šķeldotājiem, kā arī starpkrautuvju ierīkošanas ietekme uz šķeldu piegādes izmaksām un pārbūvētu ekskavatoru pielietojšanas iespējas jaunaudžu kopšanā.

#### 7. Tabula: Augstāko vērtējumu ieguvušie tehnoloģiskie procesi

ID	Tehnoloģiskais process	Starpprodukts	Vērtējums
407	Motorzāģis ar augstiem rokturiem, meža pievedējtraktoru uz buldozera šasijas, daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku piegāde	ataroti sagarumoti koki	4,6
406	Motorzāģis ar augstiem rokturiem, meža pievedējtraktoru uz buldozera šasijas, daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem, daļēji atzarotu sīkkoku piegāde	ataroti sagarumoti koki	4,6
402	Motorzāģis ar augstiem rokturiem, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku piegāde	ataroti sagarumoti koki	4,6
401	Motorzāģis ar augstiem rokturiem, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem, daļēji atzarotu sīkkoku piegāde	ataroti sagarumoti koki	4,6
412	Motorzāģis ar augstiem rokturiem, ar pievedējtraktoru uz lauksaimniecības traktora bāzes, daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku piegāde	ataroti sagarumoti koki	4,4
411	Motorzāģis ar augstiem rokturiem, ar pievedējtraktoru uz lauksaimniecības traktora bāzes, daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem, daļēji atzarotu sīkkoku piegāde	ataroti sagarumoti koki	4,4
310	Ekskavators ar teleskopisku harvestera strēli ar harvestera griezējgalvu, meža pievedējtraktoru uz buldozera šasijas, daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku piegāde	ataroti sagarumoti koki	4,4

<sup>42</sup> Avots: [http://www.skogsmaskinerna.se/wp-content/uploads/Log\\_Max\\_4000B-1.jpg](http://www.skogsmaskinerna.se/wp-content/uploads/Log_Max_4000B-1.jpg).

ID	Tehnoloģiskais process	Starpprodukts	Vērtējums
305	Ekskavators ar teleskopisku harvestera strēli ar harvestera griezējgalvu, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzaroju sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzaroju sikkoku piegāde	atzaroti sagarumoti koki	4,4
115	Harvesters ar standarta griezējgalvu, meža pievedējtraktoru uz buldozera šasijas, daļēji atzaroju sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzaroju sikkoku piegāde	atzaroti sagarumoti koki	4,4
114	Harvesters ar standarta griezējgalvu, meža pievedējtraktoru uz buldozera šasijas, daļēji atzaroju sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem, daļēji atzaroju sikkoku piegāde	atzaroti sagarumoti koki	4,4
110	Harvesters ar standarta griezējgalvu, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzaroju sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzaroju sikkoku piegāde	atzaroti sagarumoti koki	4,4
109	Harvesters ar standarta griezējgalvu, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzaroju sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem, daļēji atzaroju sikkoku piegāde	atzaroti sagarumoti koki	4,4

Pētījumu prioritātes, kas identificētas Latvijā un Ziemeļvalstīs veiktos pētījumos par biokurināmā sagatavošanu jaunaudzēs, ir:

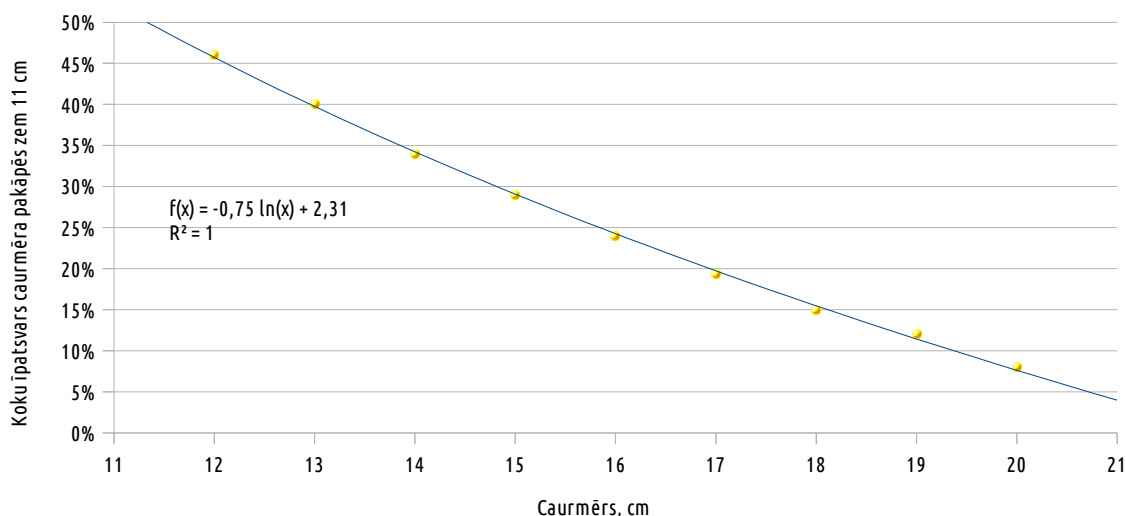
- cik daudz biokurināmā var iegūt un kāda ir neto naudas balance dažādās jaunaudzēs;
- kā meža kopšanas modeļus var adaptēt biokurināmā iegūšanas veicināšanai;
- kāds ir optimāls attālums starp tehnoloģiskajiem koridoriem dažāda vecuma un dažādu koku sugu audzēs;
- kā biokurināmā sagatavošana (tajā skaitā adaptētās metodes) ietekmē turpmāko mežaudžu attīstību;
- kādi tehnoloģiskie risinājumi nepieciešami, lai uzlabotu esošās darba metodes un ieviestu praksē adaptētās meža kopšanas metodes.

## Biokurināmā sagatavošanas tehnoloģijas krājas kopšanas cirtēs

Krājas kopšanas mērķis ir mežaudzes kvalitātes uzlabošana, nodrošinot vērtīgākajiem kokiem pietiekamu augšanas tilpni, izvēcot augšanā atpalikušos un slimos kokus. Krājas kopšana ļauj gūt maksimālus ienākumus no meža audzēšanas, sagatavojot apaļkoksnes sortimentus starpcirtēs. Krājas kopšanas cirtes veic mežaudzēs, kuru vidējais koku caurmērs sasniedzis sortimentu gatavošanai piemērotas dimensijas. Krājas kopšanā ietilpst retināšanas cirte un skrajcirte (Bisenieks, 2005b). Krājas kopšanā primāri ir mežsaimnieciskie mērķi, t.i. meža vērtības maksimizēšana galvenās cirtes vecumā. Krājas kopšana tradicionāli ir pirmais meža apsaimniekošanas etaps pēc meža atjaunošanas vai ieaudzēšanas, kas rada pozitīvu naudas atlikumu.

Plānojot krājas kopšanu, jārēķinās, ka daļa koku, it īpaši nekoptās audzēs, būs par tievu apaļkoksnes sortimentu sagatavošanai. Piemēram, izmantojot zviedru mežzinātnes institūta Skogforsk izstrādātajā programmā Yield iekļauto beta sadalījuma vienādojumu (Arlinger, 1997), var izrēķināt, ka egļu audzē ar vidējā koka caurmēru 15 cm aptuveni 29 % koku būs tievāki par 11 cm Att. 45, attiecīgi nebūs izmantojami sortimentu sagatavošanai. Pārstrāde biokurināmajā ir viens no risinājumiem šo sikkoku izmantošanai.





**Att. 45 Par 11 cm tievāko koku īpatsvars atkarībā no vidējā koka caurmēra atbilstoši beta sadalījumam.**

Krājas kopšanā veidojas 2 biokurināmā sortimenti – mežizstrādes atliekas, kuras var savākt tāpat, kā galvenajā cirtē, un sīkkoki, kurus var apstrādāt tāpat, kā sastāva kopšanā, t.i. nokraut tehnoloģisko koridoru malās veselus sīkkokus, daļēji atzarotus sīkkokus un sortimentu sagatavošanā izmantoto koku galotnes, biokurināmā saiņus vai gatavas šķeldas. Priekšrocības ir tiem tehnoloģiskajiem risinājumiem, kas spēj apvienot krājas kopšanā sortimentu sagatavošanu, kā arī mežizstrādes atlieku un sīkkoku vākšanu pārstrādei biokurināmajā. Pētījumā izskatītas tikai tās tehnoloģijas, kas ļauj veikt visu izstrādes procesu ar vienu iekārtu – izstrāde ar rokas motorinstrumentiem (motorzāģi), harvesteri, harvarderi vai pielāgotu lauksaimniecības traktoru. Pievešanas operācijā izvērtētas dažādu pievedējtraktoru izmantošanas iespējas. Uzglabāšanas, smalcināšanas un transporta pie patērētāja operācijā izskatītas tās pašas tehnoloģijas, kas vērtētas jaunaudzju kopšanā (nodaļa: Biokurināmā sagatavošana jaunaudzēs), papildus raksturojot mežizstrādes atlieku biokurināmā piegāžu ķēdes īpatnības.

Krājas kopšanā izmantojama arī mežizstrādes atlieku un sīkkoku saiņošanas tehnoloģija, kas ļauj būtiski samazināt saglabājamo koku bojājumu risku, kā arī sīkkoku šķeldošana ar mobilajiem šķeldotājiem cismā. Šo tehnoloģisko risinājumu apraksts dots biokurināmā sagatavošanas sastāva kopšanas cirtēs aprakstā (Šķeldotāji uz harvardera vai pievedējtraktora bāzes un Sīkkoku saiņošana cismā), tāpēc tiem nav veltītas atsevišķas nodaļas krājas kopšanas ciršu aprakstā. Sastāva kopšanas cirtēs izmantojamo saiņotāju pielietošana krājas kopšanā ierobežo arī ekonomiskie faktori – galvenais iemesls šāda veida saiņotāju izmantošanai ir efektīvāka papīrmalkas savākšana, taču saiņotāju sagatavotais produkts neatbilst Latvijā izplatītākajiem papīrmalkas kvalitātes nosacījumiem. Krājas kopšanas cirtēs mežizstrādes atlieku saiņošana mežaudzē ar saiņotājiem ar sānu padevi, piemēram John Deere saiņotāju, nav iespējama saiņojamās mašīnas lielo gabarītu dēļ.

Teorētiska nozīme ir arī celmu biokurināmā resursiem krājas kopšanā, taču zināmās izstrādes tehnoloģijas – celmu “izurbšana” vai “izskrūvēšana” nenodrošina pietiekoši augstu darba ražīgumu, lai tuvākajā nākotnē var ienākt praksē.

### Mežizstrādes atlieku un sīkkoku izstrādes tehnoloģijas

Darbā izskatītas kopšanas tehnoloģijas, pielietojot roku darbaspēku, un mehanizētās kopšanas tehnoloģijas. Daļa no tām raksturota nodaļā Biokurināmā sagatavošana jaunaudzēs, tāpēc šeit tekstā to apraksts nav dots atkārtoti.

### Krājas kopšana ar motorzāģi

Izstrādājot krājas kopšanas cirtes ar benzīna motorzāģiem, darbi mežaudzē tiek veikti vienlaicīgi sagatavojot biokurināmo no pameža, sīkkokiem un no kopšanā izcirsto koku zariem, galotnēm, atgriezumiem un citām atliekām. Ja mežaudzē iepriekšējās kopšanas cirtes nav veiktas ar mežsaimnieciskajām prasībām atbilstošu intensitāti, tad izcērtamie sīkkoki un pamežs šajās cirtēs var būt 30-40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

Strādnieki veicot kopšanu, vienlaicīgi izzāģēj un nokrauj kaudzēs tehnoloģisko koridoru malās pameža kokus un krūmus, kā arī no sagatavotiem sortimentiem iegūtos zarus, galotnes un atgriezumus. Ja zari nepieciešami ceļu pakošanai, tos uzreiz liek ceļos. Kaudzes tiek izvietotas tehnoloģisko koridoru malās, atsevišķi no sortimentu kaudzēm, ar aprēķinu, lai tās pievedot ar pievedējtraktoru, iekraušanas procesā netiktu bojāti blakus esošie tālākai augšanai atstātie koki. Savācot mežizstrādes atliekas ar rokām, ir jāizvērtē, cik tas ir racionāli, jo atlieku pievilkšana koridoru malās aizņems vairāk laika, nekā atstāšana izklaidus.

Lai atvieglotu pievešanu un samazinātu sīkkoku nokraušanai nepieciešamo laukumu, Ziemeļvalstīs sīkkokiem nozāģē galotnes, ko ieklāj ceļos vai atstāj izklaidus satrūdēšanai. Sīkkoku sazāģēšana un daļēja atzarošana būtiski atvieglo arī biomasas savākšanu, ja to dara ar rokām.

Pēc krājas kopšanas cirtes darbu pabeigšanas savāktais biokurināmais jāizved no mežaudzes un jānokrauj tālākai uzglabāšanai atbilstošās vietās. Atstāt zarus mežaudzē ilgāku laika periodu nav ieteicams sakarā ar slimību un kukaiņu savairošanās risku.

Izstrāde ar motorzāģi ir mežsaimnieciski pieņemamākais kopšanas paņēmieni ar mazāko potenciālo ietekmi uz vidi un meža ekosistēmu, tomēr tas ir arī fiziski grūts darbs. Tāpēc ir arvien mazāk cilvēku, kas gatavi un spējīgi veikt šo darbu.

Mežizstrādes atlieku vākšana, neatkarīgi no tehnoloģiskā risinājuma, krājas kopšanās saistīta ar vairākiem riskiem:

- augsnes noplicināšanās – ar svaigām mežizstrādes atliekām tiek izvākta lielākā daļa barības vielu, kas uzkrāta nozāģēto koku biomasā;
- augsnes sablīvēšanās – neiekļājot mežizstrādes atliekas ceļos palielinās augsnes sablīvēšanās risks, kas var mazināt mežaudžu noturību pret vēju, kā arī sekmēt slimību izplatīšanos caur koku sakņu sistēmu;
- saglabājamo koku bojājumi – mežizstrādes atlieku krava jāveido rūpīgāk, nekā galvenajā cirtē, lai no kravas sānos izspraukušies zari vai koku galotnes nesabojātu tehnoloģisko koridoru malās augošos kokus.

Saiņošana pēc izstrādes ar rokām nav izskatīta kā alternatīva, jo rūpnieciski ražotie saiņotāji parasti ir ar padevi no sāniem, kas apgrūtina to izmantošanu ierobežotā telpā (tehnoloģiskajā koridorā).

Pirms mežizstrādes atlieku vākšanas krājas kopšanas cirtēs, ir zinātniski jāizvērtē iespējamie riski un to mazināšanas pasākumu ekonomiskā ietekme, kā arī jāizvirza stingras prasības pievedējtraktoru operatoru kvalifikācijai.

*Strādājot ar motorzāģi, krājas kopšanā sagatavojamie biokurināmā sortimenti ir mežizstrādes atliekas, daļēji atzaroti vai veseli sīkkoki un tehnoloģiskā koksne.*

### Krājas kopšana ar harvesteru vai harvesteru

Mehanizētā izstrāde ar harvesteriem un citām mežizstrādes mašīnām nodrošina lielāku darba ražīgumu, ērtākus darba apstākļus un var kļūt par "mūža profesiju", t.i. harvesteru operators var veikt šo darbu līdz pensijas vecumam, atšķirībā no strādnieka, kurš strādā ar motorzāģi un kurš šai profesijā var nostrādāt maksimums 20-30 gadus.

Izstrādājot krājas kopšanas cirtes ar harvesteriem, mežaudzē vispirms veic pameža un sīkkoku izcirstānu. Šo darbu veic ar krūmgriežiem, benzīna motorzāģiem vai

motorzāģiem ar augstajiem rokturiem. Somijā un Zviedrijā veiktos pētījumos konstatēts, ka pameža saglabāšanas vai izzāģēšanas ietekme uz darba ražīgumu, veicot kopšanu ar harvesteru, nav tik liela, lai atmaksātos pameža tīrīšana (Oikan et al., 2008). Praksē šī atziņa ieviesta, gatavojot biokurināmo no sīkkokiem krājas un jaunaudžu kopšanā. Galvenais priekšnosacījums ekonomiski efektīvai pameža un sīkkoku izstrādāšanai ar harvesteru ir akumulējošo satvērēju esamība, lai harvesters var apstrādāt vairākus kokus vienlaicīgi. Latvijā biokurināmā sortimenta gatavošana no pameža un augšanā atpalikušajiem kokiem netiek praktizēta.

Pameža savākšana, veicot tā izstrādi ar krūmgriezi, ir darbietilpīgs process, jo krūmgriezis nav paredzēts sīkkoku sagarināšanai un atzarošanai, bet veselu koku pievilkšana pie koridora ir grūtāka, nekā daļēji atzarotu un sagarumotu sīkkoku pievilkšana.

Patreiz Latvijā lielākā daļā kopšanas cirtēs izzāģēto sīkkoku tiek atstāti izklaidus mežaudzē satrūdēšanai. Sīkkoku vākšana ir fiziski smags un darbietilpīgs process, it īpaši kopšanas cirtēs, kur to traucē arī atstājamie koki, tāpēc ar rokām savāktas biomasas izmaksas ir salīdzinoši augstas. Mehānizācijas ienākšana krājas kopšanās un operatoru kvalifikācijas paaugstināšanās ļauj paaugstināt sīkkoku vākšanas darba ražīgumu, nodrošinot konkurētspējīgu cenu šim kurināmā veidam.

LVM ir veikti izmēģinājumi savākt pameža un sīkkoku biomasu ar vieglā tipa vai mazgabarīta harvesteriem ar akumulējošām griezēj- un kniebēj-galvām pirms sortimentu izstrādes galvenajā cirtē, bet plašāku praktisku pielietojumu šīs tehnoloģijas nav guvušas, jo sagatavotā kurināmā pašizmaksa ir vairākas reizes lielāka par kurināmā tirgus cenu (Lazdiņš and Thor, 2009).

Krājas kopšanā ar vieglā tipa vai ar mazgabarīta harvesteru izbaukt starp audzē augošiem kokiem pirms tās nav izkoptas ne vienmēr iespējams lielā koku skaita dēļ. Faktiski pameža izstrādes laikā ir jāgatavo tehnoloģiskie koridori. Tāpēc racionālāks risinājums ir veikt pameža un sortimentiem nederīgo sīkkoku izzāģēšanu vienlaicīgi ar krājas kopšanu, gatavojot gan apaļkoksnes, gan biokurināmā sortimentus. Reālas iespējas apgūt šos biokurināmā resursus radīsies tad, kad tiks izstrādātas jaunas konstrukcijas harvesteru griezējgalvas ar sīkkokus akumulējošām ierīcēm, kuras vienlīdz ražīgi var strādāt ar lielākajiem kokiem un savākt pameža kokus un krūmus.

Patreiz reālākais tehnoloģiskais variants, veicot krājas kopšanas ciršu izstrādi ar harvesteriem, ir savākt un iegūt biokurināmo no kopšanas ciršu kārtībā izcērtamo koku vainagiem, atgriezumiem, sīkkokiem, kuri apstrādes procesā griezējgalvā salūzt un neder standarta sortimentiem, kā arī no pameža kokiem, izzāģējot pamežu mehānizēti kopšanas laikā.

Agrāk veiktajos pētījumos par izcirsto koku parametriem retināšanā un skrajcirtēs noskaidrots, ka izcērtamo koku sadalījums pa caurmēra pakāpēm krūšu augstumā un koku sugām Latvijas kopējā kopšanas ciršu fondā raksturojas ar 8. tabulā uzrādītiem rādītājiem. Tabulā redzams, ka lielākā daļa krājas kopšanas kārtībā izcērtamo koku (līdz 90 %) ietilpst no 8 līdz 16 cm caurmēra pakāpēs. Divdesmit cm un resnāki izcērtamie koki krūšu augstumā krājas kopšanas cirtēs ne vairāk kā 10 % visām koku sugām.

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

**8. Tabula: Izcērtamo koku skaita sadalījums % pa caurmēra pakāpēm retināšanas un skrajcirtes vecuma audzēs**

Caurmēra pakāpe, cm	Priede	Egle	Bērzs	Apse	Alksņi u.c.	Vidēji cirsmu fondā
Retināšanā						
4	55	74	56	48	28	52
8	31	24	40	44	50	40

Caurmēra pakāpe, cm	Priede	Egle	Bērzs	Apse	Alkšņi u.c.	Vidēji cirsmu fondā
12	13	2	3	7	19	7
16	1		1	1	3	1
Skrajcirtēs						
8	46	59	56	43	39	49
12	31	25	28	29	33	29
16	14	9	9	14	18	13
20	5	3	3	8	6	5
24	2	2	2	3	2	2
28	1	1	1	1	1	1
32 <	1	1	1	2	1	1

Biokurināmā apjoms krājas kopšanas procesā ir atkarīgs no kopjamās mežaudzes sugu sastāva un kopšanas metodes – augšējās vai apakšējās. Izcērtot augšanā atpalikušos kokus, vainagu zaru masa ir neliela un jālemj, vai ir lietderīgi vākt šādu zaru koksnes apjomu un cik izmaksās sagatavotā biokurināmais.

Veicot kopšanu jauktās audzēs, izcērtot lapkokus no audzes vainagu augšējās daļas, biokurināmā apjoms ir lielāks un biokurināmā vākšana var būt ekonomiski pamatota.

Izstrādājot krājas kopšanas cirtes, harvesters atsevišķi nokrauj sortimentus un aiz tiem veido zaru un citas biokurināmā kaudzes pievedējtraktora strēles aizsniedzamības attālumā. Krājas kopšanas cirtēs maz pētīts jautājums ir mežizstrādes atlieku žāvēšanas cismā ietekme uz kaitēkļu izplatību, salīdzinot ar mežizstrādes atlieku iebraukšanu tehnoloģiskajos ceļos. Iespējams, ka mežizstrādes atlieku vai sīkkoku izvešana var uzlabot fitosanitāro stāvokli mežaudzēs pēc kopšanas cirtēm, jo tiek samazināta kaitēkļu barības bāze, taču zinātniska pamatojuma šādam pieņēmumam nav.

Līdzīgi harvesteram var strādāt arī harvarders. Iekārtas būtiskākā priekšrocība ir samazinātas transporta izmaksas, jo ar vienu un to pašu mašīnu var veikt gan izstrādi, gan pievešanu. Galvenais trūkums ir lielākas investīcijas iekārtas iegādei, ko nekompensē transporta izmaksu samazinājums. Detalizētāk harvardera izmantošanas priekšrocības un trūkumi raksturoti nodaļā Sīkkoku izstrāde ar harvarderu un pievedējtraktoru.

Ekskavatoru pielietošana meža kopšanā raksturota nodaļā Sīkkoku izstrāde ar pārbūvētu ekskavatoru. Tāpat kā sastāva kopšanā, arī krājas kopšanā lielākās problēmas ekskavatora pielietošanā rada tā gabarīti – 4 m plats tehnoloģiskais koridors var būt nepietiekošs ekskavatora manevriem, bet vieglāku un mazāku ekskavatoru izmantošanu kopšanā ierobežo to nespēja strādāt ar pilnu izlici audzēs ar lielu dimensiju kokiem.

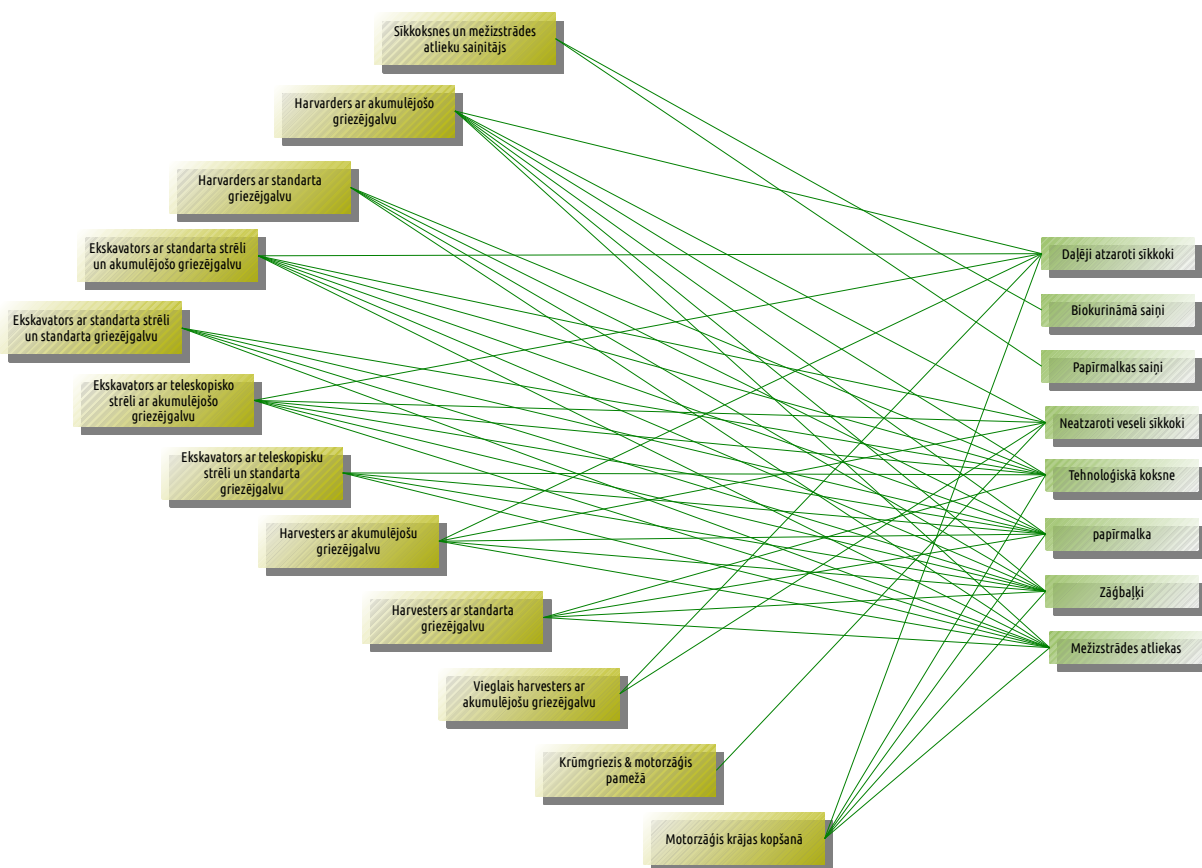
Krājas kopšanā var izmantot arī saiņotājus, kas piemēroti sastāva kopšanām (nodaļa: Sīkkoku saiņošana cismā). Mežizstrādes mašīna, kas aprīkota ar harvestera griezējgalvu, var gatavot gan standarta apaļkoksnes sortimentus, gan biokurināmā un papīrmalkas saiņus. Zinātniski šāda tehnoloģija nav pārbaudīta. Būtiski atcerēties, ka papīrmalkas saiņus var gatavot skujkoku, bērza vai apses tīraudzēs, bet mistraudzēs nepieciešamība šķirot kokus (papīrmalkai nepiemērotās sugas atsevišķi) samazinās iekārtas darba ražīgumu un galaprodukta iznākumu. Saiņotāju, kas piemēroti darbam galvenajā cirtē, izmantošana krājas kopšanā nav iespējama, ja nepaplašina tehnoloģiskos koridorus, tāpēc šāda iespēja pētījumā nav izskatīta.

*Strādājot ar harvesteru, harvarderu vai ekskavatoru, krājas kopšanā sagatavojamie biokurināmā sortimenti ir mežizstrādes atliekas, sīkkoki, kā arī tehnoloģiskā koksne. Izmantojot uz harvardera vai pievedējtraktora montētus saiņotājus ar padevi no gala, var sagatavot kurināmā un papīrmalkas saiņus.*

Kopsavilkums par izstrādes tehnoloģijām krājas kopšanas cirtēs

Pētījumā identificēti 12 tehnoloģiskie risinājumi izstrādes operācijai krājas kopšanā. Tehnoloģisko risinājumu vērtējums dots 9. Tabulā. tabulā; galaprodukti, kas veidojas dažādu risinājumu pielietošanas rezultātā parādīti Att. 46. Krājas kopšanā var veidoties 5 dažādi biokurināmā sortimenti, kurus turpmākajos ražošanas operācijās var apstrādāt gan vienlaicīgi, gan atsevišķi, piemēram, mežizstrādes atliekas un neatzaroti sīkkoki. Universālākie instrumenti, kas var sagatavot visvairāk dažādu biokurināmā sortimentu un pielāgoties dažādiem darba apstākļiem ir motorzāģis un standarta harvestera griezējgalvas ar akumulējošo satvērēju vairāku koku vienlaicīgai apstrādei. Vismazāk biokurināmā sagatavošanai krājas kopšanās piemērots krūmgriezis.

Visām identificētajām tehnoloģijām veikts salīdzinājums, vērtējot 5 kritērijus, kas raksturoti nodaļā Kopsavilkums par izstrādes tehnoloģijām.



**Att. 46 Dažādas izstrādes tehnoloģijas un to galaprodukti krājas kopšanas cirtēs.**

Tehnoloģiju salīdzinājums 9. tabulā rāda, ka tehniskie risinājumi, kas ir būtiski pārāki par citiem ir kopšana ar motorzāģi, vācot sīkkokus un mežizstrādes atliekas ar rokām, un mežizstrādes atlieku vākšana ar harvesteru, ekskavatoru vai harvarderu, kas aprīkots ar standarta harvestera griezējgalvu. Akumulējošo griezējgalvu pielietošanas un sīkkoku savākšanas vērtējumu pazemināja mežizstrādes tehnikas piegādātāju paustais viedoklis, ka standarta griezējgalvas nav izmantojamas par 5 cm tievāku koku zāģēšanai, kā arī ekoloģiskie riski – izvācot no kopšanas cirtēm nozāģētos sīkkokus, var samazināties barības bāze dažādiem kukaiņiem, tajā skaitā reti un aizsargājamiem īpatņiem. No otras puses, sīkkoku izvākšana, iespējams, mazina kaitēkļu savairošanās risku. Abu pieņēmumu pārbaudei nepieciešami zinātniski pētījumi.



9. Tabula: Biokurināmā sagatavošanas tehnoloģiju salīdzinošs vērtējums krājas kopšanas cirtēs

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
Roku darbs							
1.	Pameža un sikkoku vākšana ar rokām kopā ar mežizstrādes atliekām, veicot kopšanu ar rokām ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – mežizstrādes atliekas, veseli vai daļēji atzaroti sikkoki, tehnoloģiskā koksne</i> )	2	4	1	4	4	3,0
2.	Pameža un sikkoku vākšana tos izcērtot pirms mehānizētas izstrādes ar rokas instrumentiem ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – veseli vai daļēji atzaroti sikkoki</i> )	1	4	1	4	3	2,6
Mehānizēta kopšana							
3.	Pameža un sikkoku vākšana ar vieglā tipa harvesteriem ar akumulējošām griezējgalvām pirms kopšanas ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – veseli vai daļēji atzaroti sikkoki</i> )	1	2	2	1	2	1,6
4.	Krājas kopšana ar harvesteriem ar standarta griezējgalvu ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – mežizstrādes atliekas, tehnoloģiskā koksne</i> )	3	3	4	2	3	3,0
5.	Krājas kopšana ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – mežizstrādes atliekas, veseli vai daļēji atzaroti sikkoki, tehnoloģiskā koksne</i> )	3	4	3	2	2	2,8
6.	Krājas kopšana ar harvesteriem ar standarta griezējgalvu ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – mežizstrādes atliekas, tehnoloģiskā koksne</i> )	2	3	4	2	3	2,8
7.	Krājas kopšana ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – mežizstrādes atliekas, veseli vai daļēji atzaroti sikkoki, tehnoloģiskā koksne</i> )	2	4	3	2	2	2,6
8.	Krājas kopšana ar ekskavatoriem ar standarta strēli un standarta harvestera griezējgalvu ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – mežizstrādes atliekas, tehnoloģiskā koksne</i> )	5	1	3	3	3	3,0
9.	Krājas kopšana ar ekskavatoriem ar standarta strēli un akumulējošo griezējgalvu ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – mežizstrādes atliekas, veseli vai daļēji atzaroti sikkoki, tehnoloģiskā koksne</i> )	5	2	2	3	2	2,8
10.	Krājas kopšana ar ekskavatoriem ar teleskopisku strēli un standarta harvestera griezējgalvu ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – mežizstrādes atliekas, tehnoloģiskā koksne</i> )	4	1	3	3	3	2,8
11.	Krājas kopšana ar ekskavatoriem ar teleskopisku strēli un akumulējošo griezējgalvu ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – mežizstrādes atliekas, veseli vai daļēji atzaroti sikkoki, tehnoloģiskā koksne</i> )	4	2	2	3	2	2,6
12.	Mežizstrādes atlieku un veselu sikkoku saīņošana pēc kopšanas ar citiem paņēmieniem ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – biokurināmā un papīrmalkas saiņi, tehnoloģiskā koksne</i> )	2	3	3	2	2	2,4

## Pievešanas tehnoloģijas

Krājas kopšanā veidojas 4 biomasas sortimenti – mežizstrādes atliekas, veseli koki, daļēji atzaroti sagarumoti sīkkoki un šķeldas. Daļēji atzarotu sagarumotu sīkkoku kategorijā ietilpst arī tehnoloģiskā koksne un saiņi, kuru pārvadāšana principiāli neatšķiras no sīkstumbu pārvadāšanas. Šķeldas tiek sagatavotas un izvestas no cirsma ar mobilajiem šķelotājiem.

Veselu sīkkoku, daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu pievešanas raksturojums dots nodaļās Veselu sīkkoku pievešana un Daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu pievešana; šķeldu pievešana ar mobilajiem šķelotājiem kopšanas cirtēs raksturota nodaļā Šķeldu pievešana.

### Mežizstrādes atlieku pievešana

Mežizstrādes atliekas raksturojas ar neregulāru formu un garumu, tās ir grūti kompaktizējamas un no pārvadāšanas viedokļa ir visnepateicīgākais biomasas sortiments (Att. 30). Zaru krāvums pievedējtraktorā vairāk atgādina sienu kaudzi, nevis kokmateriālus. Lapkoku cirmās, kur mehanizētās izstrādes laikā paliek garas galotnes, pievedējtraktora krava var sasniegt 10 m un lielāku garumu (Att. 47), radot saglabājamo koku bojājumu risku pievešanas laikā.



Att. 47 Mežizstrādes atliekas lapkoku cirmā pie augšgala krautuves<sup>43</sup>.

Ieteicamākais mežizstrādes atlieku pievešanas paņēmieni krājas kopšanā, lai mazinātu mežsaimnieciskos riskus, ir saiņotā vai šķeldotā veidā. Mobilie šķelotāji, ko izmanto veselu sīkkoku smalcināšanai jaunaudžu kopšanā, nav piemēroti mežizstrādes atlieku pievešanai, tāpēc mežsaimnieciski visdrošākais mežizstrādes atlieku pievešanas veids krājas kopšanā ir saiņi. Vedot nekompaktizētas mežizstrādes atliekas, jāveido nelielas kravas (aptuveni 1 m šaurākas par tehnoloģisko koridoru), lai nesabojātu koridora malās augošos kokus. Tas samazina darba ražīgumu un paaugstina biokurināmā pašizmaksu. Ņemot vērā šos apstākļus, mežizstrādes atlieku pievešanai krājas kopšanā jāizvēlas pēc iespējas lētāka tehnika ar augstiem statņiem, kas ļauj izveidot šauru un augstu kravu. Obligāts nosacījums mežizstrādes atlieku pievedējtraktoram ir žokļveida satvērējs ar vaļējām spailēm, lai satveršanas laikā kausā sakrātos pēc iespējas mazāk augšējās daļiņas un lai tajā neiesprūstu koksnes atliekas.

Vācot vienā cirmā gan mežizstrādes atliekas, gan veselus sīkkokus, abi sortimenti jāved kopā, bet vācot mežizstrādes atliekas un daļēji atzarotus sīkkokus, abi sortimenti jāpieved atsevišķi.

<sup>43</sup> Avots: Skogforsk, 2011.

### *Ar meža pievedējtraktoru*

Visbiežāk mežizstrādes atlieku pievešanai izmanto standarta pievedējtraktorus ar riteņu vai kāpurķēžu piedziņu. Tāpat kā sastāva kopšanā, izdevīgāk izmantot tādus pievedējtraktorus, ko mežizstrādes sezonālo ierobežojumu laikā var izmantot arī galvenajā cirtē vai celmu pievešanā, lai nepieļautu ilgstošu tehnikas dīkstāvi. Arī celmiem nepieciešams vaļējs zaru greifers un augsti, blīvi izvietoti statņi, tāpēc mežizstrādes atlieku pievedējtraktoru vislabāk paralēli izmantot celmu pievešanai.

Mežizstrādes atlieku pievešanā parādās pagarināta rāmja priekšrocības. Rāmja pagarināšanu var panākt arī, novietojot kravā 2 baļķīšus, kas noturēs kravas pakalējo daļu. Zaru pievedējtraktorus nereti aprīko arī ar papildus slīpiem pakalējiem statņiem.

### *Ar harvarderu*

Ja pievešanas attālums ir mazāks par 150 m un jākopj nelielas cirsmas harvarderu var izmantot gan kopšanai, gan sortimentu pievešanai, gan mežizstrādes atlieku izvākšanai no cirsmas (Wester and Eliasson, 2003b). Šajā gadījumā harvarderam jāvadā līdz 3 galvas – griezējgalva, apaļkoku greifers un zaru kauss. Harvardera priekšrocības kopšanas cirtēs parādās, ja to vada pieredzējis operators un ja ir jāgatavo tikai 1-2 apaļkoksnes sortimenti (piemēram, skujkoku un lapkoku papīrmalka). Tad harvardera operators var likt sazāgētos materiālus tieši kravas kastē, ietaupot laiku koka atlaišanai un satveršanai. Dažkārt operatori izmanto kombinētu darba paņēmieni – braucot cirmā, nozāgētos kokus sagarumo tieši kravas nodalījumā, bet kad ceļš vairs nav pārredzams, brauc atpakaļgaitā un izkopj audzi ap tehnoloģisko koridoru. Šos kokus liek vai nu koridoru malās vai arī, tāpat, sagarumo kravas nodalījumā. Mežizstrādes atliekas pieved pēc tam, kad ir izvesti apaļkoksnes sortimenti. Praksē šāda darba metode nav populāra.

### *Ar pievedējtraktoru uz lauksaimniecības traktora bāzes*

Mežizstrādes atliekas var pievest ar pārbūvētiem lauksaimniecības traktoriem. Mežizstrādes atliekas var pievest arī ar nelieliem lauksaimniecības traktoriem, jo zaru kravas ietilpības ir neliela. Būtiski, lai traktora manipulators būtu pietiekoši jaudīgs, lai var izcelt zarus no cirsmas un izveidot zaru kaudzi augšgala krautuvē (uzcelt mežizstrādes atliekas 4-5 m augstās kaudzēs, kas var būt novietotas atstātus no ceļa). Lauksaimniecības traktoriem var būt grūtības pievest mežizstrādes atliekas mitrās un nelīdzenās vietās, attiecīgi, lauksaimniecības traktori var radīt lielāku ietekmi uz augsni. Krājas kopšanas cirtēs grūtības lauksaimniecības tehnikai var radīt arī augsti celmi.

## Kopsavilkums par pievešanas tehnoloģijām

Pētījumā identificēti 16 tehnoloģiskie risinājumi pievešanas operācijai krājas kopšanā. Tehnoloģisko risinājumu vērtējums dots 10. tabulā; biomasas produkti, kas jātransportē pievešanas operācijā parādīti Att. 46. Universālākie tehniskie risinājumi ir meža pievedējtraktori uz riteņu vai kāpurķēžu bāzes. Lielākais pielietošanas potenciāls, ņemot vērā mitro mežu izplatību, ir pievedējtraktoriem uz kāpurķēžu bāzes, it īpaši, ja ir plānots izmantot mežizstrādes atliekas.

Visām identificētajām tehnoloģijām veikts salīdzinājums, izmantojot nodaļā Kopsavilkums par pievešanas tehnoloģijām definētos kritērijus.

Tehnoloģiju salīdzinājums 10. tabulā rāda, ka augstāko vērtējumu, tieši tāpat kā sastāva kopšanā, ieguvusi daļēji atzarotu sīkkoku un mežizstrādes atlieku saiņu pievešana ar meža pievedējtraktoriem ar riteņu vai kāpurķēžu piedziņu.

Viszemākais novērtējums, tāpat kā jaunaudzēs, ir šķeldu pievešanai, jo šis tehniskais risinājums saistīts ar vislielākajām izmaksām, tas ir šauri specializēts un rada vislielāko negatīvo ietekmi uz vidi. Mobilie šķeldotāji, kas paredzēti darbam cirmās, nav piemēroti mežizstrādes atlieku smalcināšanai, tāpēc šo iekārta darba ražīgums, smalcinot mežizstrādes atliekas, būs mazāks par vēlamu. Lauksaimniecības traktora vērtējumu pazemina mežsaimnieciskie un tehniskie riski, kas ierobežo šīs tehnikas pielietošanu kopšanas cirtēs. Harvardera vērtējumu pazemina lielās izmaksas.

10. Tabula: Biokurināmā pievešanas tehnoloģiju salīdzinošs vērtējums krājas kopšanas cirtēs

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
Veselu sīkkoku pievešana							
1.	Meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu	3	3	5	3	5	3,8
2.	Meža pievedējtraktoru uz buldozera šasijas	2	4	4	4	5	3,8
3.	Pievedējtraktors uz lauksaimniecības traktora bāzes	4	2	3	2	4	3,0
4.	Ar harvarderu	2	3	5	4	5	3,8
Daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu pievešana							
5.	Meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu	4	4	5	4	5	4,4
6.	Meža pievedējtraktoru uz buldozera šasijas	3	5	4	5	5	4,4
7.	Pievedējtraktors uz lauksaimniecības traktora bāzes	5	3	3	3	4	3,6
8.	Ar harvarderu	3	4	5	4	5	4,2
Šķeldu pievešana							
9.	Šķeldotāja bunkurā	1	3	3	2	3	2,4
Biokurināmā saiņu pievešana							
10.	Meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu	3	4	5	4	5	4,2
11.	Meža pievedējtraktoru uz buldozera šasijas	2	5	4	5	5	4,2
12.	Pievedējtraktors uz lauksaimniecības traktora bāzes	4	3	3	3	4	3,4
Mežizstrādes atlieku pievešana							
13.	Meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu	4	3	4	4	5	4,0
14.	Meža pievedējtraktoru uz buldozera šasijas	3	4	3	5	5	4,0
15.	Pievedējtraktors uz lauksaimniecības traktora bāzes	4	2	2	3	4	3,0
16.	Ar harvarderu	3	3	4	4	5	3,8

## Biomisas uzglabāšana

Biokurināmā gatavošanai krājas kopšanas cirtē būtiskākā atšķirība no jaunaudžu kopšanas ir papildus mežizstrādes atlieku sortiments, attiecīgi, neskaitot šķeldas, krājas kopšanā ir jāuzglabā līdz 4 dažādi biokurināmā sortimenti – veseli sīkkoki (ar vainagu, tāpat kā sastāva kopšanā), daļēji atzaroti un sagarumoti sīkkoki, mežizstrādes atliekas un mežizstrādes atlieku un sīkkoku saiņi. Visi sortimenti jāglabā atsevišķi. Sīkkoku un saiņu uzglabāšana jau raksturota nodaļā Biomisas uzglabāšana augšgala krautuvē; mežizstrādes atlieku uzglabāšanā Latvijā uzkrāta vairāku gadu pieredze, veicot mežizstrādes atlieku vākšanu galvenajā cirtē.

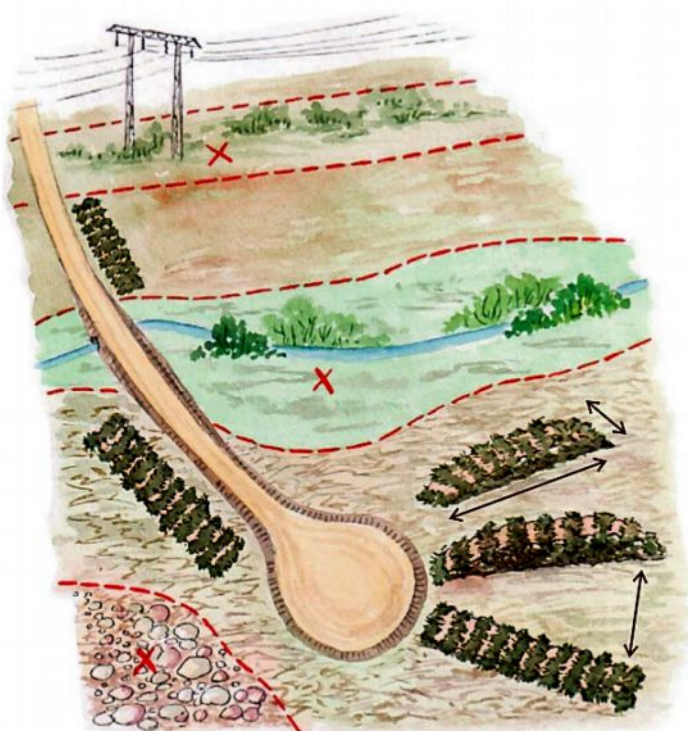
Mežizstrādes atliekas uzglabājas kaudzēs sausās un labi vēdināmās vietās (piemēram, izcirtumu ziemeļrietumu pusē ar sāniem pret dienvidaustrumiem). Mežizstrādes atlieku kaudzes veidojamas 4-5 m augstas un līdz 4 m platas. Jo šaurāka kaudze, jo labāk žūs mežizstrādes atliekas. Saskaņā ar Latvijā veiktiem pētījumiem uz 1 m<sup>2</sup> kaudzes var nokraut 0,3-0,5 m<sup>3</sup> mežizstrādes atlieku. Saiņojot mežizstrādes atliekas, uzglabāšanai nepieciešamā platība samazinās 2-3 reizes (Thor et al., 2006). Vēl mazāka platība nepieciešama daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšanai. Kraujot blakus vairākas kaudzes, starp tām jāatstāj vismaz 2 pievedējtraktoru platumiem atbilstoša brīva josla, kur nostāties šķeldu vedējam un šķeldotājam. Ja ir droši zināms, ka šķeldotājs varēs pūst šķeldas uz aizmuguri, t.i. šķeldu vedējs varēs stāvēt aiz šķeldotāja, brīvo joslu var samazināt līdz 1 piekrauta pievedējtraktora platumam (aptuveni 4 m). Mežizstrādes atlieku kaudzes nedrīkst veidot paralēli apgriešanās laukumam, uz akmeņaina pamata, zem elektrolīniju vadiem, uz slapjas augsnes (Att. 48). Pievedējtraktora izkraušanu vēlams veikt no izcirtuma, nevis ceļa puses, zari kaudzē jānovieto perpendikulāri kaudzes malai. Lai samazinātu piemaisījumu apjomu, kaudzes pamatu veido no lielākām galotnēm (LVMI Silava, 2008). Krājas kopšanās, tāpat kā galvenajā cirtē, mežizstrādes atliekas var vest ārā tūlīt pēc izstrādes vai arī pēc skuju un lapu nobiršanas. Saskaņā ar Somijā un Zviedrijā veiktiem pētījumiem pievešanas darba ražīgums abos gadījumos būtiski neatšķiras (Skogforsk, 2011). Tomēr mežizstrādes atlieku apžāvēšana cirmā ļauj saglabāt mežaudzē skujās un lapās uzkrātās augu barības vielas un samazina virszemes ūdenskrātuvju eitrofikācijas risku, izskalojoties barības vielām no augšgala krautuvē savāktajām svaigajām mežizstrādes atliekām. Ziemā skuju un lapu nobiršanu var gaidīt vairākus mēnešus, kuru laikā atliekas var pārklāt bieža sniega kārtā, tāpēc praksē, visticamāk, abas darba metodes tiks kombinētas.

Darbā izvērtētas 6 biomasas uzglabāšanas alternatīvas augšgala krautuvē:

- veselu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma;
- veselu sīkkoku uzglabāšana ar pārsegumu;
- daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma;
- saiņu uzglabāšana bez pārseguma;
- mežizstrādes atlieku uzglabāšana bez pārseguma;
- mežizstrādes atlieku uzglabāšana ar pārsegumu.

Vācot nesaiņotus veselus kokus un mežizstrādes atliekas krājas kopšanas cirtēs, abi sortimenti tiek pievesti un uzglabāti kopā, tāpēc kaudzes ir platākas par 4 m, un šādās kaudzēs sakrātā biomasā nežūs. Lai nodrošinātu labāku biokurināmā kvalitāti, mežizstrādes atliekas un sīkkokus šādos gadījumos vēlams apžāvēt jau cirmā un smalcināt tūlīt pēc pievešanas augšgala krautuvē. Iespējams, ka vasarā līdzīgu efektu var panākt, ja svaigas mežizstrādes atliekas ir apžāvētas augšgala krautuvē 1-2 nedēļas. Efektīvāko risinājumu izstrādāšanai ir nepieciešami pētījumi.





Att. 48 Mežizstrādes atlieku krautņu izvietošana<sup>44</sup>.

Visiem alternatīvajiem risinājumiem veikts salīdzinājums, vērtējot nodaļā Biomases uzglabāšana augšgala krautuvē definētos kritērijus.

Biomases uzglabāšanas tehnoloģisko risinājumu vērtējums dots 11. tabulā. Augstāko vērtējumu ieguvusi daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma. Mežizstrādes atlieku uzglabāšanā augstāk novērtēta mežizstrādes atlieku uzglabāšana bez pārseguma.

Zemāks novērtējums dots veselu sīkkoku uzglabāšanai ar pārsegumu, jo tā ir ekonomiski neizdevīgāka un aizņem lielāku platību. Ekoloģiskajā vērtējumā visiem biomasas uzglabāšanas veidiem dots neitrāls vērtējums, jo publicēto pētījumu dati par biomasas uzglabāšanas augšgala krautuvē ietekmi uz aizsargājamo un reto kukaiņu populācijām ir fragmentāri. Ietekmi uz bioloģisko daudzveidību var mazināt, veicot šķeldošanu laikā, kad potenciāli apdraudētākās kukaiņu sugas ir visaktīvākās, t.i. ir vismazākais risks, ka tās nespēs aizbēgt no kaudzes šķeldošanas laikā.

<sup>44</sup> Avots: LVMI Silava, 2008

11. Tabula: Biokurināmā uzglabāšanas tehnoloģiju salīdzinošs vērtējums krājas kopšanas cirtēs

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
1.	Veselu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma	4	4	5	3	3	3,8
2.	Veselu sīkkoku uzglabāšana ar pārsegumu	3	4	4	4	3	3,6
3.	Daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma	5	4	5	5	3	4,4
4.	Saiņu uzglabāšana bez pārseguma	5	4	5	4	3	4,2
5.	Mežizstrādes atlieku uzglabāšana bez pārseguma	5	4	5	3	3	4,0
6.	Mežizstrādes atlieku uzglabāšana ar pārsegumu	4	4	4	4	3	3,8

## Biomases smalcināšana

Krājas kopšanas cirtē iegūtās biomasas smalcināšanu var veikt cismā (mobīlie šķeldotāji ar konteineru šķeldu uzkrāšanai), augšgala krautuvē vai pie patērētāja. Mežizstrādes atliekas un veseli sīkkoki ir grūti transportējami un to krāvuma blīvums ir krietni mazāks, nekā šķeldu krāvuma blīvums (Att. 30), tāpēc šos materiālus izdevīgāk šķeldot augšgala krautuvē. Sīkkokus var šķeldot arī cismā (ņemot vērā visas īpatnības, kas raksturīgas šai darba metodei un kas aprakstītas nodaļā Biomases smalcināšana cismā), taču, ja biokurināmā vākšanai vākti gan sīkkoki, gan mežizstrādes atliekas, iekārtas darba ražīgums būtiski samazināsies, šķeldojot mežizstrādes atliekas. Tāpēc, plānojot vākt gan mežizstrādes atliekas, gan sīkkokus, nevajag rēķināties ar mobilo šķeldotāju izmantošanu cismā.

Divu biokurināmā sortimentu sagatavošana (mežizstrādes atliekas un daļēji atzaroti sīkkoki) nosaka nepieciešamību izvēlēties, vai abus sortimentus šķeldot vienlaicīgi augšgala krautuvē vai apaļkokus vest pie patērētāja vai uz starpkrautuvi un šķeldot tur. Izvēli katrā gadījumā jānosaka ekonomiskajiem kritērijiem. Ar sīkkokiem var būtiski uzlabot mežizstrādes atlieku šķeldu kvalitāti (vidējo rādītāju, jo abi materiāli glabājas atsevišķi un atsevišķi tiks šķeldoti). Tajā pat laikā no sīkkokiem sagatavotajām šķeldām ir plašākas pielietošanas iespējas – nelieli pašvaldību apkures katli, kas nevar izmantot mežizstrādes atlieku šķeldas, OSB plātņu ražošana, granulū rūpnīcas (kā izejvielas), tāpēc sīkkoku piegāžu organizācija atsevišķi no mežizstrādes atliekām var radīt lielāku pievieno vērtību. Piegādes izmaksām sīkkokiem teorētiski jābūt mazākām, nekā šķeldām (nodaļa Sīkkoku un saiņu piegāde), taču korektu datu iegūšanai nepieciešami pētījumi par dažāda garuma biokurināmā sortimentu sagatavošanas ietekmi uz visu mežizstrādes procesā iesaistīto mašīnu darba ražīgumu.

Biomases šķeldošana augšgala krautuvē un drupināšana pie patērētāja raksturota nodaļās Biomases šķeldošana augšgala krautuvē vai pie patērētāja un Biomases smalcināšana pie patērētāja ar lieljaudas drupinātājiem. Tehnoloģiju kopsavilkums dots 12. tabulā.

Mežizstrādes atliekām ir tikai 1 ekonomiski pamatots smalcināšanas risinājums – augšgala krautuvē ar mobilajiem šķeldotājiem. Alternatīvs risinājums ir mežizstrādes atlieku saiņošana cismā un smalcināšana ar lieljaudas drupinātājiem ar elektropiedziņu. Daļēji atzarotiem sīkkokiem un saiņiem ir 3 alternatīvas – augšgala krautuve vai lejasgala krautuve ar dīzeļdegvielas vai elektroenerģijas piedziņu. Veselus sīkkokus var šķeldot cismā vai augšgala krautuvē.

Smalcinot mežizstrādes atliekas, būtiskas priekšrocības kurināmā kvalitātes nodrošināšanā dod sijāšanas galdi, ar kuriem var aprīkot drupinātājus. Šķeldotājiem šāds papildus aprīkojums parasti nav pieejams, tāpēc šķeldās ir būtiski lielāks par 3,14 mm mazāko daļiņu frakcijas īpatsvars.

12. Tabula: Biokurināmā smalcināšanas tehnoloģiju salīdzinošs vērtējums krājas kopšanas cirtēs

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
1.	Sīkkoku smalcināšana cīsmā ar mobilo šķeldotāju	1	2	2	2	3	2,0
2.	Sīkkoku, saiņu un mežizstrādes atlieku smalcināšana augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju	3	4	3	3	4	3,4
3.	Daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem	4	5	5	4	5	4,6
4.	Daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu	5	5	4	5	5	4,8

---

## Biokurināmā piegāde patērētājam

Krājas kopšanā veidojas vairāki biokurināmā sortimenti – veseli koki, daļēji atzaroti sīkkoki, mežizstrādes atliekas, sīkkoku un/vai mežizstrādes atlieku saiņi un šķeldas. Patērētājs vai lejasgala krautuve no augšgala krautuves vai tieši no cīrsmas saņem daļēji atzarotus sīkkokus, saiņus vai šķeldas. Veseli koki un mežizstrādes atliekas normālos apstākļos tiek smalcinātas augšgala krautuvē. Transporta tehnoloģijas raksturotas nodaļā Biomasas piegāde patērētājam. Arī tehnoloģiju vērtējums (13. tabula) neatšķiras no sastāva kopšanas ciršu analīzē dotā vērtējuma.

Augstāk novērtētais risinājums ir daļēji atzarotu sīkkoku piegāde ar kokvedējiem. Mežizstrādes atliekām augstāk novērtētais transporta risinājums ir sašķeldotā veidā ar konteineru sistēmu.



**13. Tabula: Biokurināmā transporta tehnoloģiju salīdzinošs vērtējums krājas kopšanas cirtēs**

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
1.	Šķeldu piegāde ar konteinervedējiem (60-70 m³)	3	5	4	3	5	<b>4,0</b>
2.	Šķeldu piegāde puspiekabē (90 m³)	4	4	3	4	3	<b>3,6</b>
3.	Šķeldu piegāde konteineros ar kustīgo grīdu (60-70 m³)	2	5	4	2	4	<b>3,4</b>
4.	Daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu pievešana (~ 118 ber. m³)	5	5	5	5	5	<b>5,0</b>

## Kopsavilkums par biokurināmā sagatavošanu krājas kopšanā

Veicot visu teorētiski iespējamo piegāžu procesu analīzi, identificēti 364 biokurināmā piegāžu varianti krājas kopšanā, neskaitot integrētos biokurināmā sagatavošanas variantus. Desmit augstāko vērtējumu ieguvušo tehnoloģisko procesu starpprodukts ir atzaroti sagarumoti koki, visiem 10 augstāko vērtējumu ieguvušajiem tehnoloģiskajiem procesiem piegāžu process ietver daļēji atzarotu sīkkoku piegādi patērētājam (14. tabula). Visaugstāko vērtējumu ieguva tehnoloģiskie procesi, kas sākas ar mežaudžu kopšanu ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu vai motorzāģi. Augstu vērtējumu ieguvusi pievešana ar meža pievedējtraktoru uz kāpurķēdēm, kas ir salīdzinoši dārga tehnoloģija, bet nodrošina minimālu iespējamo kaitējumu videi. Visos tehnoloģiskajos procesos ar augstāko vērtējumu smalcināšana no tiek pie patērētāja. Rezultātu ietekmē tas, ka tehnoloģiju analīze balstās uz pieņēmumu, ka daļēji atzaroto sīkkoku krāvums izmanto kokvedēja kravas tilpni tikpat lietderīgi kā papīrmalka, kā arī pieņēmums, ka smalcināšanu varēs veikt pie patērētāja. Nav ņemta vērā starpkrautuvju, kā papildus ražošanas etapa, iespējamā ietekme uz biokurināmā izmaksām.

Salīdzinot dažādus mežizstrādes atlieku biokurināmā piegādes variantus krājas kopšanā, pirmkārt, redzams, ka visi tehnoloģiskie procesi būtiski atpaliek no augstāk novērtētajiem daļēji atzaroto sīkkoku biokurināmā piegādes procesiem. Visaugstāko vērtējumu ieguvusi mežizstrādes atlieku vākšana ar rokām un harvesteru vai ekskavatoru ar standarta griezējgalvu, pievedot atliekas ar meža pievedējtraktoriem uz riteņu vai kāpurķēžu bāzes un šķeldas tālāk pie patērētāja nogādājot ar konteineru sistēmām. Konteineru sistēmas ar hidraulisko grīdu pazemina tehnoloģiju vērtējumu dēļ augstajām izmaksām. Tas liecina, ka siltumapgādes sistēmas, kas orientējušās uz piegādi ar konteineru sistēmām ar kustīgo grīdu var rēķināties ar augstākām kurināmā izmaksām un mazāku piegādātāju izvēli.

Analīzes rezultāti liecina, ka krājas kopšanā, tāpat kā jaunaudzēs, lielāka uzmanība jāpievērš daļēji atzarotu sagarumotu sīkkoku piegāžu organizēšanai. Pēdējā krājas kopšanā ražošanas specifika var būtiski atšķirties un lielāku lomu var iegūt mežizstrādes atliekas, taču gan Latvijā, gan Ziemeļvalstīs trūkst zinātniski pamatotas informācijas par biokurināmā sagatavošanu krājas kopšanas cirtēs un kā to ietekmē augšanas apstākļi, koku dimensijas, kopšanas intensitāte un izmantotā tehnika.

14. Tabula: Augstāko vērtējumu ieguvušie tehnoloģiskie procesi

ID	Tehnoloģiskais process	Starpprodukts	Vērtējums
273	Krājas kopšana ar ekskavatoriem ar standarta strēli un akumulējošo griezējgalvu, meža pievedējtraktoru uz buldozera šasijas, daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma, daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu piegāde	Daļēji atzaroti koki	4,3
268	Krājas kopšana ar ekskavatoriem ar standarta strēli un akumulējošo griezējgalvu, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma, daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu piegāde	Daļēji atzaroti koki	4,3
181	Krājas kopšana ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu, meža pievedējtraktoru uz buldozera šasijas, daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma, daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu piegāde	Daļēji atzaroti koki	4,3
176	Krājas kopšana ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma, daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu piegāde	Daļēji atzaroti koki	4,3
46	Pameža un sīkkoku vākšana ar rokām kopā ar mežizstrādes atliekām, veicot kopšanu ar rokām, meža pievedējtraktoru uz buldozera šasijas, daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma, daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu piegāde	Daļēji atzaroti koki	4,3
45	Pameža un sīkkoku vākšana ar rokām kopā ar mežizstrādes atliekām, veicot kopšanu ar rokām, meža pievedējtraktoru uz buldozera šasijas, daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma, daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem, daļēji	Daļēji atzaroti koki	4,3

ID	Tehnoloģiskais process	Starpprodukts	Vērtējums
	atzarotu sikkoku un saiņu piegāde		
41	Pameža un sikkoku vākšana ar rokām kopā ar mežizstrādes atliekām, veicot kopšanu ar rokām, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzarotu sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, daļēji atzarotu sikkoku un saiņu smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sikkoku un saiņu piegāde	Daļēji atzaroti koki	4,3
40	Pameža un sikkoku vākšana ar rokām kopā ar mežizstrādes atliekām, veicot kopšanu ar rokām, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzarotu sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, daļēji atzarotu sikkoku un saiņu smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem, daļēji atzarotu sikkoku un saiņu piegāde	Daļēji atzaroti koki	4,3
342	Krājas kopšana ar ekskavatoriem ar teleskopisku strēli un akumulējošo griezējgalvu, meža pievedējtraktors uz buldozera šasijas, daļēji atzarotu sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, daļēji atzarotu sikkoku un saiņu smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sikkoku un saiņu piegāde	Daļēji atzaroti koki	4,2
337	Krājas kopšana ar ekskavatoriem ar teleskopisku strēli un akumulējošo griezējgalvu, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzarotu sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, daļēji atzarotu sikkoku un saiņu smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sikkoku un saiņu piegāde	Daļēji atzaroti koki	4,2
272	Krājas kopšana ar ekskavatoriem ar standarta strēli un akumulējošo griezējgalvu, meža pievedējtraktors uz buldozera šasijas, daļēji atzarotu sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, daļēji atzarotu sikkoku un saiņu smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem, daļēji atzarotu sikkoku un saiņu piegāde	Daļēji atzaroti koki	4,2
267	Krājas kopšana ar ekskavatoriem ar standarta strēli un akumulējošo griezējgalvu, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzarotu sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, daļēji atzarotu sikkoku un saiņu smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem, daļēji atzarotu sikkoku un saiņu piegāde	Daļēji atzaroti koki	4,2
180	Krājas kopšana ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu, meža pievedējtraktors uz buldozera šasijas, daļēji atzarotu sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, daļēji atzarotu sikkoku un saiņu smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem, daļēji atzarotu sikkoku un saiņu piegāde	Daļēji atzaroti koki	4,2
175	Krājas kopšana ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzarotu sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, daļēji atzarotu sikkoku un saiņu smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem, daļēji atzarotu sikkoku un saiņu piegāde	Daļēji atzaroti koki	4,2
79	Pameža un sikkoku vākšana tos izcērtot pirms mehanizētas izstrādes ar rokas instrumentiem, meža pievedējtraktors uz buldozera šasijas, daļēji atzarotu sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, daļēji atzarotu sikkoku un saiņu smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sikkoku un saiņu piegāde	Daļēji atzaroti koki	4,2
74	Pameža un sikkoku vākšana tos izcērtot pirms mehanizētas izstrādes ar rokas instrumentiem, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzarotu sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, daļēji atzarotu sikkoku un saiņu smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sikkoku un saiņu piegāde	Daļēji atzaroti koki	4,2

15. Tabula: Augstāko vērtējumu ieguvušie mežizstrādes atlieku pārstrādes tehnoloģiskie procesi

ID	Tehnoloģiskais process	Vērtējums
1	Pameža un sikkoku vākšana ar rokām kopā ar mežizstrādes atliekām, veicot kopšanu ar rokām, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, mežizstrādes atlieku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju, šķeldu transports ar konteinerdevējiem	3,68
7	Pameža un sikkoku vākšana ar rokām kopā ar mežizstrādes atliekām, veicot kopšanu ar rokām, meža pievedējtraktors uz buldozera šasijas, mežizstrādes atlieku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju, šķeldu transports ar konteinerdevējiem	3,68
118	Krājas kopšana ar harvesteriem ar standarta griezējgalvu, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, mežizstrādes atlieku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju, šķeldu transports ar konteinerdevējiem	3,68
124	Krājas kopšana ar harvesteriem ar standarta griezējgalvu, meža pievedējtraktors uz buldozera šasijas, mežizstrādes atlieku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju, šķeldu transports ar konteinerdevējiem	3,68
210	Krājas kopšana ar ekskavatoriem ar standarta strēli un standarta harvestera griezējgalvu, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, mežizstrādes atlieku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju, šķeldu transports ar konteinerdevējiem	3,68
216	Krājas kopšana ar ekskavatoriem ar standarta strēli un standarta harvestera griezējgalvu, meža pievedējtraktors uz	3,68

ID	Tehnoloģiskais process	Vērtējums
	buldozera šasijas, mežizstrādes atlieku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju, šķeldu transports ar konteinerdevējiem	
4	Pameža un sīkkoku vākšana ar rokām kopā ar mežizstrādes atliekām, veicot kopšanu ar rokām, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, mežizstrādes atlieku uzglabāšana ar pārsegumu, smalcināšana augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju, šķeldu transports ar konteinerdevējiem	3,64
10	Pameža un sīkkoku vākšana ar rokām kopā ar mežizstrādes atliekām, veicot kopšanu ar rokām, meža pievedējtraktoru uz buldozera šasijas, mežizstrādes atlieku uzglabāšana ar pārsegumu, smalcināšana augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju, šķeldu transports ar konteinerdevējiem	3,64
121	Krājas kopšana ar harvesteriem ar standarta griezējgalvu, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, mežizstrādes atlieku uzglabāšana ar pārsegumu, smalcināšana augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju, šķeldu transports ar konteinerdevējiem	3,64
127	Krājas kopšana ar harvesteriem ar standarta griezējgalvu, meža pievedējtraktoru uz buldozera šasijas, mežizstrādes atlieku uzglabāšana ar pārsegumu, smalcināšana augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju, šķeldu transports ar konteinerdevējiem	3,64

Pētījumu prioritātes, kas identificētas Latvijā un Ziemeļvalstīs veiktos pētījumos par biokurināmā sagatavošanu no mežizstrādes atliekām un kurināmā piegādi patērētājiem, ir:

- ir jānoskaidro dažādu biokurināmā sortimentu iegūšanas un darba metožu ietekmi uz mežaudžu turpmāko attīstību, izvēloties risinājumus, kas nodrošina maksimālu biokurināmā ražošanas rentabilitātes sinerģiju ar mežkopības mērķiem, mazinot slimību un kaitēkļu izplatīšanās risku;
- vispusīgai dažādu piegāžu procesu, tajā skaitā kompleksu apaļkoksnes un šķeldu piegāžu analīzei nepieciešami universāli datorsimulāciju instrumenti, kas parāda gan sistēmu kopumā, gan dažādu tās komponentu savstarpējo mijiedarbību;
- ir jāizvērtē biomasas smalcināšanas pie patērētāja vai starpkrautuvē priekšrocības un trūkumi, kā arī smalcināšanas pārceļšanas uz patērētāja pusi ietekmi pārējiem ražošanas operācijām;
- tāpat ir jāizvērtē dažādu biokurināmā sortimentu sagatavošanas un piegāžu procesa integrācija (piemēram, mežizstrādes atliekas un celmi vai daļēji atzaroti sīkkoki);
- mežizstrādes mašīnas var nodrošināt vispusīgu informāciju par biokurināmā sortimentu apjomu, izvietošanu un pievešanas apstākļiem, kas, pareizi izlietota, var palielināt pievedējtraktora darba ražīgumu un mazināt meža tehnikas ietekmi uz vidi un saglabājamajiem kokiem. Ir jāizstrādā plānošanas instrumenti, kas palīdzētu izmantot informāciju, ko var piegādāt mežizstrādes mašīnas.

## Celmu izstrāde krājas kopšanas cirtēs

Celmu sagatavošanas iespējas pēc krājas kopšanas ciršu izstrādes ir tehnoloģiski sarežģīts process un ekonomiski un mežsaimnieciski grūti pamatojams tehnoloģiskais process. Somijā veikti celmu urbšanas iekārtas (Att. 61) izmēģinājumi, taču izmaksas, strādājot ar šo iekārtu, pagaidām būtiski pārsniedz šķeldu tirgus cenu (Sammallahti, 2010). Iespējams, ka celmu izstrādi varēs pamatot sanitārajās kopšanas cirtēs un trupes bojātās audzēs, kur celmu izstrāde var mazināt turpmāko slimības izplatīšanās risku, taču zinātniska pamatojuma šādam pieņemumam nav. Perspektīva tehnoloģija var būt arī "celmu izzāģēšana", kas rada minimālu ietekmi uz vidi taču pagaidām tehnoloģija neatmaksājas arī galvenajā cirtē (Skogforsk, 2008).

Vēl viens risinājums ir celmu virszemes daļas safrēzēšana cirmā, taču praktisku piemēru šādas tehnoloģijas pielietošanai, vācot biokurināmo, nav. Nedaudz atšķirīgs risinājums, kam varu būt praktisks pielietojums, ir celmu virszemes daļas nokniebšana ar pievedējtraktoru, kas aprīkots ar kniebējgalvu un slēgtu kravas kasti celmu savākšanai. Celmu kniebšanu var apvienot ar apstrādi ar rot-stop vai citiem augu aizsardzības līdzekļiem, tādējādi paaugstinot harvestera darba ražīgumu. Arī šai

tehnoloģijai ir vairāk eksperimentāls, nekā praktisks pielietojums. Būtiski, lai visā piegāžu ķēdē nozāģētie celmi nenonāktu uz zemes un nebūtu jāpārkrauj, bet pa konteineru ķēdīti nonāktu līdz drupinātājam.

## Biokurināmā sagatavošanas tehnoloģijas kailcirtēs

Izstrādājot kailcirtes, biokurināmo var iegūt no šādiem mežaudzes resursiem:

1. no pameža un audzes sīko dimensiju kokiem, kuru dimensijas neatbilst standarta sortimentu ražošanai;
2. no nocirsto audzes koku zariem, galotnēm, atgriezumiem un mazo izmēru lapu kokiem, kuru stumbri apstrādes laikā salūzt un nevar iegūt izmēriem atbilstošus papīrmalkas vai malkas sortimentus;
3. no audzēs pēc izstrādes palikušajiem celmiem.

Biokurināmā sagatavošanas tehnoloģijas, kā arī atsevišķas darba operācijas katram no kailcirtēs pieejamajiem resursu veidiem atšķiras un to iegūšanai nepieciešamas mašīnas un iekārtas ar katram resursu veidam specifiskiem darba orgāniem.

Iepazīstoties ar biokurināmā sagatavošanas tehnoloģiskajiem procesiem, kurus pielieto šajā nozarē citās Eiropas valstīs – Austrija, Dānija, Vācija, bet īpaši Ziemeļvalstīs (Zviedrija un Somija) varam secināt, ka arī šajās valstīs biokurināmā ražošanas tehnoloģiju un darba metožu attīstības process kļūst aizvien intensīvāks.

Piemēram, Zviedrijā un Somijā pēdējos piecos gados veikti meža bioenerģijas tehnoloģiju izpētes darbi, apvienojot dažādus pētījumu virzienus un iesaistot plašu zinātnieku loku. Zviedrijas bioenerģijas tehnoloģiju programmas, ko 2007.-2010. gados īstenoja Zviedrijas mežzinātnes institūts Skogforsk, finansējums 4 gadu laikā bija 65 milj. SEK (4,5 milj. Ls) gadā, neskaitot rūpniecības partneru ieguldījumu izmēģinājumu veikšanā. Vēl apjomīgāka pētījumu programma (EffFibre), integrējot mežsaimniecības un mežrūpniecības konkurētspējas jautājumu risināšanu, tiek īstenota Somijā. Ziemeļvalstīs veicamo pētījumu virsuzdevumi ir meža nozares un vietējo koksnes produktu (biokurināmā šajā gadījumā) konkurētspējas paaugstināšana un energoneatkarības nodrošināšana. 2011. gadā uzsākta līdz šim lielākā (ņemot vērā valstu pārstāvniecību) ziemeļvalstu bioenerģijas programma (Enerwoods), ko vada Kopenhāgenas universitāte.

Pētījumu rezultātā izstrādāti priekšlikumi, lai celtu darba ražīgumu un samazinātu šķeldas pašizmaksu ražotai no atsevišķiem biokurināmā resursiem. Izstrādātas prognozes par iespējami iegūstamiem šīs koksnes resursiem līdz 2020. gadam, perspektīviem jauniem produktiem racionālākai šo resursu pārstrādei un izmantošanai.

Zviedrijā meža bioenerģijas tehnoloģiju programmas ietvaros izstrādātās prognozes līdz 2020. gadam paredz par 30 % samazināt ražošanas izdevumus mežizstrādes atlieku un celmu šķeldai un par 15 % samazināt izmaksas šķeldai no agrajām kopšanas cirtēm. Mežsaimnieku rīcībā būs jaunas tehnoloģijas un ražīgākas mašīnas (Skogforsk, 2011).

Somijā straujākais enerģētiskās koksnes izmantošanas apjoma pieaugums noticis pēdējo 10 gadu laikā, radikāli izmainot enerģētikas, mežsaimniecības un mežrūpniecības sektoru darbību valstī. Somijā notikušās izmaiņas raksturo tas, ka 2001. gadā Somijā izmantoja 1 milj. m<sup>3</sup> biokurināmā, bet 2011. gadā – 7 milj. m<sup>3</sup> biokurināmā. 2020. gadā plāno izmantot 13 milj. m<sup>3</sup> biokurināmā. Lielākais piegāžu pieaugums plānots no mežizstrādes un jaunaudžu kopšanas.

Patreiz izmantotie 7 milj. m<sup>3</sup> tiek iegūti:

- 3,1 milj. m<sup>3</sup> no kopšanas cirtēm un sīkām kailcirtēm;
- 2,2 milj. m<sup>3</sup> no mežizstrādes atliekām kailcirtēs;
- 1,0 milj. m<sup>3</sup> no celmiem;

- 0,6 milj. m<sup>3</sup> no enerģētiskās koksnes plantācijām.

Latvijā nozīmīgākie biokurināmā resursi kailcirtēs ir malka, mežizstrādes atliekas un celmi; auglīgajos meža tipos, it īpaši pāraugušās audzēs biokurināmo var sagatavot arī no pameža sīkkokiem un augšanā atpalikušajiem kokiem (Adamovičs et al., 2011). Tehnoloģiski visi šie resursu veidi izstrādājami atsevišķi, lai gan teorētiski var apvienot pameža sīkkoku vākšanu un sortimentus sagatavošanu no lielākajiem kokiem, piemēram, baltalkšņa audzēs (Att. 49).



**Att. 49 Sortimentu gatavošana un sīkkoku vākšana un garumošana pārstrādei biokurināmajā baltalkšņa audzēs<sup>45</sup>.**

Mežizstrādes atliekas ir viens no lētākajiem un lielākajiem meža biokurināmā resursu veidiem. Mežizstrādes atlieku izmantošana apkurei notiek jau daudzus gadsimtus. Padomju periodā interese par mežizstrādes atliekām izzuda, bet pēc neatkarības atgūšanas un biokurināmā eksporta apjoma pieauguma interese par šo kurināmā veidu ir atgriezusies. Rūpnieciskā apjomā mežizstrādes atlieku vākšana Latvijā atsākās pagājušās desmitgades vidū un patreiz notiek gan privātajos, gan valsts mežos. Dati par mežizstrādes atlieku vākšanu netiek apkopoti, tāpēc pašlaik nevar pateikt, cik liels ir faktiskais ražošanas apjoms.

Mežizstrādes atlieku savākšana iespējama tur, kur tās nav jāieklāj apaļkoku pievešanas ceļos) un ir krautnēšanai piemērotas vietas ekonomiski pamatotā attālumā no cirmsas.

Mežizstrādes atliekas vāc gan mehanizēti (ar harvesteru izstrādes laikā), gan ar rokām. Roku darbu savākšanas operācijā praktizē tikai privātajos mežos. Mežizstrādes atlieku vākšana kaudzītēs apaļkoku pievešanas ceļu malās neatstāj negatīvu ietekmi uz harvestera vai pievedējtraktora darba ražīgumu, salīdzinot ar atlieku ieklāšanu ceļos, tāpēc Latvijā par šo darbu parasti nepiemaksā. Pēc savākšanas atliekas var apžāvēt cirmā, vienlaicīgi saglabājot mežā skujās un lapās ieslēgtās barības vielas, vai arī izvest tūlīt pēc izstrādes. Praksē izmanto sapakotu un nesapresētu mežizstrādes atlieku pievešanu. Saiņošana ļauj samazināt pievešanas izmaksas un vienkāršo to transporta un pārstrādes organizāciju.

<sup>45</sup> Foto: A. Lazdiņš.



Sīkkoki, kas ir nozīmīgākā biokurināmā izejviela sastāva un krājas kopšanas cirtē, kailcirtēs ir maznozīmīgs resursu avots. Tomēr auglīgos meža tipos pāraugušās audzēs pameža krāja var būt pietiekoši liela, lai to atmaksātos savākt un pārstrādāt biokurināmajā. Pameža sīkkoki (skujkokiem līdz 9-10 cm, lapkokiem līdz 12 cm caurmērā) apgrūtina mežizstrādes mašīnu darbību, tāpēc tos parasti izzāgē ar rokas motorinstrumentiem pirms tam, kad cismā ie brauc mežizstrādes mašīnas. Pirms kailcirtēm parasti neiezīmē tehnoloģiskos koridorus, tāpēc sīkkoku savākšana koridoru malās, kā to var izdarīt kopšanā, bez izstrādes darba metožu izmaiņām kailcirtēs ir sarežģīta un darbietilpīga. Latvijā veikti pētījumi liecina, ka pameža sīkkoki, pat neskatoties uz šķietami lielo skaitu, ir neliela daļa no mežaudzes krājas (Lazdiņš and Thor, 2009). Pameža koki ir izstīdējuši gari un tievi, tāpēc tos ir grūti pārcilāt (savākt) ar rokām pirms audze ir izstrādāta, bet mehānizēta pameža izzāgēšana būtiski palielina pameža zāgēšanas un iegūtā biokurināmā pašizmaksu.

Zviedrijā ir veikti pētījumi par pameža ietekmi uz produktivitāti un ir secināts, ka harvestera darba ražīguma zuduma izraisītais apaļkoku sortimentu pašizmaksas pieaugums, neizzāgējot pamežu, ir mazāks, nekā izmaksas pameža zāgēšanai pat, ja pameža sīkkoku skaits pārsniedz 3000 gab. ha<sup>-1</sup>, tāpēc šai operācijai nav jēgas. Vadoties no šīs atziņas, vairākas zviedru meža apsaimniekošanas kompānijas nezāgē pamežu pirms izstrādes ar harvesteru, citas veic pameža izzāgēšanu tad, ja sīkkoku skaits pārsniedz noteiktu sliekšni, citas zāgē pamežu vienmēr (Skogforsk, 2011). Būtiska loma tajā, cik ļoti pamežs ietekmē harvestera darba ražīgumu, ir operatora pieredzei. Ja operators ir nepieredzējis vai profesionāli nesagatavots, pameža ietekme uz darba ražīgumu palielinās, pieaug arī harvestera griezējgalvas bojājumu risks (ķēdes vai hidraulikas cauruļu pārraušana vai sliedes salocīšana). Zviedrijas mežu institūta Skogforsk sadarbībā ar SCA Skog AB pētījumā par pameža ietekmi uz mežizstrādes darba ražīgumu pierādījās, ka saglabāts pamežs negatīvi ietekmē darba ražīgumu gan izstrādes, gan pievešanas operācijā, tomēr nevienā no izmēģinājumiem summārais darba ražīguma zudums (117 Ls ha<sup>-1</sup>) nekompensēja izmaksas pameža izzāgēšanai (136 Ls ha<sup>-1</sup>). Neto ieņēmumu samazinājums, veicot pameža izzāgēšanu ar rokas motorinstrumentiem, saskaņā ar pētījumu rezultātiem, bija 53 Ls ha<sup>-1</sup>. Pētījumā konstatēts, ka pameža ietekme uz darba ražīgumu vairāk izpaužas tad, ja tiek vāktas mežizstrādes atliekas, attiecīgi, pameža izzāgēšana var būt lietderīga cismās, kur plānota mežizstrādes atlieku vākšana. Tajā pat laikā, izzāgējot pameža sīkkokus ar harvesteru, var palielināt papīrmalkas (Zviedrijā ir citādi papīrmalkas kvalitātes standarti) vai biokurināmā iznākumu cismā, vienlaicīgi uzlabojot biokurināmā kvalitāti caur koksnes īpatsvara palielināšanu kurināmajā (Skogforsk, 2011). Tehnoloģijas un darba metodes ekonomiski efektīvai pameža sīkkoku izstrādāšanai un savākšanai pagaidām nav izveidotas.

Pētījuma ietvaros tehnoloģiju izvērtēšana veikta atsevišķi:

- mežizstrādes atliekām un pameža kokiem;
- celmiem.

Izlasses cirtes pētījumā pielīdzinātas krājas kopšanas cirtēm (biokurināmā sagatavošanas raksturojums dots nodaļā Biokurināmā sagatavošanas tehnoloģijas krājas kopšanas cirtēs), bet izlasses cirtes, kas pielīdzināmas mikrokailcirtēm, biokurināmā vākšanas operācijā tehnoloģiski neatšķiras no kailcirtēm, kuru izstrāde raksturota turpmākajās nodaļās.

## Mežizstrādes atlieku un pameža koksnes izstrādāšana

### Izstrādes tehnoloģijas

#### *Ar rokas motorinstrumentiem*

Izstrādājot kailcirtes ar rokas motorinstrumentiem pameža un sīkkoku izstrādi pirms mežizstrādes darbu uzsākšanas parasti neveic, bet pamežu izzāgē vienlaicīgi ar galveno cirti. Atkarībā no pameža blīvuma un koku dimensijām, nozāgētos sīkkokus atstāj cismā izklaidus, savāc kopā ar zariem un galotnēm vai vāc atsevišķi daļēji atzarotu

sīkkoku kaudzēs. Plašāk pameža sīkkoku vākšana raksturota nodaļā par krājas kopšanu (Krājas kopšana ar motorzāģi). Strādājot ar rokas motorinstrumentiem zarus nereti liek nevis kaudzītēs, kā to dara mehanizētajā izstrādē, bet, līdzīgi kā tehnoloģiskajos koridoros, garās nepārtrauktās slejās. Pievedējtraktors pēc tam brauc gar slejas malu, ja augsnes nestspēja ir pietiekoša un vispirms savāc sortimentus, tad mežizstrādes atliekas, bet, ja augsnes nestspēja ir slikta, tad pievedējtraktors brauc pāri mežizstrādes atliekām.

Pēdējā laika arvien plašāk šīs zaru kaudzes tiek atstātas izcirtumā žūšanai līdz tām nobirst skuju un lapas, caur ko daļu organiskās masas paliek izcirtumā. Šādi racionālāk ir rīkoties vasaras mēnešos. Ziemas mēnešos tas nav lietderīgi.

Izstrādē ar rokām izskatītas 2 tehnoloģijas – mežizstrādes atlieku un sīkkoku vākšana, paredzot 2 starpproduktus – mežizstrādes atliekas un daļēji atzaroti sīkkoki, kā arī pameža sīkkoku vākšana, iekļaujot mežizstrādes ceļos (biokurināmā starpprodukts – daļēji atzaroti sīkkoki). Izstrādājot cirmsas ar rokām, kā papildus darba operācijas var būt šķeldošana cirmā vai saiņošana. Galvenajā cirtē saiņošana izskatīta kā papildus izstrādes darba operācija. Trešā pētījumā vērtētā tehnoloģija ir kombinētā izstrāde, vācot pameža sīkkokus ar rokām pirms mehanizētās izstrādes un izvedot kopā ar mežizstrādes atliekām vai tehnoloģiskās koksnes sortimentu. Šajā gadījumā ražošanas procesa beigās veidojas veseli vai daļēji atzaroti sīkkoki. Veselu sīkkoku vākšanas trūkums ir apgrūtināti darba apstākļi, šāds risinājums pielietojams, ja pamežu veido, piemēram, blīvi lazdu krūmi, kurus var nogāzt uz vienu pusi tā, lai pievedējtraktoram ir ērti tos satvert, bet, ja pamežu veido atsevišķi augoši koki, piemēram, augšanā atpalikušas egles, to savākšana kaudzītēs ir smags fizisks darbs. Šādos gadījumos ērtāk vākt daļēji atzarotu sīkkoku kaudzītes, kuras pievedējtraktors var savākt kopā ar malkas un tehnoloģiskās koksnes sortimentu.

*Biokurināmā sortimenti, kas var veidoties izstrādes ar rokas motorinstrumentiem rezultātā, ir mežizstrādes atliekas, veseli koki, daļēji atzaroti sīkkoki un saiņi. Šķeldošana cirmā šajā gadījumā iekļauta smalcināšanas analīzē.*

#### *Mehanizētā izstrāde*

Galvenajā cirtē mehanizēti sagatavojamie biokurināmā sortimenti ir mežizstrādes atliekas un pameža sīkkoki<sup>46</sup>, izzāgējot pamežu ar rokām un saliekot kopā koku resgaļus; veseli sīkkoki, ko izzāgē mehanizēti un pieved uz augšgala krautuvi pirms galvenās cirtes; šķeldas, ko sagatavo ar mobilajiem šķeldotājiem cirmā; un mežizstrādes atlieku un sīkkoku saiņi, ko sagatavo pēc cirmsas izstrādes. Pameža sīkkoku izzāgēšana galvenās cirtes laikā ar harvesteru ar akumulējošo satvērēju nav izskatīta kā alternatīva, lai gan lapkoku audzēs, it īpaši nekoptās mežaudzēs ar zemu bonitāti, standarta sortimentiem nepiemēroto sīkkoku savākšana biokurināmā gatavošanai, var būt gan ekonomiski, gan tehniski izdevīgākais risinājums. Ir nepieciešami papildus pētījumi, lai novērtētu kādās cirmēs šāda darba metode ir vispiemērotākā un kādi ir cirsma atlases kritēriji.

Izmantojot tradicionālo mehanizētās kailciršu izstrādes darba metodi, pirms harvestera sūtīšanas cirmā veic pameža un sīkkoku (caurmērs līdz 8 cm) izzāgēšanu ar krūmgriežiem vai benzīna motorzāģiem. Pameža izzāgēšanas brīdī parasti nevar pateikt, kā tiks izveidoti pievešanas ceļi, tāpēc sīkkokus atstāj izklaidus, neplānojot savākt mežizstrādes atlieku pievešanas laikā. Pameža sīkkoki ir izstīdzējuši un gari, tāpēc tos ir grūti savākt vienkopus, izmantojot roku darbu, pirms pārējo audzes koku nozāgēšanas. Ziemeļvalstīs pielietots paņēmiens ir sīkkoku resgaļu savilkšana kopā paredzamajā apaļkoku pievešanas ceļu malā tā, lai pievedējtraktoram būtu ērti satvert vairākus vienlaicīgi. Taču arī šāds risinājums saistās ar fiziski smagu darbu (Thor, Iwarsson-Wide, et al., 2008).

Alternatīva roku darbam ir mazu harvesteru vai lauksaimniecības traktoru, kas aprīkoti ar griezējgalvu ar ripzāģi vai standarta griezējgalvu ar akumulējošo sīkkoku satvērēju, izmantošana sīkkoku izstrādei pirms galvenās cirtes. Piemēram, Rottne H8 harvesters

<sup>46</sup> Darbā pieņemts, ka šos sortimentus vāc kopā un nenodala arī visā turpmākajā apstrādes procesā.

(Att. 50) komplektā ar Bracke C16.a griezējgalvu var nodrošināt labus darba ražīguma rādītājus pameža izzāgēšanā un sīkkoku vākšanā. Vērtējot mazo harvesteru priekšrocības, jāreķinās ar to, ka viņiem ir jāsagatavo pietiekoši plats tehnoloģiskais koridors, lai pa to varētu braukt pievedējtraktors. Mazajiem harvesteriem parasti ir īsas strēles, tāpēc tie izmantojami sastāva kopšanā, ja attālums starp tehnoloģiskajiem koridoriem ir 20 m, taču tos var izmantot krājas kopšanā, kur attālums starp kokiem ir lielāks un harvesters var veidot "spoku ceļus" starp tehnoloģiskajiem koridoriem. Ja harvesteru plānots izmantot gan pameža zāgēšanai, gan krājas kopšanā, izdevīgāk to aprīkot ar standarta griezējgalvu ar akumulējošo sīkkoku satvērēju, kas vienu un to pašu mašīnu bez aprīkojuma nomaiņas, ļaus izmantot gan sīkkoku zāgēšanai, gan sortimentu sagatavošanai no nelieliem kokiem. Šāda harvestera izmantošana galvenajā cirtē, veicot vienlaicīgi pameža un lielāko koku zāgēšanu, var būt ekonomiski pamatots risinājums, piemēram, baltalkšņa audzēs, kur koku dimensijas ir nelielas un nav nepieciešama smaga un jaudīga tehnika. Lai novērtētu šāda darba paņēmiena efektivitāti, nepieciešami pētījumi par darba ražīgumu dažādos augšanas apstākļos un, pielietojot dažādas darba metodes, kā arī par potenciālajiem resursiem valsts mežos.

Būtisku darba ražīguma un kvalitātes palielinājumu mehanizētā pameža izzāgēšanā var panākt, izmantojot mežizstrādes mašīnās GPS sistēmas, kas parāda harvestera veidotos apaļkoku pievešanas ceļus un izzāgēto sīkkoku kaudzītes. Izmantojot šo informāciju, pievedējtraktors var saplānot savu darbu. Tādus pat risinājumus var izmantot arī sastāva un krājas kopšanā.



**Att. 50 Rottne H8 harvesters<sup>47</sup>.**

Latvijā nav veikti plaši pētījumi par pameža un sīkkoku apjomu kailcirtēs, izņemot vienu eksperimentu ko 2007. gadā veica LVMI Silava sadarbībā ar Zviedrijas meža institūtu Skogforsk Vidusdaugavas mežsaimniecības Vecumnieku iecirknī pēc LVM pasūtījuma. Šī pētījuma uzdevums bija novērtēt harvestera John Deere 970 ar Bracke C.16a griezējgalvu izmantošanas iespējām pameža izzāgēšanā. Pamežs pētījumu objektā sastāvēja, galvenokārt, no blīviem lazdu krūmiem. Izmēģinājumā sagatavoti 25 ber. m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> šķeldu, izstrādes izmaksas bija 11 Ls ber. m<sup>3</sup>, kas tajā laikā ir gandrīz divas reizes augstāka par tālaika šķeldu tirgus cenu.

<sup>47</sup> Avots: <http://www.rottne.com/en/forest-machine/rottne-h-8/>.

Plašāki pētījumi par dažādu koku sugu pameža apjomiem mežaudzēs veikti Lietuvā. Pētījumu rezultāti publicēti Mindauga Škemas doktora disertācijas autoreferātā "Lietuvos miškų trako biomasės kiekybiniai ir kokybiniai rodikliai" (pameža biomasas kvantitatīvais un kvalitatīvais sastāvs Lietuvas mežos). Pētījumā konstatēts, ka pamežu veidojošās koku sugas – lazdas, baltalkšņi, kārkli, krūkļi, pīlādži u.c. daudzās audzēs ir vairāk kā 10000 gab. ha<sup>-1</sup>. Koku augstumu ir 1-12 m. Pameža koku kopējā masa ir 0,2-2,2 tonnas ha<sup>-1</sup>, tajā skaitā apšu audzēs līdz 2,1 tonnas ha<sup>-1</sup>, bērzu – 1,9 tonnas ha<sup>-1</sup>, alkšņu – 1,6 tonnas ha<sup>-1</sup>, priežu – 0,4 tonnas ha<sup>-1</sup> un egļu audzēs – 0,6 tonnas ha<sup>-1</sup>. Kopējais biokurināmā apjoms, ko var iegūt, izstrādājot un savācot pamežā augošos kokus, ir 30-40 ber. m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

Zinātniskajās publikācijās nav daudz informācijas par vieglā tipa vai mazgabarīta harvesteru pielietošanu pameža koksnes sagatavošanā pirms kailcīršu izstrādes. Arī veiktie pētījumi par pameža koksnes krāju ļauj domāt, ka tā ir par mazu, lai šajos darbos atmaksātos izmantot mežizstrādes tehniku. Nav pārliecības, ka sagatavotie un audzē nokrautie sīkkoki nebūs par traucēkli ražīgai mežaudzes koku izstrādei kailcirtēs. Tomēr šādu tehnoloģisko variantu var pieļaut, jo griezējgalvu konstrukcija nepārtraukti pilnveidojas, bet biokurināmā cena un pieprasījums palielinās.

Tehnoloģiskais process biokurināmā pārstrādei no kailcirtē izcirsto koku vainagiem, galotnēm un atgriezumiem, veicot izstrādi ar harvesteru, ir tāds pats, kā aprakstīts nodaļā par krājas kopšanu (Krājas kopšana ar harvesteru vai harvarderu), tas ir atliekas vāc kaudzēs starp sagatavoto sortimentu pakām. Pēc apaļkoku sortimentu pievešanas darbu izpildes zaru kaudzes pārstrādā – šķeldo, saiņo vai uzreiz ved uz augšgala krautuvī un atstāj apžūt. Cirsma atliekas var apžāvēt arī cirmā, tādējādi nodrošinot, ka skujās un lapās esošās minerālvielas netiek izvestas no mežaudzes. Galvenajā cirtē atlieku atstāšanai apžūšanai cirmā var būt arī negatīva ietekme uz vidi – palielinās augu barības vielu izskalošanās no augsnes, sekmējot ūdenskrātuvju eitrofikāciju (Wall, 2008).

Mežizstrādes atlieku šķeldošana cirmā ar mobilo šķeldotāju ar bunkuru praktizēta arī Latvijā, bet pēdējos gados šī Centrāleiropā plaši lietotā tehnoloģija vairs netiek izmantota, un droši vien netiks izmantota arī nākotnē, jo dārgais šķeldošanas agregāts ilgu laiku atrodas dīkstāvē pārbraucienos šķeldu pievešanas laikā; savukārt, šķeldu pievešana notiek ar iekārtu, kas maksā vismaz 2 reizes vairāk par smagās klases (30 tonnas) pievedējtraktoriem. Plašāks šķeldošanas cirmā raksturojums dots nodaļā Biomasas smalcināšana cirmā.

Mežizstrādes atlieku saiņošana ir perspektīva tehnoloģija, jo ļauj palielināt pievešanas darba ražīgumu un vienkāršo mežizstrādes atlieku piegāžu organizāciju, ļaujot izmantot standarta apaļkoku pārvadāšanas tehniku un krautuves. Saiņus var smalcināt augšgala krautuvē vai pie patērētāja. Galvenajā cirtē var nodrošināt arī to, ka saiņotās koksnes mitruma saturs samazinās līdz 35-40 %, ja mežizstrādes atliekas pirms saiņošanas atstāj cirmā apžūt dažas nedēļas. Apžāvētas atliekas gan ir grūtāk kompaktizēt, tāpēc saiņotāja darba ražīgums, strādājot ar šādām atliekām, var būt mazāks. Šādam uzskatam gan nav zinātniska pamatojuma, tāpēc nepieciešams zinātnisks pētījums par cirmā apžāvētu atlieku saiņošanas darba ražīgumu, atkarībā no sugu sastāva audzē un atlieku īpašībām (mitruma saturs, dimensijas). Izplatītākie ir John Deere ražotie saiņotāji ar padevi no sāniem (Att. 51). Šie saiņotāji var strādāt tikai kailcirtēs. Neskatoties uz zinātniski argumentētajām saiņotāju priekšrocībām, Ziemeļvalstu mežzinātnieki nereti pauž viedokli, ka pagaidām nevar uzskatīt, ka šī tehnoloģija ir komercializējusies un tai ir priekšrocības, salīdzinot ar nesaiņotu mežizstrādes atlieku pievešanu.



Att. 51 John Deere biomasas saiņotājs<sup>48</sup>.

Pētījuma tehnoloģiju vērtējumā iekļautie tehniskie risinājumi mežizstrādes atlieku vākšanai ir harvesters ar standarta griezējgalvu, harvarders ar standarta grizējgalvu, ekskavators ar harvestera strēli un standarta harvestera griezējgalvu, kā arī ekskavators ar standarta strēli un harvestera standarta griezējgalvu. Mehanizētā pameža izzāgēšanā izskatītie tehnisko risinājumu varianti ir harvesters vai lauksaimniecības traktors ar standarta harvestera griezējgalvu ar akumulējošiem sīkkoku satvērējiem un harvesters vai lauksaimniecības traktors ar ripzāģi un akumulējošo sīkkoku satvērēju. Lapkoku audzēm un plantācijām piedāvāts tehniskais risinājums, kad harvesters vienlaicīgi veic pameža zāgēšanu un lielāko koku izstrādi, gatavojot 2-3 biokurināmā sortimentus – mežizstrādes atliekas, daļēji atzaroti sīkkoki un malka. Uz augsnēm ar mazu nestspēju mežizstrādes atliekas šajā variantā tiek pievešanas ceļos. Daļēji atzarotie sīkkoki var tikt realizēti arī kā malka.

*Mehanizētajā izstrādē galvenajā cirtē sagatavojamie biokurināmā sortimenti ir šķeldas, veseli koki, daļēji atzaroti koki, mežizstrādes atliekas, saiņotas mežizstrādes atliekas un tehnoloģiskā koksne.*

*Kopsavilkums par izstrādes tehnoloģijām*

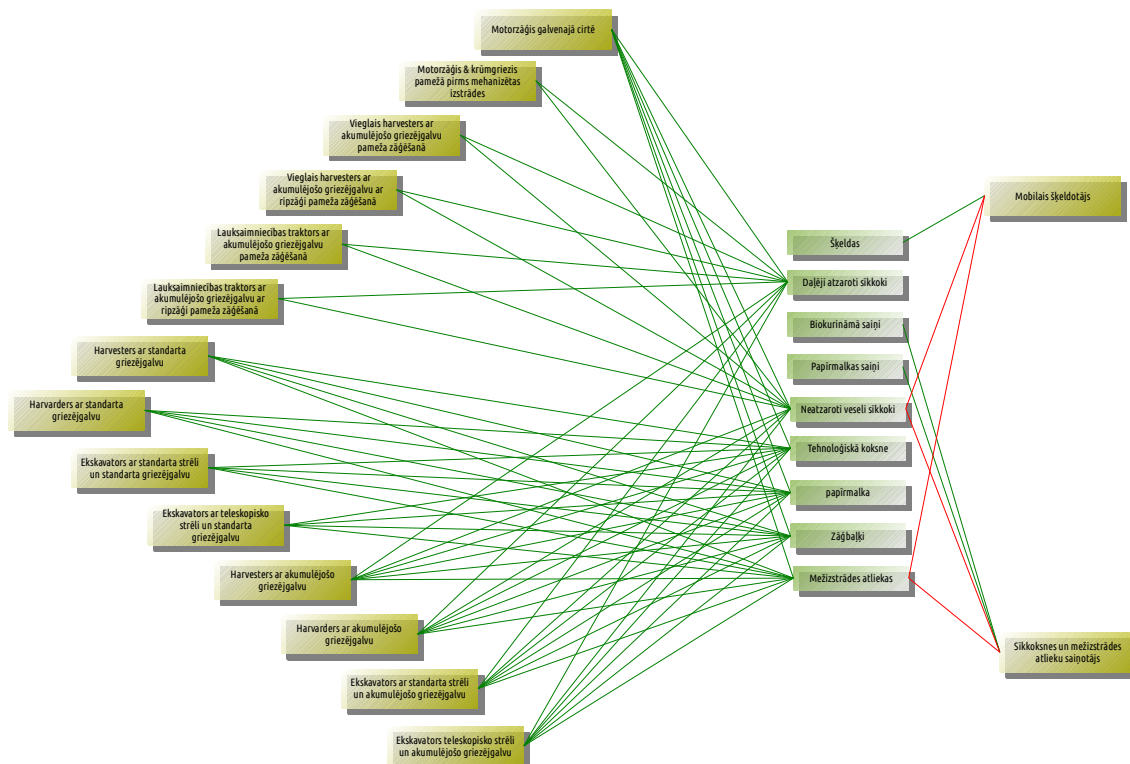
Pētījumā identificēti 15 tehniskie risinājumi biokurināmā ieguvei galvenajā cirtē (16. tabula), neskaitot atlieku saiņošanu. Atlieku saiņošana iekļauta vērtējumā kā atsevišķa biokurināmā sagatavošanas operācija, vērtējot saiņošanas ekonomisko, mežsaimniecisko, ekoloģisko un videi radīto ietekmi, salīdzinot ar nesaiņotu mežizstrādes atlieku, daļēji atzarotu sīkkoku un veselu koku atstāšanu cirtmā (17. tabula). Pārējiem kritērijiem pieņemts neitrāls vērtējums. Kā alternatīvi tehnoloģiski risinājumi pieņemta apžāvētu un svaigu mežizstrādes atlieku saiņošana un ilgstoša uzglabāšana cirtmā vai izvešana tūlīt pēc izstrādes.

Daļa no vērtētajām mežizstrādes tehnoloģijām ir universālas, t.i. ļauj savākt gan pamežu, gan mežizstrādes atliekas; daļa ir paredzēti noteiktam resursu veidam (pameža sīkkoki vai mežizstrādes atliekas). Praksē būs nepieciešamas gan universālas, gan noteiktiem resursiem specifiskās tehnoloģijas, jo atšķirīgos meža augšanas apstākļos būs izdevīgāk izmantot dažādas tehnoloģijas. Maksimālas efektivitātes panākšanai biokurināmā ražošanas organizācijā būtiska loma ir spējai prognozēt, kāda tehnika būs nepieciešama konkrētajā reģionā un saplānot mežizstrādes darbus tā, lai nodrošinātu pastāvīgu visu veidu mežizstrādes tehnikas noslodzi, izvairoties no pārbraucieniem un dīkstāvēm, t.i., zinot, ka baltalkšņa audzes valsts mežos nav sevišķi izplatītas, bet visefektīvākais to izstrādes risinājums ir harvesters ar standarta griezējgalvu ar akumulējošu satvērēju, ir jāieplāno tik liels baltalkšņa audžu ciršanas apjoms, lai mežizstrādes mašīna varētu attiecīgajā teritorijā strādāt visu sezonu. Ja tas nav

<sup>48</sup> Avots: <http://mediabin.deere.com/Main.asp>.

iespējams, ir jākompensē baltalkšņa audzes ar krājas kopšanas cirtēm, kur harvesters ar standarta griezējgalvu ar akumulējošu satvērēju, ir efektīvākais risinājums biokurināmā gatavošanai. Pakalpojumu sniedzējiem, rēķinoties ar šādu iespēju, jāpaaugstina mežizstrādes mašīnu operatoru kvalifikācija, lai viņi vienlīdz labi var strādāt galvenajā un kopšanas cirtē.

Dažādu biokurināmā gatavošanas galvenajā cirtē tehnisko risinājumu un biokurināmā starpproduktu veidošanās shēma parādīta Att. 52.



Att. 52 Dažādas izstrādes tehnoloģijas un to galaprodukti kailcirtēs.

Tehnoloģiju salīdzināšanai izmantoti nodaļā Kopsavilkums par izstrādes tehnoloģijām dotie kritēriji. Tehnoloģiju salīdzinājums 16.tabulā rāda, ka mehanizētās izstrādes tehnoloģijām ir priekšrocības biokurināmā gatavošanā galvenajā cirtē. Pirmajā vietā gan kailcirtē ar iepriekš izstrādātu vai atstātu pamežu, gan lapkoku audžu izstrādē ar akumulējošo griezējgalvu ir harvesters. Arī izstrāde ar ekskavatoru ar standarta strēli un harvestera griezējgalvu abos gadījumos ieguvusi augstu vērtējumu. Ekskavatoriem, kas pārbūvēti mežizstrādei, t.i. aprīkoti ar teleskopisku strēli, ir zemāks vērtējums, jo galvenajā cirtē lielai strēles izlicei vairs nav izšķirošas nozīmes, kā tas ir kopšanas cirtēs (Väätäinen et al., 2004). Roku darba vērtējumā augstāko vērtējumu ieguvusi daļēji atzarotu sīkkoku vākšana, mežizstrādes atliekas ieklājot ceļos, taču šīs tehnoloģijas nav savstarpēji izslēdzošas. Katrā ziņā tas liecina, ka ir lietderīgi vākt pameža sīkkokus meža tipos, kur mežizstrādes atliekas jāiekļāj ceļos. Lai gan ir nepieciešami efektīvi instrumenti izzāgējamās krājas un to raksturojošo rādītāju prognozēšanai, lai pieņemtu lēmumu, vai biokurināmā vākšana katrā konkrētā cismā ir lietderīga.

Mehanizētā pameža izzāgēšana ir viszemāk novērtētā tehnoloģiju grupa, lielākoties, pateicoties ekonomiskajiem rādītājiem – liela šķeldu pašizmaksa, taču precīza plānošana un cirsma izvēle arī šajā ražošanas procesā var nodrošināt labus ekonomiskos rādītājus.



16. Tabula: Biokurināmā sagatavošanas tehnoloģiju vērtējums kailcirtēs

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
Roku darbs							
1.	Pameža un sikkoku vākšana ar rokām kopā ar mežizstrādes atliekām, veicot izstrādi ar rokas motorinstrumentiem ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – mežizstrādes atliekas, daļēji atzaroti sikkoki, veseli sikkoki, tehnoloģiskā koksne</i> )	5	3	1	4	3	3,2
2.	Pameža un sikkoku vākšana, iekļājot mežizstrādes atliekas ceļos ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – daļēji atzaroti sikkoki, tehnoloģiskā koksne</i> )	5	4	2	3	4	3,6
3.	Pameža un sikkoku vākšana pirms mehanizētas izstrādes ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – daļēji atzaroti sikkoki un veseli koki</i> )	3	4	1	4	4	3,2
Mehanizēta pameža izstrāde pirms galvenās cirtes							
4.	Pameža un sikkoku zāģēšana ar vieglā tipa harvesteriem ar akumulējošām griezējgalvām pirms izstrādes ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – veseli vai daļēji atzaroti sikkoki</i> )	2	3	3	4	3	3,0
5.	Pameža un sikkoku zāģēšana ar vieglā tipa harvesteriem ar akumulējošām griezējgalvām ar ripzāģi pirms izstrādes ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – veseli sikkoki</i> )	1	3	3	4	3	2,8
6.	Pameža un sikkoku zāģēšana ar lauksaimniecības traktoriem ar akumulējošām griezējgalvām pirms izstrādes ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – veseli vai daļēji atzaroti sikkoki</i> )	3	4	2	3	3	3,0
7.	Pameža un sikkoku zāģēšana ar lauksaimniecības traktoriem ar akumulējošām griezējgalvām ar ripzāģi pirms izstrādes ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – veseli sikkoki</i> )	2	4	2	3	3	2,8
Mehanizēta izstrāde							
8.	Izstrāde ar harvesteriem ar standarta griezējgalvu ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – mežizstrādes atliekas, tehnoloģiskā koksne</i> )	5	4	5	4	3	4,2
9.	Izstrāde ar harvarderu ar standarta griezējgalvu ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – mežizstrādes atliekas, tehnoloģiskā koksne</i> )	3	4	4	3	3	3,4
10.	Izstrāde ar ekskavatoru ar standarta strēli un standarta harvestera griezējgalvu ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – mežizstrādes atliekas, tehnoloģiskā koksne</i> )	5	5	3	4	3	4,0
11.	Izstrāde ar ekskavatoru ar harvestera strēli un standarta harvestera griezējgalvu ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – mežizstrādes atliekas, tehnoloģiskā koksne</i> )	4	5	2	4	3	3,6
12.	Izstrāde ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – daļēji atzaroti sikkoki, mežizstrādes atliekas, tehnoloģiskā koksne</i> )	5	4	5	4	3	4,2
13.	Izstrāde ar harvarderu ar akumulējošo griezējgalvu ( <i>sagatavojamie biokurināmā sortimenti – daļēji atzaroti sikkoki, mežizstrādes atliekas, tehnoloģiskā koksne</i> )	3	4	4	3	2	3,2
14.	Izstrāde ar ekskavatoru ar standarta strēli un akumulējošo harvestera griezējgalvu	5	5	3	4	3	4,0

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
	<i>(sagatavojamie biokurināmā sortimenti – daļēji atzaroti sikkoki, mežizstrādes atliekas, tehnoloģiskā koksne)</i>						
15.	Izstrāde ar ekskavatoru ar harvestera strēli un akumulējošo harvestera griezējgalvu <i>(sagatavojamie biokurināmā sortimenti – daļēji atzaroti sikkoki, mežizstrādes atliekas, tehnoloģiskā koksne)</i>	4	5	2	4	2	3,4

17. Tabula: Biokurināmā saiņošanas vērtējums kailcirtēs

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
1.	Svaigu mežizstrādes atlieku saiņošana	2	3	3	2	2	2,4
2.	Apžāvētu mežizstrādes atlieku saiņošana	3	5	3	3	2	3,2
3.	Nesaiņotu mežizstrādes atlieku sagatavošana pievešanai tūlīt pēc izstrādes	4	3	3	4	3	3,4
4.	Nesaiņotu mežizstrādes atlieku sagatavošana pievešanai pēc apžāvēšanas	5	4	3	5	3	4,0
5.	Daļēji atzarotu sikkoku sagatavošana pievešanai tūlīt pēc izstrādes	5	5	3	5	3	4,2
6.	Veselu sikkoku sagatavošana pievešanai tūlīt pēc izstrādes	5	3	3	4	3	3,6
7.	Veselu sikkoku sagatavošana pievešanai pēc apžāvēšanas	5	5	3	5	3	4,2

### Biomases pievešanas tehnoloģijas

Izstrādes laikā galvenajā cirtē veidojas 4 biokurināmā sortimenti, neskaitot malku – mežizstrādes atliekas un pameža sīkkoki, daļēji atzaroti sīkkoki, šķeldas un mežizstrādes atlieku un pameža koku saiņi. Šķeldu pievešana notiek šķeldotāja bunkurā, augšgala krautuvē pārberot bunkura saturu konteinerā vai šķeldu vedēja puspiekabē. Šī tehniskā risinājuma apraksts dots nodaļā Šķeldu pievešana.

Daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu pievešanas tehnoloģija raksturota nodaļā Daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu pievešana, bet mežizstrādes atlieku pievešana – nodaļā Mežizstrādes atlieku pievešana.

Kailcirtes dod lielāku rīcības brīvību izmantojamās tehnikas izvēlē – var izmantot lielākus pievedējtraktorus, kā arī paplašināt kravas tilpnes mežizstrādes atlieku pievešanai. Piemēram, kopšanas cirtēs ieteicamais Ponsse pievedējtraktoru modelis Gazelle spēj pārvadāt 10 tonnas koksnes, bet galvenajā cirtē var izmantot Buffalo, kas var pārvadāt 14 tonnas lielas kravas. Pārvadājot mežizstrādes atliekas, jāreķinās, ka to krāvuma blīvums ir līdz 3 reizes mazāks, nekā apaļkoku krāvuma blīvums, tāpēc, lai pilnībā izmantotu pievedējtraktora jaudu, kravas tilpne ir jāpaplašina uz aizmuguri un sāniem, ja tas ir tehniski iespējams.

Pievedējtraktoru uz buldozeru bāzes izmantošana kailcirtēs nav izskatīta kā alternatīva, taču praksē jāreķinās ar to, ka sezonālo mežaudžu kopšanas ierobežojumu laikā (pavasārī un vasaras sākumā) ir jāatrod cits pielietojums meža kopšanā izmantojamajai tehnikai. Ņemot vērā, ka šajā laikā augsnes nestspēja ir vismazākā, buldozerus uz kāpurķēdēm pavasarī un vasaras sākumā var izmantot kokmateriālu un mežizstrādes atlieku izvešanai no kūdreņiem un mežaudzēm uz pārmitrām minerālaugsnēm. Šī risinājuma ekonomisko lietderīgumu ir jānovērtē atsevišķi.

Pētījumā piedāvāti 10 tehniski risinājumi biomasas pievešanai no cirmsas uz augšgala krautuvi, tajā skaitā daļēji atzarotu sīkkoku, saiņu un mežizstrādes atlieku pievešana ar meža pievedējtraktoru un pārbūvētu lauksaimniecības traktoru, mežizstrādes atlieku pievešana ar harvarderu un šķeldu pievešana modbilā šķeldotāja bunkurā (18. tabula).

Augstāko vērtējumu visu biokurināmā sortimentu pievešanas vērtējumā ieguvis meža pievedējtraktors, pārbūvēta lauksaimniecības traktora vērtējumu mazina tehniskie ierobežojumi un ietekme uz vidi (augšgala sablīvēšana), lai gan cirmās uz sausām minerālaugsnēm un nelieliem kokiem (piemēram, baltalkšņa audzēs) lauksaimniecības traktori var izrādīties efektīvāki un lētāki par meža pievedējtraktoriem.

### Biomases uzglabāšana

Biomases uzglabāšanai izvirzītas 4 alternatīvas, neskaitot šķeldu uzglabāšanu pie patērētāja – saiņu un daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma; kā arī mežizstrādes atlieku un pameža koku uzglabāšana ar un bez pārseguma (19. tabula).

Augstākais vērtējums ir daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšanai. Mežizstrādes atliekas izdevīgāk uzglabāt bez pārseguma, taču daudzos gadījumos, piemēram egļu audzēs, kur mežizstrādes atliekas veido blīvu un slikti vēdināmo krāvumu, ūdensizturīgā papīra pārsegums ir tehnoloģiska nepieciešamība, tāpēc papīra izmantošana jāvērtē katrā gadījumā atsevišķi, ņemot vērā audzes sastāvu un izstrādes laiku.

### Biomases smalcināšana

Mežizstrādes atlieku, veselu sīkkoku un daļēji atzarotu sīkkoku smalcināšanai parasti izmanto jaudīgus mobilos šķeldotājus (dzinēja jauda 300-700 kW). Drupinātājus izmanto, galvenokārt, starpkrautvēs vai pie patērētāja saiņu un daļēji atzarotu smalcināšanai. Atsevišķi mežizstrādes atlieku un sīkkoku šķeldošanai izmantotie agregāti raksturoti 4. tabulā. Dažādu drupinātāju un šķeldotāju izmantošanas priekšrocību un trūkumu raksturojums dots nodaļā Biomases smalcināšanas tehnoloģijas. Mežizstrādes atliekas var smalcināt arī cirmā ar mobilajiem šķeldotājiem, taču vairums no šiem šķeldotājiem piemēroti sīkkoku smalcināšanai, t.i. tiem nav

lafetes un katrs koks vai zaru sains ir jāieliek šķeldotāja padeves iekārtā un jānotur, kamēr to satver ievilcējruļļi.

Biomases smalcināšanas tehnoloģiju vērtējums 20. tabulā rāda, ka mežizstrādes atliekas ir vienīgais no meža biokurināmā izejvielu veidiem, kura smalcināšanu labāk veikt augšgala krautuvē. Saiņu smalcināšana ieguvusi augstāku vērtējumu, taču prakse rāda, ka citos tehnoloģiskajos operācijās, piemēram, saiņošanas brīdī, neprofesionāls operators var padarīt saiņošanu par neglābjami nerentablu meža biokurināmā sagatavošanas tehnoloģiju.

#### Biomases piegāde patērētājam

No augšgala krautuves patērētājs vai starpkrautuve var saņemt šķeldas, daļēji atzarotus sīkkoks vai sasaiņotas mežizstrādes atliekas. Šķeldu piegādei var izmantot šķeldu konteineru sistēmas ar vai bez kustīgās grīdas (60-70 m<sup>3</sup>) un puspiekabes (90 m<sup>3</sup>). Saiņu un daļēji atzarotu sīkkoku piegādei izmanto standarta kokvedējus vai šķeldu pārvadāšanas tehniku. Slēgtos konteinerus vai puspiekabes var nākties izmantot tad, ja saiņi ir ilgstoši uzglabāti augšgala krautuvē un sākuši sadalīties. Pārvadājot šādu materiālu ar kokvedējiem, uz ceļa nonāk daudz koksnes daļiņu, kas pasliktina satiksmes drošību. Ceļu transports detalizēti raksturots nodaļā Biomases piegāde patērētājam. Tehnoloģiju vērtējuma kopsavilkums dots 21. tabulā.

Tehnisko risinājumu vērtējums parāda, ka efektīvākie biomasas transportēšanas paņēmieni ir daļēji atzarotu sīkkoku un saiņu piegāde ar kokvedējiem un mežizstrādes atlieku šķeldu piegāde ar konteineru sistēmām. Vērtējot saiņu transportēšanas priekšrocības, jāņem vērā ka pētījumu dati par saiņu krāvuma blīvumu ir pretrunīgi. Vislielāko ietekmi uz saiņu blīvumu, attiecīgi, uz visas piegāžu ķēdes rentabilitāti, atstāj saiņotāja operatora profesionalitāte. Ja operators neprot izveidot pietiekoši blīvus saiņus, t.i. darbina saiņotāju ar nelielu noslodzi, saiņu krāvuma blīvums var būt mazāks nekā šķeldām. Tāpēc uzņēmumiem, kas plāno nodarboties ar mežizstrādes atlieku saiņošanu, jāizmanto visas iespējas, lai apmācītu operatoru un pastāvīgi kontrolētu viņa darba kvalitāti.

18. Tabula: Biomasas pievešanas tehnoloģiju vērtējums kailcirtēs

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
Šķeldu pievešana							
1.	Šķeldotāja bunkurā	1	3	3	1	3	2,2
Biokurināmā saiņu pievešana							
2.	Meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu	4	4	5	4	5	4,4
3.	Pievedējtraktors uz lauksaimniecības traktora bāzes	5	3	3	3	4	3,6
Daļēji atzarotu sīkkoku pievešana							
4.	Meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu	4	4	5	4	5	4,4
5.	Pievedējtraktors uz lauksaimniecības traktora bāzes	5	3	3	3	4	3,6
6.	Ar harvarderu	3	4	4	3	4	3,6
Veselu sīkkoku pievešana (mehānizēta pameža izstrāde)							
7.	Meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu	2	3	4	3	4	3,2
8.	Pievedējtraktors uz lauksaimniecības traktora bāzes	3	2	2	2	3	2,4
Mežizstrādes atlieku pievešana							
9.	Meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu	3	4	5	3	5	4,0
10.	Pievedējtraktors uz lauksaimniecības traktora bāzes	4	3	3	2	4	3,2
11.	Ar harvarderu	2	4	5	3	4	3,6

19. Tabula: Biomasas uzglabāšana augšgala krautuvē

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
1.	Saiņu uzglabāšana bez pārseguma	5	4	5	4	3	4,2
2.	Daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma	5	4	5	5	4	4,6
3.	Mežizstrādes atlieku un pameža koku uzglabāšana bez pārseguma	5	4	5	3	3	4,0
4.	Mežizstrādes atlieku un pameža koku uzglabāšana ar pārsegumu	4	4	4	4	3	3,8
5.	Šķeldu uzglabāšana pie patērētāja	3	5	4	4	5	4,2

**20. Tabula: Biokurināmā smalcināšanas tehnoloģiju vērtējums kailcirtēs**

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
1.	Mežizstrādes atlieku smalcināšana cīsmā ar mobilo šķeldotāju	1	2	3	2	3	2,2
2.	Mežizstrādes smalcināšana augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju	5	4	5	4	4	4,4
3.	Saiņu smalcināšana augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju	4	4	3	3	4	3,6
4.	Saiņu un sīkkoku smalcināšana pie patērētāja vai starpkrautuvē ar jaudīgiem drupinātājiem	4	5	5	4	5	4,6
5.	Saiņu un sīkkoku smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu	5	5	4	5	5	4,8

**21. Tabula: Biokurināmā transporta tehnoloģiju vērtējums kailcirtēs**

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
1.	Šķeldu piegāde ar konteineravedējiem (60-70 m³)	3	5	4	3	3	3,6
2.	Šķeldu piegāde puspiekabē (90 m³)	4	4	3	4	3	3,6
3.	Šķeldu piegāde konteineros ar kustīgo grīdu (60-70 m³)	2	5	4	2	3	3,2
4.	Daļēji atzarotu sīkkoku piegāde	5	5	5	5	3	4,6
5.	Saiņu piegāde	4	5	4	3	3	3,8



**Kopsavilkums par biokurināmā sagatavošanu kailcirtē**

Veicot visu teorētiski iespējamo piegāžu procesu analīzi, identificēti 643 biokurināmā piegāžu varianti kailcirtē, neskaitot celmu biomasas piegādes. Piecpadsmit augstāko vērtējumu ieguvušo tehnoloģisko procesu starpprodukts ir daļēji atzaroti sikkoki, izstrādājot baltalkšņa un citu lapkoku mistraudzes ar mazu vidējā koka caurmēru (22. tabula).

Visaugstāko vērtējumu ieguva tehnoloģiskie procesi, kas sākas ar izstrādi ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu. Izstrāde ar rokām ieguvusi zemāku vērtējumu, nekā mehanizētā izstrāde. Iegūtie rezultāti liecina, ka izstrādes efektivitāte lapkoku audzēs nav atkarīga no bāzes mašīnām dažādās ražošanas operācijās, bet gan no resursu īpašībām, t.i. priekšrocības ir biokurināmā sagatavošanai lapkoku audzēs ar lielu standarta sortimentu sagatavošanai nepiemēroto koku īpatsvaru, kā arī zemas bonitātes audzēs. LVM valdījumā šādu audžu nav daudz, tāpēc mazkustīgākas tehnikas (ekskavatoru) izmantošanas priekšrocības var mazināt lielākas izmaksas tehnikas pārvadāšanas izmaksu pieaugums.

Salīdzinot dažādus mežizstrādes atlieku biokurināmā piegādes variantus kailcirtēs (23. tabula), konstatēts, ka augstāko vērtējumu ieguvušie tehnoloģiskie procesi saistīti ar mežizstrādes atlieku saiņošanu cīsmā. Šis tehniskais risinājums ļauj vienkāršot turpmāko biomasas piegādes un pārstrādes procesu. Saiņošanas priekšrocības ir jāvērtē kritiski, jo svarīgākais priekšnosacījums šīs operācijas efektivitātes nodrošināšanai ir operatora profesionalitāte. Pētījumi Latvijā liecina, ka dažādu operatoru darba ražīgums atšķiras līdz 3 reizes (Thor et al., 2006; Kavuns, 2010). Sliktākie rezultāti iegūti, strādājot operatoram ar vismaz 2 gadu darba pieredzi, attiecīgi, nevar vainot operatora pieredzes trūkumu, bet ir jāmeklē kļūdas darba metodē un saiņošanas mašīnas darba režīmu uzstādījumos. Latvijā nav salīdzinātas saiņu īpašības, taču var pieņemt, ka, strādājot lēnāk, samazinās saiņu blīvums un zūd saiņošanas priekšrocības piegādes patērētājam laikā, jo saiņu blīvums var būt mazāks, nekā šķeldu bēruma blīvums, attiecīgi, piegādes izmaksas – lielākas nekā šķeldām. Saiņošana parasti tiek saistīta ar biokurināmā ražošanu no mitras koksnes, taču, apžāvējot atliekas cīsmā, var panākt, ka relatīvais mitruma saturs saiņos ir 30-35 %, t.i. tikpat daudz, cik augšgala krautuvē apžāvētās mežizstrādes atliekās. Šādu rezultātu nevar panākt ziemā un ilgstošu lietavu laikā. Apžāvētu atlieku saiņošanas darba metode un optimālie saiņošanas mašīnas darba režīmu uzstādījumi vēl ir jānoskaidro.

Visaugstāk novērtētais nesaiņotu mežizstrādes atlieku piegāžu risinājums ir: izstrāde ar harvesteru ar standarta griezējgalvu, nesaiņotu mežizstrādes atlieku sagatavošana pievešanai pēc apžāvēšanas, pievešana uz augšgala krautuvi ar meža pievedējtraktoru, mežizstrādes atlieku un pameža koku uzglabāšana bez pārseguma, mežizstrādes smalcināšana augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju un šķeldu piegāde ar konteinervedējiem (70 m³).

**22. Tabula: Augstāko vērtējumu ieguvušie tehnoloģiskie procesi**

ID	Tehnoloģiskais process	Starpprodukts	Vērtējums
436	Izstrāde ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu, daļēji atzarotu sikkoku sagatavošanai pievešanai tūlīt pēc izstrādes, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzarotu sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, sikkoku smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sikkoku piegāde	daļēji atzaroti sikkoki	4,5
536	Izstrāde ar ekskavatoru ar standarta strēli un akumulējošo harvestera griezējgalvu, daļēji atzarotu sikkoku sagatavošanai pievešanai tūlīt pēc izstrādes, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzarotu sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, sikkoku smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sikkoku piegāde	daļēji atzaroti sikkoki	4,4
535	Izstrāde ar ekskavatoru ar standarta strēli un akumulējošo harvestera griezējgalvu, daļēji atzarotu sikkoku sagatavošanai pievešanai tūlīt pēc izstrādes, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzarotu sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, sikkoku smalcināšana pie patērētāja vai starpkrautuvē ar jaudīgiem drupinātājiem, daļēji atzarotu sikkoku piegāde	daļēji atzaroti sikkoki	4,4
435	Izstrāde ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu, daļēji atzarotu sikkoku sagatavošanai pievešanai tūlīt pēc izstrādes, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzarotu	daļēji atzaroti sikkoki	4,4

ID	Tehnoloģiskais process	Starpprodukts	Vērtējums
	sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, sikkoku smalcināšana pie patērētāja vai starpkrautuvē ar jaudīgiem drupinātājiem, daļēji atzaroju sikkoku piegāde		
86	Pameža un sikkoku vākšana, iekļātot mežizstrādes atliekas ceļos, daļēji atzaroju sikkoku sagatavošanai pievešanai tūlīt pēc izstrādes, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzaroju sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, sikkoku smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzaroju sikkoku piegāde	daļēji atzaroju sikkoki	4,4
590	Izstrāde ar ekskavatoru ar harvesteru strēli un akumulējošo harvesteru griezējgalvu, daļēji atzaroju sikkoku sagatavošanai pievešanai tūlīt pēc izstrādes, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzaroju sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, sikkoku smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzaroju sikkoku piegāde	daļēji atzaroju sikkoki	4,3
589	Izstrāde ar ekskavatoru ar harvesteru strēli un akumulējošo harvesteru griezējgalvu, daļēji atzaroju sikkoku sagatavošanai pievešanai tūlīt pēc izstrādes, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzaroju sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, sikkoku smalcināšana pie patērētāja vai starpkrautuvē ar jaudīgiem drupinātājiem, daļēji atzaroju sikkoku piegāde	daļēji atzaroju sikkoki	4,3
538	Izstrāde ar ekskavatoru ar standarta strēli un akumulējošo harvesteru griezējgalvu, daļēji atzaroju sikkoku sagatavošanai pievešanai tūlīt pēc izstrādes, pievedējtraktors uz lauksaimniecības traktora bāzes, daļēji atzaroju sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, sikkoku smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzaroju sikkoku piegāde	daļēji atzaroju sikkoki	4,3
438	Izstrāde ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu, daļēji atzaroju sikkoku sagatavošanai pievešanai tūlīt pēc izstrādes, pievedējtraktors uz lauksaimniecības traktora bāzes, daļēji atzaroju sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, sikkoku smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzaroju sikkoku piegāde	daļēji atzaroju sikkoki	4,3
437	Izstrāde ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu, daļēji atzaroju sikkoku sagatavošanai pievešanai tūlīt pēc izstrādes, pievedējtraktors uz lauksaimniecības traktora bāzes, daļēji atzaroju sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, sikkoku smalcināšana pie patērētāja vai starpkrautuvē ar jaudīgiem drupinātājiem, daļēji atzaroju sikkoku piegāde	daļēji atzaroju sikkoki	4,3
120	Pameža un sikkoku vākšana pirms mehanizētas izstrādes, daļēji atzaroju sikkoku sagatavošanai pievešanai tūlīt pēc izstrādes, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzaroju sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, sikkoku smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzaroju sikkoku piegāde	daļēji atzaroju sikkoki	4,3
85	Pameža un sikkoku vākšana, iekļātot mežizstrādes atliekas ceļos, daļēji atzaroju sikkoku sagatavošanai pievešanai tūlīt pēc izstrādes, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzaroju sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, sikkoku smalcināšana pie patērētāja vai starpkrautuvē ar jaudīgiem drupinātājiem, daļēji atzaroju sikkoku piegāde	daļēji atzaroju sikkoki	4,3
82	Pameža un sikkoku vākšana ar rokām kopā ar mežizstrādes atliekām, veicot izstrādi ar rokas motorinstrumentiem, daļēji atzaroju sikkoku sagatavošanai pievešanai tūlīt pēc izstrādes, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzaroju sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, sikkoku smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, daļēji atzaroju sikkoku piegāde	daļēji atzaroju sikkoki	4,3

### 23. Tabula: Augstāko vērtējumu ieguvušie mežizstrādes atlieku pārstrādes tehnoloģiskie procesi

ID	Tehnoloģiskais process	Starpprodukts	Vērtējums
453	Izstrāde ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu, apžāvētu mežizstrādes atlieku saīnošana, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, saīnu uzglabāšana bez pārseguma, saīnu un sikkoku smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, saīnu piegāde	mežizstrādes atliekas	4,1
349	Izstrāde ar ekskavatoru ar standarta strēli un standarta harvesteru griezējgalvu, apžāvētu mežizstrādes atlieku saīnošana, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, saīnu uzglabāšana bez pārseguma, saīnu un sikkoku smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, saīnu piegāde	mežizstrādes atliekas	4,1
553	Izstrāde ar ekskavatoru ar standarta strēli un akumulējošo harvesteru griezējgalvu, apžāvētu mežizstrādes atlieku saīnošana, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, saīnu uzglabāšana bez pārseguma, saīnu un sikkoku smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu, saīnu piegāde	mežizstrādes atliekas	4,1
452	Izstrāde ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu, apžāvētu mežizstrādes atlieku saīnošana, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, saīnu uzglabāšana bez pārseguma, saīnu un sikkoku smalcināšana pie patērētāja vai starpkrautuvē ar jaudīgiem drupinātājiem, saīnu piegāde	mežizstrādes atliekas	4,1
276	Izstrāde ar harvesteriem ar standarta griezējgalvu, nesaiņotu mežizstrādes atlieku sagatavošana pievešanai pēc apžāvēšanas, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu,	mežizstrādes atliekas	4,0

ID	Tehnoloģiskais process	Starpprodukts	Vērtējums
	mežizstrādes atlieku un pameža koku uzglabāšana bez pārseguma, mežizstrādes smalcināšana augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju, šķeldu piegāde ar konteinervedējiem (60-70 m³)		
277	Izstrāde ar harvesteriem ar standarta griezējgalvu, nesaiņotu mežizstrādes atlieku sagatavošana pievešanai pēc apžāvēšanas, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, mežizstrādes atlieku un pameža koku uzglabāšana bez pārseguma, mežizstrādes smalcināšana augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju, šķeldu piegāde puspiekabē (90 m³)	mežizstrādes atliekas	4,0
348	Izstrāde ar ekskavatoru ar standarta strēli un standarta harvestera griezējgalvu, apžāvētu mežizstrādes atlieku saiņošana, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, saiņu uzglabāšana bez pārseguma, saiņu un sīkkoku smalcināšana pie patērētāja vai starpkrautuvē ar jaudīgiem drupinātājiem, saiņu piegāde	mežizstrādes atliekas	4,0
474	Izstrāde ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu, nesaiņotu mežizstrādes atlieku sagatavošana pievešanai pēc apžāvēšanas, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, mežizstrādes atlieku un pameža koku uzglabāšana bez pārseguma, mežizstrādes smalcināšana augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju, šķeldu piegāde ar konteinervedējiem (60-70 m³)	mežizstrādes atliekas	4,0
475	Izstrāde ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu, nesaiņotu mežizstrādes atlieku sagatavošana pievešanai pēc apžāvēšanas, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, mežizstrādes atlieku un pameža koku uzglabāšana bez pārseguma, mežizstrādes smalcināšana augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju, šķeldu piegāde puspiekabē (90 m³)	mežizstrādes atliekas	4,0
552	Izstrāde ar ekskavatoru ar standarta strēli un akumulējošo harvestera griezējgalvu, apžāvētu mežizstrādes atlieku saiņošana, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, saiņu uzglabāšana bez pārseguma, saiņu un sīkkoku smalcināšana pie patērētāja vai starpkrautuvē ar jaudīgiem drupinātājiem, saiņu piegāde	mežizstrādes atliekas	4,0

Pētījumu prioritātes par biokurināmā sagatavošanu kailcirtē ir:

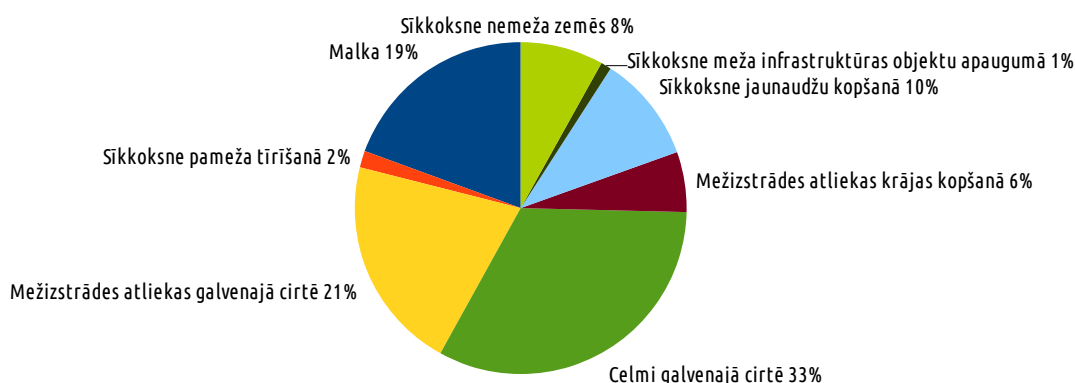
- meža biokurināmā un vākšanas ietekme uz meža atjaunošanas kvalitāti un darba ražīgumu; dažādu darba metožu ietekme uz meža atjaunošanos, piemēram, pameža atstāšanas ietekme uz augsnes gatavošanu un jaunās aprites kociņu augšanu, mežizstrādes atlieku apžāvēšanas cīsmā ietekme uz meža kaitēkļu izplatību un barības vielu apriti;
- meža darbu plānošanas sistēmu papildināšana ar lēmuma pieņemšanas instrumentu biokurināmā sagatavošanas metodes izvēlei un harvestera un pievedējtraktora informācijas sistēmu integrēšana, lai, balstoties uz harvestera darba datnēm, novērtētu resursu apjomu izvietojumu un kvalitatīvos rādītājus (sugu sastāvs, sīkkoku īpatsvars u.c.), kā arī saplānotu pievedējtraktora darbu (tehnoloģisko koridoru izvietojums, braukšanas apstākļi);
- centralizētas smalcināšanas (saiņu un sīkkoku) sistēmas analīze un dažāda veida biokurināmā (sīkkoki, saiņi, celmi, šķeldas) starpkrautuvju ierīkošanas ekonomisko, organizatorisko un tehnisko jautājumu izpēte, tajā skaitā ietekmes uz citām ražošanas operācijām novērtējums;
- mežizstrādes atlieku kurināmā kvalitātes uzlabošanas iespēju analīze (žāvēšana cīsmā, dažāda veida smalcinātāju pielietošana) un kvalitātes novērtēšanas un prognozēšanas sistēmas izveide; starpkrautuvju tehniskie risinājumi noteiktas kvalitātes biokurināmā sagatavošanai (piemēram, tehnoloģisko kokskaidu granulu ražošanai);
- mežizstrādes atlieku izvākšanas ietekme uz vidi (augu barības elementu apriti, oglekļa mineralizāciju u.c.); mežizstrādes atliekas un celmi nākotnē būs lielākais biokurināmā resursu avots, tāpēc ir svarīgi savlaicīgi risināt pelnu izmantošanas jautājumus, novērtējot, kurā meža apsaimniekošanas etapā pelnu atgriešana vidē var dot vislielāko pozitīvo efektu;
- tehnisko risinājumu un darba metožu izstrādāšana saiņošanas darba ražīguma palielināšanai un kritisko operatoru apmācības momentu identificēšana un integrēšana mācību materiālos.

## Biokurināmā sagatavošana kailcirtēs no celmiem

Pirmie zinātniskie pētījumi par celmu izmantošanu biokurināmā sagatavošanai un par celmu izstrādes ietekmi uz meža atjaunošanos Latvijā veikti 19. gadsimta otrajā pusē (Bode, 1840). Pēc neatkarības iegūšanas 20. gadsimta sākumā energoneatkarības jautājumi aktualizējās un mežsaimnieki atgriezās pie celmu izstrādes un ar to saistīto meža atjaunošanas problēmu risināšanas. Tāpat kā tagad, arī toreiz pastāvēja pretēji viedokļi; piemēram, O. Ceichners uzskatīja, ka celmu spridzināšana sekmē barības vielu izskalošanos un augsnes eroziju, tāpēc ieteica valsts mežos neveikt celmu izstrādi (Ceichners, 1929). Tajā pat laikā viņš un citi pētnieki atzina, ka celmu izstrāde sekmē dabisko atjaunošanos priežu mežos un neatstāj negatīvu ietekmi uz nākamās aprites augiem (Vasiļevskis, 2007). K. Lange bija viens no aktīvākajiem celmu izmantošanas aizstāvjiem un uzskatīja celmu atstāšanu cirtmās satrūdēšanai mazmežainos rajonos par nepareizu (Lange, 1925). Pirms 2. Pasaules kara neatkarīgajā Latvijā sagatavoja 7-30 tūkst. m<sup>3</sup> celmu malkas gadā. 1939. gadā celmu malkas gatavošanai ieteica izmantot visas kailcirtes. Tajā laikā celmus ieguva ar spridzināšanas metodi, vai, izmantojot šim nolūkam konstruētas sviras. Vidējā celmu izstrādes norma bija 2-2,5 steri vai 1,6-2 m<sup>3</sup> dienā (Vasiļevskis, 2007).

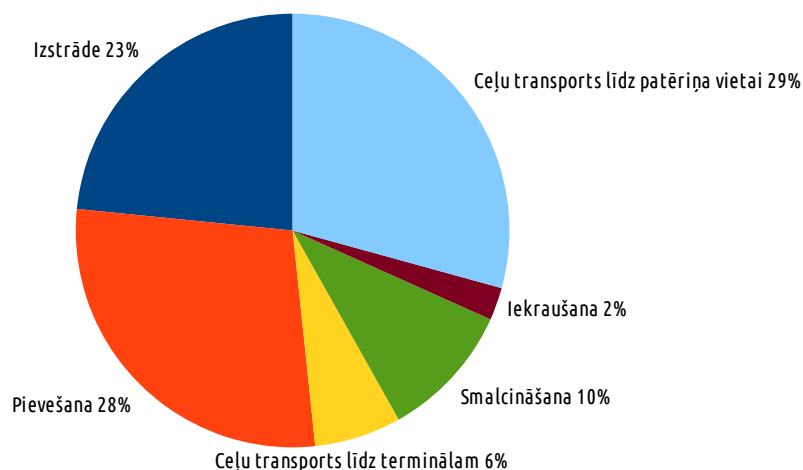
Pēc neatkarības atgūšanas 20. gadsimta beigās celmu koksne ilgstoši nenonāca mežsaimniecības praktiķu interešu lokā, jo bija pieejami lētāki koksnes resursi (malka, kokrūpniecības atliekas, mežizstrādes atliekas), taču, pieaugot pieprasījumam un palielinoties kurināmā cenai, celmu koksne atguvusi enerģētiku un mežsaimnieku uzmanību (Lazdiņš 2006). Pētījumi par celmu izstrādes iespējām galvenajā cirtē veikti 2006. gadā sadarbībā Zviedrijas mežzinātnes institūtu Skogforsk. Šajos pētījumos celmu izstrādei izmantoja kāpurķēžu ekskavatoru ar specializētu CBI kausu. Celmu izstrādes darba ražīgums bija 10,4 m<sup>3</sup> stundā, attiecīgi, 5-6 reizes lielāks, nekā pirms 60 gadiem (Lazdiņš and Thor, 2009), tomēr joprojām saglabāja aktualitāti jautājums par celmu izstrādes ietekmi uz meža atjaunošanas gaitu.

Saskaņā ar pētījumu rezultātiem teorētiskais ikgadējais celmu kurināmā potenciāls Latvijā ir 1 607 tūkst. tonnas, tajā skaitā 958 tūkst. tonnas pieejamas tehnoloģiski, t.i. ar pieejamo tehniku un ņemot vērā likumdošanas ierobežojumus. Saglabājoties mežizstrādes apjomam vidēji 10 milj. m<sup>3</sup> gadā un patreizējam galvenās cirtes īpatsvaram, katru gadu celmu izstrādi var veikt līdz 35,8 tūkst. ha lielā platībā. Vidējā celmu koksnes krāja ir 26,7 tonnas ha<sup>-1</sup> (Adamovičs et al., 2009). Celmu īpatsvars mežizstrādē un meža kopšanā tehnoloģiski pieejamajā biokurināmā ir 33 % (Att. 53). Būtiski atcerēties, ka celmu koksni iegūst kailcirtēs, tāpēc, palielinoties izlases cirtu īpatsvaram, iegūt celmu koksni, tāpat kā mežizstrādes atliekas, kļūs arvien grūtāk. Lielā mērā to nosaka ekonomiski ierobežojumi – mežaudzē celmu izstrādes darba ražība samazinās, attiecīgi, celmu biokurināmā cena pieaug. Ne mazāk svarīgi ir mežsaimnieciskie riski; celmus rauj ar smagu tehniku, kurai nepieciešami blīvi izvietoti (vidēji ik pēc 10 m) tehnoloģiskie koridori, tāpēc izzāgējamo koku izvēle izlases cirtēs jāpakārto celmu izstrādei. Celmu raušanas laikā var tikt bojātas saglabājamo koku saknes un miza, iespējams, ka samazinās mežaudžu noturība pret vēju. Celmu izstrāde var radīt arī pozitīvu efektu – tiek skarificēta augsnes virskārta, kas sekmē meža atjaunošanos izstrādātajās platībās. Ir nepieciešami ilggadīgi pētījumi, lai novērtētu celmu izstrādes mežsaimniecisko ietekmi izlases cirtēs un izvēlētos optimālo risinājumu mežizstrādes darbu organizācijai un celmu izstrādei izlases cirtēs.



**Att. 53: Celmu biomasa, salīdzinot ar pārējiem meža biokurināmā veidiem (Adamovičs et al., 2009).**

Saskaņā ar 2008. gadā veikta darba ražīguma pētījuma rezultātiem (Lazdinš et al., 2009) darba laika patēriņš visu tehnoloģiski pieejamo celmu koksnes resursu ieguvei un piegādei visos mežos būtu 787 tūkst. stundas produktīvā darba laika (Att. 54). Pieņemot, ka darba laika izmantošanas lietderīguma koeficients ir 80 %, visu tehnoloģiski pieejamo celmu resursu apguvei gadā nepieciešams gandrīz 1 milj. darba stundu gadā. Celmu izstrāde, tajā skaitā, aizņem 23 % no darba laika.

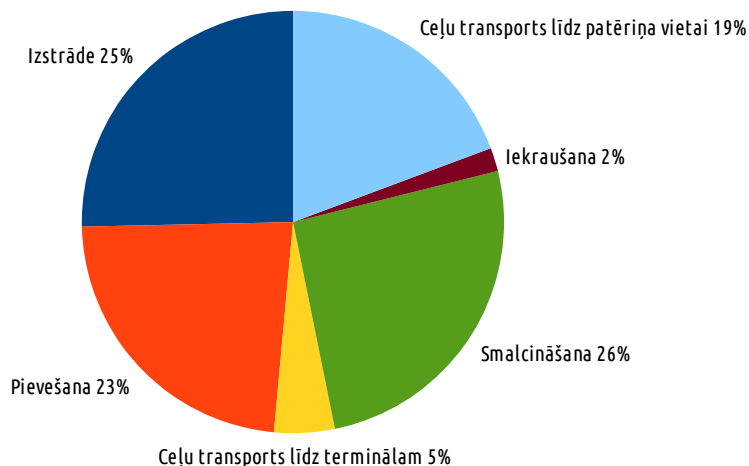


**Att. 54: Darba laika patēriņa sadalījums celmu biokurināmā sagatavošanai un piegādei (Adamovičs et al., 2009).**

Tehnoloģiski pieejamo celmu resursu ieguvei nepieciešamas vismaz 230 jaunas tehnikas vienības, kas būtu nodarbinātas uz pilnu slodzi celmu izstrādē, tajā skaitā vismaz 53 ekskavatori, kas aprīkoti ar specializētiem celmu izstrādes kausiem. Mašīnu apkalpošanai būtu nepieciešami vismaz 693 kvalificēti operatori. Reālos darba apstākļos, kad tehnikas izmantošanas efektivitāte nav simtprocentīga, faktiskais nepieciešamās tehnikas vienību un operatoru skaits būs par 20-30 % lielāks.

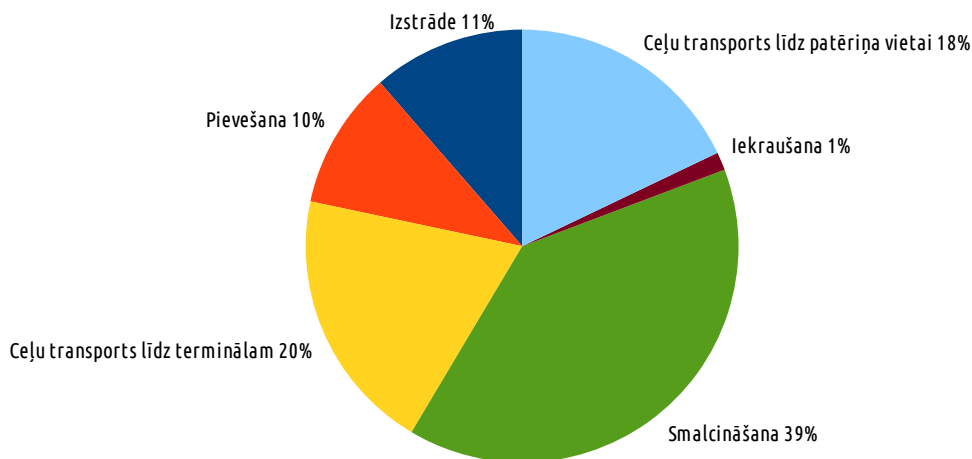
Kopējās tehnoloģiski pieejamo celmu resursu ražošanas un piegādes izmaksas saskaņā ar 2009. gadā veiktajiem aprēķiniem pie maksimālā ražošanas apjoma būtu 27,6 milj. LVL gadā, neskaitot peļņu, vadības izmaksas un citus pieskaitāmos izdevumus

(Adamovičs et al., 2009). Celmu izstrāde saskaņā ar agrāk veiktu pētījumu rezultātiem ir 25 % no kopējām biokurināmā sagatavošanas un piegāžu izmaksām (Att. 55).



Att. 55: Celmu biokurināmā ražošanas izmaksu sadalījums (Lazdiņš et al., 2009).

CO<sub>2</sub> emisiju pieaugums ražošanas un transporta sektorā, veicot visu tehnoloģiski pieejamo celmu izstrādi un piegādi vidēji 50 km attālumā, gadā būtu 99 tūkst. tonnas CO<sub>2</sub> (Adamovičs et al., 2009). Tomēr šīs emisijas ir tikai nepilni 6 % no oglekļa, kas tiktu piegādāts patērētājam biokurināmā veidā (Lazdiņš and Von Hofsten, 2009). Visvairāk emisiju veidojas smalcināšanas procesā, tāpēc būtisku emisiju samazinājumu var panākt, aizstājot ar dīzeļdzinējiem darbināmus drupinātājus ar elektriskajiem drupinātājiem. Izstrāde rada 11 % no kopējām ražošanas procesa emisijām (Att. 56).



Att. 56: CO<sub>2</sub> emisiju sadalījums celmu biokurināmā ražošanas un piegāžu procesā (Lazdiņš and Von Hofsten, 2009).

2011. gadā veikts otrs nozīmīgākais celmu izstrādes tehnoloģiju pētījums, kura ietvaros izgatavots celmu izstrādes kausa prototips (Att. 57). Pētījumā konstatēts, ka vidējā izstrādāto celmu iegūstamā biomasā ir 25,7 tonnas ha<sup>-1</sup>. Izrauto celmu iegūstamā biomasā atbilstoši biomasas aprēķinu vienādojumiem ir 62 % no kopējās celmu ar caurmēru lielāku par 20 cm biomasas. Vidējā celma iegūstamā biomasā izmēģinājumos bija 73 kg. Salīdzinot ar attiecīgajās cīsmās izstrādāto apaļkoku apjomu, iegūstamā izrauto celmu biomasā izmēģinājumos vidēji bija 7 %. Pētījuma pievešanas



izmēģinājumu dati liecina par to, ka darbā izmantotie biomasas vienādojumi var uzrādīt mazāku celmu biomasu, nekā ir praksē (Lazdiņš, 2012).



Att. 57: Celmu raušanas un pacilu gatavošanas kauss MCR-500<sup>49</sup>.

Vidējā darba režība celmu izstrādes izmēģinājumos 2011. gadā bija 2,7 tonnas stundā, bet, ja neveic augsnes gatavošanu – 3,4 tonnas stundā. Produktīvais darba laika patēriņš augsnes gatavošanai vidēji bija 3,4 stundas ha<sup>-1</sup>, bet optimālā darba režīmā (sagatavojot vēlamo stādvieta skaitu) – 4,3 stundas ha<sup>-1</sup>. Izmēģinājumu rezultāti liecina, ka vairāku celmu vienlaicīga raušana uzlabo darba ražīguma rādītājus. Praksē šo atziņu var pielietot, piemēram, celmu grupā raujot vispirms lielāko celmu, kas daudzos gadījumos paķer līdzī arī mazākos. Arī trupējušo celmu izraušana prasa mazāk laika; salīdzinot ar darba ražīguma vidējiem rādītājiem, 1 kg trupējušo celmu sagatavošana, neskaitot augsnes sagatavošanas laiku, aizņem vidēji par 17 % mazāk laika. Jāņem vērā gan, ka trupējušo celmu biomasu var būt mazāka, nekā veselu celmu biomasu. Vidējais produktīvais darba laika patēriņš augsnes gatavošanai kontroles variantos, neskaitot traktora uzkraušanu un nokraušanu no treilera, kā arī iebraukšanu cirsmā, izmēģinājumos bija 89±18 min. ha<sup>-1</sup>; attiecīgi, 2,8 reizes mazāk, nekā, gatavojot augsni ar ekskavatoru celmu izstrādes laikā (Lazdiņš, 2012).

Celmu pievešanas izmēģinājumos konstatēts, ka faktiskais pievestais apjoms ir vidēji 3 reizes lielāks, nekā ar biomasas vienādojumu palīdzību aprēķinātais, taču jāņem vērā, ka liela daļa pievestās masas ir augsne. Tas liecina, ka galīgos secinājumus gan par darba ražīgumu, gan par kurināmā izmaksām varēs izdarīt tikai pēc materiāla sasmalcināšanas. Vidējā pievestā krava ir 7651 ± 272 kg. Vidējais produktīvā darba laika patēriņš pievešanai, pārrēķinot uz biomasas vienādojumu datiem, ir 22,8 ± 6,6 min tonna<sup>-1</sup> vai 2,6 ± 0,8 tonnas stundā. Vidējā krava saskaņā ar biomasas vienādojumu datiem ir 1,3 ± 0,4 tonnas sausas, kas ir vismaz 2 reizes mazāk, nekā konstatēts citos pētījumos. Tas liecina, ka biomasas vienādojumi, visticamāk, nepilnīgi novērtē iegūto celmu biomasu (Lazdiņš, 2012).

Ziemeļvalstīs celmu izstrādāšana kļūst arvien izplatītāka. Jaunāko laiku interese par celmiem aizsākās 1970. un 1980. gadu mijā, kad celmu raušanu izvirzīja kā vienu no alternatīvām izejvielu nodrošināšanai celulozes rūpniecībai. Šobrīd ar nesen izraisīto interesi par bioenerģiju, daudzi pētījumi ir atjaunoti. Iegūtā enerģētiskā vērtība no celmiem var sasniegt tikpat augstu līmeni, kā no mežizstrādes atliekām. Ziemeļvalstīs celmu izstrāde vairumā gadījumu saistās uz egļu, priežu un bērzu audzēm. Tā parasti nav izpildāma kopšanas cirtēs, jo pastāv risks sabojāt audzes atlikušos kokus, savukārt ir parasti tieši saistīta ar kailcirtēm, tādēļ pieaugošais meža kurināmo patēriņš pieprasa

<sup>49</sup> Foto: A. Lazdiņš.

aizvien plašākas un plašākas mežizstrādes teritorijas. Celmu materiālu transportēšanas izmaksu samazināšana, spētu padarīt šo izejvielu ekonomiski izdevīgāku izstrādei (Mitchell, 2009).

Somijā, novatoriski kombinētas siltumapgādes un elektrostaciju pozitīvās pieredzes rezultātā, celmu koksnes izmantošana enerģijas nolūkos strauji virzās no pārbaudes fāzes praksē. 2005. gadā celmu koksnes šķeldu izmantošana apkurē un elektrostacijās kopumā, bija 0,4 milj. m<sup>3</sup>, kas trīskāršoja 2004. gada patēriņu, kas atbilst aptuveni 14 % no kopējā meža šķeldu patēriņa Somijā (Laitila et al., 2008).

Somijā, UPM Kymmene uzsāka komerciālo celmu izmantošanu kurināmā ražošanai 2001. gadā. Jau 2003. gadā celmu izstrāde notika 1000 ha platībā, 2005. gadā – 2050 ha un 2006. gadā – 6000 ha platībā. 2010. gadā Somijas plāns bija saražot 1,5 milj. m<sup>3</sup> celmu biokurināmā. Mežizstrādē Somijā pastāv subsīdijas celmu laušanai, jo tiek uzskatīts, ka tas samazina sakņu trapes riska faktoru nākamās rotācijas kokiem. Tiek uzskatīts, ka celmiem kā enerģijas izejvielai ir vairākas priekšrocības. Tiklīdz izkaltēti, celmu koksnei piemīt mazs mitruma saturs, kas padara to ideāli piemērotu izmantošanai ziemas apstākļos, kad citi meža kurināmā veidi ir mitri. Zems mitruma saturs nozīmē arī to, ka celmu koksnei ir ilgs uzglabāšanas termiņš, salīdzinājumā ar citiem meža kurināmā materiāliem, kuri var sākt sadalīties ja tos uzglabā ilgtermiņā. Celmu šķeldām piemīt lielāka siltumspēja un tie ir viendabīgāki, nekā citi meža kurināmā avoti. Attiecībā uz vispārīgo meža apsaimniekošanu, celmu raušanai ir trīs noteikti izdevīgi aspekti – jaunu meža kurināmā avotu (un tādējādi papildus ieņēmumu) izveidošanās, apsaimniekošanas līdzeklis lai risinātu kaitēkļu un slimību problēmas un ja ir kombinēts ar pacilu veidošanu, tad produktivitātes ziņā dod ieguvumus atjaunojamās platībās, augsnes sagatavošanā (Walmsley and Godbold, 2009).

Ziemeļvalstīs celmus izstrādā ar ekskavatoriem ar specializētiem kausiem. Kaudzes ar izplēstiem un sašķeltiem celmiem tiek atstātas izcirtumos žāvēšanai pirms tos transportē uz augšgala krautuvi, kur ļauj lietum noskalot atlikušo augsni no saknēm. Augšgala krautuvē celmus atstāj tālākajai žāvēšanai un glabāšanai līdz drupināšanas brīdim. Dažreiz šīs kaudzes tiek pārklātas. Tiek uzskatīts, ka šis daudzpakāpju process paaugstina izejvielu kvalitāti, samazinot netīrumu daudzumu un mitruma saturu biomasā. Somijā celmus nerauj uzreiz pēc mežizstrādes, bet atstāj vienu vai vairākus gadus augsnē. Šajā laikā samazinās saikne starp saknēm un augsni. Lielākās saknes sāk žūt un atraujas no augsnes, tādēļ celmu izraušanai nepieciešamais spēks samazinās. Iespējams, ka celmu atstāšana augsnē uz kādu laiku, ļauj samazināt augsnes daļiņu piejaukumu biomasā (Mitchell, 2009).

Celmu rāvējs var veikt arī augsnes sagatavošanu, kas iekļauj augsnes pacilu vai "ieskrāpējumu" veidošanu ar augšējo raušanas drupināšanas iekārtas daļu un atstājamās bedres izlīdzināšanu pirms tas virzās pie cita celma (Laitila et al., 2008).

Pētījumu dati liecina, ka vairumā gadījumos audzes ražība atcelmotajās platībās nākošajā apritē ir vai nu ievērojami lielāka vai arī būtiski neatšķiras no platībām, kur celmu raušana nebija veikta. Zviedrijas „vesela koka” izstrādes izmēģinājumos, augstuma pieaugums stādītos egļu (*Picea abies*) un priežu (*Pinus sylvestris*) jaunaudzēs pēc 7 gadiem bija attiecīgi par 40-70 % un 15-20 % lielāks platībās, kur celmi un cirsmu atliekas tika aizvākti no cirsmām, salīdzinot ar kontroles platībām. Pēc 22-27 gadiem, dabiski atjaunoto koku skaits (galvenokārt *Betula* spp. un *Picea abies*) celmu un cirsmu atlieku izstrādes platībās bija lielāks, nekā platībās ar tradicionālo mežizstrādi. Pozitīvā celmu raušanas ietekme tika atzīmēta arī audžu krājas aprēķinos un attiecīgajos atcelmošanas un pieņemtajos mežizstrādes datos (Vasaitis et al., 2008).

Celmu izstrādei piemērotākie ir egļu, bērzu, apšu un alkšņu izcirtumi, kā arī priedes izcirtumi uz dabiski mitrām vai susinātām audzēm. Celmu izstrādei nav ieteicama uz nabadzīgām minerālaugsnēm (Lazdāns et al., 2008a).

### Celmu izstrādes tehnoloģijas

Celmu izstrādi veic gan ar parastiem ekskavatora kausiem, gan ar specializētiem celmu raušanas kausiem, kurus montē uz kāpurķēžu ekskavatoriem. Vēsturiski vispirms

parādījās specializētie kausi, kas atgādināja lielas dakšas (Att. 58, 1. detaļa), kas varēja izraut tikai veselus celmus. To darba ražīgums celmu raušanas operācijā būtiski neatšķiras no vēlākajos gados izstrādātajām iekārtām, taču veseli celmi ir grūti pārvadājami, uzglabājami un drupināmi. Lielās dakšas nevarēja izraut lielākos celmus, kuros bija visvairāk biomasas, tāpēc 2. paaudzes "celmu raušanas dakšas" tika aprīkotas ar papildus griezējnazi (Att. 58, 2. detaļa), kas ļāva atcirst saknes un izraut arī lielākos celmus. Trešās paaudzes celmu raušanas kausos atteicās no dakšu formas un visi jaunākie celmu raušanas kausi sastāv no 2 satvērējiem un pretnaža (Att. 59). Ceturtās paaudzes celmu raušanas kausus aprīkoja ar specializētu iekārtu augsnes sagatavošanai (pacilu veidošanai, Att. 60). Īpatnēji, ka vairākos kausos augsnes sagatavošanai paredzētā iekārta ir pārveidots padziļinājums celmā iebūvētā hidrauliskā cilindra stiprināšanai, līdz ar to izmaksu palielinājums un kausa formas izmaiņas, pievienojot augsnes gatavošanas iekārtu, ir minimālas. Jaunāko paaudžu celmu raušanas kausi paredz iespēju lielāka izmēra celmus vispirms pārplēst divās vai vairākās daļās, veikt to izraušanu un nokraušanu kaudzēs un sagatavot augsni meža atjaunošanai. Praksē izmanto visu modifikāciju celmu raušanas kausus.

Somijā un Zviedrijā veiktie pētījumi liecina, ka dakšveida celmu raušanas kausi labāk strādā ar nelieliem celmiem (Skogforsk, 2011). Latvijas apstākļos, ņemot vērā, ka vidējā kailcirtē izstrādājamā koka dimensijas Latvijā ir lielākas, nekā Ziemeļvalstīs, ir lietderīgi orientēties uz lielu celmu izstrādei piemērotiem kausiem.



Att. 58: Celmu raušanas kauss Biorex 30<sup>50</sup>.

<sup>50</sup> Foto: Simon Berg.



Att. 59: Celmu raušanas kauss Biorex 40<sup>50</sup>.



Att. 60: Celmu raušanas kauss ar augsnes gatavotāju<sup>51</sup>.

Dažādu celmu raušanas kausu salīdzinājums dots 24. tabulā. Vislabākie ražības rādītāji pētījumos iegūti ar CeDe 2600 un MCR-500 kausiem, pie kam Latvijā izgatavotais kauss ir par 500 kg vieglāks, nekā zviedru analogs. Arī pēc stundas laikā izstrādājamo celmu skaita Latvijā izgatavotais kauss ir otrajā vietā. Jāņem vērā iespēja, ka Ziemeļvalstīs izgatavotie celmu raušanas kausi ir izmēģināti smagākos darba apstākļos.

Somijā izgatavotais celmu urbis Att. 61 un celmu zāģis Fräsen Att. 62 ir eksperimentālas tehnoloģijas, kuru pielietošanai pagaidām nav ekonomiska pamatojuma, jo celmu izstrādes un turpmākā ražošanas un piegāžu procesa pašizmaksa ir pārāk liela (Skogforsk, 2008; Sammallahti, 2010). Zviedrijā (SLU) tiek izstrādāta celmu raušanas iekārta, kas celmu izraušanai izmanto rotācijas kustību, izgriežot celmu no augsnes. Saskaņā ar zviedru pētījumiem rotācijas kustība samazina celma izraušanai nepieciešamo spēku, jo koks nav gatavs pretoties šādai iedarbībai. Tāpat, Zviedrijā

<sup>51</sup> Avots: <http://sustainability.formas.se/Templates/Pages/PrintCurrentFocusList.aspx?singlepageid=6195&lang=en>




veikti pētījumi par celmu izspiešanu no zemes, paliekot tiem apakšā hidraulisku pacēlāju (Lindroos et al., 2010).

Pētījumā ekonomiskais, mežsaimnieciskais, tehniskais, ietekmes uz vidi un ekoloģiskais vērtējums apkopots 2., 3. un 4. paaudzes celmu raušanas kausiem, kā arī eksperimentālajam celmu zāgim Fräsen, kas Latvijas apstākļos var kļūt dzīvotspējīgu alternatīvu celmu izstrādei izlases cirtēs.




Pētījumā sagatavotais vērtējums attiecībā uz ietekmi uz vidi un bioloģisko daudzveidību lielā mērā balstīts uz pieņēmumiem, jo Latvijā pētījumi šo jautājumu skaidrošanai nav veikti. Ietekme uz bioloģisko daudzveidību pētīta Zviedrijā un Somijā, taču būtiskas izmaiņas vai negatīva ietekme līdz šim nav konstatēta. Pētījumos Zviedrijā noskaidrots, ka lielāku ietekmi uz bioloģisko daudzveidību atstāj mazāko celmu izstrāde, jo to virsmas laukums ir lielāks, attiecīgi, lielāka dzīves telpa meža faunai un florai (Egnell and Hyvönen, 2007; Walmsley and Godbold, 2009). Celmi sadalās lēni, tāpēc to izstrāde nevar atstāt būtisku tiešu ietekmi uz ūdeņu eitrofikāciju (caur barības vielu izskalošanos), taču celmu izstrāde var uzlabot augsnes aerāciju un sekmēt augsnes mikrofloras darbību, tādējādi sekmējot CO<sub>2</sub> un N<sub>2</sub>O emisijas un mikroorganismu mineralizētajās organiskajās vielās ieslēgto barības vielu izskalošanos. Lai gan zinātniska apstiprinājuma šādam pieņēmumam nav.







24. Tabula: Atsevišķu celmu raušanas kausu raksturojums (Skogforsk, 2011; Lazdiņš, 2012)

Nosaukums	Ražotājs	Masa, kg	Darba ražība		Statuss	Uzkares montāža	Cita informācija	Fotogrāfija
			tonnas produktīvajā stundā	celmi produktīvajā stundā				
Pallari 140	Tervolan Konepaja Oy <a href="http://www.tervolankonepaja.fi">www.tervolankonepaja.fi</a>	2000	4,6 (3,4- 6,8)	78 (54-153)	Ražošanā	Ekskavatora uzkare, vēlams ātrais savienojums – pāreja	Nepieciešama divpusēja hidraulikas darbība abos cilindros	
Pallari 160		2200	4,8 (4,6-5,1)	58 (47-73)	Ražošanā	Īpašas stiprināšanas skavas uz strēles		
CBI	Continental Biomass Industries Inc. <a href="http://www.cbi-inc.com">www.cbi-inc.com</a>	2100	4,8 (4,2-6,0)	55 (49-64)	Ražošanā	Pastiprināta strēle un cilindra stiprināšanas vieta, rada lielu slodzi uz strēli.	Nepieciešama divpusēja hidraulikas darbība abos cilindros	



Nosaukums	Ražotājs	Masa, kg	Darba ražība		Statuss	Uzkares montāža	Cita informācija	Fotogrāfija
			tonnas produktivajā stundā	celmi produktivajā stundā				
CeDe 2600	CeDe Group AB <a href="http://www.cede-group.se">www.cede-group.se</a>	2900	6,0 (5,4-6,7)	63 (60-66)	Ražošanā	Stiprinās pie strēles, vēlas ātrais savienojums – pāreja	Divpusējas darbības hidraulika	
Herkules		1500	3,4 (2,3-4,2)	46 (30-60)	Netiek ražota	Strēlei stiprinās galvenais un griezējnaža cilindrs	Divi cilindri ar divvirzienu spiedienu griezējnazim un kausa korpusam	
Aalto	Finnkauha OY <a href="http://www.finnkauha.fi">www.finnkauha.fi</a>	800	4,0 (2,9-7,2)	75 (44-139)	Ražošanā	Stiprinās ekskavatora strēlei ar pāreju	Nav papildus hidraulikas	

Nosaukums	Ražotājs	Masa, kg	Darba ražība		Statuss	Uzkāres montāža	Cita informācija	Fotogrāfija
			tonnas produktīvajā stundā	celmi produktīvajā stundā				
Ecorex 30	Umeå Försäljning AB <a href="http://www.ufoab.se">www.ufoab.se</a>	1500	3,4 (3,2-3,7)	46 (42-52)	Ražošanā	Stiprinās ekskavatora strēlei ar pāreju	Divas divvirzienu darbības hidrauliskās līnijas	
X-power	Kareliatech OY <a href="http://www.kareliatech.fi">www.kareliatech.fi</a>	2500	5,1 (4,8-5,2)	75 (73-76)	Ražošanā	Ar pāreju vai tieši uz strēles	Divas divpusējas darbības hidrauliskās līnijas. Elektroniska kontrole kausa vārsta blokam	
Fräsen	Temab i Åre <a href="http://www.temab.se">www.temab.se</a>	1000	2,2 (1,6-3,0)	67 (36-107)	Prototips	Stiprinās ekskavatora strēlei ar pāreju		

Nosaukums	Ražotājs	Masa, kg	Darba ražība		Statuss	Uzkares montāža	Cita informācija	Fotogrāfija
			tonnas produktivajā stundā	celmi produktivajā stundā				
MCR-500 <sup>52</sup>	SIA "Orvi"	1600	5,6 (4,0-7,1)	77 (61-83)	Prototips	Stiprinās tieši uz ekskavatora strēles	Nepieciešamas divas divpusējas darbības hidrauliskās āmurlinijas	

<sup>52</sup> MCR-500 ir vienīgais kauss, kas testēts Latvijas apstākļos, tāpēc, tāpēc ņemot vērā atšķirīgos darba apstākļus un celmu dimensijas galvenajā cirtē, darba ražīguma rādītāji nav tieši salīdzināmi ar Zviedrijā iegūtajiem datiem.



Att. 61 Krājas kopšanas cirtēm paredzēts celmu urbis<sup>53</sup>.



Att. 62 Celmu griezējs<sup>54</sup>.

<sup>53</sup> Avots: Sammallahti, 2010.

<sup>54</sup> Avots: Skogforsk, 2008.

Salīdzinot celmu izstrādes tehnoloģijas, augstāko vērtējumu iegūst celmu izstrāde ar kausu ar diviem satvērējiem un pretnazi, kas aprīkots ar augsnes sagatavošanas iekārtu (25. tabula). Zemāko vērtējumu iegūst celmu izstrāde ar "dakšām", jo ar šāda veida aprīkojumu iegūti celmi ir grūtāk transportējami, smalcināmi un iegūtajā šķeldā ir vairāk minerālaugsnes piejaukumu.

Celmu izstrāde, vienlaicīgi veicot augsnes apstrādi, ir tehniski un mežsaimnieciski izdevīgāka, jo ļauj samazināt meža atjaunošanas procesā iesaistīto tehnikas vienību skaitu, un, pareizi veicot augsnes sagatavošanu, rada labvēlīgākus apstākļus meža atjaunošanai. Pārējās iekārtas, kas spēj veikt tikai augsnes skarificēšanu, nerada tiešu pozitīvu ietekmi uz augsnes sagatavošanas kvalitāti, lai gan atcelmotās platībās meža frēzes darba ražīgums un kvalitāte ir labāka, nekā neatcelmotās platībās (Lazdāns and Zimelis, 2008).

25. Tabula: Celmu biokurināmā sagatavošanas tehnoloģiju vērtējums kailcirtēs

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
1.	Celmu izstrāde ar "celmu raušanas dakšām"	4	3	2	3	3	3,0
2.	Celmu izstrāde ar specializētu kausu ar 2 satvērējiem un pretnazi	3	3	3	3	4	3,2
3.	Celmu izstrāde ar specializētu kausu ar 2 satvērējiem, pretnazi un pacilu gatavošanas iekārtu	3	4	4	3	4	3,6
4.	Celmu izstrāde ar zāģi Fräsen	2	4	2	4	4	3,2



### Celmu pievešanas tehnoloģijas

Celmu izstrādes rezultātā sagatavo 2 dažādus biokurināmā sortimentus – vai nu izzāgētus celmu cilindrus vai plēstus celmus. Vienlaicīgi vienā cīsmā normālos apstākļos šie sortimenti nav sastopami.

Pēc celmu izstrādes to pievešanu uz krautuvī un nokraušanu tālākai žūšanai veic ar pievedējtraktoriem ar paplašinātu kravas tilpni, jo celmu krāvuma blīvums ir niecīgs salīdzinot ar sortimentu krāvuma tilpumu. Celmu krava JD 810 pievedējtraktoram ir 5-6 tonnas, daļa no pievestā materiāla ir augsne, kas palikusi starp celmu saknēm (Thor, Berndt, et al., 2008). 2011. gadā veiktajos izmēģinājumos vidējā pievedējtraktora Ponsse Gazelle (Att. 63) krava bija 7,6 tonnas, bet lielākā krava – 11,5 tonnas (Lazdiņš, 2012). Lai pievestu celmus, operatoram jābūt labi profesionāli sagatavotam. Celmu krāvumu veido maksimāli augstu, tāpēc traktora smaguma centrs pārvietojas uz augšu un traktora apgāšanās risks ir lielāks, nekā, pievedot apaļkokus vai mežizstrādes atliekas. Efektīvai kravas izmantošana būtiska arī secība, kādā kravu aizpilda – pareizi ir sākt ar pievedējtraktora aizmuguri un tikai beigās piepildīt priekšgalu. Pretējā gadījumā, sākot no priekšgalā, operators neredz, vai aizmugure ir aizpildīta, tāpēc šādos gadījumos kravas telpa netiek izmantota efektīvi. Lai atvieglotu šādu kraušanas veidu, ir svarīgi lai pievedējtraktoram būtu papildus statņi vai siena arī aizmugurē (Att. 64). Viens no risinājumiem kravas pakaļgala nostiprināšanai ir pakaļējo statņu notīšana ar trosēm, kas notur celmus.

Alternatīva tehnoloģija ir celmu pārvadāšanai speciāli būvētu slēgtu kravas konteineru uzstādīšana pievedējtraktoriem. Šāda tehnika nav izplatīta un netiek sērijveidā ražota, taču eksistē gan prototipi, kas ir ieliekami parastā pievedējtraktora kravas tilpnē, gan veselas kravas kastes, kas uzstādāmas uz pievedējtraktora šasijas. Ar celmu zāģiem izzāģētajiem celmiem šī ir vienīgā transportēšanas alternatīva, jo no parasta pievedējtraktora kravas izzāģētie celmi, kas nav garāki par 1 m, kritīs laukā.

Celmu kraušanai lietderīgi izmantot zaru kraušanai piemērotos dakšveida satvērējus. Celmus pieved un nokrauj šaurās un augstās (5-6 m) grēdās izvešanas ceļa malās, lai pēc to apžāvēšanas tos var pārvest uz šķeldošanas vietām starpkrautuvē vai pie patērētāja. Viena no lielākajām problēmām nepieredzējušiem operatoriem ir pareizas formas celmu kaudzes veidošana – tai jābūt šaurai, augstai un ar pēc iespējas taisnākām malām (Att. 68). Lēzenās un platās kaudzēs celmi nežūs un slikti atbrīvosies no augsnes. Vēl viens platu kaudžu trūkums parādās celmu pārvešanas vai drupināšanas brīdī, ja tā notiek augšgala krautuvē. Šķeldotāji un kravas mašīnas parasti ir aprīkoti ar īsu (7 m) krānu, tāpēc tie nevar aizsniegt tālāk par 4-5 m no ceļa malas novietotus celmus. Garāka krāna uzstādīšana palielinās mašīnas masu un degvielas patēriņu.



Att. 63 Celmu pievešana ar nepārbūvētu pievedējtraktoru<sup>55</sup>.



Att. 64 Pievedējtraktors ar slēgtu aizmuguri<sup>56</sup>.

<sup>55</sup> Foto: A. Lazdiņš.

<sup>56</sup> Avots: <http://www.youtube.com/user/airburnerman>.



**Att. 65 Pareizi veidota celmu kaudze<sup>57</sup>.**

Pētījumā izskatītas tikai 2 tehnoloģiskas alternatīvas celmu pievešanai – ar standarta pievedējtraktoru un ar traktoru, kas aprīkots ar slēgtu kravas tilpni (26. tabula). Ietekmes uz vidi, mežsaimnieciskais un ekoloģiskais vērtējums abiem variantiem pieņemts vienāds, jo trūkst informācijas par kravu lielumu, iekraušanās un izkraušanās laiku un citiem rādītājiem, kas nosaka pievešanas ietekmi uz vidi un nākošo mežaudzi. Augstāku vērtējumu iegūst celmu pievešana ar standarta pievedējtraktoru. Specializētās tehnikas galvenie trūkumi ir papildus izmaksas un sarežģītāka piegāžu organizācija (tehniskais vērtējums) izzāgētu celmu pievešanas gadījumā. Šādu celmu pārkraušana, iespējams, prasa vairāk laika, nekā 2-4 daļās pāršķeltu celmu pārkraušana. Izzāgētus celmus grūtāk sakraut šaurās un augstās kaudzēs augšgala krautuvē, tāpēc to krautnes iznāk zemas un ar lēzenām malām. Ideālā variantā izzāgētu celmu transports no cirsma līdz katlam notiek, pārberot no viena konteineru otrā.

<sup>57</sup> Foto: A. Lazdiņš.

26. Tabula: Celmu pievešanas tehnoloģiju vērtējums kailcirtēs

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
1.	Celmu pievešana ar pievedējtraktoriem ar paplašinātu kravas tilpni	4	3	4	3	3	3,4
2.	Celmu pārvadāšana ar pievedējtraktoriem ar slēgtu kravas tilpni	3	3	3	3	3	3,0

### Biomases uzglabāšana

Celmu koksnes uzglabāšanai ir 2 uzdevumi – samazināt mitruma saturu koksnē un atbrīvoties no augsnes, tāpēc būtiski lai celmi paliktu augšgala krautuvē vismaz vienu vasaru. Saskaņā ar Somijā veiktiem pētījumiem tūlīt pēc izstrādes (pavasārī vai vasarā) mitruma saturs celmu koksnē ir 53 %, bet jau pēc viena mēneša mitruma saturs samazinās līdz 31 %. Ja celmi paspēj izžūt, tie slīktāk uzsūc ūdeni un mitruma satura palielināšanās notiek lēni, sasniedzot visaugstāko līmeni vēl rudenī (Laurila and Lauhanen, 2010). Pētījuma rezultāti liecina arī to, ka ilgstoša uzglabāšana (2-3 gadi) neietekmē mitruma saturu koksnē, taču nesamazinās arī koksnes siltumietilpība (vidēji 5,241 MWh tonnā koksnes sausas). Tas nozīmē, ka celmus var uzglabāt augšgala krautuvē vairākus gadus, gaidot labvēlīgu biokurināmā cenu.

Celmu ilgstošai uzglabāšanai ir vēl viena priekšrocība. Ja attiecīgajā teritorijā plānotas vairākas cirtes, tad krautni var papildināt 2-3 gadus un sasmalcināt, kad izstrāde tuvākajā apkārtnē ir pabeigta. Celmu pievešanas un smalcināšanas maksimālas efektivitātes nodrošināšanai, ir rūpīgi jāplāno izstrādājamo cirsu izvietojums un krautnes jāveido tā, lai tajās var savest materiālu no vairākām cirmām.

Žūšanas un augsnes izskalošanas efekta nodrošināšanai celmu kaudzēm jābūt šaurām un augstām. Segšana ar papīru nav ieteicama, jo tas aizkavēs augsnes izskalošanos. Celmu kaudžu izvietojumā saglabājami principi, kas aprakstīti nodaļā Biomases uzglabāšana.

Celmu uzglabāšanai nav piedāvātas tehnoloģiskas alternatīvas. Teorētisks, bet praksē nepārbaudīts risinājums ir rupja smalcināšana (15-20 cm gari gabali) ar drupinātājiem augšgala krautuvē, nosijājot smalko augsnes frakciju, un rupjo šķeldu uzglabāšana pie patērētāja vai starpkrautuvē, taču šim risinājumam pagaidām nav praktiska pielietojuma. Celmu smalcināšana 2 operācijās, taču pēc apžāvēšanas augšgala krautuvē, piedāvāts, kā perspektīvākais risinājums celmu biokurināmā piegādēm Zviedrijā (Skogforsk, 2011).

### Celmu biomases smalcināšana

Celmu smalcināšanai izmanto lieljaudas drupinātājus ar jaudu līdz 1000 kW. Šādi drupinātāji ir lieli, tos ir grūti pārvietot un strādāt ar viņiem uz meža ceļiem, tāpēc vairumā gadījumu celmu drupināšana notiek pie patērētāja vai starpkrautuvē, transportējot pie patērētāja nesmalcinātus celmus. Šāda pieeja tiek izmantota arī Latvijā, gatavojot celmu biokurināmo uz jaunbūvējamiem meža ceļiem (Lazdiņš and Von Hofsten, 2009).

Pēdējā desmitgadē parādījušies arī salīdzinoši kompakti drupinātāji, kas var strādāt arī augšgala krautuvē, piemēram, Crambo sērijas drupinātāji ar augšējo padevi (4. tabula). Lai gan šādu drupinātāju darba ražīguma un degvielas patēriņa rādītāji ir pretrunīgi. Zviedrijā veiktie pētījumi liecina, ka Crambo 6000 degvielas patēriņš uz 1 tonnu koksnes ir 4 reizes lielāks, nekā CBI 8400 degvielas patēriņš, smalcinot mežizstrādes atliekas (Skogforsk, 2011). Smalcinot celmus, Crambo un citiem drupinātājiem ar augšējo padevi ir būtiskas priekšrocības, salīdzinot ar drupinātājiem ar sānu (vai gala) padevi, jo tam nav ierobežots ielādējamās biomasas gabalu izmērs un forma. CBI 8400 un tam līdzīgo drupinātāju darba ražīgumu, smalcinot celmus, ierobežo tas, ka nevar pietiekoši efektīvi izmantot drupinātāju jaudu (Thor, Berndt, et al., 2008).

Pēdējos gados, galvenokārt, Zviedrijā attīstītā celmu smalcināšanas alternatīva ir divpakāpju drupināšana, augšgala krautuvē sadauzot celmus rupjos gabalos (15-20 cm) un atsijājot augsni, un starpkrautuvē vai pie patērētāja pabeidzot smalcināšanu ar citu drupinātāju vai šķeldotāju. Celmu sadrupināšana augšgala krautuvē ļauj samazināt degvielas patēriņu un, attiecīgi, izmaksas par līdz pat 3 reizēm, jo drupināto celmu bēruma blīvums ir 2,5-3 reizes lielāks, nekā celmu krautnes blīvums. Jo lielāks transportēšanas attālums, jo ekonomiskais ieguvums lielāks. Rupji sasmalcinātus celmus var ilgstoši uzglabāt, nezaudējot kurināmā kvalitāti.

Atsevišķu celmiem piemērotu drupinātāju salīdzinājums dots 27. tabulā. Saskaņā ar Zviedrijā veikto pētījumu datiem rupjai smalcināšanai var izmantot drupinātājus ar dzinējiem, kuru jauda ir aptuveni 300 kW, savukārt, kurināmo šķeldu sagatavošanai no celmiem nepieciešami aptuveni 800 kW. Arī celmu drupināšanas izmēģinājumos Zviedrijā Crambo drupinātāji uzrādīja salīdzinoši sliktus rezultātus (27. tabula). Veiksmīgākā kombinācija (Doppstadt DW-3060 augšgala krautuvē un Svedala electric pie patērētāja nodrošina to, ka enerģijas patēriņš smalcināšanai ir 28 kW tonna<sup>-1</sup>. Salīdzinājumam, tajos pašos izmēģinājumos ar mežizstrādes atliekām bija vidēji 41 (18,9-87,7) kW tonna<sup>-1</sup>. Apžāvētu celmu smalcināšana aizņem mazāk laika, nekā svaigu celmu smalcināšana.

**27. Tabula: Celmu smalcināšanai piemēroto drupinātāju salīdzinājums (Skogforsk, 2011)**

Iekārta	Dzinēja jauda, KW	Padeves veids	Materiāls	Enerģijas patēriņš, kW sausnas tonna <sup>-1</sup>	Degvielas patēriņš, L h <sup>-1</sup>	Enerģijas bilance, patērētais pret iegūto
Doppstadt DW-3060 (rupja smalcināšana)	321	Drupinātājs ar augšējo padevi	Celmi	23,3	36,8	222
Svedala electric (šķeldu sagatavošana)	800	Drupinātājs ar sānu padevi	Sasmalcināti celmi	4,7	–	1094
CBI 8400 (šķeldu sagatavošana)	783	Drupinātājs ar sānu padevi	Celmi	25,0	97	207
Komptech Crambo 5000 (rupja smalcināšana)	328	Drupinātājs ar augšējo padevi	Svaigi celmi	80,8	60,2	64,1
Komptech Crambo 5000 (rupja smalcināšana)	328	Drupinātājs ar augšējo padevi	Apžāvēti celmi	33,2	61,4	156

Pētījumā izvērtētas 4 celmu smalcināšanas alternatīvas:

- augšgala krautuvē līdz šķeldām ar Crambo 6000 vai tam līdzīgu lēngaitas drupinātāju;
- pie patērētāja vai starpkrautuvē ar ātrgaitas drupinātāju ar dīzeļdzinēju;
- pie patērētāja vai starpkrautuvē ar ātrgaitas drupinātāju ar elektrodzinēju;
- divos piegājienos – augšgala krautuvē ar lēngaitas drupinātāju līdz rupjiem gabaliem un pie patērētāja (līdz šķeldām) ar ātrgaitas drupinātāju ar elektropiedziņu.

Pēdējā variantā drupinātājs ar dīzeļmotoru nav izskatīts kā alternatīva, jo rupji sasmalcinātu celmu pārvadāšanas "rentablais attālums" ir 2-3 reizes lielāks, nekā celmiem, tāpēc transportēšanas attālums vairs nav tik būtisks ierobežojums pārstrādes vietas izvēlei.

Visaugstāko novērtējumu (28. tabula) ieguva divpakāpju smalcināšana, izmantojot drupinātāju ar elektropiedziņu otrajā operācijā, un smalcināšana pie patērētāja vienā operācijā ar drupinātāju ar elektropiedziņu. Zemākais vērtējums ir celmu smalcināšanai augšgala krautuvē vai pie patērētāja ar drupinātāju ar dīzeļdzinēju.

28. Tabula: Biokurināmā smalcināšanas tehnoloģiju vērtējums kailcirtēs

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
1.	augšgala krautuvē līdz šķeldām ar Crambo 6000 vai tam līdzīgu lēngaitas drupinātāju	2	5	5	2	3	3,4
2.	pie patērētāja vai starpkrautuvē ar ātrgaitas drupinātāju ar dīzeļdzinēju	4	4	3	3	3	3,4
3.	pie patērētāja vai starpkrautuvē ar ātrgaitas drupinātāju ar elektrodzinēju	5	4	3	4	3	3,8
4.	divos piegājienos – augšgala krautuvē ar lēngaitas drupinātāju līdz rupjiem gabaliem un pie patērētāja (līdz šķeldām) ar ātrgaitas drupinātāju ar elektropiedziņu	3	4	4	5	3	3,8



### Celmu biomasas piegāde patērētājam

Celmu izstrādes rezultātā augšgala krautuvē var veidoties 3 biomasas sortimenti – saplēsti celmi, rupji sasmalcināti celmi un celmu šķeldas. Celmu šķeldu un rupji sasmalcinātu celmu bēruma blīvums ir līdzīgs, attiecīgi, degvielas patēriņš un transporta noslodze ar šiem sortimentiem ir vienāda. Pārvadājot celmus, bēruma blīvums ir 2-3 reizes mazāks par šķeldu bēruma blīvumu, attiecīgi, degvielas patēriņš celmu pārvadāšanai ir 2-3 reizes lielāks, nekā šķeldu vai rupji smalcinātu celmu pārvadāšanai (Lazdinš et al., 2009; Skogforsk, 2011). Celmu pārvadāšanas efektivitāti var paaugstināt, izmantojot konteinerus ar hidraulisku kompaktizētāju, kas palīdz saspiest celmu kravu (Att. 66). Lai gan pētījuma laikā neizdevās atrast informāciju par šādu sistēmu efektivitāti.

Pētījumā ietvertie celmu transportēšanas risinājumi:

- šķeldu transports ar konteineravedējiem (60-70 m<sup>3</sup>);
- šķeldu transports puspiekabē (90 m<sup>3</sup>);
- šķeldu transports konteineros ar kustīgo grīdu (60-70 m<sup>3</sup>);
- celmu transports šķeldu konteineros (60-70 m<sup>3</sup>);
- celmu transports puspiekabē (90 m<sup>3</sup>);
- celmu transports konteineros ar kompaktizēšanas iekārtu (60-70 m<sup>3</sup>);
- rupji sasmalcinātu celmu transports ar konteineravedējiem (60-70 m<sup>3</sup>);
- rupji sasmalcinātu celmu transports puspiekabē (90 m<sup>3</sup>).



**Att. 66 Celmu transportēšanas konteiners ar kompaktizētāju.**

Augstāko vērtējumu (29.tabula) ieguva rupji smalcinātu celmu un celmu šķeldu transportēšana ar konteineravedējiem. Zemākais vērtējums ir celmu transportēšanai puspiekabē, jo šis transporta veids ir pielietojams tikai atsevišķās vietās, attiecīgi, vai nu jāorganizē divpakāpju transports no augšgala krautuves pie patērētāja vai jābūvē meža ceļi ar plašākiem krustojumiem.

29. Tabula: Celmu biomasas transporta tehnoloģiju vērtējums kailcirtēs

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
1.	Šķeldu piegāde ar konteineravedējiem (60-70 m³)	4	5	4	3	5	4,2
2.	Šķeldu piegāde puspiekabē (90 m³)	5	4	3	4	3	3,8
3.	Šķeldu piegāde konteineros ar kustīgo grīdu (60-70 m³)	2	5	4	2	5	3,6
4.	Celmu transports šķeldu konteineros (60-70 m³)	1	4	3	1	2	2,2
5.	Celmu transports puspiekabē (90 m³)	2	3	2	2	1	2,0
6.	Celmu transports konteineros ar kompaktizēšanas iekārtu (60-70 m³)	3	5	3	2	2	3,0
7.	Rupji sasmalcinātu celmu transports ar konteineravedējiem (60-70 m³)	4	5	4	3	5	4,2
8.	Rupji sasmalcinātu celmu transports puspiekabē (90 m³)	5	4	3	4	3	3,8

## Kopsavilkums par biokurināmā sagatavošanu no celmiem kailcirtēs

Pētījumā identificēti 77 biokurināmā piegāžu varianti, izstrādājot celmus. Desmit augstāko vērtējumu ieguvušo tehnoloģisko procesu starpprodukts ir atzaroti sagarumoti koki, visiem 13 augstāko vērtējumu ieguvušajiem tehnoloģiskajiem procesiem piegāžu process ietver gan plēstus celmus, gan veselus celmus, gan celmu cilindrus (30. tabula). Tas liecina, ka atšķirībā no, piemēram, sastāva kopšanas, biokurināmā ražošanas starpproduktam ir mazāka nozīme tehnoloģisko procesu praktiskajā pielietojamībā; attiecīgi, arī pati celmu raušanas tehnoloģija un mehānisma izvēle nav tik būtiska kā, piemēram, sikkoku izstrādes tehnoloģijas izvēle. Tomēr 5 augstāko vērtējumu ieguvušo tehnoloģisko procesu starpprodukts ir plēsti celmi, bet visaugstāk novērtētais veselu celmu sagatavošanas tehnoloģiskais process daļa 3. vietu ar 7 citiem tehnoloģiskajiem procesiem, tajā skaitā celmu cilindru izzāģēšanu.

Visaugstāko vērtējumu ieguvis tehnoloģiskais process, kas paredz vienlaicīgu celmu izstrādi un augsnes sagatavošanu meža atjaunošanai ar 4. paaudzes celmu izstrādes kausiem, celmu pievešanu uz augšgala krautuvi ar pievedējtraktoru ar paplašinātu kravas tilpni (nevis slēgtu kravas kastī) un divpakāpju smalcināšanu, transportējot rupji sadrupinātus celmus ar konteineravedēju un pabeidzot smalcināšanu ar drupinātāju ar elektromotoru. Četros no 5 augstāko vērtējumu ieguvušajiem tehnoloģiskajiem procesiem paredzēts izmantot celmu raušanas kausu ar pretnazi.

Latvijā pagaidām nenotiek masveidīga celmu izstrāde, tāpēc celmu smalcināšanas un ceļu transporta vērtējums balstās uz pieņēmumu, ka Latvijā var veidoties tāda pati pārstrādes vide kā Somijā, t.i. palielinās stacionāro lielaudas drupinātāju pieejamība. Efektīvākie tehnoloģiskie procesi paredz celmu sasmalcināšanu ar drupinātājiem ar elektrisko piedziņu, kuru elektromotoru jauda ir 700-1000 kW. Šādu pieslēgumu ierīkošana un uzturēšana starpkrautuvēs var būt tehniski neiespējama vai tik dārga, ka lētāk ir izmantot ar dīzeļdzinēju darbināmu drupinātāju, it īpaši, ja ir runa par lauku reģionos izvietotām starpkrautuvēm, ko apkalpo 1 pārvietojams drupinātājs. Celmu pārvadāšanas efektivitāti var paaugstināt, izmantojot konteinerus, kas aprīkoti ar kompaktizētājiem (Att. 66), taču zinātniski pamatota informācija par to izmantošanas efektu nav pieejama. Ja šādu sistēmu izmantošana ļautu palielināt celmu bēruma blīvumu 1,5-2 reizes un ļautu automatizēt konteineru izkraušanu, tad būtiskas priekšrocības būtu plēstu celmu transportēšanai uz starpkrautuvēm vai patēriņa vietu. Šāda tehnoloģija veiksmīgi strādā Somijā Alholmenas celulozes rūpnīcā, kur celmus izmanto tehnoloģiskajam procesam nepieciešamā siltuma nodrošināšanai.

Celmu biokurināmā tehnoloģisko procesu analīzes rezultāti liecina, ka celmu izstrādē galvenā uzmanība jāpievērš atcelmošanas un augsnes gatavošanas integrēšanai, maksimāli izmantojot tās priekšrocības, ko dod meža atjaunošana uz pacilām. Saskaņā ar LVMI Silva pētījumiem celmu izstrādes procesā integrēta augsnes gatavošana ar MCR-500 celmu rāvēju aizņem 4 stundas ha<sup>-1</sup> un izmaksu ziņā jau spēj pietuvoties meža frēzes rādītājiem, tajā pat laikā nodrošinot labāku augsnes sagatavošanas kvalitāti auglīgajos meža tipos un, jo īpaši, uz mitrām augsnēm (Lazdiņš, 2012).

### 30. Tabula: Augstāko vērtējumu ieguvušie tehnoloģiskie procesi

ID	Tehnoloģiskais process	Starpprodukts	Vērtējums
54	Celmu izstrāde ar specializētu kausu ar 2 satvērējiem, pretnazi un pacilu gatavošanas iekārtu, celmu pievešana ar pievedējtraktoriem ar paplašinātu kravas tilpni, divos piegājienos – augšgala krautuvē ar lēngaitas drupinātāju līdz rupjiem gabaliem un pie patērētāja (līdz šķeldām) ar ātrgaitas drupinātāju ar elektropiedziņu, rupji sasmalcinātu celmu piegāde ar konteineravedējiem (60-70 m <sup>3</sup> )	Plēsti celmi	3,8
65	Celmu izstrāde ar specializētu kausu ar 2 satvērējiem, pretnazi un pacilu gatavošanas iekārtu, celmu pārvadāšana ar pievedējtraktoriem ar slēgtu kravas tilpni, divos piegājienos – augšgala krautuvē ar lēngaitas drupinātāju līdz rupjiem gabaliem un pie patērētāja (līdz šķeldām) ar ātrgaitas drupinātāju ar elektropiedziņu, rupji sasmalcinātu celmu piegāde ar konteineravedējiem (60-70 m <sup>3</sup> )	Plēsti celmi	3,7
55	Celmu izstrāde ar specializētu kausu ar 2 satvērējiem, pretnazi un pacilu gatavošanas iekārtu, celmu pievešana ar pievedējtraktoriem ar paplašinātu kravas tilpni, divos piegājienos – augšgala krautuvē ar lēngaitas drupinātāju līdz rupjiem gabaliem un pie patērētāja (līdz šķeldām) ar	Plēsti celmi	3,7

ID	Tehnoloģiskais process	Starpprodukts	Vērtējums
	ātrgaitas drupinātāju ar elektropiedziņu, rupji sasmalcinātu celmu piegāde puspiekabē (90 m³)		
45	Celmu izstrāde ar specializētu kausu ar 2 satvērējiem, pretnazi un pacilu gatavošanas iekārtu, celmu pievešana ar pievedējtraktoriem ar paplašinātu kravas tilpni, augšgala krautuvē līdz šķeldām ar Crambo 6000 vai tam līdzīgu lēngaitas drupinātāju, šķeldu piegāde ar konteineravedējiem (60-70 m³)	Plēsti celmi	3,7
32	Celmu izstrāde ar specializētu kausu ar 2 satvērējiem un pretnazi, celmu pievešana ar pievedējtraktoriem ar paplašinātu kravas tilpni, divos piegājienos – augšgala krautuvē ar lēngaitas drupinātāju līdz rupjiem gabaliem un pie patērētāja (līdz šķeldām) ar ātrgaitas drupinātāju ar elektropiedziņu, rupji sasmalcinātu celmu piegāde ar konteineravedējiem (60-70 m³)	Plēsti celmi	3,7
76	Celmu izstrāde ar zāģi Fräsen, celmu pārvadāšana ar pievedējtraktoriem ar slēgtu kravas tilpni, divos piegājienos – augšgala krautuvē ar lēngaitas drupinātāju līdz rupjiem gabaliem un pie patērētāja (līdz šķeldām) ar ātrgaitas drupinātāju ar elektropiedziņu, rupji sasmalcinātu celmu piegāde ar konteineravedējiem (60-70 m³)	Celmu cilindri	3,6
66	Celmu izstrāde ar specializētu kausu ar 2 satvērējiem, pretnazi un pacilu gatavošanas iekārtu, celmu pārvadāšana ar pievedējtraktoriem ar slēgtu kravas tilpni, divos piegājienos – augšgala krautuvē ar lēngaitas drupinātāju līdz rupjiem gabaliem un pie patērētāja (līdz šķeldām) ar ātrgaitas drupinātāju ar elektropiedziņu, rupji sasmalcinātu celmu transports puspiekabē (90 m³)	Plēsti celmi	3,6
56	Celmu izstrāde ar specializētu kausu ar 2 satvērējiem, pretnazi un pacilu gatavošanas iekārtu, celmu pārvadāšana ar pievedējtraktoriem ar slēgtu kravas tilpni, augšgala krautuvē līdz šķeldām ar Crambo 6000 vai tam līdzīgu lēngaitas drupinātāju, šķeldu piegāde ar konteineravedējiem (60-70 m³)	Plēsti celmi	3,6
46	Celmu izstrāde ar specializētu kausu ar 2 satvērējiem, pretnazi un pacilu gatavošanas iekārtu, celmu pievešana ar pievedējtraktoriem ar paplašinātu kravas tilpni, augšgala krautuvē līdz šķeldām ar Crambo 6000 vai tam līdzīgu lēngaitas drupinātāju, šķeldu piegāde puspiekabē (90 m³)	Plēsti celmi	3,6
43	Celmu izstrāde ar specializētu kausu ar 2 satvērējiem un pretnazi, celmu pārvadāšana ar pievedējtraktoriem ar slēgtu kravas tilpni, divos piegājienos – augšgala krautuvē ar lēngaitas drupinātāju līdz rupjiem gabaliem un pie patērētāja (līdz šķeldām) ar ātrgaitas drupinātāju ar elektropiedziņu, rupji sasmalcinātu celmu piegāde ar konteineravedējiem (60-70 m³)	Plēsti celmi	3,6
33	Celmu izstrāde ar specializētu kausu ar 2 satvērējiem un pretnazi, celmu pievešana ar pievedējtraktoriem ar paplašinātu kravas tilpni, divos piegājienos – augšgala krautuvē ar lēngaitas drupinātāju līdz rupjiem gabaliem un pie patērētāja (līdz šķeldām) ar ātrgaitas drupinātāju ar elektropiedziņu, rupji sasmalcinātu celmu piegāde puspiekabē (90 m³)	Plēsti celmi	3,6
23	Celmu izstrāde ar specializētu kausu ar 2 satvērējiem un pretnazi, celmu pievešana ar pievedējtraktoriem ar paplašinātu kravas tilpni, augšgala krautuvē līdz šķeldām ar Crambo 6000 vai tam līdzīgu lēngaitas drupinātāju, šķeldu piegāde ar konteineravedējiem (60-70 m³)	Plēsti celmi	3,6
10	Celmu izstrāde ar “celmu raušanas dakšām”, celmu pievešana ar pievedējtraktoriem ar paplašinātu kravas tilpni, divos piegājienos – augšgala krautuvē ar lēngaitas drupinātāju līdz rupjiem gabaliem un pie patērētāja (līdz šķeldām) ar ātrgaitas drupinātāju ar elektropiedziņu, rupji sasmalcinātu celmu piegāde ar konteineravedējiem (60-70 m³)	Celmi	3,6

Prioritārās pētījumu jomas meža biokurināmā ieguves veicināšanai no celmiem ir mežkopības, meža atjaunošanas un mežizstrādes darbu integrācija, izstrādājot optimālu celmu biokurināmā ražošanas tehnoloģiju un darba metodes, kas nodrošinās labāku meža atjaunošanas kvalitāti, ierobežos sakņu trupes izplatību nākamās aprites kokos un samazinās kaitēkļu, piemēram, lielā priežu smecernieka radītos zaudējumus. Šai pašai pētījumu grupai pieder arī tehnikas operatoru izglītošana; zināšanas par mežsaimniecības principiem ir obligāts nosacījums kvalitatīvai augsnes sagatavošanai atcelmošanas laikā. Ne mazāk svarīga ir arī pievedējtraktoru operatoru apmācība – pareiza kravu veidošana, atbrīvošanās no liekās augsnes un celmu kraušana augšgala krautuvē.

Otra prioritāro pētījumu grupa ir dažādu celmu smalcināšanas variantu adaptēšana prognozējamam stāvoklim biokurināmā tirgū Latvijā, ņemot vērā patēriņa un resursu reģionālo izvietojumu. Būtiski šajā pētījumā izvērtēt arī divpakāpju smalcināšanas tehnoloģijas ieviešanas iespējas, kā arī noskaidrot, kuri no drupinātājiem ir piemēroti izmantošanai augšgala krautuvēs un kādas izmaiņas nepieciešamas krautuvju projektēšanā vai celmu loģistikas organizācijā. Latvijā ir mazi izcirtumi, tāpēc jāreķinās ar nepieciešamību pārvadāt kravas mašīnās plēstus celmus. Lai maksimāli efektīvi izmantotu kravas tilpni un iekļautos likumdošanas noteiktajos masas ierobežojumos, ir jāizstrādā Latvijas apstākļiem pielāgoti konteineri ar kompaktizēšanas mehānismu un dažādām izkraušanas iespējām (ar krānu vai pašizgāzēju, uz sāniem vai aizmuguri).

Zviedrijā veiktos pētījumos noskaidrots, ka vienlaicīga celmu izstrāde un pievešana (piestiprinot ekskavatoram piekabi) kopā ar divpakāpju smalcināšanas ieviešanu var palielināt darba ražīgumu par 20-30 %. Pašlaik nav skaidrs, kā pievešana ar ekskavatoru izstrādes laikā ietekmēs augsnes sagatavošanas kvalitāti un augsnes sablīvējumu tehnoloģiskajos koridoros, kas ekskavatoram ir līdz 2 reizes blīvāk izvietoti, nekā pievedējtraktoram.

Ir nepieciešami kvalitātes standarti un tehniskās prasības celmu izstrādei un vienlaicīgai augsnes sagatavošanai, kā arī darba ražīguma normas celmu izstrādei, atkarībā no darba apstākļiem (koku sugām, celmu dimensijām un meža tipa).

## Biomassas ieguve no meža infrastruktūras objektiem - grāvju trasēm

Grāvju atbērtnu apauguma novākšana un ceļmalu tīrīšana ir līdz šim nepietiekoši novērtēts biokurināmā avots. Tehnoloģiski pieejamais biokurināmā apjoms uz grāvju atbērtņiem variē plašās robežās – no dažiem krūmiem un sīkkokiem uz regulāri apļaut ceļmalu grāvjiem līdz vairākiem tūkstošiem koku uz ha. Būtiski, ka grāvjos gandrīz vienmēr darbs ir saistīts ar sīkkokiem un, neskatoties uz atsevišķu lielāku koku klātbūtni, vidējā koka augstums reti kad pārsniedz 12 m robežu.

Pētījumi par grāvju apauguma izmantošanu biokurināmā sagatavošanai Latvijā veikti 2008. gadā sadarbībā ar Zviedrijas mežzinātnes institūtu Skogforsk. Pētījumā noskaidrots, ka no meža infrastruktūras objektu apauguma (ceļmalas, meliorācijas grāvji) iegūstamais biokurināmā apjoms ir 100 ber. m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Aptuveni tikpat daudz biokurināmā sanāk, pārrēķinot uz 1 km. Aprēķins veikts tādiem grāvjiem, uz kuriem ir izteikts kokaugu, kā arī kokaugu un krūmu apaugums (Thor, Iwarsson-Wide, et al., 2008). Vidējais koku vecums šajā laikā ir 15-20 gadi. Pētījumu objektu, kuros veikti mežizstrādes izmēģinājumi 2008. gadā, raksturojums dots 31. tabulā.

31. Tabula: Grāvju apaugums biokurināmā ieguvei (Thor, Iwarsson-Wide, et al., 2008)

Parametrs	1	2	3	4	5	Vidēji
Koku skaits uz ha	3 400	4 713	3 014	6 333	6 284	4 749
Vidējais D <sub>1,3</sub> , cm	4,5	5,6	5,7	6,2	1,4	4,7
Vidējais H, m	5,8	5,8	7,9	8,5	2,5	6,1
Aprēķinātā krāja, ber. m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	220	397	234	6	45	180
Izstrādātā krāja, ber. m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	127	185	137			150

Saskaņā ar pētījuma rezultātiem, ja meliorācijas grāvjos apaugumu novāc reizi 15-20 gados, LVM, tīrot apmēram 2-3 tūkst. ha grāvju gadā, var iegūt papildus aptuveni 200-300 tūkst. ber. m<sup>3</sup> biokurināmā gadā, ja neņem vērā tehniskos, vides aizsardzības vai ekonomiskos ierobežojumus (Thor, Iwarsson-Wide, et al., 2008).

Ceļmalu un grāvju tīrīšanas darbos, ieskaitot izstrādi un iekraušanu pievedējtraktorā, darba ražīgums bija 8,2 ber. m<sup>3</sup> stundā. Tas ir salīdzinoši zems darba ražīguma rādītājs. Bracke C16.a nodrošināja par 25 % lielāku darba ražīgumu, ieskaitot sīkkoku pievešanu. Vidējās biokurināmā izmaksas visam piegāžu procesam 2008. gada cenās dotas 32. tabulā. Pētījumā konstatēts, ka biokurināmā pašizmaksa pat optimālos darba apstākļos pārsniedz šķeldu tirgus cenu. Taču pētījuma rezultātu lielā mērā ietekmēja dažādas tehniskās problēmas un operatoru pieredzes trūkums (Thor, Berndt, et al., 2008).

32. Tabula: Biokurināmā sagatavošanas un piegāžu tiešās izmaksas (Ls ber. m<sup>3</sup>, Lazdiņš and Thor, 2009)

Izmantotā tehnika	Izstrāde	Pievešana	Smalcināšana	Tālākais transports (50 km)	Kopā
Ponsse Gazelle/EH25	5,08	-	1,05	1,56	7,70

Izmantotā tehnika	Izstrāde	Pievešana	Smalcināšana	Tālākais transports (50 km)	Kopā
John Deere 970/Bracke C16.a + pievedējtraktors	2,42	1,34	1,05	1,56	6,37

Zviedrijā 2009.-2010. gados veiktos pētījumos izstrādei izraudzīti grāvji, kur auga 4000-20000 sīkkoku uz 1 ha, ar kopējo virszemes biomasas uzkrājumu 40-110 tonnas ha<sup>-1</sup>. Vidējais harvestera darba ražīgums bija 2,6-3,7 tonnas stundā (Skogforsk, 2011). Salīdzinājuma Latvijā veiktajos izmēģinājumos darba ražīgums bija par 50-100 % mazāks. Neto peļņa Zviedrijā veiktajos izmēģinājumos bija ap 700 Ls ha<sup>-1</sup>. Tajā pat laikā Zviedrijā biomasas izstrādei ir piemēroti tikai 5 % ceļu (ap 10000 ha), kas atbilst aptuveni 2 TWh primārās enerģijas gadā. Tāpat kā Latvijā, Zviedrijā izmēģinājumos izmantoja kniebējgalvu EH25, kas montēta uz Ponsse harvardera, un Bracke C.16a griezējgalvu, kas montēta uz Valmet 911 harvestera (Skogforsk, 2011).

Pētījumā konstatēts, ka maksimālas rentabilitātes nodrošināšanai būtiski, lai harvesters savāc tikai lielākos kokus, atstājot pārējos kokus satrūdēšanai. Mazākie (atstajamie) koki zāgējami tikai pļaušanas režīmā. Izstrādājamajam apjomam jābūt vismaz 40 tonnas ha<sup>-1</sup> (200 ber. m<sup>3</sup>). Ja audzē ir daudz koku, kuru caurmērs ir mazāks par 3 cm, jāizmanto kombinēta izstrāde ar harvesteru un mulčētāju (Att. 67). Kombinētās izstrādes gadījumā harvesters vispirms savāc resnākos kokus, pēc tam ar mulčētāju nopļauj tievākos kokus (Skogforsk, 2011). Meža grāvju gadījumā ierobežojošais faktors ir mulčētāja strēles izlīces garums; vairumā gadījumu uz lauksaimniecības traktoriem montētās strēles nevar aizsniegt tālāk par 5 m, attiecīgi, nespēj izplaut meža grāvi un atbērtni grāvja otrajā pusē.



Att. 67: Sīkkoksnes un krūmu mulčētājs<sup>58</sup>.

Gan Latvijā, gan Zviedrijā veiktajos pētījumos secināts, ka tirgū pašlaik nav mežizstrādes mašīnu, kas vienlīdz efektīvi un vienā darba procesā spētu utilizēt lielākos kokus (caurmērs 6-12 cm) un krūmus ar caurmēru < 6 cm.

Zviedrijā ceļmalu izzāģēšanu parasti veic ar mulčētājiem un izstrādes izmaksas 2009. gadā vidēji bija 175 Ls km<sup>-1</sup>. Mulčētāju darba ražīgums būtiski krītas, ja koku caurmērs pārsniedz 4 cm. Pie mazāka caurmēra ar mulčētāju stundā var izplaut 3 km grāvju. Darba pašizmaksa ir ap 70 Ls km<sup>-1</sup>. Ja koku caurmērs ir 10 cm, mulčētāja ātrums samazinās līdz 1 km stundā un pļaušanas pašizmaksa pieaug līdz 245 Ls km<sup>-1</sup>. Ja ir liels par 10 cm lielāku koku īpatsvars, mulčētāja pašizmaksa strauji pieaug (Skogforsk, 2011). Būtiskākais šķērslis biokurināmā ieguves rentabilitātes palielināšanai gan Zviedrijā, gan Latvijā ir metodes trūkums grāvju trašu apauguma ātrai un lētai

<sup>58</sup> <http://www.fredhopkinswa.com.au/products-page/kuhn-farm-machinery/kuhn-hedge-verge-mowers/>

klasificēšanai, lai noteiktu grāvju posmus, kur jāstrādā ar mulčētāju, kur var izmantot harvesteru un kur abas darba metodes jākombinē.

Apauguma raksturojums LVM mežos dots Error: Reference source not found. tabulā. Likvidā koksne klāj vidēji 10,8 % grāvju trašu, bet krūmi un likvidā koksne 43,2 % grāvju trašu. Tas liecina, ka biokurināmā ieguves potenciāls uz grāvjiem Latvijā proporcionāli grāvju platībai ir vismaz 2 reizes lielāks nekā Zviedrijā, kur par biokurināmā sagatavošanai piemērotiem uzskata 5 % grāvju (Skogforsk, 2011). Jāņem vērā, ka daļa grāvju ar lielāko sortimentu krāju jau ir izstrādāti, bet otra daļa tikai daļēji atbilst Error: Reference source not found. tabulā dotajam novērtējumam. Piemēram, šī projekta ietvaros veikta izmēģinājumu objektu atlase izstrādes izmēģinājumiem un no 118 ha apsekoto grāvju, kurus saskaņā ar aprakstu klāj likvidā koksne vai krūmi un likvidā koksne, par piemērotiem izstrādei atzīti 12,3 ha. Pārējos grāvjos izstrāde jau bija veikta vai arī apaugums tikai atsevišķās vietās atbilda izvirzītajiem kvalitatīvajiem kritērijiem (Lazdiņš et al., 2012). Jāņem vērā, ka pētījuma primārais mērķis nebija novērtēt izstrādei piemēroto grāvju īpatsvaru, tāpēc precīzus datus par apauguma struktūru un potenciālajiem resursiem varēs iegūt, pilnveidojot apauguma raksturošanas un informācijas uzglabāšanas sistēmu.

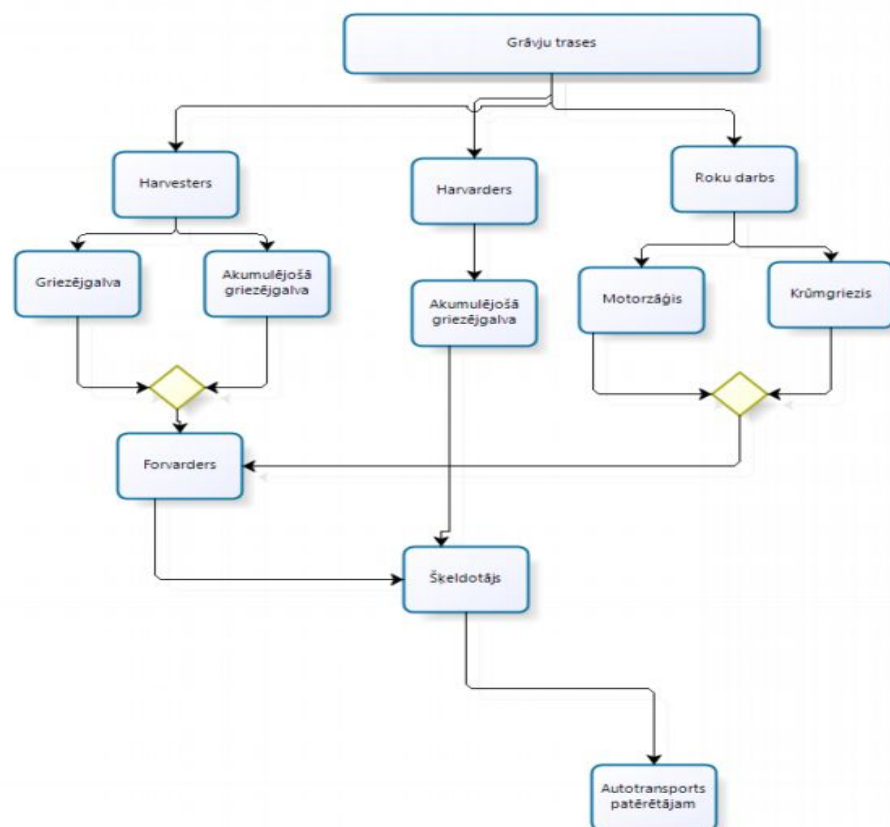
**33. Tabula: Grāvju apauguma raksturojums (Lazdāns et al., 2008b)**

Mežsaimniecība	Grāvju garuma raksturojums, %			
	Likvidā koksne	Krūmi, t.sk. atvases	Krūmi un likvidā koksne	Bez apauguma
Austrumvidzemes (AV)	15,7	13,7	50,9	19,7
Dienvidkurzemes (DK)	16,5	29,3	38,9	15,3
Dienvidlatgales (DL)	3,3	11,9	37,1	47,7
Rietumvidzemes (RV)	5,4	21,9	58,4	14,3
Vidusdaugavas (VD)	12,1	18,8	39,7	29,4
Zemgales (Z)	10,9	24,0	38,8	26,4
Ziemeļkurzemes (ZK)	12,4	29,9	33,1	24,7
Ziemeļlatgales (ZL)	10,3	17,4	48,5	23,8
<b>Vidēji</b>	<b>10,8</b>	<b>20,9</b>	<b>43,2</b>	<b>25,2</b>

Saskaņā ar 2008. gadā veikto pētījumu rezultātiem kopējais uz LVM grāvju trasēm iegūstamais biokurināmais ir 0,4-0,5 milj. ber. m<sup>3</sup> gadā. Meliorācijas grāvju apauguma koku krāja ir robežās no 20 līdz 250 ber. m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Lazdāns et al., 2008b).

Biokurināmā sagatavošana grāvju trašu apaugumā tehnoloģiski ir līdzīga jaunaudžu un krājas kopšanas cirtēm, jo ir jāizstrādā galvenokārt sīkkoki. Grāvju trašu apaugumā ir jāreķinās nepieciešamību zāgēt arī lielus kokus, tāpēc ir jāizvēlas vai nu mehanizētās izstrādes tehnoloģijas, kas nodrošina gan biokurināmā, gan apaļkoku sortimentus sagatavošanu (vismaz lielāko koku sagarumošanu) vai jākombinē mehanizētā izstrāde un roku darbs, sortimentu sagatavošanu no lielākajiem kokiem veicot ar rokām, bet sīkkokus izzāgējot ar mašīnu vai otrādi, vai arī izstrāde jāveic pilnībā ar rokas darba instrumentiem. Izplatītākās tehnoloģiskās shēmas, ko pielieto Ziemeļvalstīs un Latvijā, parādītas Att. 68. Izstrādei izmanto harvesterus, kas var būt arī pielāgoti lauksaimniecības traktori, kas aprīkoti ar griezējgalvām vai kniebējgalvām, harvarderus vai pievedējtraktorus, kas, tāpat, var būt aprīkoti ar griezējgalvām vai kniebējgalvām un krauj nozāgētos kokus uzreiz kravas kastē, kā arī rokas motorinstrumentus. Praksē nepielieto saiņotājus, jo to galvenā priekšrocība – sīkkoksnes kompaktizēšana pievešanas izmaksu samazināšanai, ceļmalas grāvju apaugumā nav aktuāla. Smalcināšanu veic pēc sīkkoku pievešanas augšgala krautuvē vai turpat ceļa malā ar mobilajiem šķeldotājiem, kas aprīkoti ar bunkuru vai konteineru šķeldu uzglabāšanai. Efektīvākais mehanizētās izstrādes instruments biokurināmā savākšanai no grāvju trašu apauguma patreiz ir Bracke C16.a griezējgalva. Tās galvenais trūkums ir koku ievilkšanas ruļļu neesamība, attiecīgi, šo griezējgalvu nevar izmantot koku garumošanai un daļējai atzarošanai.





Powered by  
**bizagi**  
Modeler

Att. 68 Biokurināmā sagatavošanas shēma infrastruktūras apaugumā.

## Izstrādes tehnoloģijas

Pētījumā salīdzinātas tehnoloģiskās shēmas, kas balstās uz rokas motorinstrumentu un mežizstrādes mašīnu izmantošanu, kā arī kombinētās darba metodes. Mehanizētās izstrādes vērtējums lielā mērā balstās uz jaunaudzju un krājas kopšanas analīzes datiem (nodaļas Biokurināmā sagatavošana jaunaudzēs un Biokurināmā sagatavošanas tehnoloģijas krājas kopšanas cirtēs). Grāvju trašu apauguma novākšanas vērtējumā nav iekļauti harvesteri uz kāpurķēžu bāzes, jo šī tehnoloģija ir dārga un tās priekšrocības parādās kopšanas cirtēs, bet ir izvērtēta izstrāde ar ekskavatoriem. Kombinētās mehanizētās izstrādes tehnoloģiju vērtējumā pieņemts, ka ir pieejami mulčētāji uz 10 m garas strāles, kas var aizsniegt un notīrīt atbērtnes tālāko malu.

Saiņotāja izmantošana grāvju trašu nav izskatīta kā tehnoloģiska alternatīva, jo nerada tādas priekšrocības mežaudzes kvalitātes saglabāšanai un pievešanas izmaksu samazināšanai kā sastāva vai krājas kopšanā.

Sagatavojot tehnoloģiju mežsaimniecisko vērtējumu, visiem tehniskajiem risinājumiem dots neitrāls novērtējums, jo nav pamata uzskatīt, ka biokurināmā sagatavošana grāvju trašu apauguma novākšanas laikā radīs papildus ietekmi uz apkārt esošajām mežaudzēm.

### Apauguma novākšana ar motorzāģi

Latvijā grāvju apaugumā ierastākā darba metode. Izstrādājot grāvu apaugumu ar motorzāģiem, vienlaicīgi var sagatavot biokurināmo no sīkkokiem un koku galotnēm un gatavot apaļkoksnes sortimentus no lielākajiem kokiem. Darba ražīguma

paaugstināšanai var izmantot motorzāģi ar rāmi (plašāk nodaļā Roku darbs jaunaudžu kopšanā), taču grāvju trašu apaugumā to apgrūtinās nelīdzenais reljefs.

Veicot koku zāģēšanu, strādnieki nokrauj šķērsām pāri grāvim sortimentu un sīkkoku kaudzītes, bet mežizstrādes atliekas krauj uz atbērtnes. Jāņem vērā, ka pievedējtraktora strēles izlice parasti nav lielāka par 7 m, tāpēc mežizstrādes atlieku un sīkkoku kaudzītēm jābūt aizsniedzamā attālumā. LVM saistošajos noteikumos ir prasība atbrīvot grāvja tekni no pielūžņojuma, tāpēc mežizstrādes atlieku un sīkkoku izvākšana no grāvja jāveic neatkarīgi no tā, vai biokurināmais tiek vākts vai nē. Attiecīgi, veicot izstrādi ar rokām, par šo darbu, vācot biokurināmo, nav jāprasa papildus samaksa.

*Strādājot ar rokām, grāvju trašu apaugumā var sagatavot veselus neatzarotus kokus, daļēji atzarotus sīkkokus, tehnoloģisko koksni, kā arī papīrmalku un zāģbaļķus.*

#### Apauguma novākšana ar harvesteru

Mehanizētās izstrādes tehnoloģiju salīdzinājumā iekļauti risinājumi, kas piemēroti sīkkoku pārstrādei, t.i. griezējgalvas un kniebējgalvas ar akumulējošo satvērēju. Izskatītie bāzes mašīnu varianti – harvesters, harvarders vai pievedējtraktors, pārbūvēts lauksaimniecības traktors un kāpurķēžu ekskavators.

*Grāvju trašu apauguma izstrāde ar harvesteru*

Detalizēts tehnoloģijas vērtējums, pielietojot harvesterus, kas aprīkoti ar griezējgalvām un kniebējgalvām, dots nodaļā Biokurināmā sagatavošana ar harvesteru.

Harvesters ir dārgākā no analizē iekļautajām bāzes mašīnām, tāpēc tā izmantošana saistīta ar vislielākajiem ekonomiskajiem riskiem. Tajā pat laikā vidējās klases harvesteru, kas aprīkots ar griezējgalvu ar akumulējošu griezējgalvu var izmantot arī sastāva un krājas kopšanas cirtēs, tādējādi izlīdzinot riskus un nodrošināt harvesteru ar darbu laikā, kad ir sezonālie mežaudžu kopšanas liegumi. Lai strādātu gan kopšanas cirtēs, gan uz grāvju trašu apauguma obligāts nosacījums ir vismaz 10 m gara strēle.

Ja harvesters ir aprīkots ar kniebējgalvu, jāreķinās ar to, ka nevarēs sagatavot zāģbaļķu sortimentu, jo koksne būs plaisas. Tāpat, kniebējgalvai būs grūtības ar krūmu un mazāko koku nokniebšanu, lai nodrošinātu atbilstību LVM kvalitātes prasībām. Krūmu un sīko kociņu ( $D < 4$  cm) kniebšana būtiski samazinās šīs tehnoloģijas darba ražīgumu. Veicot izstrādi ar kniebējgalvu, jāreķinās ar nepieciešamību pabeigt kopšanu ar rokas darba instrumentiem vai mulčētāju. Kniebējgalvu būtiskākā priekšrocība, salīdzinot ar griezējgalvām ar ripzāģi, ir salīdzinoši kompaktais izmērs un vienkāršība. Ar kniebējgalvām ir vienkāršāk sadalīt sīkkokus īsākos gabalos.

Ja harvesters aprīkots ar griezējgalvu ar ripzāģi (Bracke C16.a vai līdzīgu), tā darba ražīgums krasi pieaugs, salīdzinot ar kniebējgalvu, un tas varēs nodrošināt LVM kvalitātes prasību izpildi. Šāda tipa harvesteri, tāpat, nevarēs sagatavot sortimentus un nevarēs sazāģēt kokus noteikta garuma sortimentos.

Harvesteri ar standarta griezējgalvām, kas piemērotas darbam ar sīkkokiem, var strādāt gan pļaušanas režīmā, gan gatavot veselus kokus, gan daļēji atzarotus un sagarumotus sīkkokus, gan apaļkoksnes sortimentus. Tehnoloģiski šāda tipa griezējgalvas grāvju apaugumā ir tikpat universālas kā motorzāģi, taču nav tik "mulķu drošas" kā kniebējgalvas vai griezējgalvas ar ripzāģi. Tāpēc, strādājot ar standarta griezējgalvu grāvju apaugumā, būtiska ir operatora kvalifikācija un pieredze.

Harvesteri neatstāj būtiski lielāku ietekmi uz vidi, kā citas mehanizētās izstrādes tehnoloģijas, taču rada lielākas SEG emisijas nekā rokas motorinstrumenti. Mazās klases harvesteri, kuriem parasti ir 7-9 m gara strēle, attiecīgi, tiem var būt grūtības aizsniegt tālāko grāvja atbērtnes malu, radīs lielākas SEG emisijas, jo viena grāvja izstrādei tiem ir jābrauc pa abām grāvja pusēm. Gadījumos, ja atbērtne ir tikai vienā pusē, bet otrā pusē ir tikai 1 m plata bermas josla, mazo harvesteru izmantošana nav iespējama, jo tie daudzos gadījumos nevarēs aizsniegt grāvja bermas tālāko malu un nevarēs pa to braukt, jo berma ir pārāk šaura.

Grāvju apauguma novākšanā perspektīvi ģeometriskās jaunaudzū kopšanas tehnoloģiskie risinājumi, piemēram SLU izstrādātā griezējgalva (Att. 69), ar kuru 1 darba procesā var izzāgēt un savākt līdz 8 m garu joslu, neatkarīgi no sīkkoku izmēra (Nordfjell, 2011). Griezējgalvai nav iestrādāta sortimentēšanas funkcija un tā nevar apstrādāt par 15 cm resnākus kokus, tāpēc, plānojot šādu instrumentu izmantošanu jābūt jāņem vērā nepieciešamību atsevišķi veikt lielāko koku izzāgēšanu.

Apaļkoku sortimentus gatavošanas trūkums grāvju apaugumā ir tas, ka pēc tam jāveic zaru savākšana, lai nodrošinātu LVM kvalitātes prasību izpildi; attiecīgi, papildus nepieciešams roku darbspēks.

Harvestera vietā var izmantot lauksaimniecības traktoru, kas ļauj samazināt investīcijas tehnikā. Jārēķinās, ka lauksaimniecības traktora drošības aprīkojumam jābūt tādā pašā, kā strādājot galvenajā cirtē. Lauksaimniecības traktoru redzamākais trūkums ir zema klīrens, kas var apgrūtināt vai pat padarīt neiespējamu pārrāpšanos pār celmiem un izgāztajiem kokiem, kas palikuši uz atbērtnes.



Att. 69 Eksperimentāla sīkkoku izstrādes griezējgalva.

*Strādājot ar harvesteru vai lauksaimniecības traktoru, kas aprīkots ar ripzāģi, var sagatavot veselu sīkkoku sortimentu; harvesters ar standarta griezējgalvu var sagatavot veselus sīkkokus, daļēji atzarotus un sagarumotus sīkkoku, tehnoloģisko koksni, papīrmalku un malku, bet harvesters, kas aprīkots ar kniebējgalvu, var sagatavot visus tos pašus sortimentus, izņemot zāģbaļķus ja kniebējgalva ir ar ievilcējuļļiem. Ja ruļļu nav, ar kniebējgalvu var izstrādāt tikai veselus kokus.*

*Izstrāde ar pievedējtraktoru vai harvarderu*

Pievedējtraktora galvenā priekšrocība ir spēja kraut nozāgētos kokus un sortimentus uzreiz kravas telpā; harvarders var darīt tāpat, taču šīs funkcijas izmantošanai nepieciešams kvalificēts operators un minimāls sagatavojamo sortimentu skaits. Šajā pētījumā pieņemts, ka harvarders strādā tāpat kā harvesters, t.i. vispirms sortimentus krauj ceļa malā un pēc tam, nomainījis galvu un uzstādījis kravas tilpnes statņus, pats pieved sortimentus un biomasu. Harvarders var strādāt arī tā, ka atsevišķus sortimentus uzreiz krauj kravas kastē, bet sīkkokus atstāj ceļa malā un pieved pēc tam, kad ir izvedis sortimentus.

Izstrādes ar pievedējtraktoru un harvarderu raksturojums dots nodaļā Sīkkoku izstrāde ar harvarderu un pievedējtraktoru. Tehnoloģiju vērtējumā pieņemts, ka pievedējtraktors tiek aprīkots ar kniebējgalvu bez ievilcējuļļiem, bet harvarders ar griezējgalvu ar ripzāģi bez ievilcējuļļiem vai standarta griezējgalvu. Meža

pievedējtraktora vietā var izmantot arī lauksaimniecības traktoru, kas ir pietiekoši smags, lai strādātu ar 10 m izlici.

*Strādājot ar harvarderu traktoru, kas aprīkots ar ripzāģi, var sagatavot veselu sīkkoku sortimentu; harvarders ar standarta griezējgalvu var sagatavot veselus sīkkokus, daļēji atzarotus un sagarumotus sīkkoku, tehnoloģisko koksni, papīrmalku un malku, bet pievedējtraktors vai lauksaimniecības traktors, kas aprīkots ar kniebējgalvu bez ievilcējuļļiem, var izstrādāt tikai veselus kokus.*

#### *Izstrāde ar pārbūvētu ekskavatoru*

Līdzīgi kā kopšanas cirtēs, grāvju trašu apauguma novākšanai vai izmantot ekskavatorus ar standarta strēli vai pārveidotu harvestera strēli (plašāk par ekskavatoriem nodaļā Sīkkoku izstrāde ar pārbūvētu ekskavatoru). Ekskavatoru izmantošana ļauj samazināt investīcijas. Lai gan ir jāņem vērā nepieciešamība uzstādīt tādu pat drošības aprikojumu, kā strādājot galvenajā cirtē. Ekskavatorus ar standarta strēli izmantošanas galvenā priekšrocība ir iespēja ar vienu un to pašu tehnikas vienību veikt gan apauguma novākšanu, gan grāvja iztīrīšanu, kas ļauj samazināt tehnikas pārvietošanas izmaksas un tehnikas dīkstāvi pārvietošanas laikā. Kausu montāžu var veikt turpat uz lauka. Atšķirībā no sastāva kopšanas, kur ekskavatora masīvā strēle rada saglabājamo koku bojājumus, grāvju apauguma novākšanā strēles masīvs nerada nekādas problēmas. Tomēr standarta ekskavatora strēles parasti nav garākas par 9 m, tāpēc ekskavators ne vienmēr varēs izzāgēt visu atbērtnes joslu un darbu vajadzēs pabeigt ar rokas motorinstrumentiem.

Ekskavators ar harvestera strēli nevar bez darbnīcā veicamiem montāžas darbiem vienlaicīgi zāgēt apaugumu un tīrīt grāvjus. Šāda tehnoloģiskā risinājuma lietošanas priekšrocības ir salīdzinoši mazākas kapitālizmaksas un mazāka ietekme uz vidi (augšnes sablīvējums), lai gan šīs ietekmes samazinājumu pēc tam var kompensēt pievedējtraktors ar riteniem.

Plānojot ekskavatoru izmantošanu grāvju apauguma tīrīšanai, ir jāizvēlas tuvu, vai secīgi viens aiz otra izvietoti grāvji, lai samazinātu pārbraucienu attālumus, kas ar ātrumu 2-3 km h<sup>-1</sup> aizņem daudz laika, un pēc iespējas mazāk vajadzētu izmantot treilerus ekskavatora pārvadāšanai.

Tehnoloģiju vērtējumā iekļauti ekskavatori, kas aprīkoti ar griezējgalvām ar ripzāģi un standarta griezējgalvām. Ekskavatori ar masīvu standarta strēli ir piemēroti Att. 69 redzamās griezējgalvas uzstādīšanai, taču tehnoloģiju vērtējumā šis risinājums nav iekļauts, jo eksistē tikai 1 griezējgalvas prototips un tehnoloģija nav praksē pārbaudīta.

Ekskavatoru "pārkvalifikācija" mežizstrādes mašīnās prasa arī operatoru pārkvalifikāciju, kas var būt tehnoloģijas ieviešanas vissarežģītākais etaps, tāpēc apmācības iespēju nodrošināšana un sertifikācijas sistēmas izveidošana ir primārais pasākums vispārējās nozīmes būvtehnikas izmantošanai mežizstrādē, kurā ieinteresēti gan kontraktori, gan pakalpojumu pircēji.

*Strādājot ar ekskavatoru traktoru, kas aprīkots ar ripzāģi, var sagatavot veselu sīkkoku sortimentu; ekskavators ar standarta griezējgalvu var sagatavot veselus sīkkokus, daļēji atzarotus un sagarumotus sīkkoku, tehnoloģisko koksni, papīrmalku un malku.*

#### Kombinētās izstrādes tehnoloģijas

Grāvju trašu apaugums ir neviendabīgs un vienmēr tāds būs, tāpēc nākotnē jārēķinās ar nepieciešamību kombinēt dažādas izstrādes iekārtas vienā grāvī, t.i. vispirms izzāgēt zāgbaļķu sortimentu, papīrmalku un sīkkokus līdz 4 cm caurmēram biokurināmā gatavošanai un tad ar mulcētāju vai rokas darba instrumentiem izstrādāt pārējos sīkkokus un krūmus.

Sīkkoku sadalīšana ļauj būtiski palielināt darba ražīgumu. Piemēram, 34. tabulā redzams, ka izmēģinājumiem atlasītajos objektos uzmērīto koku<sup>59</sup> ar caurmēru virs 4 cm biomasa ir vidēji 95 % no kopējās apauguma biomasas, bet koku skaits – 72 %. Zinot, ka

<sup>59</sup> Caurmērs mērīts tiem kokiem, kas krūšu augstumā ir resnāki par 2 cm, pārējiem noteikts skaits, kas šajā aprēķinā nav iekļauts.

darba laika patēriņš uz 1 koku nav atkarīgs ar koka dimensijām (Thor, Berndt, et al., 2008), var secināt, ka par 4 cm tievāko koku atstāšana var paaugstināt mežizstrādes mašīnu darba ražīgumu par līdz pat 28 %, proporcionāli izzāgējamo koku skaita samazinājumam, it īpaši, ja izstrādi veic ar kniebējgalvām vai standarta harvestera galvām. Atlikušo koku izstrādi un sasmalcināšanu var veikt ar mulčētāju vai krūmgriezi. Rokas motorinstrumentu izmantošanas gadījumā sīkkoku savākšanai nepieciešami palīgstrādnieki.

**34. Tabula: Biomasa un koku skaits izmēģinājumiem atlasītajos grāvjos (Lazdiņš et al., 2012)**

Objekta Nr.	Biomasa, tonnas ha <sup>-1</sup>		Koku skaits, gab. ha <sup>-1</sup>	
	Kopā	D > 4 cm	Kopā	D > 4 cm
4	59	98%	3 029	86%
7	19	87%	2 363	38%
8	16	92%	1 650	64%
15	45	98%	1 711	77%
24	74	98%	3 430	84%
25	46	96%	3 044	76%
33	36	93%	2 683	59%
41	26	92%	2 556	64%
44	17	62%	2 527	48%
47	75	99%	1 398	78%
52	32	97%	1 466	78%
53	26	94%	2 142	52%
77	145	99%	3 403	77%
84	60	99%	2 083	75%
104	77	98%	2 587	83%
105	67	98%	2 970	70%
116	42	99%	1 178	76%
149	44	97%	1 191	63%
187	100	99%	1 984	75%
213	94	100%	2 044	92%
381	46	99%	1 514	91%
384	63	99%	923	90%
421	52	97%	1 484	79%
435	70	99%	956	77%
472	33	95%	1 434	70%
1207	12	96%	822	70%
1302	14	93%	1 241	65%
1304	28	97%	965	52%
<b>Vidēji</b>	<b>51</b>	<b>95%</b>	<b>1 956</b>	<b>72%</b>

Kombinētās izstrādes metodes pielietošana neietekmē sagatavojamo sortimentu struktūru. Veicot krūmu un sīkkoku smalcināšanu ar mulčētājiem grāvja gultnē paliek sasmalcināta koksne un koku lapas, kas var izraisīt augu barības vielu satura palielināšanos grāvju ūdenī, attiecīgi, sekmēt virsūdeņu eutrofikāciju.

Kombinētās izstrādes tehnoloģiju vērtējumā iekļauta visuniversālākā biokurināmā sagatavošanas tehnoloģija – ar harvesteru ar standarta griezējgalvu un 2 alternatīvas atlikušo sīkkoku izzāgēšanai – ar krūmgriezi un ar mulčētāju.

*Šķeldotājs uz harvardera vai pievedējtraktora bāzes*

Šķeldotājs uz harvardera vai pievedējtraktora bāzes, kas var vienlaicīgi izstrādāt un sasmalcināt biomasu, ir piemērots grāvju trašu apauguma novākšanai. Šī tehnika var strādāt uz grāvjiem tajā laikā, kad ir sezonālie liegumi kopšanas cirtēm. Tehnikas galvenās priekšrocības un trūkumi jau aprakstīti nodaļā Šķeldotāji uz harvardera vai pievedējtraktora bāzes. Līdzīga tehnoloģija tiek pielietota arī praksē (ar šķeldotājiem, kas montēti uz lauksaimniecības traktora bāzes), kombinējot to ar izstrādi ar rokas motorinstrumentiem – strādnieki nozāgē sīkkokus un savāc kaudzītēs, tad šķeldotājs brauc no kaudzītes uz kaudzīti, sasmalcina koksni un šķeldas sapūš sev bunkurā.

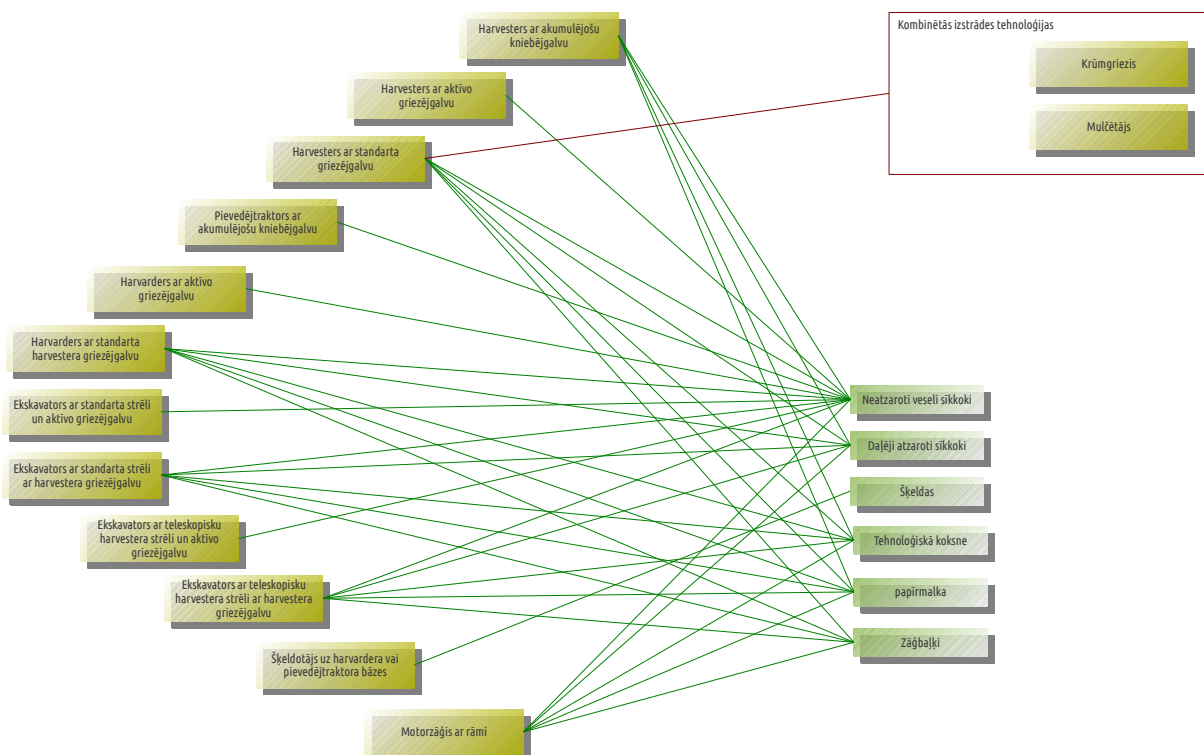
Jaunaudžu kopšanai paredzēto šķeldotāju izmantošanai grāvju trašu apauguma novākšanā galvenie trūkumi ir to cena, masīvums, kas liedz pārvietoties mitrākās vietās, kā arī mazjaudīgais šķeldotājs, kam var sagādāt grūtības par 15 cm resnāku koku sasmalcināšana.

*Šķeldotājs sagatavo tikai produktu – šķeldas. Resnāko koku sazāģēšana zāģbaļķos vai papīrmalkā šajā darbā nav izskatīta kā tehnoloģiska alternatīva.*

Kopsavilkums par biokurināmā sagatavošanu grāvju trašu apaugumā

Pētījumā identificēti 14 tehnoloģiskie risinājumi izstrādes operācijai grāvju trašu apauguma novākšanā. Tehnoloģisko risinājumu vērtējums dots 35. tabulā; galaprodukti, kas veidojas dažādu risinājumu pielietošanas rezultātā parādīti Error: Reference source not found. Universālākās tehnoloģijas, kas ļauj pielāgoties dažādiem darba apstākļiem, ir standarta harvestera griezējgalvas, kas montētas uz harvestera, harvardera vai ekskavatora un motorzāģis.

Visām identificētajām tehnoloģijām veikts salīdzinājums, vērtējot nodaļā Kopsavilkums par izstrādes tehnoloģijām definētos kritērijus.



**Att. 70 Dažādas izstrādes tehnoloģijas un to galaprodukti.**

Tehnoloģiju salīdzinājumā (35. tabula) augstāko vērtējumu ieguvusi izstrāde ar motorzāģi, harvesteru ar standarta griezējgalvu un kombinētā izstrāde ar harvesteru un krūmgriezi.

35. Tabula: Biokurināmā sagatavošanas tehnoloģiju salīdzinošs vērtējums grāvju trašu apaugumā

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
Mehanizētā izstrāde							
1.	Harvesters ar akumulējošu kniebējgalvu	2	3	3	3	3	2,8
2.	Harvesters ar aktīvo griezējgalvu	2	3	5	4	2	3,2
3.	Harvesters ar standarta griezējgalvu	4	3	4	4	2	3,4
4.	Pievedējtraktors ar akumulējošu kniebējgalvu	3	3	5	4	3	3,6
5.	Harvarders ar aktīvo griezējgalvu	2	3	5	4	2	3,2
6.	Harvarders ar standarta harvestera griezējgalvu	3	3	5	4	2	3,4
7.	Ekskavators ar standarta strēli un aktīvo griezējgalvu	3	3	4	4	2	3,2
8.	Ekskavators ar standarta strēli ar harvestera griezējgalvu	4	3	3	4	2	3,2
9.	Ekskavators ar teleskopisku harvestera strēli un aktīvo griezējgalvu	3	3	4	3	2	3,0
10.	Ekskavators ar teleskopisku harvestera strēli ar harvestera griezējgalvu	4	3	3	3	2	3,0
11.	Šķeldotājs uz harvardera vai pievedējtraktora bāzes ar kniebējgalvu vai aktīvo griezējgalvu	2	3	4	2	1	2,4
Roku darbs							
12.	Motorzāģis ar augstiem rokturiem vai bez tā	5	3	2	5	3	3,6
Kombinētās izstrādes metodes							
13.	Harvesters ar standarta griezējgalvu + krūmgriezis	4	3	5	4	2	3,6
14.	Harvesters ar standarta griezējgalvu + mulčētājs	3	3	5	3	2	3,2



## Pievešanas tehnoloģijas

Grāvju trašu apaugumā sagatavojamie biokurināmā sortimenti ir veseli neatzaroti koki, daļēji atzaroti sagarumoti sīkkoki, tajā skaitā tehnoloģiskā koksne, un šķeldas. Pievešanā izmantojamie risinājumi ir līdzīgi jaunaudžu kopšanā pielietojamajiem. Mežizstrādes atlieku pievešana no grāvju trašu apauguma izstrādes vietām nav racionālā, jo lielu dimensiju koku īpatsvars būs neliels.

Pievešanas tehnoloģiju raksturojums dots nodaļā Pievešanas tehnoloģijas. Grāvju trašu apaugumā nav izskatīta pievedējtraktora uz buldozera šasijas izmantošana, lai gan atsevišķās situācijās, piemēram, veicot izstrādi pirms nefunkcionējošu meliorācijas sistēmu rekonstrukcijas šādam risinājumam ir lielas priekšrocības.

Tehnoloģiju salīdzinājums 36. tabulā rāda, ka augstāko vērtējumu ieguvusi daļēji atzarotu sīkkoku pievešana ar meža pievedējtraktoriem. Viszemāko vērtējumu, pateicoties izmaksām un degvielas patēriņam, ieguvusi šķeldu pievešana. Veselu koku pievešanai samazināts mežsaimnieciskās ietekmes vērtējums, jo garu koku vešana var bojāt grāvja vai ceļa malā augošo koku mizu.

## Biomases uzglabāšana augšgala krautuvē

Biomases uzglabāšanai ir 3 tehnoloģiskās alternatīvas, neskaitot šķeldu uzglabāšanu pie patērētāja: veselu sīkkoku uzglabāšana ar vai bez pārseguma un daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma (37. tabula). Dažādu risinājumu priekšrocības un trūkumi aprakstīti nodaļā Biomases uzglabāšana augšgala krautuvē. Turpat doti arī dažādu biokurināmā uzglabāšanas risinājumu vērtēšanas kritēriji.

Tāpat kā jaunaudžu kopšanā, arī grāvju trašu apaugumā vairāk priekšrocību ir daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšanai.

## Biomases smalcināšana

Grāvju trašu apauguma izstrādē izskatīti 4 biomasas smalcināšanas tehnoloģiskie risinājumi: smalcināšana mežā ar mobilo šķeldotāju, smalcināšana augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar dīzeļmotoriem vai elektropiedziņu. Dažādu šķeldotāju un drupinātāju salīdzinājums dots 4. tabulā (49. lpp.). Biomases smalcināšanas tehnoloģiju vērtējums dots 38. tabulā. Augstākais vērtējums ir daļēji atzarotu sīkkoku smalcināšanai pie patērētāja ar drupinātājiem ar elektropiedziņu.

## Biomases piegāde patērētājam

Pētījumā izskatīti 4 biomasas piegādes risinājumi: šķeldu transports ar konteineravedēju, puspiekabi vai konteineravedēju ar hidraulisko grīdu, kā arī daļēji atzarotu sīkkoku pievešana ar kokvedēju. Transporta tehnoloģiju vērtējums dots 39. tabulā. Augstāko vērtējumu iegūst daļēji atzarotu sīkkoku pārvadāšana un šķeldu transportēšana konteinersistēmās.

36. Tabula: Biokurināmā pievešanas tehnoloģiju salīdzinošs vērtējums grāvju trašu apaugumā

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
Veselu sīkkoku pievešana							
1.	Meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu	3	2	5	3	3	3,2
2.	Ar pievedējtraktoru uz lauksaimniecības traktora bāzes	4	2	3	2	3	2,8
3.	Ar harvarderu	2	2	5	4	3	3,2
Daļēji atzarotu sīkkoku pievešana							
4.	Meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu	4	3	5	4	3	3,8
5.	Ar pievedējtraktoru uz lauksaimniecības traktora bāzes	5	3	3	3	3	3,4
6.	Ar harvarderu	3	3	5	4	3	3,6
Šķeldu pievešana, šķeldas cīsmā sagatavo ar smalcināšanas iekārtām, kas montētas uz harvardera vai pievedējtraktora un aprīkotas ar šķeldu uzkrāšanas bunkuru							
7.	Šķeldotāja bunkurā	1	3	3	2	3	2,4

37. Tabula: Biokurināmā uzglabāšanas tehnoloģiju salīdzinošs vērtējums grāvju trašu apaugumā

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
1.	Veselu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma	4	4	5	3	3	3,8
2.	Veselu sīkkoku uzglabāšana ar pārsegumu	3	4	5	4	3	3,8
3.	Daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma	5	4	5	5	3	4,4

38. Tabula: Biokurināmā smalcināšanas tehnoloģiju salīdzinošs vērtējums grāvju trašu apaugumā

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
1.	Smalcināšana cīsmā ar mobilo šķeldotāju	1	2	2	2	3	2,0
2.	Smalcināšana augšgala krautuvē ar mobilo šķeldotāju	5	4	4	4	4	4,2
3.	Smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem	4	5	5	4	5	4,6
4.	Smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedziņu	5	5	4	5	5	4,8

39. Tabula: Biokurināmā ceļu transporta alternatīvu salīdzināšanas kopsavilkuma tabula

Nr.	Tehnoloģija	Ekonomiskais vērtējums	Mežsaimnieciskais vērtējums	Tehniskais vērtējums	Ietekmes uz vidi vērtējums	Ekoloģiskais vērtējums	Vidējais vērtējums
1.	Šķeldu piegāde ar konteinervedējiem (60-70 m³)	3	5	4	3	5	4,0
2.	Šķeldu piegāde puspiekabē (90 m³)	4	4	3	4	3	3,6
3.	Šķeldu piegāde konteineros ar kustīgo grīdu (60-70 m³)	2	5	4	2	4	3,4
4.	Daļēji atzarotu sīkkoku piegāde	5	5	5	5	5	5,0

## Biokurināmā sagatavošanas grāvju trašu apaugumā tehnoloģisko procesu analīzes rezultāti

Veicot visu iespējamo piegāžu procesu analīzi, identificēti 222 biokurināmā piegāžu varianti no grāvju trašu apauguma. Desmit augstāko vērtējumu ieguvušo tehnoloģisko procesu starpprodukts ir atzaroti sagarumoti koki, visiem 10 augstāko vērtējumu ieguvušajiem tehnoloģiskajiem procesiem piegāžu ķēde ietver daļēji atzarotu sīkkoku piegādi patērētājam un smalcināšanu ar drupinātajiem (40. tabula). Vienādu vērtējumu ieguvusi izstrāde ar motorzāģi un harvesteru. Augstāks vērtējums ir kombinētās izstrādes tehnoloģijām, kas atzītas par perspektīvākajām arī Zviedrijā (Skogforsk, 2011).

Tāpat kā jaunaudzū un krājas kopšanā, vērtējumā pieņemts, ka lielaudas drupinātāju pieejamība nav ražošanu ierobežojošais faktors. Pašlaik šādu drupinātāju skaits Latvijā ir nepietiekošs tehnoloģijas plašai ieviešanai un, ņemot vērā sadrumstaloto patēriņa struktūru, arī nākotnē tas var saglabāties esošajā līmenī. Lielaudas šķeldotāji un drupinātāji ir granulu rūpnīcās un ostās, kas nākotnē šai šķeldu patērētāju daļai radīs būtiskas priekšrocības biokurināmā iegādē. Piegāžu nodrošināšanai mazajiem patērētājiem (centralizētajai siltumapgādei) ir jāizpēta starpkrautuvju ierīkošanas iespējas, tajā skaitā materiālu pārkraušanas un starpkrautuvju uzturēšanas ietekmi uz šķeldu izmaksām un piegāžu drošību.

Analīzes rezultāti liecina, ka grāvju trašu apaugumā, tāpat kā jaunaudzēs un krājas kopšanā, lielāka uzmanība jāpievērš daļēji atzarotu sagarumotu sīkkoku piegāžu organizēšanai un attiecīgo tehnoloģiju izpētei. Grāvju trašu apauguma izstrādē lielu ietekmi uz tehnoloģiju izvēli atstās apauguma novākšanas kvalitātes prasības; ja harvesteri nespēs nodrošināt atbilstošu mežizstrādes atlieku savākšanas kvalitāti, priekšplānā izvirzīsies veselu koku izstrādes tehnoloģijas vai kombinētās izstrādes tehnoloģijas, apvienojot mehanizēto izstrādi ar roku darbu atlieku savākšanā. Maz pētītas, bet interesantas ir zemsegas mulčēšanas tehnoloģijas, izmantojot atvieglinātas konstrukcijas uz ekskavatora vai lauksaimniecības traktora strēles karināmus mulčētājus.

### 40. Tabula: Augstāko vērtējumu ieguvušie tehnoloģiskie procesi

ID	Tehnoloģiskais process	Starpprodukts	Vērtējums
195	Harvesters ar standarta griezējgalvu + krūmgriezis, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātajiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku piegāde	daļēji atzaroti sīkkoki	4,3
194	Harvesters ar standarta griezējgalvu + krūmgriezis, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātajiem, daļēji atzarotu sīkkoku piegāde	daļēji atzaroti sīkkoki	4,3
173	Motorzāģis ar augstiem rokturiem vai bez tā, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātajiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku piegāde	daļēji atzaroti sīkkoki	4,3
172	Motorzāģis ar augstiem rokturiem vai bez tā, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātajiem, daļēji atzarotu sīkkoku piegāde	daļēji atzaroti sīkkoki	4,3
51	Harvesters ar standarta griezējgalvu, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātajiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku piegāde	daļēji atzaroti sīkkoki	4,3
217	Harvesters ar standarta griezējgalvu + mulčētājs, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātajiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku piegāde	daļēji atzaroti sīkkoki	4,2
200	Harvesters ar standarta griezējgalvu + krūmgriezis, ar pievedējtraktoru uz lauksaimniecības traktora bāzes, daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātajiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku piegāde	daļēji atzaroti sīkkoki	4,2
178	Motorzāģis ar augstiem rokturiem vai bez tā, ar pievedējtraktoru uz lauksaimniecības traktora bāzes, daļēji atzarotu sīkkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātajiem ar elektropiedziņu, daļēji atzarotu sīkkoku piegāde	daļēji atzaroti sīkkoki	4,2
114	Ekskavators ar standarta strēli ar harvestera griezējgalvu, meža pievedējtraktors ar riteņu	daļēji atzaroti sīkkoki	4,2

ID	Tehnoloģiskais process	Starpprodukts	Vērtējums
	piedzīņu, daļēji atzarotu sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedzīņu, daļēji atzarotu sikkoku piegāde		
85	Harvarders ar standarta harvesteru griezējgalvu, ar harvarderu, daļēji atzarotu sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem ar elektropiedzīņu, daļēji atzarotu sikkoku piegāde	daļēji atzaroti sikkoki	4,2
50	Harvesters ar standarta griezējgalvu, meža pievedējtraktors ar riteņu piedziņu, daļēji atzarotu sikkoku uzglabāšana bez pārseguma, smalcināšana pie patērētāja ar jaudīgiem drupinātājiem, daļēji atzarotu sikkoku piegāde	daļēji atzaroti sikkoki	4,2

Prioritārās pētījumu jomas meža biokurināmā ieguves veicināšanai uz grāvjiem ir apauguma raksturošana, tajā skaitā lēmuma pieņemšanas atbalsta instrumentu izveide tehnoloģiju un darba metožu izvēlei; aprēķinu datu ieguve caurmēra sadalījuma vienādojumu izstrādāšanai un citu grāvju apaugumu raksturojošo rādītāju noteikšanai, atkarībā no meža tipa, apauguma vecuma un robežjošos mežaudžu taksācijas rādītājiem; praksē izmantojamo izstrādes tehnoloģiju un to kombināciju efektivitātes paaugstināšanas risinājumi; jaunu tehnoloģiju (kombinētās izstrādes iekārtas, dažāda tipa harvesteri un griezējgalvas sasaistē ar mobilajiem šķeldotājiem) testēšana.

## Secinājumi un ieteikumi pētījumu programmas pilnveidošanai

1. Visi 10 augstāko vērtējumu ieguvušie jaunaudzū biokurināmā piegāžu tehnoloģiskie procesi ietver daļēji atzarotu sīkkoku piegādi patērētājam. Visaugstāko vērtējumu ieguva tehnoloģiskie procesi, kas sākas ar mežaudžu kopšanu ar motorzāģi ar augstiem rokturiem. No mehanizētās izstrādes iekārtām augstu vērtējumu ieguvis harvesters ar standarta griezējgalvu, kā arī ekskavators ar teleskopisku harvestera strēli un harvestera griezējgalvu, kuras lielākie plusi ir spēja pielāgoties dažādiem darba apstākļiem.
2. Pētījumu prioritātes biokurināmā piegādēm no jaunaudzēm ir resursu apjoma un naudas plūsmas novērtēšanas instrumenti dažādās mežaudzēs; meža kopšanas režīmu adaptēšanas iespējas biokurināmā iegūšanas veicināšanai; tehnoloģisko koridoru izvietojuma optimizācija dažāda vecuma un dažādu koku sugu audzēs; biokurināmā sagatavošanas ietekme uz turpmāko mežaudžu attīstību; tehnoloģiskie risinājumi, kas nepieciešami, lai uzlabotu esošās darba metodes un ieviestu praksē adaptētas mežsaimniecības metodes.
3. Visi 10 augstāko vērtējumu ieguvušajiem tehnoloģiskajiem procesiem krājas kopšanā piegāžu ķēde ietver daļēji atzarotu sīkkoku piegādi patērētājam. Visaugstāko vērtējumu ieguva tehnoloģiskie procesi, kas sākas ar mežaudžu kopšanu ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu vai motorzāģi. Augstu vērtējumu ieguvis pievešana ar meža pievedējtraktoru uz kāpurķēdēm, kas ir salīdzinoši dārga tehnoloģija, bet rada minimālu iespējamo kaitējumu videi.
4. Salīdzinot dažādus mežizstrādes atlieku biokurināmā piegādes variantus krājas kopšanā, to vērtējums atpaliek no daļēji atzaroto sīkkoku biokurināmā piegādes procesiem. Visaugstāko vērtējumu ieguvis mežizstrādes atlieku vākšana ar rokām un harvesteru vai ekskavatoru ar standarta griezējgalvu, pievedot atliekas ar meža pievedējtraktoriem uz riteņu vai kāpurķēžu bāzes un šķeldas tālāk pie patērētāja nogādājot ar konteineru sistēmām.
5. Kailcirtēs augstāku vērtējumu ieguvis mehanizētā izstrāde lapkoku audzēs ar harvesteriem ar akumulējošo griezējgalvu, attiecīgi, tehnoloģijas, kas tāpat kā kopšanas cirtēs ļauj integrēt dažādu biokurināmā un apaļoksnes sortimentu sagatavošanu. Visaugstāk novērtētais mežizstrādes atlieku pārstrādes risinājums ir saiņošana, taču prakse liecina, ka šim risinājumam ir būtiski trūkumi, kas saistās ar operatoru nesagatavotību un praksē lietoto darba metožu nepilnību. Efektīvākais risinājums saiņošanas un citu biokurināmā sagatavošanas tehnoloģiju efektivitātes paaugstināšanas risinājums ir samaksas par paveikto darba apjomu ieviešana un dažādu ražošanas operāciju integrācija samaksas sistēmā, lai visi operatori ir ieinteresēti veikt darbu kvalitatīvi un ražīgi.
6. Prioritārie pētījumu virzieni saistībā ar biokurināmā ražošanu kailcirtēs un krājas kopšanā ir meža biokurināmā un vākšanas ietekme uz meža atjaunošanas kvalitāti un darba ražīgumu; harvestera un pievedējtraktora informācijas sistēmu integrēšana, izmantojot harvestera datus resursu apjoma, izvietojumu un kvalitatīvo rādītāju novērtēšanai un pievedējtraktora darba plānošanai; starpkrautuvju ierīkošanas ekonomisko, organizatorisko un tehnisko jautājumu izpēte; mežizstrādes atlieku kurināmā kvalitātes uzlabošanas iespēju analīze un kvalitātes novērtēšanas un prognozēšanas sistēmas izveide; mežizstrādes atlieku izvākšanas ietekmes uz vidi un pelnu izmantošanas jautājumus izpēte; kā arī tehnisko risinājumu un darba metožu izstrādāšana saiņošanas darba ražīguma palielināšanai.
7. Celmu izstrādē visaugstāko vērtējumu ieguvis tehnoloģiskais process, kas paredz vienlaicīgu celmu izstrādi un augsnes sagatavošanu meža atjaunošanai ar 4. paaudzes celmu izstrādes kausiem, celmu pievešanu uz augšgala krautuvi

ar pievedējtraktoru ar paplašinātu kravas tilpni un divpakāpju smalcināšanu, transportējot rupji sadrupinātus celmus ar konteinervedēju.

8. Prioritārās pētījumu jomas meža biokurināmā ieguves veicināšanai no celmiem ir mežkopības, meža atjaunošanas un mežizstrādes darbu integrācija un tehnikas operatoru mežsaimnieciska izglītošana; dažādu celmu smalcināšanas variantu adaptēšana prognozējamam stāvoklim biokurināmā tirgū Latvijā; Latvijas apstākļiem pielāgotas konteineru sistēmas ar kompaktizēšanas mehānismu un dažādām izkraušanas iespējām izstrādāšana; kvalitātes standartu un tehnisko prasību celmu biokurināmā sagatavošanai un vienlaicīgai augsnes sagatavošanai izstrādāšanai, kā arī darba ražīguma normu celmu biokurināmā sagatavošanai izveidošana.
9. Desmit augstāko vērtējumu ieguvušo tehnoloģisko procesu starpprodukts grāvju trašu apaugumā ir atzaroti sagarumoti koki. Visiem 10 augstāko vērtējumu ieguvušajiem tehnoloģiskajiem procesiem piegāžu ķēde ietver daļēji atzarotu sīkkoku piegādi patērētājam un smalcināšanu ar drupinātajiem. Vienādu vērtējumu ieguvusi izstrāde ar motorzāģi un harvesteru. Augstāks vērtējums ir kombinētās izstrādes tehnoloģijām, kas atzītas par perspektīvākajām arī Zviedrijā. Grāvju trašu apauguma izstrādē lielu ietekmi uz tehnoloģiju izvēli atstās apauguma novākšanas kvalitātes prasības; ja harvesteri nespēs nodrošināt atbilstošu mežizstrādes atlieku savākšanas kvalitāti, priekšplānā izvirzīsies veselu koku izstrādes tehnoloģijas vai kombinētās izstrādes tehnoloģijas, apvienojot mehanizēto izstrādi ar roku darbu atlieku savākšanā.
10. Prioritārās pētījumu jomas meža biokurināmā ieguves veicināšanai uz grāvjiem ir apauguma raksturošana, tajā skaitā lēmuma pieņemšanas atbalsta instrumentu izveide tehnoloģiju un darba metožu izvēlei; aprēķinu datu ieguve caurmēra sadalījuma vienādojumu izstrādāšanai un citu grāvju apaugumu raksturojošo rādītāju noteikšanai, atkarībā no meža tipa, apauguma vecuma un robežjošos mežaudžu taksācijas rādītājiem; praksē izmantojamo izstrādes tehnoloģiju un to kombināciju efektivitātes paaugstināšanas risinājumi; jaunu tehnoloģiju testēšana.



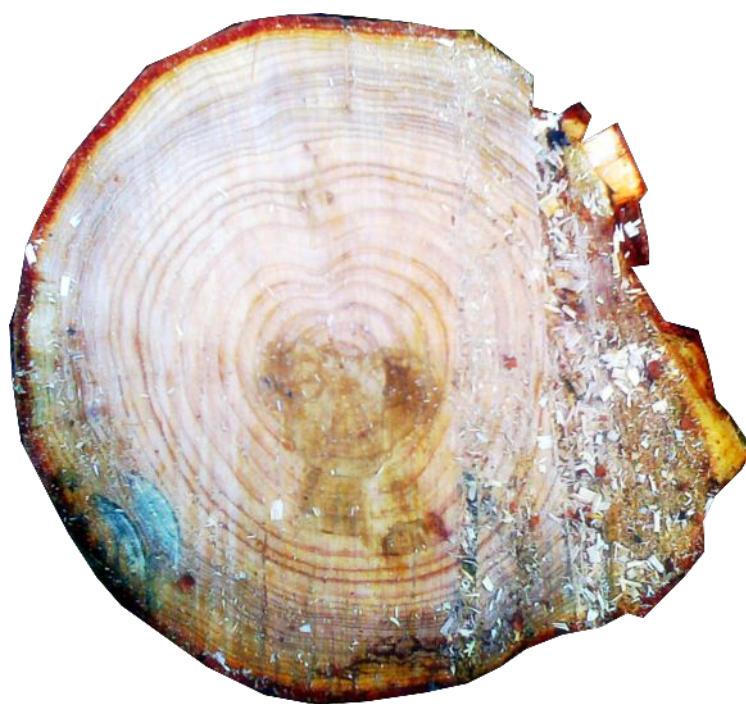
---

## Izmantotā literatūra

1. Adamovičs, A., Blumberga, D., Lazdiņa, D., Lazdiņš, A., Plūme, I., Rochas, C., Romagnoli, F., Rošā, M., 2011. Biomass study course for students. Rēzeknes augstskola, Engineering Faculty, Rēzekne.
2. Adamovičs, A., Dubrovskis, V., Plūme, I., Jansons, Ā., Lazdiņa, D., Lazdiņš, A., 2009. Biomasas izmantošanas ilgtspējības kritēriju pielietošana un pasākumu izstrāde (Pārskats par Vides ministrijas pasūtītā pētījuma izpildi). VSIA Vides projekti, Rīga.
3. Arlinger, J., 1997. SkogForsk Yield - a program for calculations of possible levels of saw logs, pulp wood and forest fuel removals - User's Guide, version 2.0. Skogforsk, Uppsala.
4. Asikainen, A., Laitila, J., 2004. Pienpuuhakkeen tuotannon kustannustekijät ja toimituslogistiikka. Metlan työraportteja. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 3, 58.
5. Bergroth, J., Palander, T., Kärhä, K., 2006. Excavator-based harvesters in wood cutting operations in Finland. Forestry Studies|Metsanduslikud Uurimused 45, 74–88.
6. Bergström, D., 2009. Techniques and systems for boom-corridor thinning in young dense forests [WWW Document]. URL <http://pub.epsilon.slu.se/2154/>
7. Bergström, D., Bergsten, U., Nordfjell, T., 2010. Comparison of boom-corridor thinning and thinning from below harvesting methods in young dense Scots pine stands.
8. Biomass Transportation and Delivery Fact Sheet 4.5, n.d. .
9. Bisenieks, J., 2005a. Sastāva kopšana. Meža enciklopēdija.
10. Bisenieks, J., 2005b. Letonika.lv. Enciklopēdijas - Meža enciklopēdija. krājas kopšana [WWW Document]. URL <http://www.letonika.lv/groups/default.aspx?r=7&q=kr%C4%81jas%20kop%C5%A1ana&id=971671&g=1>
11. Bjorheden, R., 2011. Swedish R&D programme Efficient forest fuel Supply Systems - Stepping up the pace!
12. Bode, A., 1840. Handbuch zur Bewirtschaftung der Forsten in den deutschen Ostseeprovinzen Russlands : Ein Leitfaden für Privatforstbesitzer und Forstverwalter. F. Lucas.
13. Ceichners, O., 1929. Celmu laušanas iespāids uz meža dabisko atjaunošanos. Mežsaimniecības rakstu krājums (Sammlung forstwirtschaftlicher Schriften), Latvijas mežkopju savienībasizdevums 7, 32–57.
14. Egnell, G., Hyvönen, R., 2007. Environmental aspects on stump-harvest – compilation of knowledge and knowledge gaps.
15. Gautam, S., Pulkki, R., Shahi, C., Leitch, M., 2012. Fuel quality changes in full tree logging residue during storage in roadside slash piles in Northwestern Ontario. Biomass and Bioenergy 42, 43–50.
16. Glazar, K., 2006. Fuel wood chips fractions. Acta Scientiarum Polonorum. Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria 05.
17. Hakkila, P., 2004. Developing Technology for Large-Scale Production of Forest Chips. Wood Energy Technology Programme 1999–2003. National Technology Agency.
18. Iwason Wide, M., Belbo, H., 2010. Jämförande studie av olika tekniker för skogsbränsleuttag i mycket klen skog – SKOGSBRÄNSLEUTTAG MED NAARVA-GRIPEN 1500-40E OCH LOG MAX 4000, MELLANSKOG, SIMEÅ ( No. ISSN 1404-305X), Arbetsraport. Skogforsk, Uppsala Science Park, SE-751 83 UPPSALA, Sweden.
19. Jylhä P., L.J., 2007. Energy wood and pulpwood harvesting from young stands using a prototype whole-tree bundler. Silva Fennica 41, 763–779.
20. Kärhä, K., 2006. Whole-tree harvesting in young stands in Finland. Forestry Studies|Metsanduslikud Uurimused 45, 118–134.
21. Kavuns, J., 2010. Audzes sastāva ietekme uz saņošanas ražīgumu un šķeldu pašizmaksu biokurināmā sagatavošanā kailcirtē (Maģistra darbs).
22. Laitila, J., Ranta, T., Asikainen, A., 2008. Productivity of Stump Harvesting for Fuel. International Journal of Forest Engineering 19.
23. Lange, K., 1925. Vēl par celmu izmantošanu. Mežsaimniecības rakstu krājums (Sammlung forstwirtschaftlicher Schriften), Latvijas mežkopju savienībasizdevums 3, 31–35.
24. Latvijas Republikas Saeima, 2000. Meža likums (ar labojumiem līdz 13.10.2011.).
25. Laurila, J., Lauhanen, R., 2010. Moisture Content of Norway Spruce Stump Wood at Clear Cutting Areas and Roadside Storage Sites. Silva Fennica 44, 427–434.

26. Lazdāns, V., Lazdiņš, A., Zimelis, A., 2008a. Celmu izstrādes tehnoloģijas enerģētiskās koksnes ražošanai. LVMI Silava, Salaspils.
27. Lazdāns, V., Lazdiņš, A., Zimelis, A., 2008b. Meža infrastruktūras objektu kopšanā iegūstamo enerģētiskās koksnes resursu aprēķinu metodikas izstrāde (Pārskats par Meža attīstības fonda pasūtītā pētījuma izpildi).
28. Lazdāns, V., Zimelis, A., 2008. Dažādu meža atjaunošanas paņēmieni pielietošanas iespēju analīze platībās, kur veikta celmu izstrāde enerģētiskās koksnes sagatavošanai.
29. Lazdiņš, A., 2006. Meža biomasas sagatavošana un izmantošana. VSIA "Vides projekti, Rīga.
30. Lazdiņš, A., 2012. Mežizstrādes tehnikas, meža kopšanas un atjaunošanas darba ražīguma pētījumi biokurināmā sagatavošanas un meža atjaunošanas izmaksu novērtēšanai (Pārskats par līgumpētījuma pirmajā etapā paredzēto darbu izpildi) (No. 2010/0255/2DP/2.1.1.1.0/APIA/VIAA/174 (2012.R01)). LVMI Silava, Salaspils.
31. Lazdiņš, A., Thor, M., 2009. Bioenergy from pre-commercial thinning, forest infrastructure and undergrowth – resources, productivity and costs, in: Annual 15th International Scientific Conference Proceedings. Presented at the Research for Rural Development 2009, Latvia University of Agriculture, Jelgava, pp. 147–154.
32. Lazdiņš, A., Von Hofsten, H., 2009. Technical and environmental issues of stump harvesting for biofuel production in Latvia, in: Annual 15th International Scientific Conference Proceedings. Presented at the Research for Rural Development 2009, Latvia University of Agriculture, Jelgava, pp. 155–162.
33. Lazdiņš, A., Von Hofsten, H., Lazdiņa, D., Lazdāns, V., 2009. Productivity and costs of stump harvesting for bioenergy production in Latvian conditions, in: Proceedings. Presented at the 8th International Scientific Conference ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT, Latvia University of Agriculture Faculty of Engineering, Jelgava, pp. 194–201.
34. 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). LVMI Silava.
35. Lazdiņš, A., Zimelis, A., Kalniņš, J., 2012. Nepieciešamo izpēti objektu (meža infrastruktūras objektu) apraksts un pamatojums, Atjaunojamo energoresursu produktu ražošanas, pārstrādes un loģistikas rūpnieciskais pētījums. LVMI Silava, Salaspils.
36. Lindroos, O., Henningsson, M., Athanassiadis, D., Nordfjell, T., 2010. Forces required to vertically uproot tree stumps. *Silva Fennica* 44, 681–694.
37. LVMI Silava, 2008. Enerģētisko šķeldu ražošana no mežizstrādes atlikumiem, 2nd ed. LVMI Silava, Salaspils.
38. Metsa Forest Latvia, 2012. "Metsa Forest Latvia" SIA kvalitātes prasības pārskats 2012.
39. Ministru Kabinets, 2008. Ministru Kabineta noteikumi Nr. 421, Noteikumi par meža aizsardzības pasākumiem un ārkārtējās situācijas izsludināšanu mežā.
40. Ministru Kabinets, 2012. MK noteikumi Nr. 308 "Meža atjaunošanas, meža ieaudzēšanas un plantāciju meža noteikumi."
41. Mitchell, D., 2009. Stump Harvesting. Presented at the 2009 Council on Forest Engineering (COFE) Conference Proceedings: "Environmentally Sound Forest Operations," Lake Tahoe, USA, p. 6.
42. Nordfjell, T., 2011. Development of a feller-buncher head for boom-corridor thinning.
43. Nordfjell, T., 2012. Cost Action FP0902 training school, Thomas Nordfjell lecture materials.
44. Nugent, C., Kanali, C., Owende, P.M., Nieuwenhuis, M., Ward, S., 2003. Characteristic site disturbance due to harvesting and extraction machinery traffic on sensitive forest sites with peat soils. *Forest Ecology and Management* 180, 85–98.
45. Nurmi, J., 2001. Storage alternatives affect fuelwood properties of Norway spruce logging residues. *New Zealand Journal of Forestry Science* 31, 289–297.
46. Nurminen, T., 2007. Characteristics and time consumption of timber trucking in Finland. *Silva Fennica* 41 (2007): 3.
47. Oikan, M., Kärhä, K., Palander, T., Pajuoja, H., Ovaskainen, H., 2008. Towards more cost-efficient wood harvesting from young stands, in: FOREST & LANDSCAPE WORKING PAPERS 30 / 2008. Presented at the The Nordic-Baltic Conference on Forest Operations, Forest & Landscape Denmark, Copenhagen, pp. 15–16.

48. Pöllabauer, F., 2011. Experiences And Requirements For The Logistics Of Round Timber, Wood Residues And Pellets By Train.
49. Sammallahti, K., 2010. Stump extraction with a stump drill from an intermediate thinning of spruce ( No. 1005). Metla.
50. Skogforsk, 2008. News from Skogforsk No. 1. Uppsala Science Park, S-751 83 Uppsala.
51. Skogforsk, 2011. Efficient forest fuel supply systems Composite report from a four year R&D programme 2007-2010 ( No. 978-91-977649-4-0). Skogforsk, Uppsala Science Park, S-751 83 Uppsala.
52. Stora Enso Mežs, 2012. Papīrmalkas sagatavošanas un kvalitātes prasības, uzmērīšana.
53. Thor, M., Berndt, N., Von Hofsten, H., Lazdāns, V., Lazdiņš, A., Zimelis, A., 2008. Energoresursu ieguve no krājas kopšanas un sastāva kopšanas cirtēm, grāvju un ceļmalu apauguma, celmu pārstrādes, izvērtējot ekonomiskos, tehnoloģiskos, vides un mežsaimnieciskos faktorus (AS "Latvijas valsts meži" pasūtītā pētījuma pārskats).
54. Thor, M., Iwarsson-Wide, M., Von Hofsten, H., Nordén, B., Lazdiņš, A., Zimelis, A., Lazdāns, V., 2008. Forest energy from small-dimension stands, infra-structure objects and stumps (research report). SKOGFORSK, The Forestry Research Institute of Sweden, Uppsala.
55. Thor, M., Von Hofsten, H., Lundström, H., Lazdāns, V., Lazdiņš, A., 2006. Extraction of logging residues at LVM. AS Latvijas valsts meži, Uppsala.
56. Uusitalo, J., 2012. New solutions in management and harvesting of peatland forests.
57. Väättäinen, K., Asikainen, A., Jylhä, P., 2007. Resultat fran Skogforsk Nr. 10/2007. Skogforsk.
58. Väättäinen, K., Sikanen, L., Asikainen, A., 2004. Feasibility of Excavator-Based Harvester in Thinnings of Peatland Forests. International Journal of Forest Engineering 15.
59. Vasaitis, R., Stenlid, J., Thomsen, I.M., Barklund, P., Dahlberg, A., 2008. Stump Removal to Control Root Rot in Forest Stands. A Literature Study. Silva Fennica 42, 457–483.
60. Vasiļevskis, A., 2007. Latvijas valsts mežu apsaimniekošana, 1918-1940. Nacionālais apgāds.
61. Wall, A., 2008. Effect of removal of logging residue on nutrient leaching and nutrient pools in the soil after clearcutting in a Norway spruce stand. Forest Ecology and Management 256, 1372–1383.
62. Walmsley, J.D., Godbold, D.L., 2009. Stump Harvesting for Bioenergy – A Review of the Environmental Impacts.
63. Webster, P., 2007. Trial of Naarva Grip Harvesting Heads. Forest Research Technical Development Branch.
64. Wester, F., Eliasson, L., 2003a. Productivity in Final Felling and Thinning for a Combined Harvester-Forwarder (Harwarder). International Journal of Forest Engineering 14.
65. Wester, F., Eliasson, L., 2003b. Productivity in Final Felling and Thinning for a Combined Harvester-Forwarder (Harwarder). International Journal of Forest Engineering 14.
66. Woodmark AS, 2012. Kvalitātes prasības Bērza, egles, priedes, apses papīrmalka un kurināmā malka [WWW Document]. Woodmark. URL <http://www.woodmark.lv/page/?node=4>
67. Wynsma, B., Aubuchon, R., Len, D., Daugherty, M., Gee, E., 2007. Woody biomass utilization desk guide.
68. Zimelis, A., Lazdiņa, D., Lazdāns, V., 2012. Jaunaudzū kopšanas un agrotehniskās kopšanas darbu ražīguma un pašizmaksas izpēte. LVMI Silava, Salaspils.



**LVMi Silava**

Rīgas iela 111, Salaspils, LV-2169

tālrunis: 67942555, fakss: 67901359, e-pasts: [inst@silava.lv](mailto:inst@silava.lv)