
**Biomasa struktūra un oglekļa uzkrāšanās virszemes un sakņu
biomasā baltalkšņa *Alnus incana* (L.) Moench. jaunaudzēs
lauksaimniecības zemēs**

Andis Bārdulis^{1*}, *Mudrīte Daugaviete*¹, *Andis Lazdiņš*¹,
*Arta Bārdule*¹, *Imants Liepa*²

Bārdulis, A., Daugaviete, M., Lazdiņš, A., Bārdule, A., Liepa, I. (2011).
Biomass structure and carbon accumulation in above-ground
and root biomass in grey alder *Alnus incana* (L.) Moench. young
stands on agricultural land. *Mežzinātne* 23(56): 71-88.

Kopsavilkums. Rakstā analizēta baltalkšņu jaunaudžu (Ba) *Alnus incana* (L.) Moench. biomasas struktūra, doti koeficienti virszemes, sakņu un celma frakciju biomasas aprēķināšanai, izejot no stumbra tilpuma. Dots oglekļa (C) uzkrāšanās apjoms biomasas frakcijās. Pētījumi veikti Ba jaunaudzēs (1-10 gadi) lauksaimniecības zemēs.

Ba jaunaudzēs, damaksnim un vērim pielīdzinātos augšanas apstākļos, paraugkoku stumbra caurmērs 1,3 m augstumā virs sakņu kakla pārstāvēts intervālā $d_{min} = 1,9$ cm un $d_{maks} = 6,8$ cm, augstums $h_{min} = 4,4$ m un $h_{maks} = 7,9$ m. Vidējais koku skaits – 7300 koki ha⁻¹.

Vidējā svaigi cirsta paraugkoka stumbra biomasa ir $4,6 \pm 1,5$ kg, zaru – $1,5 \pm 0,5$ kg un lapu masa $1,2 \pm 0,4$ kg. Savukārt vidējā paraugkoka balstsakņu, sīksakņu un celma biomasa ir $2,6 \pm 0,6$ kg; tajā skaitā absolūti sausa celma biomasa – $0,8 \pm 0,4$ kg, bet balstsakņu un sīksakņu biomasa – $1,7 \pm 0,4$ kg.

Pētījuma rezultāti un aprēķini rāda, ka vidējā absolūti sausa koka virszemes biomasa Ba jaunaudzēs ir $23,4 \pm 2,6$ t ha⁻¹; attiecīgi stumbra biomasa – $14,7 \pm 1,5$ t ha⁻¹, zaru – $4,8 \pm 0,5$ t ha⁻¹ un lapu – $3,9 \pm 0,4$ t ha⁻¹. Absolūti sausa balstsakņu, sīksakņu un celma biomasa vidēji ir $8,7 \pm 0,3$ t ha⁻¹, kas sastāda 27% no kopējās koka biomasas.

Lielākā svaigi cirsta koka uzsūcošo sakņu masa Ba jaunaudzēs ir 0-10 cm dziļumā – $0,6 \pm 0,2$ t ha⁻¹. Dziļākos augsnes slāņos tā pakāpeniski samazinās. Kopējā uzsūcošo sakņu svaiga biomasa augsnes slāni 0-40 cm dziļumā ir $0,8 \pm 0,2$ t ha⁻¹.

Biomasa frakciju pārrēķina koeficientu summa $\sum c_i$ un koka stumbra caurmērs 1,3 m augstumā virs sakņu kakla ir savstarpēji neatkarīgas pazīmes (tas attiecas arī uz atsevišķiem koeficientiem), tādēļ biomasas aprēķināšanai lietojamas biomasas frakciju pārrēķina koeficientu aritmētiskās vidējās vērtības: stumbram – 0,8720,

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

² Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Mežkopības katedra, Akadēmijas iela 11, Jelgava, LV-3001, Latvija

zariem – 0,2800, lapām – 0,2388, celmam – 0,1849, rupjajām saknēm – 0,3922.

Oglekļa saturs absolūti sausas koksnes dažādās koka virszemes frakcijās svārstās no 47,2 ±0,5% stumbra koksnē līdz 52,6 ±0,6% lapās, savukārt mizā – 51,6 ±0,7% un zaru koksnē – 48,2 ±1,2%. Vidējais C saturs absolūti sausas koksnes sakņu biomasas frakcijās un celma biomasā ir 47,0 ±0,9% C.

Nozīmīgākie vārdi: baltalksnis, jaunaudzes, biomasas, oglekļa saturs, biomasas pārrēķina koeficienti.

...

Bārdulis, A.^{3*}, Daugaviete, M.³, Lazdiņš, A.³, Bārdule, A.³, Liepa, I.⁴ **Biomass structure and carbon accumulation in above ground and root biomass in grey alder *Alnus incana* (L.) Moench. young stands on agricultural land.**

Abstract. For young gray alder *Alnus incana* (L.) Moench. stands established on farmlands analyzed is the biomass/volume ratio for stem above-ground part and roots and determined is the amount of carbon accumulated in selected sample trees.

For the given study young grey alder stands of the age up to ten years were chosen with four sample plots established in four-, six-, seven-, and nine-year-old stands found on the sites of the Dm *Hylocomiosa* and Vr *Oxalidososa* growing conditions. The d. b. h. for the sample trees was from $d_{\min} = 1.9$ cm to $d_{\max} = 6.8$ cm, the height $h_{\min} = 4.4$ m and $h_{\max} = 7.9$ m; the average number of stems was 7,300 trees ha⁻¹. The stand inventory parameters were determined following dendrometrical measurements done on circular sample plots (area 100 m²; $r = 5.64$ m).

When estimating the above-ground biomass volume, the sample trees were cut down when in leaf. The above-ground biomass was divided into three fractions: stemwood overbark, branchwood overbark, and foliage; each fraction was weighed separately. For the fraction of root biomass we distinguished between fine roots ($\varnothing > 20$ mm), small roots ($2 < \varnothing < 20$ mm), and coarse roots ($\varnothing < 2$ mm) (Ohashi *et al.*, 2007; Helmisaari *et al.*, 2002; Makkonen, Helmisaari, 1998). In determining the total amount of biomass the stumpwood (above- and below-ground part of the stump) was also accounted for.

The total amount of carbon in biomass samples was determined by using the carbon element analyzer LECO CR-12. The amount of accumulated carbon was estimated for seven sample tree fractions: stemwood, branchwood, bark, foliage, stumpwood, roots (coarse and small roots), including fine roots.

Establishing the biomass/volume ratio was one of the major tasks of the given

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

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

⁴ Latvia University of Agriculture, Department of Silviculture, Akademijas str. 11, Jelgava, LV-3001, Latvia

study. By multiplying the recalculation coefficient by the stem volume or standing volume we find the amount due to the respective tree fraction in freshly harvested biomass.

On the average the mean biomass of freshly harvested sample tree comprised 4.6 ± 1.5 kg of stemwood, 1.5 ± 0.5 kg of branchwood, 1.2 ± 0.4 kg of foliage, and 2.6 ± 0.6 kg of roots and stumpwood (stumpwood 0.8 ± 0.4 ; coarse roots 1.7 ± 0.4 kg).

The calculations made in the given study show that the absolutely dry above-ground biomass in young grey alder stands was on the average 23.4 ± 2.6 t ha⁻¹ divided as follows: stemwood 14.7 ± 1.5 t ha⁻¹, branchwood 4.8 ± 0.5 t ha⁻¹, and foliage 3.9 ± 0.4 t ha⁻¹ with the average amount of dry stemwood and root biomass 8.7 ± 0.3 t ha⁻¹, which accounted for 27% of the total biomass.

In calculating the amount of biomass as a function of the d. b. h. of sample tree a close positive correlation was found to exist between the sample tree d. b. h. and the total amount of above-ground and root biomass, which is described by the determination coefficient $R^2 = 0.94$.

In young grey alder stands the highest amount of fine root biomass (0.6 ± 0.2 t ha⁻¹) is at the depth of 0-10 cm with the total amount of it at the depth of 0-40 cm as high as 0.8 ± 0.2 t ha⁻¹. There is a close correlation between the amount of fine root biomass and the depth of the soil layer described by the determination coefficient $R^2 = 0.97$. With the depth of the soil layer increasing the biomass of fine roots reduces.

The sum of biomass/volume ratios for different tree fractions $\sum c_i$ and the d. b. h. are mutually independent traits, which are described by the determination coefficient $R^2 = 0.03$; it implies that for calculating the amount of biomass we may use the mean arithmetic values of the biomass/volume ratios. The sums of biomass/volume ratios show a relatively wide dispersal, which is explained by the dendromertric, phytocenotic and edaphic diversity of sample tree reference samples.

The carbon content in the above-ground fractions of sample trees varies from $47.2 \pm 0.5\%$ in stemwood to $52.6 \pm 0.6\%$ in foliage with this indicator in the bark and branchwood being $51.6 \pm 0.7\%$ and $48.2 \pm 1.2\%$, respectively. As to the fraction of root biomass, the calculations show that the carbon content in roots was $46.8 \pm 0.8\%$, in fine roots $47.2 \pm 1.1\%$, and $48.9 \pm 1.0\%$ in stumpwood.

When statistically verifying the carbon content between different tree fractions no significant difference was found between the foliage and bark ($p > 0.05$) as well as between the fractions of stemwood, branchwood, stumpwood, and coarse and fine roots.

Key words: grey alder, young stands, biomass, carbon content, biomass recalculation coefficients.

•••

Бардулис, А.^{5*}, Даугавиете, М.⁵, Лаздыньш, А.⁵, Бардуле, А.⁵, Лиела, И.⁶
**Переходные коэффициенты биомассы и аккумуляция углерода в надземной и в
корневой биомассе молодняков белой ольхи *Alnus incana* (L.).**

Резюме. В статье анализированы переходные коэффициенты фракций надземной, корневой и пневой биомассы молодняков белой ольхи (*Va*), проведена аппроксимация биомассы, а также определён объём аккумуляции углерода в отобранных пробных деревьях, произрастающих на сельскохозяйственных землях.

В молодняках *Va*, по условиям произрастания приравненных зеленомошнику и кисличнику, определённый диаметр на высоте груди пробных деревьев представлен в интервале $d_{\min} = 1,9$ см и $d_{\max} = 6,8$ см, высота – $h_{\min} = 4,4$ м и $h_{\max} = 7,9$ м. Среднее число деревьев – 7300 деревьев га⁻¹.

Средняя биомасса ствола у свежесрубленного пробного дерева составляет $4,6 \pm 1,5$ кг, масса сучьев – $1,5 \pm 0,5$ кг и масса листьев – $1,2 \pm 0,4$ кг. В свою очередь биомасса опорных (крупные корни) и малых корней и биомасса пня среднего пробного дерева составляет $2,6 \pm 0,6$ кг: соответственно биомасса пня – $0,8 \pm 0,4$ кг, а биомасса крупных корней – $1,7 \pm 0,4$ кг.

Результаты исследований и расчёты показывают, что сухая надземная биомасса в молодняках *Va* в среднем составляет $23,4 \pm 2,6$ т га⁻¹: соответственно биомасса ствола – $14,7 \pm 1,5$ т га⁻¹, сучьев – $4,8 \pm 0,5$ т га⁻¹ и листьев – $3,9 \pm 0,4$ т га⁻¹. Сухая биомасса крупных корней и пня в среднем составляет $8,7 \pm 0,3$ т га⁻¹ или 27% от общей биомассы дерева.

Наибольшая биомасса впитывающих корней свежесрубленного дерева в молодняках *Va* образовывается на глубине 0-10 см и составляет $0,6 \pm 0,2$ т га⁻¹. С увеличением глубины биомасса впитывающих корней уменьшается. Общая сухая биомасса этих корней в почвенном слое на глубине 0-40 см составляет $0,8 \pm 0,2$ т га⁻¹.

Сумма переходных коэффициентов фракций биомассы $\sum c_i$ и диаметр дерева на высоте груди взаимно независимые показатели (это относится и к отдельным коэффициентам), поэтому при вычислении биомассы можно пользоваться средними арифметическими величинами переходных коэффициентов фракций биомассы.

Содержание углерода в различных фракциях надземной части дерева колеблется от $47,2 \pm 0,5\%$ в стволовой древесине до $52,6 \pm 0,6\%$ в листьях; в свою очередь в коре – $51,6 \pm 0,7\%$ и в сучковой древесине – $48,2 \pm 1,2\%$. Содержание углерода в корневых фракциях биомассы и в биомассе пня в среднем составляет $47,0 \pm 0,9\%$.

Ключевые слова: белая ольха, молодняки, биомасса, содержание углерода, переходные коэффициенты биомассы.

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

⁶ Латвийский сельскохозяйственный университет, Кафедра лесоводства, ул. Академияс 11, Елгава, LV-3001, Латвия

Ievads

Ekosistēmas, kā noteikta augu, dzīvnieku, sēņu un mikroorganismu kompleksa, pastāvēšanu galvenokārt nosaka dabiskā vide (klimate, augsnes) un cilvēku darbība. Viens no būtiskākajiem saimnieciskās darbības negatīvajiem faktoriem ir gaisa piesārņojums un oglekļa dioksīda (CO₂) daudzums atmosfērā, kas izmaina augu fizioloģiskās attīstības režīmu. Mežzinātnieku uzmanības lokā ir vairākas problēmas, no kurām aktuālākā – C akumulācijas palielināšanas iespējas, kur īpaša nozīme ir koksnei un augsnei (Cooper, 1983; Dixon *et al.*, 1994; Lakyda *et al.*, 1996; Brodmeadow, Methews, 2003; Kauppi *et al.*, 2002; Liski *et al.*, 2003; Brunner, Godbold, 2007).

Ņemot vērā zinātnieku atziņas, pasaules attīstītākās valstis 1992. gadā Riodežaneiro pieņēma ANO Vispārējo konvenciju par globālajām klimata izmaiņām (Konvencija), kuras mērķis ir sasniegt siltumnīcefekta gāzu (SEG) koncentrācijas stabilizāciju atmosfērā, lai mazinātu saimnieciskās darbības izraisīto klimata izmaiņu negatīvo ietekmi. Atbilstoši Konvencijas Kioto protokolam, kuru LR Saeima ratificēja 2002. gada maijā, Latvijai laikā no 2008. līdz 2012. gadam SEG emisijas jāsamazina par 8%, salīdzinot ar 1990. gadu. Tas nozīmē, ka valstīm, kas pievienojušās Kioto protokolam, savā teritorijā īstenojama periodiska SEG emisiju un CO₂ piesaistes uzskaitē.

Meži ir C absorbējošas ekosistēmas, kas nodrošina C uzkrāšanos, vienlaicīgi saražojot atjaunojamas un videi draudzī-

gas izejvielas enerģētikas un citu nozaru vajadzībām. Pasaulē meži aizņem ap 4 miljardiem hektāru jeb 30% no sauszemes teritorijas. Eiropas mērenā klimata joslā vien mežu saražotajā biomasā uzkrājas 110 t ha⁻¹ C, no kura apmēram 27 t ha⁻¹ akumulē sakņu biomasu (Daugaviete *et al.*, 2008).

Šobrīd Latvijas teritorijā notiek gan intensīva neizmantoto lauksaimniecības zemju apmežošana, gan dabiskā apmežošānās, tajā skaitā ar Ba, kas ir viena no pioniersugām izcirtumos ar auglīgām augsnēm un neapstrādātajās lauksaimniecības platībās. Ba ir suga, kas, neraugoties uz nereti sliktākiem augšanas apstākļiem, intensīvi aizņem arvien jaunas un brīvas teritorijas, veidojot tajās plašus krūmājus (Mauriņš, Zvirgzds, 2006; Daugaviete, 2010). Ba Latvijā ir otra izplatītākā lapu koku suga – pēc Meža statistiskās inventarizācijas datiem Ba mežaudzes aizņem 283 tūkst. ha jeb 9% no kopējās mežaudžu platības (Liepiņš, Liepiņš, 2009). Vairums Ba audžu ir dabiskas izcelsmes, no kurām liela daļa veidojušās, aizaugot lauksaimniecības zemēm (Indriksons, 2006).

Koku virszemes biomasu veido stumbra un zaru koksne, miza, lapas vai skujuas. Savukārt koka sakņu biomasu – balstsaknes (*coarse roots*), sīksaknes (*small roots*) un uzsūcošās saknes (*fine roots*) (Ohashi *et al.*, 2007; Helmisaari *et al.*, 2002; Makkonen, Helmisaari, 1998). Celms tiek izdalīts kā atsevišķa koka frakcija – virszemē un augsnē esoša atsevišķās saknēs nediferencēta stumbra daļa (Liepa, 2005). Saknes satur vidēji 20-40% no kopējā mežos uzkrātā C. Zinātnieki noskaidrojuši,

ka apmēram 48% no saknēs akumulētā C daudzuma atrodas koka dzīvajās sīksaknēs un uzsūcošajās saknēs (Jackson *et al.*, 1997).

Vairumā jaunaudzju nozīmīgu C daudzumu piesaista gan fitocenoze, gan augsne tās veidošanās procesā (Daugaviete *et al.*, 2008). Latvijā pētījumu par C uzkrāšanos meža virszemes un sakņu biomasā ir ļoti maz, īpaši trūkst datu par koka sakņu attīstību un tā biomasu.

C piesaistes aprēķini Nacionālajam SEG inventarizācijas ziņojumam veikti, izmantojot visām koku sugām vai to grupām (skujkoki un lapu koki) vienādas koeficientu vērtības (Penman *et al.*, 2003), kas būtiski samazinājis rezultātu precizitāti, tādēļ pētījuma mērķis – izstrādāt vienkāršotu metodiku koka frakciju biomasas aprēķināšanai un C uzkrāšanās apjoma noteikšanai virszemes un sakņu biomasā Ba jaunaudzēs.

Darba uzdevumi:

1. analizēt virszemes un sakņu masas apjomu Ba jaunaudzēs.

2. Noteikt biomasas un stumbra tilpuma attiecības paraugkoku frakcijām.

3. Noteikt C akumulācijas apjomu virszemes un sakņu biomasā Ba jaunaudzēs.

Materiāls un metodika

Pētījuma veikšanai izraudzītas Ba jaunaudzes vecumā līdz 10 gadiem. Ierīkoti 4 parauglaukumi audzēs, kur augšanas apstākļi pielīdzināmi damaksnim un vērim un kuras izveidojušas, apmežojoties bijušajām lauksaimniecības zemēm. Materiāli pētījumu veikšanai ievākti veģetācijas perioda laikā (no 2009. gada jūlija līdz augustam), kad koki ir lapoti. Parauglaukumu atrašanās vietas nosaukums, koordinātas, audzes vecums gados, šķērslaukums, bonitāte, krāja un koku skaits ha⁻¹ uzrādīts 1. tabulā.

Taksācijas metodika kokaudzes virszemes daļai pamatojas uz koku dendrometriskajiem mērījumiem, kas veikti, ierīkojot apļveida parauglaukumus ar rādiusu horizontālajā plaknē 5,64 m un

1. tabula, Table 1

Parauglaukumu raksturojums
Description of sample plot

Paraugkoka Nr. Sample tree No.	Koordinātas Coordinates		Atrašanās vieta Sample plot location	Audzes vecums Stand age	Bonitāte Site index	Šķērslaukums, m ² Basal area, m ²	Krāja, m ³ Growing stock, m ³	Koku skaits ha ⁻¹ Stand density
	Z N	A E						
1 - 09	57°28.410	024°42.690	Limbažu novads	4	1a	5,6	17,8	7700
2 - 09	56°56.421	024°40.300	Ropažu novads	6	3	11,0	25	11900
3 - 09	57°31.484	024°36.119	Limbažu novads	7	1	12,1	15,8	2000
4 - 09	57°31.510	024°34.190	Ogres novads	9	3	12,4	39,8	7200

platību 100 m². Parauglaukumos uzskaitīti visi koki: noteikts arī koku caurmērs 1,3 m augstumā (turpmāk – krūšaugstumā) virs sakņu kakla, bet atsevišķiem kokiem izmērīts augstums un noteikts vecums.

Paraugkoku atlase virszemes un sakņu biomasas ieguvei veikta pēc koku stumbra caurmēra krūšaugstumā un vidējā augstuma, iespēju robežās attiecībā 1:3:1 (viens minimālās, trīs – vidējās un viens – maksimālās caurmēra pakāpes koks). Paraugkoki atlasīti, iekļaujoties šādos precizitātes intervālos – caurmēra pakāpes vidējā vērtība ±0,2 cm un vidējā koka augstums ±0,3 m. Paraugkopu veido 20 atlasīti paraugkoki – 5 no katra parauglaukuma.

Virszemes biomasas izvērtēšanai nozāģēti lapoti paraugkoki. Virszemes biomasu veido koka redzamā daļa, tas ir, sākot no sakņu kakla – vietas, kas uzskatāma par stumbra sākumu. Virszemes biomasa sadalīta trijās frakcijās: stumbra koksne + miza, zaru koksne + miza, lapas; katra frakcija nosvēta ar precizitāti ±0,2 kg.

Sakņu biomasas frakcijas raksturo baltsaknes ($\emptyset > 20$ mm), sīksaknes ($2 < \emptyset < 20$ mm) un uzsūcošās saknes ($\emptyset < 2$ mm) (Ohashi *et al.*, 2007; Helmisaari *et al.*, 2002; Makkonen, Helmisaari, 1998). Darba ietvaros baltsaknes un sīksaknes apvienotas vienā frakcijā un turpmāk tekstā apzīmētas kā rupjās saknes, kuru masa noteikta, atrokot sakņu sistēmu un atdalot augsnes daļiņas (noskalojot), kas pēc tam nosvērtas ar precizitāti ±0,2 kg. Uzsūcošo sakņu paraugi ņemti ar Ejkelkamp firmas augsnes

urbi (100 cm³ cilindru). Paraugkoku vaina ga projekcijas laukumā uzsūcošo sakņu biomasas noteikšanai astoņās vietās ņemti augsnes paraugi 0-10 cm, 11-20 cm, 21-30 cm un 31-40 cm dziļumā.

Kopējās biomasas noteikšanai iekļauta arī celma frakcija, t.i. tā virszemē un augsnē esošās daļas, ar pēdējo saprotot monolīto, atsevišķās saknēs nediferencēto daļu (Liepa, 2005).

Akumulētā C daudzums noteikts septiņām paraugkoka frakcijām – stumbra koksnei, zaru koksnei, mizai, lapām, celmam, rupjajām un arī uzsūcošajām saknēm.

Stumbra koksnei un mizai, kā arī zaru koksnei un mizai paraugkoka vidējais paraugs iegūts, ņemot paraugus no attiecīgās frakcijas piecās vietās. Lapu vidējais paraugs dabūts, atdalot no zariem visas lapas, pēc tam tās samaisot un paņemot 50-150 g no šīs kopējās frakcijas masas. C noteikšanai, ņemot rupjo sakņu paraugus, aptverts iespējami plašākais sakņu caurmēra intervāls (parauga svars 150-200 g). Paraugkoku uzsūcošo sakņu paraugi C satura noteikšanai apvienoti laboratorijas apstākļos.

Dendrometriskie lielumi izskaitļoti, izmantojot parauglaukumos uzņēmīto koku datus. Katrai jaunaudzei aprēķināti šādi rādītāji:

a) koku skaits N , ha⁻¹

$$N = N_p \cdot 100, \text{ kur} \quad (1)$$

N_p – koku skaits parauglaukumā, kura platība 100 m².

Atbilstoši formulai (1) iegūts koku skaits ha⁻¹, kas izmantots koka frakciju biomasas aprēķināšanai (t ha⁻¹). Lai izskaitļotu absolūti sausu koka frakciju biomasu,

paraugi žāvēti 105°C – līdz pastāvīgi nemainīgai masai (Uri *et al.*, 2002).

b) audzes vidējā koka šķērslaukums g_v , m²

$$g_v = \frac{\sum g_j}{N}, \text{ kur} \quad (2)$$

g_j – atsevišķa koka šķērslaukums, m²;

c) audzes vidējā koka caurmērs d_v , cm

$$d_v = \sqrt{4 \cdot \frac{g_v}{\pi}}, \text{ kur} \quad (3)$$

g_v – audzes vidējā koka šķērslaukums, m²;

d) audzes šķērslaukums G , m²

$$G = g_v \cdot N \quad (4)$$

e) stumbra tilpums ar mizu V , m³

$$V = \psi \cdot H^a \cdot D^{(\beta L + \varphi)}, \text{ kur} \quad (5)$$

H – stumbra garums, m;

D – stumbra caurmērs ar mizu krūšaugs-tumā virs sakņu kakla, cm;

ψ , α , β , φ – empīriski noteikti koeficienti baltalksnim ($\psi = 0,7450 \cdot 10^{-4}$; $\alpha = 0,81295$; $\beta = 0,06935$; $\varphi = 1,8546$) (Liepa, 1996).

Tradicionāli koka frakciju biomasu aprēķina, izmantojot paraugkoku pētījumu noskaidrotos biomasas pārrēķina koeficientus c_i :

$$c_i = \frac{m_i}{m}, \text{ kur} \quad (6)$$

c_i – attiecīgās biomasas frakcijas pārrēķina koeficients, t m⁻³;

m_i – attiecīgās koka daļas biomasas, t;

m – koka stumbra tilpums, m³ (Liepa, 2005).

Pētījumā biomasas pārrēķina koeficienti iegūti, izmantojot lauku darbos ievāktos svaigas frakciju biomasas datus.

Biomasas pārrēķina koeficientu, pareizinot ar stumbra tilpumu vai kokaudzes krāju, iegūstama attiecīgās koka daļas svaigi cirstas frakcijas biomasas:

$$m_f = M \cdot c_i, \text{ kur} \quad (7)$$

m_f – attiecīgās koka daļas biomasas, t;

M – koka stumbra tilpums vai kokaudzes

krāja, m³;

c_i – attiecīgās biomasas frakcijas pārrēķina koeficients, t m⁻³.

Koeficientu c_i ticamības intervālu aprēķina:

$$\bar{x} - t_{\alpha;v} \cdot s_{\bar{x}} \leq \mu \leq s_{\bar{x}} \cdot t_{\alpha;v} + \bar{x}, \text{ kur} \quad (8)$$

\bar{x} – aritmētiskais vidējais;

$t_{\alpha;v}$ – Stjudenta koeficients (aprēķināts, izmantojot Microsoft office Excel funkciju $\text{tinv}_{(\alpha;v)}$);

s – standartnovirze.

Kopējā C satura noteikšanai biomasas paraugos pielietots oglekļa elementanalizators *LECO CR-12*, kura uzbūves pamatā ir dedzināšanas kameras (mērīšanas un references kameras). Metode balstīta uz CO₂ detektēšanu ar infrasarkanu starojumu (LECO Corporation, 1987).

Lai iegūtie rezultāti būtu salīdzināmi, aprēķināts C saturs absolūti sausos koksnes frakciju paraugos. Analizēm ņemti paraugi ar atbilstošu mizas sektoru un izžāvēti 105°C – līdz absolūti sausai (pastāvīgi nemainīgai) masai (Uri *et al.*, 2002); koksnes frakciju paraugu absolūtais mitrums izskaitļots, izmantojot vienādojumu:

$$M = \frac{A - B}{B - C} \cdot 100\%, \text{ kur} \quad (9)$$

M – absolūtais koksnes mitrums, %;

A – sverglāzītes un gaissausas vai svaigas koksnes masa, g;

B – sverglāzītes un absolūti sausas koksnes masa (izžāvēta 105°C), g;

C – sverglāzītes masa, g.

Rezultāti un diskusija

Kā liecina zinātnieku pētījumi, jebkuras koku sugas augšanu, tajā skaitā arī Ba, nosaka augsnes auglība. Par sugas aug-

šanas ātrumu spriež pēc bonitātes – audzes vidējā augstuma konkrētā vecumā. Taču audzes bonitāte uzrāda koku augšanas efektu garumā, bet neraksturo audzes biomasas apjomu (Uri *et al.*, 2007).

Pētījuma ietvaros virszemes un sakņu masas apjomu Ba jaunaudzēs skaidro 2. tabula, kur paraugkoku stumbra caur-

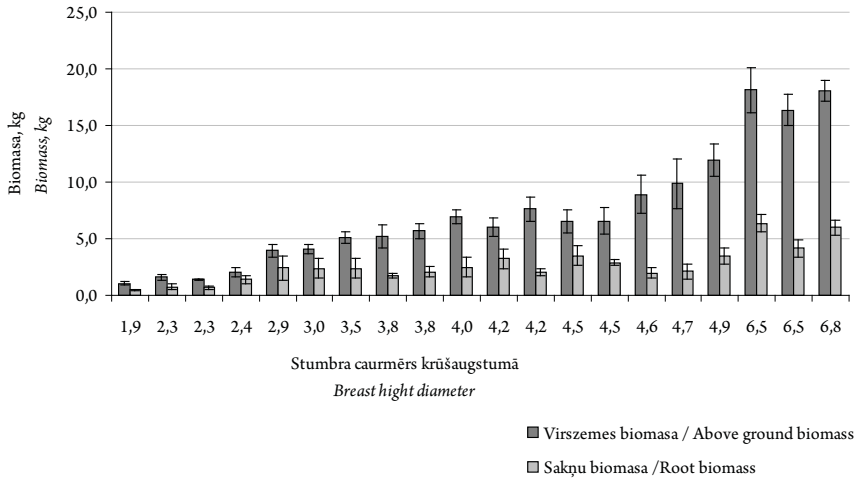
mērs krūšaugstumā pārstāvēts $d_{min} = 1,9$ cm un $d_{maks} = 6,8$ cm, augstums $h_{min} = 4,4$ m un $h_{maks} = 7,9$ m.

Svaigi cirstas virszemes biomasas, sakņu un celma biomasas vidējā attiecība Ba jaunaudzēs ir 3:1 (1. attēls). Šajā attēlā kopā ar aritmētiskā vidējā vērtībām uzrādīts arī izkliedes intervāls. Analoga

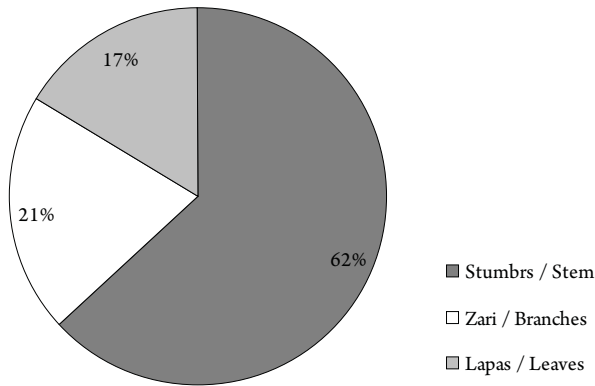
2. tabula, Table 2

Svaigas virszemes un sakņu biomasas sadalījums
Distribution in different fractions of freshly cut above-ground and root biomass

Paraugkoka Nr. Sample tree No.	$d_{1,3}$, cm	h, m	Biomasas, kg Biomass, kg					
			Stumbrs Stem	Zari Branches	Lapas Leaves	Celms Stump	Rupjās saknes Coarse roots	Kopā Total
1	4,5	5,9	4,5	1,4	0,6	1,1	2,4	10,0
2	4,2	6,0	3,9	1,6	0,5	1,0	2,2	9,3
3	4,5	5,9	4,5	1,0	1,1	1,2	1,7	9,4
4	6,5	6,9	12,6	3,2	2,3	2,6	3,9	24,5
5	2,4	4,5	1,3	0,4	0,3	0,5	0,8	3,5
6	3,5	4,7	2,8	1,2	1,1	0,6	1,8	7,4
7	2,3	4,5	1,1	0,2	0,3	0,2	0,6	2,4
8	2,9	4,4	2,4	0,8	0,8	0,4	2,0	6,4
9	3,0	4,5	2,2	1,0	0,9	0,6	1,8	6,5
10	4,0	5,4	3,8	1,7	1,4	0,6	1,8	9,4
11	4,2	5,9	4,3	1,5	1,3	0,8	1,2	9,1
12	3,8	5,8	3,6	0,8	0,8	0,7	1,0	6,9
13	3,8	5,8	3,5	1,3	0,9	0,7	1,4	7,7
14	4,9	6,9	7,2	2,7	2,0	1,2	2,2	15,4
15	1,9	4,4	0,7	0,1	0,2	0,2	0,2	1,5
16	6,5	7,5	9,1	4,0	3,2	1,5	2,6	20,5
17	2,3	4,9	0,9	0,3	0,3	0,2	0,4	2,3
18	4,6	7,5	6,7	1,2	1,0	0,7	1,3	10,9
19	4,7	7,9	7,6	1,1	1,1	0,6	1,5	12,0
20	6,8	7,9	9,3	4,6	4,1	2,5	3,5	24,1
Vidēji Average			4,6	1,5	1,2	0,9	1,7	10,0



1. attēls. Svaigi cirstu paraugoku virszemes un sakņu biomasas sadalījums.
 Figure 1. Distribution of above-ground and root biomass of freshly cut sample tree.



2. attēls. Vidējais svaigi cirstu paraugoku virszemes biomasas procentuālais sadalījums.
 Figure 2. Average distribution of above-ground biomass fractions of freshly cut sample trees.

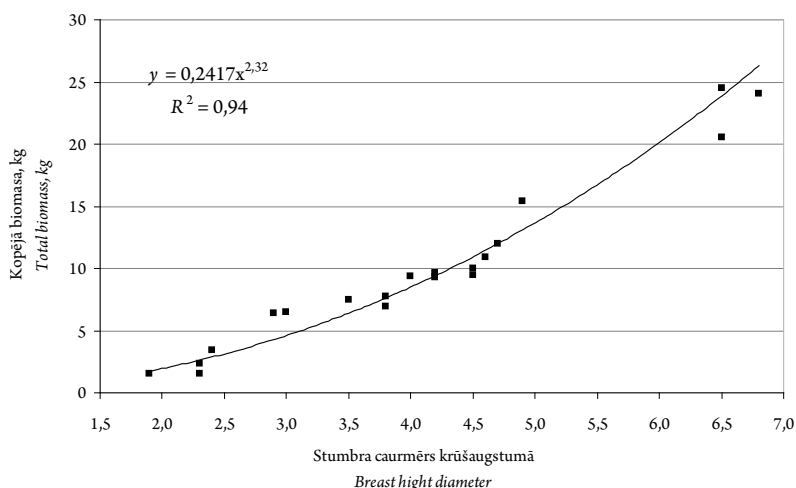
biomasas sadalījuma tendence Ba plantācijās bijušajās lauksaimniecības zemēs konstatēta arī pētījumos Igaunijā (Uri *et al.*, 2007).

Svaigi cirsta paraugkoka stumbra vidējā masa ir $4,6 \pm 1,5$ kg, zaru $1,5 \pm 0,5$ kg un lapu masa $1,2 \pm 0,4$ kg. Šo frakciju proporcionālo iedalījumu raksturo 2. attēls. Attiecīgi 62% no kopējās paraugkoka virszemes biomasas veido stumbra masa, 21% – zaru un 17% – lapu masa. Pētījumā konstatēts, ka vidējā, absolūti sausā virszemes masa Ba jaunaudzēs ir $23,4 \pm 2,6$ t ha⁻¹: attiecīgi stumbra biomasā – $14,7 \pm 1,5$ t ha⁻¹, zaru – $4,8 \pm 0,5$ t ha⁻¹ un lapu – $3,9 \pm 0,4$ t ha⁻¹.

Aprēķinot biomasu kā funkciju no paraugkoka stumbra caurmēra krūšaugstumā, secināts, ka starp paraugkoka stumbra caurmēru krūšaugstumā un kopē-

jo koka biomasu pastāv cieša pozitīva korelācija, ko raksturo determinācijas koeficients $R^2 = 0,94$ (3. attēls).

Bijušajās lauksaimniecības zemēs 1/3 no Ba jaunaudžu kopējās biomasas sastāda sakņu biomasā. Ari igauņu zinātnieki (Uri *et al.*, 2002) konstatējuši, ka no kopējās koka biomasas Ba audzēs līdz pat 1/3 veido sakņu biomasā. Salīdzinot sakņu un celma biomasas frakcijas, noskaidrots, ka svaiga rupjo sakņu biomasā vidēji ir divas reizes lielāka nekā celma biomasā (4. attēls.). Vidēji paraugkoku (1-10 gadi) rupjo sakņu un celma biomasā ir $2,6 \pm 0,6$ kg, t.i., celma biomasā – $0,8 \pm 0,4$ kg un rupjo sakņu biomasā – $1,7 \pm 0,4$ kg. Pētījumā iegūtie rezultāti liecina, ka Ba jaunaudzēs absolūti sausa rupjo sakņu un celma biomasā vidēji ir $8,7 \pm 0,3$ t ha⁻¹,



3. attēls. Sakarība starp paraugkoku stumbra caurmēru krūšaugstumā un kopējo svaigo biomasu.

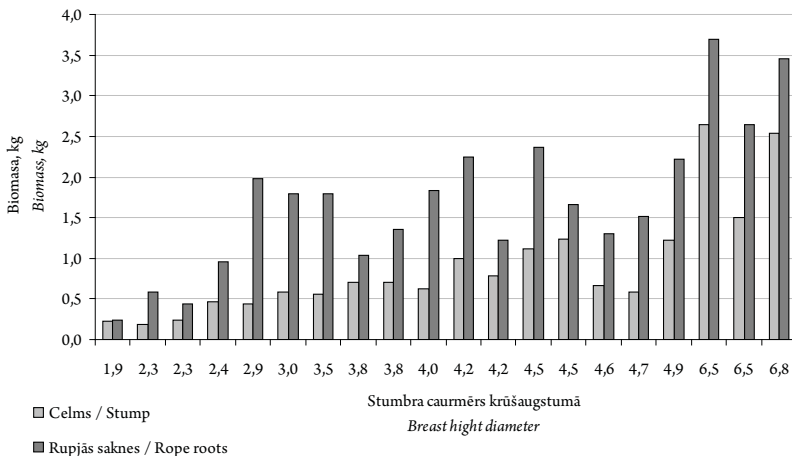
Figure 3. Equation characterizing relation between the sample tree d.b.h. and the total amount of fresh biomass.

kas sastāda 27% no kopējās virszemes biomasas.

Uzsūcošās saknes ir būtiski svarīga koka sastāvdaļa, kas nodrošina ūdens un barības vielu uzņemšanu. 5. attēlā parādīts vidējais svaigi cirstu paraugkoku uzsūcošo sakņu biomasas izvietojums augsnē dažādā dziļumā. Salīdzinot uzsūcošo sakņu biomasu dažādā dziļumā, secināts, ka lielākā svaigi cirsta koka uzsūcošo sakņu biomasa Ba jaunaudzēs atrodas 0-10 cm dziļumā – $0,6 \pm 0,02 \text{ t ha}^{-1}$, savukārt 11-20 cm dziļumā – $0,3 \pm 0,01 \text{ t ha}^{-1}$, 21-30 cm dziļumā – $0,2 \pm 0,01 \text{ t ha}^{-1}$ un 31-40 cm dziļumā – $0,1 \pm 0,01 \text{ t ha}^{-1}$. Kopējā uzsūcošo sakņu absolūti sausa biomasa augsnes slānī 0-40 cm dziļumā ir $0,8 \pm 0,2 \text{ t ha}^{-1}$. V. Uri (Uri *et al.*, 2007) veiktajos pētījumos Igaunijā absolūti

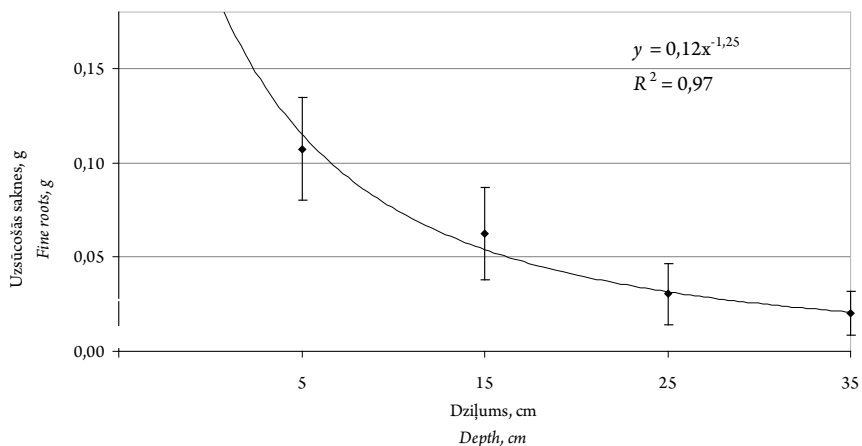
sausā uzsūcošo sakņu biomasa 0-80 cm dziļumā ir $870 \pm 140 \text{ kg ha}^{-1}$. Arī citu ziņātņu izpētes rezultāti liecina, ka Ba uzsūcošās saknes augsnē ir izvietojušās līdz 40 cm dziļumam, un lielākā sakņu biomasa atrodas 0-20 cm dziļumā (Uri *et al.*, 2002; Uri *et al.*, 2007; Rytter, 1989).

Pastāv cieša sakarība starp uzsūcošo sakņu biomasu un augsnes slāņa dziļumu, ko raksturo determinācijas koeficients $R^2 = 0,97$ (5. attēls). Dziļākos augsnes slāņos uzsūcošo sakņu biomasa pakāpeniski samazinās. Apstiprinājumu guvusi atziņa, ka Ba sakņu sistēma ir virspusēja un labi sazarota (Mauriņš, Zvirgzds, 2006), kā tas arī redzams 5. attēlā, kur lielākā uzsūcošo sakņu biomasas daļa izvietojusies augsnes virskārtā, t.i. 0-10 cm dziļumā.



4. attēls. Svaigi cirstu paraugkoku celmu un rupjo sakņu biomasas sadalījums.

Figure 4. Distribution of biomass between freshly cut sample stump and rope roots.



5. attēls. Sakarība starp svaigu uzsūcošo sakņu biomasu un parauga ņemšanas dziļumu.
 Figure 5. Relation between the biomass of fine roots and sampling depth.

Zinātniskajā literatūrā minēts, ka uzsūcošo sakņu biomasu veido 3% no kopējās koka biomasas (Helmisaari *et al.*, 2007). Mūsu pētījumā iegūtie dati arī to apstiprina, jo empiriskā materiāla analīzē uzrāda, ka Ba jaunuzdzēs uzsūcošo sakņu biomasu ir aptuveni $2,6 \pm 0,8\%$ no kopējās koka biomasas, savukārt uzsūcošo sakņu biomasu no kopējās sakņu biomasas sastāda vidēji $8,8 \pm 0,3\%$.

Koka biomasas noteikšanas atvieglošanai izstrādāti biomasas pārrēķina koeficienti, par pamatlielumu pieņemot stumbra tilpumu. Atbilstoši formulai (6), biomasas pārrēķina koeficienti ir attiecīgās paraugkoka frakcijas biomasas un stumbra tilpuma attiecība (3. tabula). Pētījuma ietvaros biomasas pārrēķina koeficienti noteikti stumbra koksnei, zaru koksnei,

lapām, celmam, rupjajām saknēm, kā arī kopējai koka biomasai (Σc_i).

Koeficientu c_i ticamības intervāli aprēķināti atbilstoši 8. formulai:

- stumbra koksnes biomasas koeficienta ticamības intervāls –
 $0,5072 \leq \text{stumbra koksne} \leq 1,2368$;
- zaru koksnes biomasas koeficienta ticamības intervāls –
 $0,0772 \leq \text{zaru koksne} \leq 0,4827$;
- lapu biomasas koeficienta ticamības intervāls –
 $0,0601 \leq \text{lapas} \leq 0,4174$;
- celma biomasas koeficienta ticamības intervāls –
 $0,0628 \leq \text{celms} \leq 0,3069$;
- rupjo sakņu biomasas koeficienta ticamības intervāls –
 $0,0087 \leq \text{rupjās saknes} \leq 0,7756$;

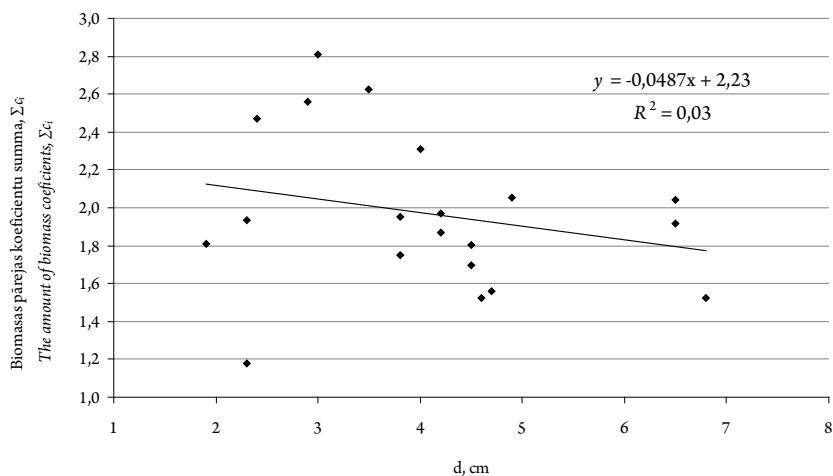
Svaigas biomasas pārrēķina koeficienti
Recalculation coefficients for freshly cut biomass

Paraugko- ka Nr. Sample tree No.	V, m ³	Koeficienti Coefficients					
		Stumbrs Stump	Zari Branches	Lapas Leaves	Celms Stem	Rupjās saknes Coarse roots	Σc_i
1	0,0056	0,8045	0,2604	0,1141	0,2014	0,4243	1,8047
2	0,0049	0,7881	0,3316	0,0949	0,2014	0,4545	1,8704
3	0,0056	0,8034	0,1834	0,1907	0,2230	0,2985	1,6990
4	0,0129	0,9818	0,2490	0,1785	0,2060	0,3034	1,9187
5	0,0013	0,9886	0,2846	0,2510	0,3445	0,5992	2,4678
6	0,0028	0,9798	0,4088	0,4018	0,1974	0,6344	2,6221
7	0,0012	0,9095	0,1462	0,2598	0,1462	0,4710	1,9326
8	0,0025	0,9473	0,3292	0,3131	0,1766	0,7948	2,5610
9	0,0023	0,9712	0,4336	0,3729	0,2515	0,7805	2,8097
10	0,0041	0,9232	0,4272	0,3536	0,1522	0,4518	2,3081
11	0,0049	0,8984	0,3036	0,2625	0,1600	0,2502	1,8747
12	0,0040	0,9119	0,1915	0,2066	0,1763	0,2620	1,7483
13	0,0040	0,8918	0,3174	0,2217	0,1763	0,3426	1,9498
14	0,0075	0,9644	0,3580	0,2725	0,1630	0,2965	2,0543
15	0,0008	0,8802	0,1427	0,2379	0,2617	0,2855	1,8079
16	0,0100	0,9108	0,4006	0,3189	0,1495	0,2631	2,0427
17	0,0013	0,6956	0,2571	0,1815	0,2419	0,3327	1,7088
18	0,0071	0,9429	0,1684	0,1389	0,0926	0,1824	1,5252
19	0,0077	0,9946	0,1458	0,1432	0,0755	0,1979	1,5570
20	0,0158	0,5925	0,2918	0,2620	0,1611	0,2188	1,5262
c_{vid}		0,8720	0,2800	0,2388	0,1849	0,3922	1,9679

- biomasas pārrēķina koeficienta Σc_i ticamības intervāls –
 $1,1042 \leq \Sigma c_i \leq 2,8315$.

I. Liepas (2005.) pētījuma dati par virszemes un sakņu biomasas apjomu egļu audzēs liecina, ka biomasas frakciju pārrēķina koeficientu summa Σc_i un koku stumbra caurmērs krūšaugstumā ir savstar-

pēji neatkarīgas pazīmes (tas attiecināms arī uz atsevišķiem koeficientiem). Šāda sakarība novērojama arī paraugkokiem Ba jaunaudzēs, un to raksturo determinācijas koeficients $R^2 = 0,03$ (6. attēls), no kā izriet, ka biomasas aprēķināšanai var lietot arī biomasas pārrēķina koeficientu aritmētiskās vidējās vērtības (3. tabula).



6. attēls. Sakarība starp svaigas biomasas pārrēķina koeficientu summu Σc_i un koka stumbra caurmēru krūšaugstumā.

Figure 6. Interdependence of the sum of freshly cut biomass recalculation factors Σc_i .

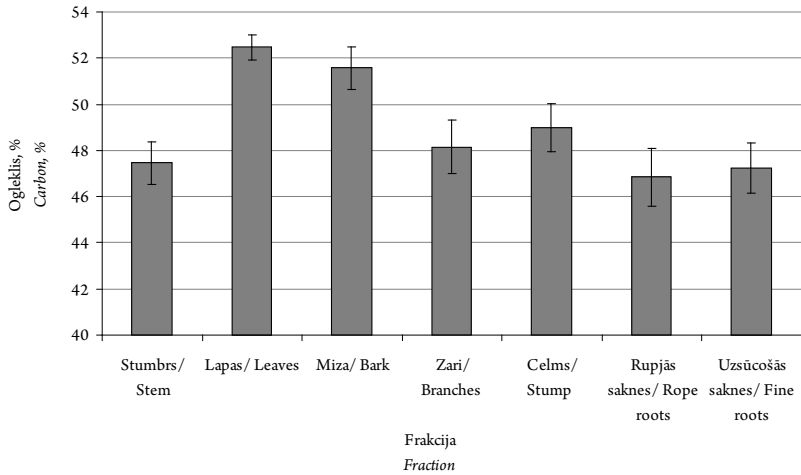
Empīriskos punktu izkliede 6. attēlā ir relatīvi plaša, kas skaidrojams ar paraugkopai piemītošo dendrometrisko, fitocenotisko un edafisko daudzveidību.

Ba, kā ātraudzīga koku suga, ir izcils ogļskābās gāzes akumulētājs. Pētījumā noteikts C saturs atsevišķās koka biomasas frakcijās.

Oglekļa saturs dažādās virszemes koka absolūti sausas koksnes frakcijās svārstās no $47,2 \pm 0,5\%$ stumbra koksne līdz $52,6 \pm 0,6\%$ lapās, savukārt mizā $51,6 \pm 0,7\%$ un zaru koksne $48,2 \pm 1,2\%$ (7. attēls). Literatūrā minēts, ka uzsūcošajām saknēm ir liela nozīme C piesaistē sakņu sistēmai (Jackson *et al.*, 1997), tādēļ izpēti ietvaros īpaša uzmanība pievērsta šo sakņu biomasai un tajā akumulētajam C daudzumam. Pētījumos par C „rezer-

vuāriem” meža ekosistēmās konstatēts, ka 7% no kopējā C daudzuma kokā uzkrājas sakņu biomasā (Fronczak, 2008). Savukārt no sakņu biomasā akumulētā C daudzuma 48,8% atrodas dzīvajās – uzsūcošajās koka saknēs (Brunner, Godbold, 2007). Aprēķini par sakņu biomasas frakcijās uzkrāto oglekli Ba jaunaudzēs liecina, ka rupjās saknes satur $46,8 \pm 0,8\%$ C, uzsūcošās saknes – $47,2 \pm 1,1\%$, savukārt celma frakcija – $48,9 \pm 1,0\%$ C (7. attēls).

Statistiski pārbaudot un salīdzinot C saturu dažādās koka frakcijās, konstatēts, ka akumulētā C daudzuma ziņā nav būtisku atšķirību starp lapu un mizu frakcijām ($p > 0,05$), kā arī starp stumbra, zaru, celma, rupjo sakņu un uzsūcošo sakņu frakcijām (7. attēls).



7. attēls. Oglekļa saturs virszemes un sakņu biomasā.

Figure 7. Carbon storage in the above-ground and root biomass.

Vidēji uz 1 ha Ba jaunaudzēs virszemes absolūti sausa masa piesaista 11,0 ±6,9 t C, t.i., stumbrs – 6,3 ±3,9 t C, lapas – 2,0 ±1,4 t C, miza – 0,6 ±0,1 t C un zari – 2,1 ±1,5 t C. Savukārt absolūti sau-

sā sakņu biomasā vidēji ir 2,8 ±1,7 t C ha⁻¹, t.i., rupjajās saknēs – 2,5 ±1,6 t C ha⁻¹, bet uzsūcošajās saknēs – 0,3 ±0,1 t C ha⁻¹. Celma biomasā vidēji piesaista 1,4 ±0,5 t C ha⁻¹.

Secinājumi

1. Vidējā aprēķinātā virszemes absolūti sausa biomasā Ba jaunaudzēs ir 23,4 ±2,6 t ha⁻¹, kas pa frakcijām sadalās šādi: stumbra biomasā – 14,7 ±1,5 t ha⁻¹; zaru biomasā – 4,8 ±0,5 t ha⁻¹ un lapu biomasā – 3,9 ±0,4 t ha⁻¹. Vidēji absolūti sausa rupjo sakņu un celma biomasā Ba jaunaudzēs ir 8,7 ±0,3 t ha⁻¹, uzsūcošo sakņu biomasā augsnes slānī 0-40 cm dziļumā – 0,8 ±0,2 t ha⁻¹.
2. Biomasas frakciju pārrēķina koeficientu summa $\sum c_i$ un koku stumbra caurmērs krūšaugstumā ir savstarpēji neatkarīgas pazīmes (tas attiecas arī uz atsevišķiem koeficientiem), tādēļ aptuvenai biomasas aprēķināšanai lietojamas biomasas pārrēķina koeficientu aritmētiskās vidējās vērtības.
3. Vidējais C saturs dažādās virszemes koka absolūti sausas koksnes frakcijās

svārstās no $47,2 \pm 0,5\%$ stumbra koksnē līdz $52,6 \pm 0,6\%$ lapās. Absolūti sausas sakņu biomasas frakcijās uzkrātā C aprēķinātais iznākums rāda, ka vidēji rupjās saknes satur $46,8 \pm 0,8\%$ C, uzsūcošās saknes – $47,2 \pm 1,1\%$ C, savukārt celma frakcija – $48,9 \pm 1,0\%$ C.

Literatūra

- Brodmeadow, M., Methews, R.** (2003). Forests, Carbon and Climate Change: the UK Contribution. Information. [WWW dokuments]. – URL <http://www.forestry.gov.uk> [izdrukāts 2010. gada 20. novembrī].
- Brunner, I., Godbold, D. L.** (2007). Tree roots in a changing world. *Journal of Forest Research*, 12, 78-82.
- Cooper, F. C.** (1983). Carbon storage in managed forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 13, 155-166.
- Daugaviete, M.** (2010). Biomasas uzkrāšanās baltalkšņa (*Alnus incana* (L.) Moench) jaunaudzēs. *Mežzinātne*, 21(54), 16-30.
- Daugaviete, M., Gaitnieks, T., Kļaviņa, D., Teliševa, G.** (2008). Oglekļa akumulācija virszemes un sakņu biomasā priedes, egles un bērza stādījumos lauksaimniecības zemēs. *Mežzinātne*, 18 (51), 35-52.
- Dixon, R. K., Brown, S., Houghton, R. A., Solomon, A. M., Trexler, M. C., Wisniewski J.** (1994.). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263, 185-190.
- Fronczak, K.** (2008). Forest in the face of the greenhouse effect. *Poland State Forests*, Warszawa, 16-17.
- Helmisaari, H. S., Makkonen, K., Kellomaki, S., Valtonen, E., Malkonen, E.** (2002). Below – and above ground biomass, production and nitrogen use in Scots pine stands in eastern Finland. *Forest Ecology and Management*, 165, 317-326.
- Helmisaari, H. S., Derome, J., Nojd, P., Kukkola, M.** (2007). Fine root biomass in relation to site and stand characteristics in Norway spruce and Scots pine stands. *Tree Physiology*, 27, 1493-1504.
- Jackson, R. B., Mooney, H. A., Schulze, E. D.** (1997). A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 94, 7362-7366.
- Kauppi, P. E., Mielikäinen, K., Kuuselan, K.** (1992). Biomass and carbon budget of European forests, 1971–1990. *Science*, 256, 70-74.
- Lakyda, P., Nilson, S., Shvidenko, A.** (1996). Estimation of forest phytomass for selected countries of the former European USSR. *Biomass and Bioenergy*, 11(5), 371-382.
- Leco Corporation (1987). Instrumental manual Carbon System CR-12. USA, LECO, 151 p.
- Liepa, I.** (1996). Pieauguma mēcība. LLU, Jelgava, 123 lpp.

- Liepa, I.** (2005). Piesaistītā oglekļa un oglekļa dioksīda apjoma un dinamikas noteikšana Latvijas egļu mežos. Pārskats par Zemkopības ministrijas Meža attīstības fonda pasūtīto pētījumu, Jelgava, 3.-19. lpp.
- Liepiņš, K., Liepiņš, J.** (2009). Baltalkšņa stādījumi lauksaimniecības augsnēs – pielietojamais stādmateriāls un agrīnā augšanas gaita. Lapu koku audzēšanas un racionālas izmantošanas pamatojums, jauni produkti un tehnoloģijas. KĶI, 32.-34. lpp.
- Liski, J., Korotkov, A., Prins, Ch., Karjalainen, T., Victor, D., Kauppi, P.** (2003). Increased Carbon Sink in Temperate and Boreal Forests. *Climat Change*, 61(19), 89-99.
- Makkonen, K., Helmisaari, H. S.** (1998). Seasonal and yearly variations of fine-root biomass and necromass in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stand. *Forest Ecology and manegement*, 102, 283-290.
- Ohashi, M., Kilpelainen, J., Finer, L., Risch, A. C., Domisch, T., Neuvonen, S., Niemela, P.** (2007). The effect of red wood ant (*Formica rufa* group) mounds on root biomass, density, and nutrient concentrations in boreal managed forests. *Journal of Forest Research. The Japanese Forest Society and Springer*, 113-119.
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipat i, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner, F.** (eds) (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, Institute for Global Environmental strategies (IGES), 2108 -11, Kamiyamaguchi, Hayama, Kanagawa, Japan, 587 pp.
- Rytter, L.** (1989). Distribution of roots and root nodules and biomass allocation in young intensively managed grey alder stands on a peat bog. *Plant and soil*, 119 (1), 71-79.
- Skudra, P., Dreimanis, A.** (1993). Mežsaimniecības pamati. Zvaigzne, Rīga, 383 lpp.
- Uri, V., Tullus, H., Lohmus, K.** (2002). Biomass production and nutrient accumulation in short-rotation grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. *Forest Ecology and Management*, 161 (1), 161 – 179.
- Uri, V. Lohmus K., Kiviste, A., Aosa, J.** (2007). The dynamics of biomass production in relation to foliar and root traits in a grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. *Oxford Journals, Life Sciences, Forestry*, 82, 61-74.