

Celmu biokurināmā resursu un to pieejamības apskats egļu audzēs valsts mežos

Andis Lazdiņš^{1}, Valentīns Lazdāns¹, Santa Kalēja², Agris Zimelis¹,
Uldis Prindulis¹, Dārta Kļaviņa², Gatis Rozītis¹*

Lazdiņš, A., Lazdāns, V., Kalēja, S., Zimelis, A., Prindulis, U., Kļaviņa, D., Rozītis, G. (2014). Celmu biokurināmā resursu un to pieejamības apskats egļu audzēs valsts mežos. Mežzinātne 28(61): 166–179.

Kopsavilkums. Pētījumā, izmantojot Meža statistiskās inventarizācijas (MSI) datus, izvērtēta par 20 cm resnāku celmu sausās koksnes biomasas (turpmāk tekstā – biomasas) egļu audzēs. Celmu pazemes daļu, lielo sakņu (caurmērs lielāks par 5 cm) un sīksakņu biomasas noteikta, pielietojot Zviedrijā izstrādātus biomasas vienādojumus. Virszemes celmu daļas biomasas noteikta, pieņemot, ka celmu vidējais augstums ir 30 cm, bet nosacītais egles koksnes blīvums – 400 kg m⁻³. Izstrādei pieejamās biomasas aprēķinā pieņemts, ka iegūta celmu un lielo sakņu biomasas. Tehnoloģiskie zudumi – celmi uz kokmateriālu pievešanas ceļiem un lapkoku celmi – pieņemti kā 38 % no izstrādei pieejamās celmu biomasas. Koku caurmēra dalījuma modelēšanai izmantots beta sadalījums. Celmu izstrādes iespējas aprēķinātas teritorijām, kas sasniegušas galvenās cirtes vecumu (81 gadu) vai arī gadījumā, ja valdaudzes koku caurmērs atbilst nosacījumiem par minimālo koku caurmēru kailcirtes veikšanai. Aprēķinos pieņemts, ka celmu ieguvei pieejami visi meža tipi, izņemot grīni, purvāju, viršu āreni un viršu kūdreni. No resursu aprēķina izslēgtas tās teritorijas, kurās noteikts kailcirtes aizliegums. Izmaksu aprēķini veikti atbilstoši LVMI Silava pētījumu rezultātiem par celmu izstrādes darba ražīgumu un izmaksām, strādājot ar MCR-500 celmu rāvēju, aprēķinā iekļaujot arī augsnes sagatavošanai patērējamo laiku.

Par 20 cm resnāku celmu un sakņu tehnoloģiski pieejamā biomasas, pēc kailcirtes un meža tipa kritērija pieejamajās egļu audzēs, ir 48 tonnas ha⁻¹. Lielāka tehnoloģiski pieejamā celmu biomasas ir par 100 gadiem vecākās egļu audzēs.

Tehnoloģiski iegūstamā par 20 cm resnāku celmu un sakņu biomasas izstrādei piemērotās platībās ir 3213 tūkst. tonnas. Tehnoloģiski pieejamā biomasas pārsvarā koncentrēta 61–80 gadus vecās egļu audzēs.

Nozīmīgākie vārdi: celmi, biokurināmais, resursi.

•••

¹ LVMI Silava, Rīgas iela 111, Salaspils, LV-2169, Latvija; * e-pasts: andis.lazdins@silava.lv

² SIA "Meža nozares kompetences centrs", Dzērbenes iela 27, Rīga, LV-1006, Latvija

Lazdins, A. ^{3*}, Lazdans, V. ³, Kaleja, S. ⁴, Zimelis, A. ³, Prindulis, U. ³, Kļaviņa, D. ⁴, Rozītis, G. ³ **Evaluation of resources and accessibility of stump biomass in spruce stands in state forests.**

Abstract. The first scientific studies on stump extraction and forest regeneration after stump harvesting in Latvia are dated with the first half of 19th century (Bode, 1840). When Latvia became independent in the beginning of 20th century the issues related energy self-sufficiency came to the research agenda and scientists turned to stumps as an alternative source of biomass. Just like nowadays, two opposite opinions on stump extraction are proposed nearly 100 years ago; for instance, O. Ceichners in 1929 argued that stump extraction using explosives provoke erosion and leaching of nutrients from soil. He recommended to forbid stump extraction in Latvia (Ceichners, 1929). At the same time this researcher and some of his colleges approved that stump extraction promotes natural regeneration of pine stands and has no negative impact on next generation of trees (Vasiļevskis, 2007). K. Lange was one of the most active advocates of stump harvesting. He argued that leaving of stumps for decay in felling sites in less forested areas in is wrong management approach and recommended to use stumps for biofuel production (Lange, 1925). Latvia produced annually 7–30 thousands of m³ of firewood from stumps before the World War II. It was recommended by the State forest service in 1939 to use for stump extraction all clear-felling sites. At that time stumps were extracted using explosives or special heavers. The productivity norm for stump extraction was 2–2.5 stacks or 1.6–2 m³ per day (Vasiļevskis, 2007).

When Latvia became independent again 24 years ago, stumps did not appeared in projections of heat and power producers for a longer time because other, considerably cheaper sources of biomass (firewood, harvesting and wood processing residues) were available, but increase of demand and price of biofuel changed the situation and production of biofuel from stumps started again (Lazdiņš, 2006). The studies on stump extraction in clear-felling sites were implemented in 2006 in cooperation with the Forest Research Institute of Sweden Skogforsk. Productivity of stump extraction in these studies was 10.4 m³ per hour, respectively, about 40 times higher than 60 years ago (Lazdiņš & Thor, 2009).

According to earlier studies on application of the sustainability criteria proposed in the Renewable energy resource directive to solid biomass, the annual stump extraction potential in Latvia is 1.6 million tonnes annually, including 1.0 million tonnes of technologically accessible biomass, if the felling stock remains in a level of 2008. The total area accessible annually for stump extraction is 35.8 thousands ha (Adamovičs *et al.*, 2009).

The scope of the study is to evaluate biomass (dry mass) of stumps with diameter above 20 cm in spruce stands in Latvian state forests on the base of the National forest inventory (NFI) data. Biomass of below-ground part of stumps, coarse roots (diameter above 5 cm)

³ Latvian State Forest Research Institute “Silava”, 111 Rīga str., Salaspils, LV-2169, Latvia;

* e-mail: andis.lazdins@silava.lv

⁴ Forest Sector Competence Center, Ltd., 27 Dzerbenes str., Rīga, LV-1006, Latvia

and fine roots is determined using allometric biomass equations elaborated in Sweden. Above-ground biomass of stumps is estimated considering that trees are cut down at 30 cm height above ground level and density of wood is 400 kg m^{-3} . The proportion of the biomass available for extraction is determined assuming that only stumps and coarse roots will be extracted. Technological losses – stumps on strip-roads and deciduous tree stumps are assumed to be 38 % from technically available resources. The diameter distribution of trees is modeled using beta distribution function published in Sweden for modeling of diameter distribution in commercial thinning and final felling. Stump extraction is considered in spruce stands that already reached final felling age (81 years) or diameter of the average tree in a stand is above threshold value for final felling in spruce stands. It is assumed in calculation that all forest types are accessible for stump extraction, excluding *Callunosphagnosa*, *Sphagnosa*, *Callunosa mel.* and *Callunosa turf. mel.*, where diameter of trees in the final felling age is generally below reasonable threshold for stump extraction (20 cm). It is also considered that stump extraction will not be implemented in areas, where clear-felling is forbidden. Cost calculation of stump extraction is done according to earlier study in LSFRI Silava on productivity of stump extraction with MCR-500 bucket, including time consumption for additional soil scarification (mounding). The methodology for calculation of stump biomass was elaborated within the scope of the “BalBiC – The Development of the Bioenergy and Industrial Charcoal (Biocoal) Production” project.

According to the study results average technologically available biomass of stumps with diameter above 20 cm in the forest stands accessible for final felling according to age or diameter criteria is 48 tonnes ha^{-1} . The highest yields can be obtained in stands older than 100 years. Total technologically accessible biomass of stumps with diameter above 20 cm in spruce stands in Latvian state forests is 3.2 million tonnes. The technologically accessible biomass is mostly concentrated in 61–80 years old spruce stands. According to current status of the spruce stands in the NFI stump extraction is possible right now in 26 % of all spruce stands on naturally dry and drained forest stand types in state forests of Latvian. Forwarding distance is not limiting factor for extraction of stump biomass – 90 % of all technologically accessible resources are located in 400 m distance from the nearest road.

Average cost of stump extraction, processing and delivery is 2630 EUR ha^{-1} (9.1 EUR LV m^{-3}); respectively, stump extraction might be feasible, if the price of biofuel is above 9.1 EUR ha^{-1} . Additional non-accounted benefit of stump extraction is reduction of cost of soil preparation before forest regeneration (about 120 EUR ha^{-1}); however, these expenses are relatively small in comparison to the whole stump extraction and biofuel production cost.

The study is implemented within the scope of the National forest competence centre research program project No. L-KC-11-0004.

Key words: stumps, biofuel, resources.

•••

Лаздыньш, А. ^{5*}, Лазданс, В. ⁵, Каляя, С. ⁶, Зимелис, А. ⁵, Приндулис, У. ⁵, Кļавиња, Д. ⁶, Розитис, Г. ⁵ **Обзор биотопливных ресурсов пней и их доступности в еловых насаждениях государственных лесов.**

Резюме. В данном исследовании, используя данные национального лесного мониторинга (MSI), оценена биомасса пней с диаметром более 20 см в ельниках, созданных для главной рубки. Биомасса пней, крупных (диаметром более 5 см) и мелких корней определена с применением уравнений, разработанных в Швеции. Биомасса наземной части пней определена допуская, что средняя высота пня составляет 30 см, а условная плотность древесины ели – 400 кг м⁻³. Расчёт доступной для выработки древесной биомассы предполагает, что технологически получена древесина пней и крупных корней. Принято, что технологические потери – пни на транспортных дорогах и пни лиственных пород – в общем объёме составляет 38 % от общей достигаемой биомассы. Для моделирования распределения деревьев по диаметру применено уравнение бета-деления. Возможности выработки пней вычислены, имея ввиду леса достигшие возраст главной рубки (81 год) или в тех случаях, когда диаметр деревьев достиг минимальную величину для проведения сплошной рубки. В расчётах предположено, что подходящими для выработки пней являются все типы леса, кроме тех, которые произрастают на самых бедных почвах. Из расчётов исключены территории, где сплошные рубки запрещены. Расчёты расходов были проведены в соответствии с результатами исследований (ЛГИЛ SILAVA) о производительности и стоимости работ, связанных с корчеванием пней (используя MCR-500), в том числе и с затратами на заготовку почвы для последующего восстановления леса.

Технически доступная биомасса пней, с диаметром более 20 см доступных для выработки в еловых лесах после сплошных рубок в среднем составляет 48 т га⁻¹. Более значительные ресурсы биомассы в основном сосредоточены в лесах, которые превысили 100-летний возраст.

Технологически доступная биомасса пней с диаметром более 20 см в еловых лесах, подходящих для проведения сплошных рубок, в среднем составляет 3213 тонн. Большинство технологически доступной биомассы сосредоточена преимущественно в ельниках, достигших 61–80-летнего возраста.

Исследование осуществлено в рамках проекта Национального центра компетенции лесной отрасли №. L-KC-11-0004.

Ключевые слова: пни, биотопливо, ресурсы.

⁵ ЛГИЛ «Силава», ул. Ригас 111, Саласпилс, LV-2169, Латвия; * эл. почта: andis.lazdins@silava.lv

⁶ ООО «Meža nozares kompetences centrs», ул. Дзербенес 27, Рига, LV-1006, Латвия

Ievads

Pirmie zinātniskie pētījumi par celmu izmantošanu biokurināmā sagatavošanai un par celmu izstrādes ietekmi uz meža atjaunošanos Latvijā veikti 19. gadsimta pirmajā pusē (Bode, 1840). Pēc neatkarības atgūšanas 20. gadsimta sākumā aktualizējās energoresursu pieejamības jautājumi, un mežsaimnieki atgriezās pie celmu izstrādes problēmām. Tāpat kā tagad, arī agrāk pastāvēja pretēji viedokļi; piemēram, O. Ceichners uzskatīja, ka celmu spridzināšana sekmē barības vielu izskalošanos un augsnes eroziju, tāpēc ieteica celmu izstrādi neveikt (Ceichners, 1929). Tajā pat laikā viņš un citi pētnieki atzina, ka celmu izstrāde sekmē dabisko atjaunošanos priežu mežos un nerada negatīvu ietekmi uz nākamās aprites kokiem (Vasiļevskis, 2007). K. Lange bija viens no aktīvākajiem celmu izmantošanas aizstāvjiem un uzskatīja celmu atstāšanu cirsmās satrūdēšanai mazmežainos rajonos par nepareizu (Lange, 1925). Pirms 2. pasaules kara, neatkarīgajā Latvijā, gada laikā sagatavoja 7–30 tūkst. m³ celmu malkas gadā. Celmu malkas sagatavošanai 1939. gadā ieteica izmantot visas kailcirtes. Tajā laikā celmus apstrādāja ar spridzināšanas metodi vai, izmantojot šim nolūkam konstruētas sviras. Vidējā celmu izstrādes norma bija 2–2,5 steri vai 1,6–2 m³ dienā (Vasiļevskis, 2007).

Pēc neatkarības atgūšanas celmu koksne ilgstoši nenonāca siltuma un elektroenerģijas ražotāju interešu lokā, jo bija pieejami lētāki koksnes resursi (malka, kokapstrādes un mežizstrādes atliekas), taču, pieaugot pieprasījumam un palielinoties kurināmā cenai, celmu koksnes ieguve ats-

ākās (Lazdiņš, 2006). Pētījumi par celmu izstrādes iespējām kailcirtēs veikti 2006. gadā sadarbībā ar Zviedrijas mežzinātnes institūtu *Skogforsk*. Pētījumā konstatētais celmu izstrādes darba ražīgums bija 10,4 m³ stundā – attiecīgi 40 reizes lielāks nekā pirms 60 gadiem (Lazdiņš, Thor, 2009).

Saskaņā ar iepriekš veikto pētījumu rezultātiem teorētiskais ikgadējais celmu kurināmā potenciāls Latvijā ir 1 606,6 tūkst. tonnu tajā skaitā 958,3 tūkst. tonnas pieejamas tehnoloģiski. Izpētes projektā, kurā novērtēti atjaunojamo energoresursu direktīvā definētajiem ilgtermiņa kritērijiem atbilstošie meža biokurināmā resursi, konstatēts, ka, mežizstrādes apjomam saglabājoties 2008. gada līmenī, katru gadu celmu ieguvei var veikt līdz 35,8 tūkst. ha lielā platībā (Adamovičs *et al.*, 2009).

Materiāls un metodes

Aprēķinu metodika balstīta uz pētījumu projekta “*BalBiC – The Development of the Bioenergy and Industrial Charcoal (Biocoal) Production*” ietvaros izstrādātajiem vienādojumiem (Lazdiņš *et al.*, 2012a). Aprēķinos izmantoti MSI kopsavilkuma atsevišķu parauglūkumu vai to sektoru dati. Metodika attiecas uz koku ciršanu meža zemēs, kas atbilst MSI mežaudzes klasifikatoram (10. kods).

Veicot resursu aprēķinus, vispirms mežaudzes atlasītas pēc aizsardzības pazīmēm – parauglūkumiem, kas atrodas teritorijās, kur aizliegta galvenā un kopšanas cirte, atzīmējot, ka šie resursi tehnoloģiski nav pieejami; attiecīgi celmu biokurināmā resursi izskaitļoti tikai tām audzēm, kurās atļauta kailcirte.

Kailcirtes veikšanai piemēroto mežaudžu identificēšanai sākotnēji veikta atlase pēc vecuma – atlasīti parauglaukumi, kur valdošās sugas vecums ir lielāks vai vienāds par galvenās cirtes vecumu attiecīgajai sugai, atzīmējot, ka tajos atļauta izstrāde kailcirtē. Papildu atlase veikta pēc caurmēra – parauglaukumos, kuros valdošās sugas caurmērs ir vienāds vai lielāks par galvenās cirtes caurmēru (Ministru Kabinets, 2012), atzīmējot, ka tajos atļauta izstrāde kailcirtē. Pēc tam papildu atlase veikta arī sanitārajai cirtei piemērotās audzēs – atlasot parauglaukumus, kuru valdaudzes šķērs-laukums ir mazāks par kritisko (Ministru Kabinets, 2012).

Pēc tam veikts darba apstākļu novērtējums, atlasot parauglaukumus, kur

izstrāde iespējama tikai ziemā (slapjaini un kūdreņi, 1. tab.).

Pēc izstrādei piemēroto audžu atlases aprēķināts caurmēra sadalījums (dažāda caurmēra koku skaitam), izmantojot beta sadalījuma vienādojumu (1. formula).

$$B_{(m,n)} = \int X^{m-1} \cdot (1-X)^{n-1} \cdot d \cdot x \, m, n > 0 \quad (1)$$

Minimālais caurmērs ir $a = 0,4 \cdot d$, bet maksimālais – $b = 1,7 \cdot d$, kur d ir audzes vidējā koka caurmērs 1,3 m augstumā. Minimālajam (a) un maksimālajam (b) caurmēram jābūt 6–60 cm (Arlinger, 1997). Ņemot vērā, ka praksē tas ne vienmēr iespējams, ierobežojums ignorēts, bet caurmēra pakāpes aprēķinātas no 8 līdz 64 cm ar soli 2 cm, attiecīgi, ja šajā diapazonā iekļaujas tikai daļa audzes koku, pārējiem vidējais caurmērs un pārējie dendrometriskie rādītāji iegūti pēc

1. tabula, Table 1

Darba apstākļu novērtējums*
Evaluation of work conditions*

Edafiskā rinda Growth conditions	Meža tips Forest stand type	Celmu raušana pēc kailcirtes Stump extraction after clearfelling
Sausieņi Dry mineral soils	Mētrājs (<i>Vacciniosa</i>)	visu gadu (all seasons)
	Lāns (<i>Myrtillosa</i>)	visu gadu (all seasons)
	Damaksnis (<i>Hylocomiosa</i>)	visu gadu (all seasons)
	Vēris (<i>Oxalidosa</i>)	visu gadu (all seasons)
	Gārša (<i>Aegipodiosa</i>)	visu gadu (all seasons)
Slapjaini Wet mineral soils	Slapjais damaksnis (<i>Myrtilloso-sphagnosa</i>)	ziemā (winter)
	Slapjais vēris (<i>Myrtillosoi-polytrichosa</i>)	ziemā (winter)
	Slapjā gārša (<i>Drypteriosa</i>)	ziemā (winter)
Āreņi Drained mineral soils	Niedrājs (<i>Caricosa-phragmitosa</i>)	visu gadu (all seasons)
	Dumbrājs (<i>Dryopterioso-caricosa</i>)	visu gadu (all seasons)
	Liekņa (<i>Filipendulosa</i>)	visu gadu (all seasons)
Purvaini Wet organic soils	Mētru ārenis (<i>Vacciniosa mel.</i>)	ziemā (winter)
	Šaurlapju ārenis (<i>Myrtillosa mel.</i>)	ziemā (winter)
	Platlapju ārenis (<i>Mercurialosa mel.</i>)	ziemā (winter)
Kūdreņi Drained organic soils	Mētru kūdreņis (<i>Vacciniosa turf. mel.</i>)	ziemā (winter)
	Šaurlapju kūdreņis (<i>Myrtillosa turf. mel.</i>)	ziemā (winter)
	Platlapju kūdreņis (<i>Oxalidosa turf. mel.</i>)	ziemā (winter)

* “visu gadu” – celmu izstrāde iespējama visu gadu; “ziemā” – celmu izstrāde veicama pēc augsnes sasalšanas / “all seasons” – stump extraction possible all over the years, “winter” – stump extraction possible on frozen soil.

caurmēra sadalījuma aprēķināšanas tiem kokiem, kas iekļaujas sadalījumā. Koeficients m izskaitļots ar 2. vienādojumu. Koeficients n visām sugām aprēķināts ar 3. vienādojumu:

$$m = 0,3 + 0,08 \cdot (d - 6) \quad (2)$$

$$n = m \cdot \left(\frac{b-a}{d-a} - 1 \right) \quad (3)$$

Koku skaits katrā caurmēra pakāpē ir proporcionāls vērtībai 4. vienādojumā:

$$n = (x - a)^{m-1} \cdot (b - x)^{n-1}, \text{ kur} \quad (4)$$

x – audzes vidējā koka caurmērs, cm.

Saskaņā ar Somijā un Latvijā veikto pētījumu rezultātiem, nav lietderīga par 20 cm tievāku celmu izstrāde (Kärhä, 2012; Lazdiņš *et al.*, 2012b; Lazdiņš & Zimelis, 2012a), tāpēc no caurmēra sadalījuma atlasīti koki, kas 1,3 m augstumā ir vismaz 16 cm resni, nosakot to skaitu un vidējā koka caurmēru. Caurmēra atlases kritērijs izraudzīts atbilstoši nepublicētiem Meža nozares kompetences centra pētījumu datiem par sakarību starp caurmēru 1,3 m augstumā un pie zemes virsmas (1 % no koka augstuma), ko raksturo lineārās regresijas vienādojums (5. formula):

$$D_0 = 1,17 \cdot D_{1,3} + 1,67, \text{ kur} \quad (5)$$

D_0 – koka caurmērs pie zemes virsmas (1 % no koka augstuma), cm;

$D_{1,3}$ – koka caurmērs 1,3 m augstumā, cm.

Celmu un pazemes biomasa aprēķināta 4 frakcijām – celma pazemes daļai (6. vienādojums), rupjajām saknēm (7. vienādojums), smalkajām saknēm (8. vienādojums) un celma virszemes daļai (9. vienādojums). Celma caurmēra aprēķiniem izmantots 10. vienādojums: vidējā celma augstums pieņemts par 30 cm, atbilstoši agrāk veikto pētījumu datiem (Zimelis *et al.*, 2013). Vienādojumi celma pazemes daļas

un sakņu biomasas aprēķiniem aizgūti no Zviedrijā veiktajiem pētījumiem (Marklund, 1988), savukārt celma caurmēra un virszemes daļas biomasa aprēķināta atbilstoši Latvijā aprobētai metodikai (Lazdiņš & Von Hofsten, 2009; Lazdiņš & Zimelis, 2012b).

$$B_{celmi} = \exp[-3,36 + 10,67 \cdot \frac{D_{1,3}}{D_{1,3} + 17}] \cdot n, \text{ kur} \quad (6)$$

B_{celmi} – celmu pazemes daļas biomasa, kg ha⁻¹;
 $D_{1,3}$ – vismaz 20 cm resnu koku vidējais caurmērs, cm;

n – vismaz 20 cm resnu koku skaits gab. ha⁻¹.

$$B_{balstsaknes} = \exp[-6,39 + 13,37 \cdot \frac{D_{1,3}}{D_{1,3} + 8}] \cdot n, \text{ kur} \quad (7)$$

$B_{balstsaknes}$ – balstsakņu biomasa, kg ha⁻¹.

$$B_{saknes} = \exp[-2,5706 + 7,63 \cdot \frac{D_{1,3}}{D_{1,3} + 8}] \cdot n, \text{ kur} \quad (8)$$

B_{saknes} – par 5 cm tievāko sakņu biomasa, kg ha⁻¹.

$$B_{celma\ augšdaļa} = \frac{D_0^2}{4} \cdot \pi \cdot 0,3 \cdot n \cdot 394, \text{ kur} \quad (9)$$

$B_{celma\ augšdaļa}$ – celma virszemes daļas biomasa, kg ha⁻¹;

D_0 – celma caurmērs, cm;

394 – nosacītais koksnes blīvums, kg m⁻³.

$$D_0 = 1,35135 \cdot D_{1,3} - 0,9459 \quad (10)$$

Resursu pieejamības novērtēšanai nošķirti potenciālie, tehniski un tehnoloģiski pieejamie resursi:

- potenciālie resursi – visi celmi un saknes, kas iegūstamas atcelmošanai piemērotās platībās,
- tehniski pieejamie resursi – celmu virszemes un pazemes daļas, kā arī lielo sakņu biomasa,
- tehnoloģiski pieejamie resursi – celmi un lielās saknes, atskaitot ražošanas zudumus

(38 % celmu un lielo sakņu biomasas).

Mežos, kas aug slapjās un susinātās augsnēs, tehnoloģiski pieejamos resursus paredzēts iegūt tikai ziemas apstākļos, attiecīgi celmu biokurināmais dalāms 2 grupās – resursi, kas pieejami tikai ziemā un neatkarīgi no sezonas. Celmu biokurināmā enerģētiskā vērtība pieņemta $5,3 \text{ MWh t}^{-1}$ (Phyllis2, 2008).

Pievešanas attāluma modelēšanai ar programmu QGIS aprēķināts attālums no katra MSI parauglaukuma centra līdz tuvākajam celmu izvešanai piemērotajam ceļam.

Celmu šķeldu cena, aprēķinot ieņēmumus, pieņemta $10 \text{ EUR ber. m}^{-3}$, pārrēķinu koeficients no sausnas tonnām (biomasas) uz berkubikmetriem – 6, t.i. 1 tonna = 6 ber. m^3 (Lazdiņš *et al.*, 2012b; Lazdiņš & Zimelis, 2012a). Celmu biokurināmā pašizmaksa aprēķināta ar pakāpes vie-

nādojumu (11. formula), kas izstrādāts Latvijā veiktajos pētījumos (Lazdiņš, 2012).

Biokurināmā pašizmaksa,

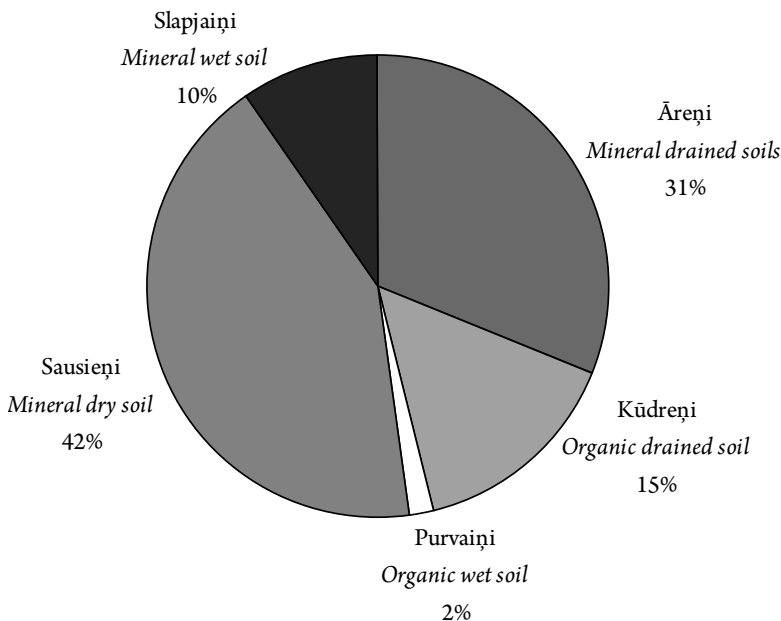
$$\text{EUR ber. m}^{-3} = 14,882 \cdot B_c^{-0,1281}, \text{ kur} \quad (11)$$

B_c – tehnoloģiski pieejamā celma un sakņu biomasa, kg.

Rezultāts un diskusija

Saskaņā ar aprēķinu rezultātiem, celmu izstrādi valsts mežos var veikt 26 % egļu audžu (75 tūkst. ha). Tehnoloģiski pieejamā biomasa atbilst 16807 GWh primārās enerģijas. Tehnoloģiski pieejamā biomasa ir 50 % no kopējās celmu biomasas izstrādei piemērotajās egļu audzēs.

Lielākā daļa tehnoloģiski pieejamās celmu biomasas koncentrēta sausieņos, āreņos un kūdreņos (1. att.), kur darba apstākļi celmu izstrādei ir optimāli, t.i. tehnikas pārvietošanās nav apgrūtināta un saknes sausā laikā viegli atdalāmas no augsnes.



1. attēls. Tehnoloģiski pieejamās celmu biomasas sadalījums pēc meža tipu edafiskajām rindām.
Figure 1. Distribution of accessible stump biomass by growth conditions.

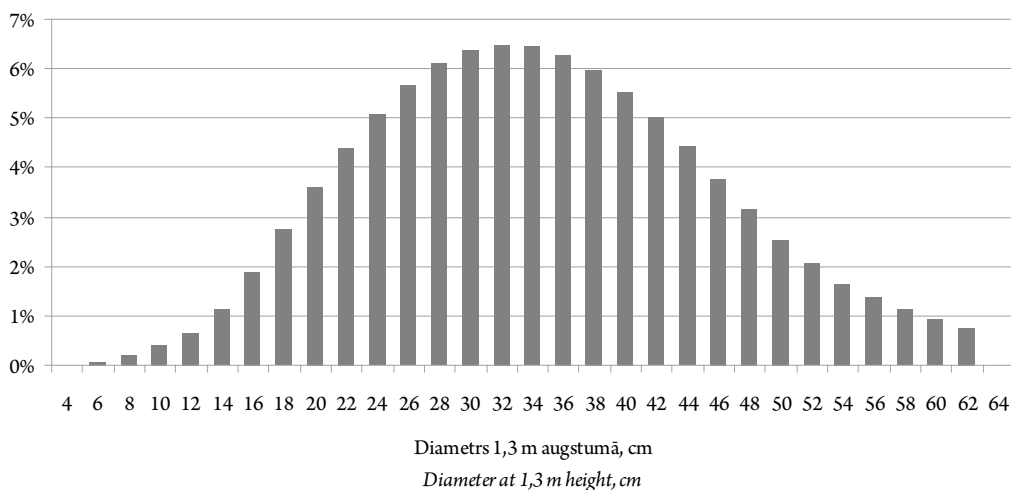
Biokurināmā sagatavošanai ieteikts izmantot vismaz 20 cm resnus celmus (Kārhā, 2012; Lazdiņš, 2012), jo, raujot mazākus celmus, būtiski palielinās sagatavotā biokurināmā pašizmaksa. Vidējais koku skaita sadalījums caurmēra pakāpēs ($D_{1,3}$) celmu izstrādei piemērotajās egļu audzēs valsts mežos parādīts 2. attēlā. Salīdzinoši visvairāk ir 30–36 cm resnu koku celmu; valsts mežos egļu audzēs ir arī daudz par 50 cm resnāku egļu celmu, kuru izstrāde ir ekonomiski izdevīgāka, taču tad nepieciešama arī smagāka un jaudīgāka tehnika.

Vidējā celma un sakņu biomasa, saskaņā ar aprēķinu rezultātiem, ir 224 kg, vidējā celmu un pazemes biomasa – 95 t ha^{-1} (2. tab.). Vidējais attālums no atcelmošanai piemērotajām platībām līdz tuvākajam ceļam ir 303 m, būtiski lielāks tas ir kūdrenos un

slapjainos, vismazākais – āreņos (3. tab.).

Vidējā, par 20 cm resnāku celmu un sakņu biomasa egļu audzēs valsts mežos ir 95 t ha^{-1} ; tehniski pieejamā biomasa – 78 t ha^{-1} , bet tehnoloģiski pieejamā biomasa – 48 t ha^{-1} . Lielāka tehnoloģiski pieejamā celmu krāja ir par 100 gadiem vecākās egļu audzēs (4. tab.). Liela celmu krāja 41–60 gadus vecās audzēs uzskatāma par nejaušu, jo šajā vecuma desmitgadē celmu izstrādei piemēroto platību atlasē kritērijiem atbilst tikai 15 MSI parauglaukumi.

Kopējā, par 20 cm resnāku celmu biomasa izstrādei piemērotās platībās ir 6,3 milj. t, izstrādei pieejamā biomasa – 5,2 milj. t, tehnoloģiski iegūstamā biomasa 3,2 milj. t (5. tab.). Tehnoloģiski pieejamā biomasa pārsvarā koncentrēta 61–80 gadu vecās egļu audzēs. Lielais biomasas uzkrā-



2. attēls. Koku skaita sadalījums caurmēra pakāpēs kailcirtei piemērotajās mežaudzēs.
Figure 2. Distribution of trees by diameter in spruce stands suitable for stump extraction.

2. tabula, Table 2

Celmu biomasa atcelmošanai piemērotajās egļu audzēs
Biomass of stumps in spruce stands suitable for stump extraction

Edafiskā rinda <i>Growth conditions</i>	Potenciālie resursi <i>Potential resources</i>						
	celms, t ha ⁻¹ <i>stump,</i> <i>t ha⁻¹</i>	rupjās saknes, t ha ⁻¹ <i>coarse</i> <i>roots,</i> <i>t ha⁻¹</i>	smalkās saknes, t ha ⁻¹ <i>fine roots,</i> <i>t ha⁻¹</i>	celma virszemes daļa, t ha ⁻¹ <i>above-</i> <i>ground</i> <i>part of</i> <i>stump,</i> <i>t ha⁻¹</i>	vidējā celma biomasa, kg <i>average</i> <i>stump</i> <i>biomass,</i> <i>kg</i>	kopā, t ha ⁻¹ <i>total, t ha⁻¹</i>	kopā, tūkst. t <i>total,</i> <i>thsd. t</i>
Āreņi <i>Drained mineral soils</i>	28	51	20	12	111	216	1975
Kūdreņi <i>Drained organic soils</i>	25	47	19	11	102	207	952
Purvaiņi <i>Wet organic soils</i>	16	32	14	7	69	184	118
Sausieņi <i>Dry mineral soils</i>	23	41	16	10	89	247	2701
Slapjaini <i>Wet mineral soils</i>	19	35	15	8	77	198	617
Visi meža tipi <i>All conditions</i>	24	44	17	10	95	224	6363

3. tabula, Table 3

Celmu izstrādei piemēroto audžu platība un attālums no izvešanai piemērota ceļa
 sadalījumā pa meža augšanas apstākļiem
Distribution of spruce stands suitable for extraction of stumps and roots by growth conditions
and average forwarding distances

Edafiskā rinda <i>Growth conditions</i>	Platība, tūkst. ha <i>Area, thsd. ha</i>	Attālums līdz ceļam, m <i>Distance to road, m</i>
Āreņi <i>Drained mineral soils</i>	19,44	274
Kūdreņi <i>Drained organic soils</i>	10,88	362
Purvaiņi <i>Wet organic soils</i>	2,20	254
Sausieņi <i>Dry mineral soils</i>	33,81	295
Slapjaini <i>Wet mineral soils</i>	8,64	355
Visi meža tipi <i>All conditions</i>	74,97	303

jums par 151 gadu vecākās egļu audzēs (5. tab.) skaidrojams ar to, ka šajā kategorijā iekļautas visas par 151 gadu vecākas audzes, tādēļ iegūtais rezultāts neraksturo attiecīgā vecuma desmitgadi. Pētījumā noskaidrots, ka liels biomasas potenciāls ir pāraugušās egļu audzēs, un, plānojot izstrādes tehnikas iegādi, jārēķinās, ka daudzās cirmās būs izstrādājami par 50 cm resnāki celmi, kas prasīs īpaši izturīgu un jaudīgu tehniku. Vairāk nekā 50 % no tehnoloģiski pieejamajiem celmu resursiem izvietoti līdz 300 m attālumā no izvešanai piemērotiem ceļiem, vēl 40 %

izvietoti līdz 400 m attālumā no ceļiem.

Vidējā celmu šķeldu pašizmaksa, tajā skaitā pievešanai, smalcināšanai un piegādei patērētās izmaksas, saskaņā ar aprēķinu rezultātiem, ir 9,1 EUR ber. m⁻³; izmaksas mazākas ir vecākās audzēs, kur izstrādājamo celmu dimensijas ir lielākas. Vidējās celmu izstrādes un biokurināmā sagatavošanas izmaksas ir 2630 EUR ha⁻¹, tajā skaitā arī augsnes sagatavošanai meža atjaunošanas veikšanai. Kopējās izmaksas visu tehnoloģiski pieejamo celmu izstrādei ir 160 milj. EUR, prognozējamie ieņēmumi – 174 milj. EUR.

4. tabula, Table 4

Vidējā – par 20 cm resnāku celmu – biomasas egļu audzēs dažādās vecuma desmitgadēs
*Average biomass of stumps with diameter of more than 20 cm in spruce stands
 representing different age classes*

Rādītājs Characteristic	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15+
Kopējā biomasas, t ha ⁻¹ Total biomass, t ha ⁻¹	70	134	82	73	110	85	87	89	99	117	107	110
Pieejamā biomasas, t ha ⁻¹ Available biomass, t ha ⁻¹	57	109	66	60	88	69	71	74	82	99	91	93
Tehnoloģiski iegūstamā biomasas, t ha ⁻¹ Accessible biomass, t ha ⁻¹	36	67	41	37	55	43	44	46	51	61	57	58

5. tabula, Table 5

Kopējā – par 20 cm resnāku celmu – biomasas egļu audzēs dažādās vecuma desmitgadēs
*Total biomass of stumps with diameter of more than 20 cm in spruce stands
 representing different age classes*

Rādītājs Characteristic	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15+
Kopējā biomasas, tūkst. t Total biomass, thsd. t	63	437	713	797	1278	687	661	339	347	248	131	662
Pieejamā biomasas, tūkst. t Available biomass, thsd. t	52	353	574	648	1019	556	536	280	288	209	110	558
Tehnoloģiski iegūstamā biomasas, tūkst. t Accessible biomass, thsd. t	32	219	356	402	632	345	333	173	179	129	68	346

Prognozējamie ieņēmumi visās vecuma desmitgadēs pārsniedz izmaksas, ja tirgus cena šķeldai ir 10 EUR ber. m⁻³. Ietaupījumi uz augsnes sagatavošanas rēķina, veicot celmu izstrādi visās tam piemērotajās egļu audzēs, ir aptuveni 10 milj. EUR, ja augsnes sagatavošana ar disku arklu izmaksā 115 EUR ha⁻¹.

Saskaņā ar Valsts meža dienesta datiem, pēdējos 5 gados valsts mežos vidēji izstrādāti 2,66 tūkst. ha egļu audžu. Pieņemot, ka

valsts mežu kailcirtēs izstrādā galvenokārt 8., 9. un 10. vecuma desmitgades egļu audzes, vidēji no 1 ha iegūstamas 44 t celmu. Attiecīgi, no visām kailcirtē izstrādātajām egļu audzēm vidēji gadā iegūstamas 117 tūkst. t (700 tūkst. ber. m³) celmu biokurināmā. Papildus ieņēmumi no celmu šķeldu realizācijas, atbilstoši pētījumā izmantotajiem pieņēmumiem par šķeldu cenu, ir aptuveni 7 milj. EUR gadā.

6. tabula, Table 6

Celmu izstrādes izmaksu un ieņēmumu izvērtējums
Evaluation of cost and income of stump extraction

Vecuma desmitgade <i>Age decade</i>	Ražošanas izmaksas, EUR ber. m ⁻³ <i>Production cost per loose volume m³, EUR</i>	Ražošanas izmaksas, EUR ha ⁻¹ <i>Production cost, EUR ha⁻¹</i>	Ražošanas izmaksas, tūkst. EUR <i>Production cost, thsd. EUR</i>	Prognozējamie ieņēmumi, tūkst. EUR <i>Income forecast, thsd. EUR</i>
4	9,3	2 453	1 419	1 566
5	9,4	3 973	12 906	13 887
6	9,3	2 431	19 587	21 013
7	9,1	2 156	22 703	24 667
8	9,6	2 446	27 051	28 723
9	9,3	2 271	15 646	16 761
10	9,1	2 693	15 623	16 940
11	9,0	2 670	8 886	9 919
12	9,0	2 819	9 961	11 160
13	8,9	3 406	6 663	7 583
14	8,7	2 961	3 396	3 873
15	8,9	3 049	15 980	18 220
Visās vecuma desmitgadēs <i>All age decades</i>	9,1	2 630	159 819	174 311

Secinājumi

1. Egļu audžu kailcirtēs valsts mežos tehnoloģiski pieejamā par 20 cm resnāku celmu un sakņu koksnes biomasa vidēji ir 48 t ha⁻¹, bet kopējā tehnoloģiski iegūstamā celmu un sakņu biomasa izstrādei piemērotajās platībās ir 3213 tūkst. t.
2. Celmu izstrādei valsts mežos tehnoloģiski pieejami 26 % no visām egļu audzēm sausieņu, āreņu un kūdreņu meža tipos.
3. Pievešanas attālums nav celmu izstrādi limitējošs faktors – 90 % no tehnoloģiski pieejamajiem celmu resursiem izvietoti līdz 400 m attālumā no celmu izvešanai piemērotiem ceļiem.
4. Celmu biokurināmā sagatavošanas un piegādes vidējās izmaksas ir 2630 EUR ha⁻¹ (9,1 EUR ber. m⁻³).

Pateicība: pētījums veikts Meža nozares kompetences centra ERAF projekta “Metodes un tehnoloģijas meža kapitālvērtības palielināšanai” (līgums Nr. L-KC-11-0004) ietvaros.

Literatūra

- Adamovičs, A., Dubrovskis, V., Plūme, I., Jansons, Ā., Lazdiņa, D., Lazdiņš, A. (2009). *Biomassas izmantošanas ilgtspējības kritēriju pielietošana un pasākumu izstrāde. Pārskats par Vides ministrijas pasūtītā pētījuma izpildi.* Rīga.
- 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. Uppsala.
- Bode, A. (1840). Handbuch zur Bewirtschaftung der Forsten in den deutschen Ostseeprovinzen Russlands : Ein Leitfaden für Privatforstbesitzer und Forstverwalter. F. Lucas.
- Ceichners, O. (1929). Celmu laušanas iespāids uz meža dabisko atjaunošanos. *Mežsaimniecības rakstu krājums / Latvijas mežkopju savienības izdevums (Sammlung forstwirtschaftlicher Schriften) 7:* 32–57. ().
- Kärhä, K. (2012). Comparison of two stump-lifting heads in final felling Norway spruce stand. *Silva Fennica* 46(4): 625–640.
- Lange, K. (1925). Vēl par celmu izmantošanu. *Mežsaimniecības rakstu krājums / Latvijas mežkopju savienības izdevums (Sammlung forstwirtschaftlicher Schriften) 3,* 31–35.
- Lazdiņš, A. (2006). *Meža biomasas sagatavošana un izmantošana.* Rīga: VSIA “Vides projekti”.
- Lazdiņš, A. (2012). Celmu izstrādes sistēmas pašizmaksas analīze. Pārskats par līgumpētījuma pirmajā etapā paredzēto darbu izpildi. Salaspils: LVMI Silava (2010/0255/2DP/2.1.1.1.0/APIA/VIAA/174 (2012.R01)).
- Lazdiņš, A., Von Hofsten, H. (2009). Technical and environmental issues of stump harvesting for biofuel production in Latvia. In: *Proceedings of International Scientific Conference “Research for Rural Development 2009”, Jelgava, May 2009.* Jelgava: Latvia University of

Agriculture, pp. 155–162.

- Lazdiņš, A., Lazdāns, V., Zimelis, A., Makovskis, K., Bārdulis, A.** (2012a). Biokurināmā sagatavošanas programmas atlases un ražošanas izmaksu aprēķinu novērtēšanas kritēriji. Salaspils: LVMI Silava.
- Lazdiņš, A., Thor, M.** (2009). Bioenergy from pre-commercial thinning, forest infrastructure and undergrowth – resources, productivity and costs. In: *Proceedings of International Scientific Conference “Research for Rural Development 2009”, Jelgava, May. 2009.* Jelgava: Latvia University of Agriculture, pp. 147–154.
- Lazdiņš, A., Zimelis, A.** (2012a). Productivity of stump lifting head MCR-500. In: *Abstract book of conference OSCAR 2012, Riga, 2012. Mežzinātne 25:* 42–45.
- Lazdiņš, A., Zimelis, A.** (2012b). System analysis of productivity and cost of stump extraction for biofuel using MCR 500 excavator head. In: *Abstract book of conference OSCAR 2012, Riga, 2012. Mežzinātne 25:* 62–68.
- Lazdiņš, A., Zimelis, A., Gusarevs, I.** (2012b). Preliminary data on productivity of stump lifting head MCR-500. In: *Proceedings of International Scientific Conference “Renewable energy and energy efficiency”, Jelgava, May 2012.* Jelgava: Latvia University of Agriculture, pp. 150–155.
- Marklund, L.G.** (1988). *Biomassfunktioner för tall, gran och björk i Sverige.* Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogstaxering.
- Ministru Kabinets (2012). *Ministru Kabineta noteikumi Nr. 935, Noteikumi par koku ciršanu mežā.* VSIA Latvijas Vēstnesis.
- Phyllis2 (2008). Stump Chips #3173. Andris Deksnis. Pieejama: <https://www.ecn.nl/phyllis2/Biomass/View/3173>.
- Vasiļevskis, A.** (2007). *Latvijas valsts mežu apsaimniekošana, 1918–1940.* Rīga: Nacionālais apgāds, 430 lpp.
- Zimelis, A., Lazdiņš, A., Sarmulis, Z.** (2013). Comparison of productivity of CBI and MCR-500 stump lifting buckets in Latvia. In: *Proceedings International Scientific Conference “Research of Rural Development 2013”, Jelgava, May 2013.* Jelgava: Latvia Agriculture University, pp. 59–66.