

## Baltalkšņa bezlapotās virszemes biomasas noteikšanas metodes Methods of Estimation of Grey Alder Above-Ground Biomass without Foliage

Olga Miezīte, Andrejs Dreimanis

LLU Meža fakultāte

Forest Faculty, LLU

e-mail: Olga.Miezite@llu.lv; Andrejs.Dreimanis@llu.lv

**Abstract.** Grey alder *Alnus incana* (L.) Moench stands cover 190.6 thousand ha, which is equal to 6.8% from the total forest area in Latvia and has a total yield of 31.3 million m<sup>3</sup>. Increasing deficit of fuel stresses the need to search for alternative energy resources for heating purposes. Grey alder is a fast growing tree species, capable to produce notable wood volume in a short period of time. Based on data from 188 sample trees, collected in different regions of Latvia during years 2005–2007, regression equations for calculation of naturally moist and absolutely dry above-ground biomass of defoliated trees have been proposed. For grey alder trees with breast height diameter up to 3.0 cm, above-ground biomass without foliage in naturally moist conditions can be calculated according to equation  $y=0.3427x^2-0.3063x+0.1636$ , but in absolutely dry conditions according to equation  $y=0.1529x^2-0.1408x+0.0845$ , where argument (x) is breast height diameter of tree. Corresponding equations for trees with breast height diameter from 3.1 to 26.0 cm are:  $y=0.1357x^{2.5377}$  and  $y=0.07x^{2.5059}$ . Stand level analysis is based on data from 55 unthinned grey alder stands at the age of 2–30 years. Above-ground biomass without foliage for grey alder stands can be calculated according to regression equations: in naturally moist conditions  $y=2.2327x^{1.3652}$ , in absolutely dry conditions  $y=1.0532x^{1.3627}$ .

**Key words:** naturally moist, absolutely dry, breast height diameter, basal area.

### Ievads

Baltalksnis *Alnus incana* (L.) Moench aizņem 190.6 tūkst. ha jeb 6.8% no Latvijas mežaudžu platības ar kopējo krāju 31.3 miljoni m<sup>3</sup>. No baltalkšņa audžu kopējās krājas 4.9% pieder valstij un 95.1% pārējiem mežu īpašniekiem (Meža statistika, 2006). Palielinoties atjaunojamo dabas resursu nozīmei enerģētikā, sevišķi siltumenerģijas ražošanā, mainās arī baltalkšņa mežsaimnieciskā un tautsaimnieciskā nozīme. Arvien biežāk baltalksnis tiek uzskatīts par perspektīvu koku sugu biomasas iegūšanai un siltuma enerģijas ražošanai. Siltuma iegūšanai bez papildu izdevumiem var izmantot visu virszemes biomasu, kuru sasmalcinot iegūst kurināmo šķeldu. Līdz šim biomasas noteikšanas metodes un tās apjomi ir pētīti nepietiekami. Tāpēc svarīgi ir izvērtēt baltalkšņa un baltalkšņa audžu biomasas apjomus.

Literatūrā bieži atrodamas norādes, ka baltalksnis vērtējams kā ātraudzīga koku suga, kas īsā laika periodā spēj producēt ievērojamu koksnes daudzumu (Ozols, Hibners, 1927; Brants, 1929; Kundziņš, 1937; Mūrnieks, 1950). Jāatzīmē, ka iepriekš minētie autori biomasas jēdzienu nelieto.

Dabiskās un cilvēka radītās meža ekosistēmas atrodas mainīgos un atšķirīgos vides apstākļos, kas

tās ietekmē visdažādākajos veidos, izraisot lielu to daudzveidību. Baltalkšņa audzes veido visai savdabīgas ekosistēmas, jo daudzos gadījumos tās veidojušās neapstrādātās bijušajās lauksaimniecības zemēs. Baltalkšņa saimnieciskais nozīmīgums izpaužas tā ātraudzībā un spējā sekmīgi atjaunoties ar sēklām un celma un sakņu atvasēm. Baltalkšņa audžu izcirtumi, salīdzinot ar citām koku sugām, bagātīgi atjaunojas ar sakņu atvasēm, kas samazina meža atjaunošanas izmaksas. Tātad baltalkšņa audžu padziļināta izpēte no tautsaimnieciskā viedokļa ir aktuāla.

Biomasas tieša noteikšana kādai audzei vai lielākam audžu kopumam tiešā veidā nav iespējama lielā darba apjoma dēļ. Vairumā gadījumu biomasas apjoma noteikšanai izmanto parādību adekvāti raksturojošus regresijas vienādojumus. Eiropā augošo koku sugu biomasas apjomu aprēķināšanas regresijas vienādojumi ir visai atšķirīgi. Vienādojumi var būt diferencēti koka, stumbra, zaru, lapotnes, celma un sakņu biomasas aprēķināšanai. Par argumentu bieži izmanto stumbra caurmēru vai caurmēra un augstuma reizinājumu (Muukkonen, Mäkipää, 2006).

Pētījumos Igaunijā jaunās baltalkšņu plantācijās baltalkšņa virszemes biomasas aprēķināšanai (Uri, 2001) ir pielietots pakāpes regresijas

vienādojums  $y=ax^b$ . Regresijas vienādojumu determinācijas koeficienti, izmantojot dažādus argumentus, ir augsti:  $R^2=0.960-0.997$ . Pētījumā Igaunijā baltalkšņa biomasu izžāvēta 70 °C temperatūrā līdz pastāvīgai parauga masai. Koksnes mitrums publikācijā nav norādīts (Uri, 2001), kas apgrūtina datu salīdzināšanu.

Dažādu kokaugu sugu biomasas noteikšanai pārsvarā tiek pielietoti regresijas vienādojumi ar vienu mainīgo. Pārbaudot dažādus argumentus, izvērtē iegūtos regresijas vienādojumus un par labāko atzīst to, kas pilnīgāk apraksta rezultējošās pazīmes atkarību no argumenta, par ko spriež pēc lielākas determinācijas koeficienta vērtības.

Ļoti svarīgi par argumentu izmantot viegli nosakāmu koka vai audzes taksācijas rādītāju, piemēram, stumbra caurmēru, audzes vidējo caurmēru vai šķērslaukumu. Pagājušā gadsimta 70. gados bieži tika aprēķināti daudzfaktoru regresijas vienādojumi, izmantojot divus vai vairākus argumentus (Карманова, 1976).

Pētījuma mērķis: iegūt ērti izmantojamas dabiski mitras un absolūti sausas bezlapotas baltalkšņa un baltalkšņa audžu virszemes biomasas novērtēšanas empīriskās formulas. Mērķa sekmīgai atrisināšanai tika izvirzīti divi uzdevumi:

- izstrādāt empīriskās formulas atsevišķu koku bezlapotas baltalkšņa virszemes biomasas aprēķināšanai kokiem ar stumbra caurmēru līdz 26.0 cm;
- izstrādāt empīriskas formulas bezlapotās virszemes biomasas noteikšanai lielām audžu kopām atkarībā no audzes vidējā caurmēra un audzes šķērslaukuma.

## Materiāls un metodes

Pētījumā izmantotas galvenokārt līdz 30 gadus vecas baltalkšņa fīraudzes un kopumā ierīkoti 55 pagaidu parauglaukumi 1.A līdz 3. bonitātes audzēs. P. Mūrnieka (1963) sastādītajās baltalkšņa augšanas gaitas tabulās baltalkšņa audzes iedalītas 3 bonitātēs. Ievāktais pētījuma materiāls rāda, ka dabā daļa no uzmērītajām audzēm ievērojami pārsniedz 1. bonitātes audžu parametrus un to pilnīgākai raksturošanai bija nepieciešams ievietot papildus vēl 1.A bonitāti. Pētījumā 1.A bonitāte tika nodalīta, izmantojot ekstrapolācijas metodi un saglabājot P. Mūrnieka (1963) noteiktos augstuma intervālus starp bonitātēm. Bonitātes noteikšanai izmantots audzes vidējais augstums un audzes vecums. Pētījumā analizētas trīspadsmit 1.A bonitātes, piecpadsmit 1. bonitātes, divdesmit trīs 2. bonitātes un četras 3. bonitātes audzes. Baltalkšņa audžu sadalījums bonitātēs detalizēti atspoguļots O. Miezītes promocijas darbā (Miezīte, 2008). Materiāli pētījuma veikšanai ievākti

laika posmā no 2005. līdz 2007. gadam dažādos Latvijas rajonos.

Baltalkšņa biomasas noteikšanas metožu izstrādei izmantoti 188 paraugkoki ar stumbra caurmēru 0.2–26.0 cm 1.3 m augstumā virs sakņu kakla. Nocirstie koki atzaroti un sagarumoti nogriežņos biomasas noteikšanai, kā arī noteikts stumbra garums un caurmērs. Svērumi mežā izdarīti ar KERN firmas svariem, svēršanas precizitāte 0.02 kg. Atsevišķi tika noteikta stumbra un zaru biomasas dabiski mitrā stāvoklī. Absolūti sausas biomasas īpatsvara noteikšanai koksnes paraugi ar atbilstošu mizas sektoru un zaru paraugi 105 °C temperatūrā tika izžāvēti līdz pastāvīgai masai. Attiecinot absolūti sauso biomasu pret dabiski mitro biomasu, noteikts absolūti sausas biomasas īpatsvars. Pēdējo reizinot ar dabiski svaigo biomasu, iegūta absolūti sausā biomasas stumbriem un zariem.

Visa paraugkopa sadalīta divās daļās: koki ar stumbra caurmēru līdz 3.0 cm un koki ar caurmēru, kas lielāks par 3.0 cm. Kopējās empīriskās formulas izstrāde visam caurmēru diapazonam nebija iespējama, jo biomasas datu novirzes no regresijas līknes neatspoguļoja reālo situāciju.

Pirmo paraugkopu veidoja 52 baltalkšņi ar stumbra caurmēru līdz 3 cm. Uzmērīto koku dendrometrisko rādītāju minimālā un maksimālā vērtība: caurmēram – 0.2–3.0 cm, koka augstumam – 1.35–7.0 m, stumbra tilpumam – 0.00001–0.00278 m<sup>3</sup>, dabiski svaigai koka virszemes biomasai – 0.06–2.58 kg. Dotajā pētījumā 0.2–3.0 cm resnu baltalkšņu dabiski mitras un absolūti sausas baltalkšņa biomasas ( $y$ ) aprēķināšanai par argumentu izmantoti šādi mainīgie lielumi (1. tabula): stumbra caurmērs ( $D$ ), stumbra caurmēra kvadrāts ( $D^2$ ) un stumbra caurmēra kvadrāta un koka augstuma reizinājums ( $D^2H$ ).

Otro paraugkopu veidoja 136 baltalkšņi ar stumbra caurmēru 3.1–26.0 cm, koka augstumu 5.35–22.2 m, stumbra tilpumu 0.0032–0.5200 m<sup>3</sup> un dabiski mitru virszemes biomasu 2.4–490.0 kg. No 3.1 līdz 26.0 cm resnu baltalkšņu dabiski mitras un absolūti sausas baltalkšņa biomasas ( $y$ ) aprēķināšanai par argumentu izmantoti šādi mainīgie lielumi (2. tabula): stumbra caurmērs ( $D$ ), stumbra caurmēra kvadrāts ( $D^2$ ), stumbra caurmēra un augstuma reizinājums ( $DH$ ), stumbra caurmēra kvadrāta un koka augstuma reizinājums ( $D^2H$ ), stumbra šķērslaukuma un koka augstuma reizinājums ( $GH$ ) un stumbra tilpums ( $V$ ).

Baltalkšņa bezlapotās virszemes biomasas ( $y$ ) aprēķināšanai (kg) pārbaudīts otrās kārtas parabolas vienādojums ( $v = ax^2 + bx + c$ ) un pakāpes regresijas vienādojums ( $y = ax^b$ ).

Empīriskais materiāls 2–10 gadus vecās audzēs tika iegūts, katrā no tām ierīkojot 15 taisnstūrveida parauglaukumus ar platību 25 m<sup>2</sup>, izvietojot tos pa nogabala diagonāli vai audzē nospraustiem

transektiem. Audzes augstumlīknes aprēķināšanai visā caurmēru intervālā tika uzmērīti 15–20 koku augstumi. 2006. gadā ierīkoja 30 parauglaukumus un katrā no tiem noteica koku augstumu 180 kokiem.

Baltalkšņa audzes no 11 līdz 30 gadu vecumam pētītas, izmantojot sešu koku uzskaites parauglaukumu metodi (Kramer, Akca, 1982). Katrā audzē ierīkoja 30 sešu koku uzskaites parauglaukumus un katrā audzē caurmēra mērījumus veica 180 kokiem. Uzskaites parauglaukumus izvietoja uz transektiem vienādos attālumos pēc sistemātiskā principa, lai aptvertu visu audzes platību. Sešu koku uzskaites parauglaukumu metode balstīta uz attāluma mērījumu no parauglaukuma centra līdz sestā koka vidum. Metodes būtība ir tā, ka uzskaites parauglaukumā ietilpst tikai puse no sestā tuvākā koka. Tas tiek ņemts vērā, aprēķinot audzes dendrometriskos rādītājus.

Sešu koku uzskaites parauglaukumā tika izmērīti visu sešu koku caurmēri. Caurmēra mērīšanai izmantots parastās centimetru skalas dastmērs (ar nolāšanās precizitāti 0.1 cm). Koku augstuma noteikšanai lietots *Vertex* augstummērs, koka augstuma noteikšanas precizitāte – 0.1 m.

Katram apļveida uzskaites parauglaukumam baltalkšņa audžu taksācijas parametru raksturošanai, izmantojot formulas (1–5), aprēķināti šādi rādītāji:

$$R_6 = A_6 + \frac{1}{2} \cdot D_6, \quad (1)$$

kur

$R_6$  – uzskaites parauglaukuma rādiuss, m;

$A_6$  – attālums no uzskaites parauglaukuma viduspunkta (M) līdz sestā koka iekšējai perifērijai, m;

$D_6$  – uzskaites parauglaukuma sestā koka diametrs, cm;

$$L_i = 0.785 \cdot (2 \cdot R_6)^2, \quad (2)$$

kur

$L_i$  – uzskaites parauglaukuma platība, m<sup>2</sup>;

$R_6$  – uzskaites parauglaukuma rādiuss, m;

$$g_i = 0.785 \cdot \frac{\sum_{i=1}^5 D_i^2}{10000} + 0.785 \cdot \frac{D_6^2}{10000 \cdot 2}, \quad (3)$$

kur

$g_i$  – koku šķērslaukums i-tajā uzskaites parauglaukumā, m<sup>2</sup>;

$D_i$  – koka caurmērs, cm;

$D_6$  – sestā koka caurmērs, cm;

$$G_i = \frac{g_i}{L_i} \cdot 10000, \quad (4)$$

kur

$G_i$  – audzes šķērslaukums pēc i-tā uzskaites parauglaukuma datiem, m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>;

$g_i$  – koku šķērslaukums uzskaites parauglaukumā, m<sup>2</sup>;

$L_i$  – uzskaites parauglaukuma platība, m<sup>2</sup>;

$$N_i = \frac{5.5 \cdot 10000}{L_i}, \quad (5)$$

kur

$N_i$  – koku skaits uz hektāra pēc i-tā uzskaites parauglaukuma datiem, gab. ha<sup>-1</sup>;

$L_i$  – i-tā parauglaukuma platība, m<sup>2</sup>.

Baltalkšņa audžu taksācijas rādītāju aprēķināšanai pēc apļveida uzskaites parauglaukumu datiem izmantotas formulas (6–10):

$$g_{vid} = \frac{G}{N}, \quad (6)$$

kur

$g_{vid}$  – audzes vidējā koka šķērslaukums, m<sup>2</sup>;

$G$  – audzes šķērslaukums, m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>;

$N$  – koku skaits, gab. ha<sup>-1</sup>;

$$D_g = \sqrt{\frac{g_{vid}}{0.785}} \cdot 100, \quad (7)$$

kur

$D_g$  – audzes vidējā koka caurmērs, kas aprēķināts no vidējā koka šķērslaukuma ( $g_{vid}$ ), cm;

$g_{vid}$  – audzes vidējā koka šķērslaukums, m<sup>2</sup>;

$$H_g = a \ln(D_g) + b, \quad (8)$$

kur

$H_g$  – audzes vidējā koka augstums, m;

$D_g$  – audzes vidējā koka caurmērs, cm;

$a$  – regresijas koeficients;

$b$  – regresijas vienādojuma brīvais loceklis;

$$G = \frac{\sum_{i=1}^i G_i}{\sum_{i=1}^i L_i} \cdot 10000, \quad (9)$$

kur

- $G$  – audzes šķērslaukums,  $m^2 ha^{-1}$ ;  
 $G_i$  – audzes šķērslaukums pēc  $i$ -tā uzskaites parauglaukuma datiem,  $m^2 ha^{-1}$ ;  
 $L_i$  –  $i$ -tā uzskaites parauglaukuma platība,  $m^2$ ;

$$N = \frac{5.5 \cdot 10000}{\sum_{i=1}^i L_i}, \quad (10)$$

kur

- $N$  – koku skaits, gab.  $ha^{-1}$ ;  
 $L_i$  –  $i$ -tā uzskaites parauglaukuma platība,  $m^2$ ;  
 5.5 – koku skaits 6 koku uzskaites parauglaukumā (Kramer, Akca, 1982).

Baltalkšņa stumbra tilpuma ( $V$ ,  $m^3$ ) noteikšanai izmantots algoritms (Liepa, 1996):

$$V = \psi * L^\alpha * D^{\beta \lg L + \varphi}, \quad (11)$$

kur

- $L$  – stumbra garums, m;  
 $D$  – stumbra caurmērs ar mizu, cm;  
 $\psi, \alpha, \beta, \varphi$  – empīriski noteikti koeficienti  
 ( $\psi = 0.7450 \cdot 10^{-4}$ ;  $\alpha = 0.81295$ ;  
 $\beta = 0.06935$ ;  $\varphi = 1.8546$ ).

Konkrētas baltalkšņa audzes biomasas iegūta kā atsevišķu koku biomasas summa, izmantojot audzes dastošanas datus. Datu analīzē izmantots vidējais biomasas pieaugums audzes dzīves laikā.

Baltalkšņa un baltalkšņa audžu biomasas apjomu aprēķināšanas regresijas vienādojumu būtiskums pārbaudīts ar dispersijas analīzi, izmantojot SPSS programmu (Arhipova, Bāliņa, 2003).

## Rezultāti un diskusija

Līdz 3 cm resnu koku dabiski mitras zaru biomasas īpatsvars no koka kopējās virszemes biomasas variē plašās robežās – no 1.6 līdz 32.5%, pazīmes variācijas koeficients ir 45%. Zaru biomasas apjoms ir atkarīgs no koka vainaga formas, tā platuma, garuma, zaru skaita un apgaismojuma apstākļiem. Zaru biomasas īpatsvara vidējā vērtība ir  $15.3 \pm 0.97\%$ .

Konstatētie dati par stumbra un zaru biomasu ļauj iegūt empīrisku formulu dabiski mitras un absolūti sausas virszemes biomasas aprēķināšanai. Līdz 3.0 cm resnu baltalkšņu dabiski mitras un absolūti sausas baltalkšņa biomasas ( $y$ ) aprēķināšanai labākais izrādījās otrās pakāpes parabolas regresijas vienādojums. Baltalkšņa virszemes biomasas aprēķināšanai izmantojot kā argumentu ( $x$ ) stumbra

caurmēru, stumbra caurmēra kvadrātu un caurmēra kvadrāta un augstuma reizinājumu, otrās kārtas parabolas vienādojums uzrāda augstu sakarības ciešumu ( $R^2=0.97-0.99$ ,  $p<0.01$ ) salīdzinājumā ar taisnes, pakāpes un logaritmisko vienādojumu. Arī Somijas zinātnieki baltalkšņa stumbra biomasas noteikšanai izmanto otrās kārtas parabolas vienādojumu, kurā par argumentu izmantots koka caurmērs ( $D$ ). Noskaidrots, ka starp mainīgajiem lielumiem pastāv cieša sakarība ( $R^2=0.97$ ,  $p<0.01$ ), formulas pielietojšanas intervāls ir kokiem ar caurmēru 0.8–6.3 cm (Muukkonen, Mäkipää, 2006).

Ieteicamais arguments baltalkšņa biomasas aprēķināšanai ir stumbra caurmērs, kas ērti nosakāms ar dastmēru. Nav nepieciešami papildu aprēķini un tiek nodrošināta pietiekama sakarības precizitāte.

Dabiski mitras un absolūti sausas baltalkšņa virszemes biomasas noteikšanai izmantotie otrās pakāpes parabolas regresijas vienādojumi un koeficienti neatkarīgi no argumenta veida (1. tabula) ir statistiski nozīmīgi ( $p=0.0000-0.003 > \alpha=0.01$ ). Jāatzīmē, ka vienādojums ir derīgs jaunu, audzē augušu baltalkšņu virszemes biomasas aprēķināšanai un nav attiecināms uz mežmalās vai grāvju malās augošiem kokiem.

No pētījuma datu analīzes izriet, ka lai aprēķinātu līdz 3.0 cm resnu baltalkšņu dabiski svaigas bezlapotas virszemes biomasas apjomu ( $y$ ) (kg) atkarībā no stumbra caurmēra ( $D$ , cm) izmantojams otrās kārtas parabolas regresijas vienādojums (12):

$$y = 0.3427 \cdot D^2 - 0.3063 \cdot D + 0.1636. \quad (12)$$

Absolūti sausas biomasas apjomu var aprēķināt pēc vienādojuma (13):

$$y = 0.1529 \cdot D^2 - 0.1408 \cdot D + 0.968. \quad (13)$$

Izmantojot regresijas vienādojumu (13), aprēķināta absolūti sausa baltalkšņa biomasas. Piemēram, ja  $D=1$  cm, tā veido 0.109 kg, bet ja  $D=3$  cm, tā ir 1.051 kg.

No kopējās bezlapotās virszemes biomasas paraugkoku (caurmērs no 3.1 līdz 26.0 cm) zaru biomasas vidēji veido  $21 \pm 2.1\%$ , un pazīmes variācijas koeficients ir 32%. Zaru īpatsvara atšķirības starp paraugkokiem ir lielas un atrodas intervālā 4–32%.

Dažādu koku sugu biomasas noteikšanai pārsvarā tiek pielietoti regresijas vienādojumi ar vienu argumentu ( $y=ax^b$ ). Nereti regresijas vienādojumus iekļauj divus vai pat vairākus mainīgos. Arī I. Karmanova atsauca uz Satto, kurš ir secinājis, ka divu vai vairāku mainīgo iekļaušana regresijas vienādojumā ļauj precīzāk noteikt koka biomasu (Карманова, 1976). Igaunijā (Uri, 2001) baltalkšņa virszemes biomasas aprēķināšanai plantāciju audzēs

**Līdz 3 cm resnu baltalkšņu dabiski mitrās un absolūti sausās baltalkšņa virszemes biomasas aprēķināšanas parabolas regresijas vienādojuma ( $y = ax^2 + bx + c$ ) koeficienti**  
**The coefficients of parabolic regression equation ( $y = ax^2 + bx + c$ ) characterizing naturally wet and dry above-ground biomass of grey alder**

x	a	b	c	R <sup>2</sup>	S <sub>x</sub> , kg	F	t	p vērtība / p value
Dabiski mitrai biomasai, kg / For naturally wet biomass, kg								
D	0.3427	-0.3063	0.1636	0.984	0.0575	1580.6	5.36	0.0000
D <sup>2</sup>	0.0089	0.1689	0.0469	0.986	0.0538	1805.8	3.88	0.0030
D <sup>2</sup> H	-0.0002	0.0529	0.0847	0.984	0.0578	1562.6	8.11	0.0000
Absolūti sausai biomasai, kg / For absolutely dry biomass, kg								
D	0.1529	-0.1408	0.0845	0.968	0.0318	1004.5	5.12	0.0000
D <sup>2</sup>	0.0043	0.0715	0.0318	0.979	0.0296	1161.3	4.80	0.0000
D <sup>2</sup> H	-0.0001	0.0025	0.0485	0.973	0.0333	917.2	8.08	0.0000

Apzīmējumi: x – arguments; D – caurmērs, cm; D<sup>2</sup> – stumbra caurmēra kvadrāts; H – koka augstums, m; D<sup>2</sup>H – caurmēra kvadrāta reizinājums ar koka augstumu; a, b un c – regresijas vienādojuma koeficienti; R<sup>2</sup> – determinācijas koeficients; S<sub>x</sub> – regresijas standartklūda; F un t – testa faktiskās vērtības; p vērtība – varbūtības līmenis.

Notations: x – an argument; D – diameter of the stem, cm; D<sup>2</sup> – square of the stem diameter; H – height of the tree, m; D<sup>2</sup>H – multiplication of the square of a diameter and the height of a stem; a, b un c – coefficients of the regression equation; R<sup>2</sup> – coefficient of the determination; S<sub>x</sub> – standard error of the regression; F and t – actual value of F-test and t-test; p value – probability level.

pielietots pakāpes regresijas vienādojums, kurā par argumentu izmantots caurmēra un augstuma reizinājums (DH) un caurmēra kvadrāta un koka augstuma reizinājums (D<sup>2</sup>H). Mūsu pētījumā mainīgā lieluma caurmēra kvadrāta (D<sup>2</sup>) un koka augstuma reizinājuma (D<sup>2</sup>H) izmantošana par argumentu nedod labākus rezultātus biomasas noteikšanai salīdzinājumā ar koka caurmēru, jo sakarības ciešums abos gadījumos praktiski neatšķiras (2. tabula). Tikpat cieša sakarība, spriežot pēc determinācijas koeficienta vērtības, veidojas, ja par argumentu izmanto stumbra caurmēra kvadrātu (D<sup>2</sup>), kas sakrīt ar Krievijā iegūtajiem secinājumiem (Усолецев, 1985). Tas nozīmē, ka koka caurmēra kvadrāta un koka augstuma reizinājums (D<sup>2</sup>H) ir mazāk informatīvs biomasas noteikšanai nekā stumbra caurmērs (Микшис, 1988). Somu zinātnieki baltalkšņa stumbra biomasas noteikšanai izmanto pakāpes vienādojumu ( $y=ax^b$ ), kur par argumentu izmantots caurmēra kvadrāta un koka augstuma reizinājums (D<sup>2</sup>H). Noskaidrots, ka starp mainīgajiem lielumiem veidojas cieša sakarība (Muukkonen, Mäkipää, 2006). Tādēļ par šo argumentu – caurmēra kvadrāta un koka augstuma reizinājumu (D<sup>2</sup>H) – iepriekšminētie autori atsauca dažādi. Mūsu pētījumā tas ir pietiekami informatīvs biomasas noteikšanai, jo pastāv cieša korelācija (2. tabula).

Šajā pētījumā 3.1–26.0 cm resnu baltalkšņu dabiski mitras un absolūti sausas biomasas (y)

aprēķināšanai atkarībā no dažādiem argumentiem (x) vispiemērotākais izrādījās pakāpes regresijas vienādojums, kuru izmanto arī citās valstīs. Baltalkšņa bezlapotās virszemes biomasas aprēķināšanai pārbaudītie argumenti (stumbra caurmērs, stumbra caurmēra kvadrāts, stumbra caurmēra un augstuma reizinājums, stumbra caurmēra kvadrāta un koka augstuma reizinājums, stumbra šķērslaukuma un koka augstuma reizinājums, stumbra tilpums), spriežot pēc determinācijas koeficientu vērtībām (R<sup>2</sup>=0.98–0.99, p<0.05), teorētiski ir vienlīdz labi izmantojami aprēķinu veikšanai kokiem ar stumbra caurmēru intervālā no 3.1 līdz 26.0 cm. Absolūti sausas baltalkšņa biomasas aprēķināšanai ieteicams izmantot koka caurmēru, jo šajā gadījumā iegūtā regresijas standartklūda ir zemāka nekā tad, ja tiek izmantoti citi argumenti (2. tabula).

Dabiski mitras un absolūti sausas baltalkšņu biomasas noteikšanai analizētie pakāpes regresijas vienādojumi un koeficienti (2. tabula) neatkarīgi no argumenta veida ir būtiski ( $p=0.0000<\alpha=0.01$ ) un ir izmantojami koka bezlapotās virszemes biomasas aprēķināšanai.

Dabiski mitras baltalkšņa bezlapotās virszemes biomasas (kg) aprēķināšanai stumbra caurmēru diapazonā  $3.1 \leq D \leq 26$  cm izmantojams regresijas vienādojums (14):

$$y = 0.1336 \cdot D^{2.5476} \quad (14)$$

**Dabiski mitrās un absolūti sausās baltalkšņa virszemes biomasas pakāpes regresijas****vienādojuma ( $y = ax^b$ ) koeficientu vērtības****The coefficients of power regression equation ( $y = ax^b$ ) characterizing naturally wet and dry above-ground biomass of grey alder**

x	a	b	R <sup>2</sup>	S <sub>x</sub> , kg	F	t	p vērtība / p value
Dabiski mitrai biomasai, kg / For naturally wet biomass, kg							
D	0.1336	2.5476	0.979	0.224	6112.3	12.4	0.0000
V	1044.4000	1.0376	0.984	0.194	8116.1	28.7	0.0000
D <sup>2</sup>	0.1369	1.2672	0.979	0.224	6022.5	12.2	0.0000
DH	0.0212	1.5917	0.983	0.212	6789.1	10.1	0.0000
GH	0.0526	0.9852	0.982	0.204	7566.04	12.0	0.0000
D <sup>2</sup> H	0.0415	0.9852	0.982	0.195	8012.8	11.9	0.0000
Absolūti sausai biomasai, kg / For absolutely dry biomass, kg							
D	0.0700	2.5059	0.988	0.167	10879.3	16.7	0.0000
V	479.4600	1.0235	0.987	0.174	9956.1	31.9	0.0000
D <sup>2</sup>	0.0768	1.2302	0.988	0.167	10879.3	16.7	0.0000
DH	0.0114	1.5667	0.987	0.175	9864.4	13.9	0.0000
GH	0.0297	0.9596	0.987	0.175	9864.4	13.9	0.0000
D <sup>2</sup> H	0.0224	0.9676	0.987	0.175	9862.4	13.5	0.0000

Apzīmējumi: x – arguments; D – stumbra caurmērs, cm; D<sup>2</sup> – stumbra caurmēra kvadrāts; V – stumbra tilpums, m<sup>3</sup>; DH – stumbra caurmēra un augstuma reizinājums; GH – stumbra šķērslaukuma un koka augstuma reizinājums; D<sup>2</sup>H – stumbra caurmēra kvadrāta reizinājums ar koka augstumu; a – regresijas vienādojuma brīvais loceklis; b – regresijas koeficients; R<sup>2</sup> – determinācijas koeficients; S<sub>x</sub> – regresijas standartklūda; F un t – testa faktiskās vērtības; p vērtība – varbūtības līmenis.

Notations: x – an argument; D – diameter of the stem, cm; D<sup>2</sup> – square of the stem diameter; V – volume of the stem, m<sup>3</sup>; DH – multiplication of the diameter and the height of stem; GH – multiplication of the basal area and the height of the tree; D<sup>2</sup>H – multiplication of the square of diameter and the height of stem; a – a free member of the regression equation; b – coefficient of the regression; R<sup>2</sup> – coefficient of the determination; S<sub>x</sub> – structural unit of the regression; F and t – actual value of F-test and t-test; p value – probability level.

Savukārt absolūti sausās baltalkšņa bezlapotās virszemes biomasas (kg) aprēķināšanai atkarībā no stumbra caurmēra (cm) tajā pašā stumbra caurmēru intervālā izmantojams regresijas vienādojums (15):

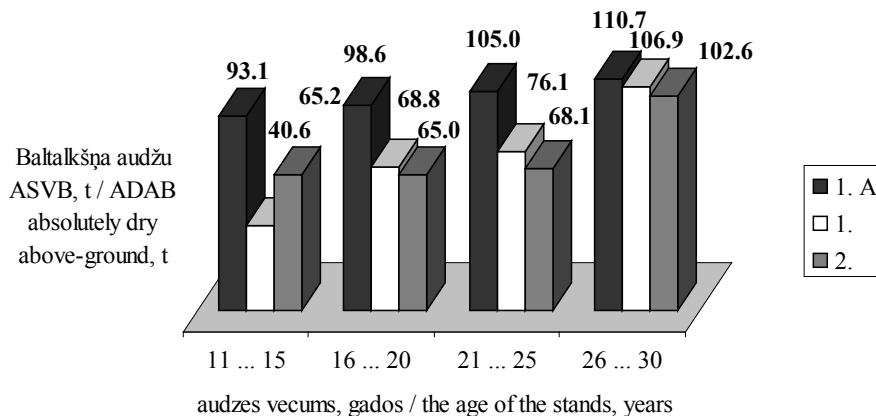
$$y = 0.07 \cdot D^{2.5059}. \quad (15)$$

Pēc regresijas vienādojuma (15) aprēķinātā absolūti sausa baltalkšņa bezlapotās virszemes biomasa kokiem ar 3 cm lielu stumbra caurmēru ir nedaudz lielāka par 1 kg, bet 26 cm resniem kokiem sasniedz 246 kg.

Baltalkšņu audžu krāju un biomasas apjomus ietekmē virkne faktoru, kuri turklāt savstarpēji mijiedarbojas. Jebkuras koku sugas augšana ir atkarīga no augsnes auglības, kas skaitliskā izteiksmē nav izmērāma. Par koku sugas augšanas efektu spriež pēc audzes

vidējā augstuma noteiktā vecumā, ko mežsaimniecībā apzīmē ar rādītāju „audzes bonitāte”. Tā parāda koku augšanas efektu garumā, bet nespēj raksturot audzes krāju un biomasas apjomus. Pat viena vecuma audzes savstarpēji atšķiras pēc koku skaita uz platības vienību, audzes vidējā caurmēra un audzes šķērslaukuma, kas kopumā nosaka audzes faktisko krāju vai biomasas apjomu.

Divās vienas bonitātes un viena vecuma audzēs audzes krāja un biomasa var ievērojami atšķirties, kas mežā ir parasta parādība. Tāpat divu atšķirīgu bonitāšu audzēm, kurām ir atšķirīgs augšanas efekts augstumā, iepriekšminēto faktoru ietekmē var būt vienāda biomasa. Šī iemesla dēļ audzes bonitāte reālās audzēs tieši nevar raksturot audzes krāju vai biomasas apjomu. Lielā audžu daudzveidība pēc svarīgākajiem taksācijas rādītājiem neļauj katrai no tām noteikt precīzu biomasas apjomu. Tādēļ dati, kas



ASVB – absolūti sausa virszemes biomasas / ADAB – absolutely dry above-ground biomass

1. att. Baltalkšņa audžu biomasas apjoms bezlapotā stāvoklī.

Fig. 1. Above-ground biomass without leaves of grey alder stands.

iegūti no liela audžu kopuma, jāizlīdzina ar regresijas vienādojumu palīdzību, tāpat kā to dara ar audzes augstumlīkni.

Pētīto baltalkšņa audžu vecums variē intervālā no 2 līdz 30 gadiem. Baltalkšņa audžu biomasas apjoms būtiski atšķiras dažāda vecuma audzēs ( $p=0.022 < \alpha=0.05$ ). Audzes vidējais caurmērs, kā arī audzes biomasas ir audzes vecuma funkcija un likumsakarīgi mainās augšanas procesā. Audzes biomasas var sākt samazināties, ja koku atmirums pārsniedz koksnes pieaugumu kādā laika periodā. Pētījumā līdz 30 gadus vecās baltalkšņa audzēs šāda tendence nav novērojama. Baltalkšņa virszemes biomasas tikai 2 audzēs pārsniedz 150 t sausnas  $ha^{-1}$ , bet vairumā gadījumu tā ir zemāka par 100 t sausnas  $ha^{-1}$ . Tikai 25–30 gadus vecās 1.A–2. bonitātes audzēs vidējais biomasas apjoms pārsniedz minēto 100 t sausnas  $ha^{-1}$  robežu. Pirmās A bonitātes audzēs jau 11–15 gadu vecumā baltalkšnis producē 93 t sausnas  $ha^{-1}$  biomasas.

Baltalkšņa audžu bezlapotās virszemes biomasas apjoms ( $y$ ), izmantojot par argumentu audzes vecumu ( $x$ ), aprēķināms pēc pakāpes regresijas vienādojuma (16):

$$y = a \cdot x^b \quad (16)$$

Vienādojuma (16) koeficientu vērtības dažādās audžu bonitātes apkopotas 3. tabulā. Vienādojuma (16) izmantošanas intervāls 1.A bonitātes audzēm ir 2–30 gadi, 1. bonitātes audzēm – 3–40 gadi, 2. bonitātes audzēm – 5–30 gadi, un 3. bonitātes audzēm – 9–28 gadi.

Analizējot biomasas apjomus 11 gadus vecās un vecākās baltalkšņa audzēs (1. att.), konstatēts,

ka biomasas apjoms būtiski atšķiras dažādu bonitāšu baltalkšņu audzēs ( $p=0.02 < \alpha=0.05$ ). Vislielākās atšķirības virszemes biomasas apjomā starp bonitātēm konstatētas 11–15 gadus vecās dažādu bonitāšu baltalkšņa audzēs, kas pakāpeniski izlīdzinās starp audžu bonitātēm, audzes vecumam palielinoties līdz 26–30 gadiem. Galvenais iemesls otrās bonitātes audžu lielākam biomasas apjomam 11–15 gadus vecās audzēs ir to lielais audzes šķērslaukums, kas 4 audzēs no 7 pārsniedz pilnas biežības audžu parametrus. Konstatētais apliecina, ka dabā iespējamās pārbiezinātas audzes, ko izraisa koku diferencēšanās procesa aizkavēšanās laikā. Tas ir raksturīgs zemāku bonitāšu audzēm, kas aug mazāk auglīgos augšanas apstākļos.

Dabiski mitrās un absolūti sausās baltalkšņa audžu bezlapotās virszemes biomasas apjomi ( $t \ ha^{-1}$ ) dažādu bonitāšu audzēs ir izlīdzināti pēc pakāpes regresijas vienādojuma, par argumentu izmantojot audzes vecumu (3. tabula). Vienādojumu regresijas koeficienti ir statistiski nozīmīgi ( $p=0.000-0.0110 < \alpha=0.05$ ). Tie izmantojami baltalkšņa audžu izlīdzinātās bezlapotās virszemes biomasas aprēķināšanai atkarībā no audzes bonitātes.

Lielām baltalkšņu audžu kopām biomasas aprēķināšanai baltalkšņa audzēs kā mainīgais arguments pārbaudīts audzes vidējais caurmērs un audzes šķērslaukums (2. att.). Audzes vidējais caurmērs kā vispārpieejams parametrs atrodams audžu taksācijas aprakstos. Audzes šķērslaukums ir atvasināms lielums, ko var iegūt, audzes krāju dalot ar veidaugstumu (HF). Izlīdzinātos biomasas apjomus baltalkšņu audžu kopās ( $t \ ha^{-1}$ ) būtiski ietekmē audzes

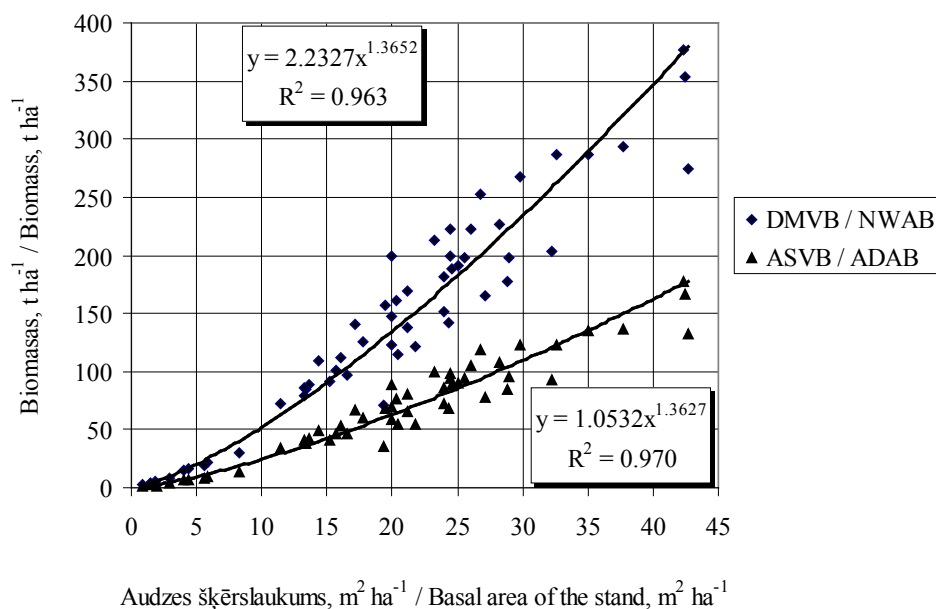
**Baltalkšņa audžu bezlapotās virszemes biomasas apjomu ( $t\ ha^{-1}$ ) aprēķināšanas pakāpes regresijas vienādojuma ( $y = ax^b$ ) koeficientu vērtības**

**Values of coefficients of regression equation ( $y = ax^b$ ) for calculation of above-ground biomass ( $t\ ha^{-1}$ ) for grey alder stand without foliage**

Bonitāte / Site index	a	b	R <sup>2</sup>	s <sub>x</sub>	F	t	p vērtība / p value
Dabiski mitrai biomasai / For naturally wet biomass							
1. A	1.2019	1.6460	0.936	22.70	372.50	19.30	0.0110
1.	1.7753	1.4753	0.974	17.03	591.04	24.31	0.0021
2.	1.0347	1.6850	0.709	14.36	629.70	25.05	0.0000
3.	1.0586	1.5883	0.707	7.10	413.89	20.34	0.0024
Absolūti sausai biomasai / For absolutely dry biomass							
1. A	0.5961	1.6287	0.937	10.36	390.73	19.77	0.0106
1.	0.7961	1.4869	0.979	1.67	563.97	23.75	0.0000
2.	0.4550	1.7088	0.715	7.07	592.74	24.35	0.0000
3.	0.4952	1.5855	0.697	3.27	417.90	20.44	0.0024

Apzīmējumi: x – arguments (audzes vecums, gados); a – regresijas vienādojuma brīvais loceklis; b – regresijas vienādojuma koeficients; R<sup>2</sup> – determinācijas koeficients; s<sub>x</sub> – regresijas standartklūda; F un t – testa faktiskās vērtības; p vērtība – varbūtības līmenis.

Notations: x – an argument (age of the stand); a – a free member of the regression equation; b – coefficient of the regression; R<sup>2</sup> – coefficient of the determination; s<sub>x</sub> – structural unit of the regression; F and t – actual value of F-test and t-test; p value – probability level.



DMVB – dabiski mitra virszemes biomasa / NWAB – naturally wet above-ground biomass  
ASVB – absolūti sausa virszemes biomasas / ADAB – absolutely dry above-ground biomass

2. att. Sakarība starp audžu šķērslaukumu un baltalkšņa audžu biomasu.

Fig. 2. The correlation between basal area of the stand and above-ground biomass without leaves of grey alder stands.



vidējais caurmērs ( $p=0.000<\alpha=0.01$ ). Sakarību dabiski mitras virszemes biomasas ( $y$ ) apjomu ( $t\ ha^{-1}$ ) aprēķināšanai atkarībā no audzes vidējā caurmēra ( $D$ , cm) raksturo pakāpes regresijas vienādojums (17):

$$y_{DMVB} = 4.7103 \cdot D^{1.4758} \quad (17)$$

Savukārt absolūti sausas biomasas apjomu izsaka vienādojums (17):

$$y_{ASVB} = 2.2214 \cdot D^{1.4726} \quad (18)$$

Regresijas vienādojumu (17 un 18) determinācijas koeficientu vērtība  $R^2=0.930$ ,  $p<0.05$ . Regresijas vienādojumu standartklūda:  $\pm 0.33$  t. Vienādojumi (17 un 18) ir izmantojami, ja audzes vidējais koku caurmērs ir  $0.8\text{ cm} \leq D \leq 18.6\text{ cm}$ .

Ciešāka sakarība audzes biomasas apjomu prognozēšanai konstatēta starp audzes šķērslaukumu ( $G$ ,  $m^2\ ha^{-1}$ ) un baltalkšņa audžu biomasas ( $y$ ) apjomu ( $t\ ha^{-1}$ ) ( $p=0.000<\alpha=0.05$ ,  $R^2=0.963$ ). Audzes šķērslaukums vienlaicīgi sevī apvieno tā izmaiņu atkarību no audzes vecuma, kā arī no koku caurmēra un skaita ietekmes. Šādā gadījumā datu izkliede ap regresijas taisni ir daudz mazāka nekā tad, ja par argumentiem izmanto audzes vecumu vai vidējo caurmēru. Regresijas vienādojuma standartklūda ir ievērojami zemāka:  $\pm 0.22$  t (19) un  $\pm 0.21$  t (20). Dabiski mitras (DMVB) un absolūti sausas biomasas (ASVB) apjomu ( $y$ ,  $t\ ha^{-1}$ ) atkarību no audzes šķērslaukuma ( $G$ ,  $m^2\ ha^{-1}$ ) raksturo regresijas vienādojumi (19) un (20):

$$y_{DMVB} = 2.2327 \cdot G^{1.3652} \quad (19)$$

$$y_{ASVB} = 1.0532 \cdot G^{1.3627} \quad (20)$$

Vienādojumi (19) un (20) ir izmantojami audzei ar šķērslaukumu intervālā  $2 \leq G \leq 42.4\ m^2\ ha^{-1}$ .

Literatūrā biežāk minētais baltalkšņa audžu ciršanas vecums ir sākot no 15 gadiem (Brants, 1929; Mūrnieks, 1950; Katkevičs, Lukašunas, 1986). Vienvecuma audzēs lielāks biomasas apjoms ir audzēs ar lielāku koku skaitu. Pētījumā apstiprinās, ka audzes ražība vienvecuma un vienas bonitātes audzēs ir atkarīga no koku skaita uz platības vienības (Атрохин, 1980; Антанайтис et al., 1986).

Biomasas apjoms pēitajās vienas bonitātes vienvecuma audzēs, bet dažādos baltalkšņa meža tipos ir atkarīgs no koku skaita un audzes šķērslaukuma.

Audzēs krāju viena vecuma un meža tipa audzēs, spriežot pēc augšanas gaitas tabulām, ietekmē audzes bonitāte, stumbra tilpums un audzes šķērslaukums.

Reālajās audzēs iespējamas visai būtiskas novirzes no augšanas gaitas tabulām. P. Mūrnieks (1950) raksta, ka baltalkšņa audzes sevišķi auglīgos apstākļos sasniedz augstu produktivitāti, un bonitāte raksturo potenciālo augsnes auglību. Ražīgāko audžu krājas analīze liecina, ka tā variē plašā diapazonā – no 170 līdz 410  $m^3\ ha^{-1}$  – un tikai divās audzēs pārsniedz 300  $m^3\ ha^{-1}$ . Lielas krājas (170–237  $m^3\ ha^{-1}$ ) veido gan audzes ar lielu koku skaitu (5500–6600 koku  $ha^{-1}$ , gan ievērojami retākas audzes, kurās koku skaits nepārsniedz 2200 koku uz  $ha$  (Miezīte, 2008).

Starp audzes šķērslaukumu un audzes biomasas vidējo pieaugumu audzes dzīves laikā pastāv cieša sakarība:  $R^2=0.969$ ,  $\alpha=0.01$ . Lielākas biomasas vidējā pieauguma vērtības ir raksturīgas 1.A un 2. bonitātes audzēs ar šķērslaukumu, kas lielāks par 28  $m^2\ ha^{-1}$ . Biomasas vidējais pieaugums vairumam audžu svārstās no 5 līdz 10  $t\ ha^{-1}$  gadā. Audzēm ar vidējo caurmēru, kas mazāks par 6 cm, biomasas vidējais pieaugums nepārsniedz 6  $t\ ha^{-1}$  gadā.

Šajā pētījumā par 10  $t\ ha^{-1}$  gadā lielāks vidējais biomasas pieaugums ir konstatēts 1.A bonitātes gāršas un vēra audzēs un 2. bonitātes vēra un platlapju āreņa audzēs ar 8–10 cm lielu vidējo audzes caurmēru. Igaunņu zinātnieki izpētījuši, ka virszemes biomasas lielākie vidējie pieaugumi ir baltalkšņa gāršas audzēs (Tullus et al., 1996). Pieaugot audzes vecumam, biomasas vidējā pieauguma apjoms samazinās. Mūsu pētījumā nevienai audzei 30 gadu vecumā nav konstatēti par 10  $t\ ha^{-1}$  lielāki vidējie biomasas pieaugumi. Trīsdesmitgadīgajās 1.A bonitātes audzēs tie veido 6.6–8.4  $t\ ha^{-1}$ . Igaunņu zinātnieki secinājuši, ka biomasas apjoms vecākajās baltalkšņa audzēs samazinās (Löhmus et al., 1996; Tullus et al., 1996; 1998), lai gan audžu vecums netiek norādīts.

Šajā pētījumā vairumam audžu ar koku skaitu, kas mazāks par 5000 gab.  $ha^{-1}$  biomasas, vidējais pieaugums ir no 4 līdz 10  $t\ ha^{-1}$  gadā.

## Secinājumi

1. Atsevišķu baltalkšņu biomasas apjoma aprēķināšanai par argumentu izmantojams stumbra caurmērs 1.3 m augstumā, kas sakarību ar koka biomasas apjomu raksturo tikpat labi kā sarežģītāku un aprēķinu rezultātā iegūstamu argumentu izmantošana.
2. Atsevišķu, līdz 3.0 cm resnu, baltalkšņu dabiski mitras bezlapotās virszemes biomasas apjoms (kg) atkarībā no stumbra caurmēra ( $D$ , cm) aprēķināms pēc otrās kārtas parabolas regresijas vienādojuma:  $y = 0.3427 \cdot D^2 - 0.3063 \cdot D + 0.1636$ ; bet absolūti sausas biomasas apjomu var aprēķināt pēc vienādojuma:  $y = 0.1529 \cdot D^2 - 0.1408 \cdot D + 0.968$ .

3. No 3.1 līdz 26.0 cm resnu, atsevišķu baltalkšņu dabiski mitrās bezlapotās virszemes biomasas apjoms (kg) atkarībā no stumbra caurmēra (D, cm) aprēķināms pēc pakāpes regresijas vienādojuma:  $y_{DMVB} = 0.1336 \cdot D^{2.5476}$ ; bet absolūti sausas biomasas apjomu var aprēķināt pēc vienādojuma:  $y_{ASVB} = 0.07 \cdot D^{2.5059}$ .
4. Nekopto baltalkšņa audžu virszemes biomasas prognozēšanai par argumentu izmantojams audzes šķērslaukums, kurš akumulē stumbra caurmēra un koku skaita variācijas. Baltalkšņu audžu kopās izlīdzinātos dabiski mitras biomasas apjomus ( $y$ ) ( $t \text{ ha}^{-1}$ ) var prognozēt pēc audzes šķērslaukuma ar vienādojumu:  $y_{DMVB} = 2.2327 \cdot G^{1.3652}$ ; bet absolūti sausas biomasas apjomus ar vienādojumu:  $y_{ASVB} = 1.0532 \cdot G^{1.3627}$ . Vienādojumi ir izmantojami audzēs ar šķērslaukumu  $2 \leq G \leq 42.4 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ .
11. Mūrnieks, P. (1950) Baltalkšņa *Alnus incana* Moench. augšanas gaita Latvijas PSR. *LPSR ZA Mežsaimniecības problēmu raksti*, 2. sēj. Rīga, LZA, 217-252.
12. Mūrnieks, P. (1963) Baltalkšņa (*Alnus incana* Moench.) augšanas gaita Latvijas PSR. No: Sacenieks R., Matuzānis J. *Mežsaimniecības tabulas*. Rīga, LVI, 112-113.
13. Ozols, J., Hibners, E. (1927) Baltalkšņa audžu izplatība Latvijā, augšanas gaita un nozīme mežsaimniecībā. *Mežsaimniecības rakstu krājums*, V sēj., 43-52.
14. Tullus, H., Keedus, K., Uri, V., Mander, Ü., Löhmus, K. (1996) Sustainable forests management in Estonia. Planning and Implementing Forest Operations to Achieve Sustainable Forests. *USDA Forest Service North Central Forest Experiment Station. General Technical Report NC 186*, 99-101.
15. Tullus, H., Mander, Ü., Löhmus, K., Uri, V. (1998) Sustainable forests management of abandoned farm lands for energy forestry. *Proceedings of International Symposium on Global Concerns for Forest Resource Utilization*. Miyazaki, Japan. Vol. 1, 398-407.
16. Uri, V. (2001) *The dynamics of biomass production and nutrient status of grey alder and hybrid alder plantations on abandoned agricultural lands*. Dissertations Scientiarum Naturalium Universities Agriculture Estonia. Tartu, 54 pp.
17. Антанайтис, В. В., Тыбера, А. П., Шянятене, Я. А. (1986) *Законы, закономерности роста и строения древостоев*. Каунас, 158 с.
18. Атрохин, В. Г. (1980) *Формирование высокопродуктивных насаждений*. Москва, Лесная промышленность, 131 с.
19. Карманова, И. В. (1976) *Математические методы изучения роста и продуктивности растений*. Москва, Наука, 222 с.
20. Микшис, В. (1988) Возможности оценки ассимиляционной массы деревьев по их морфометрическим показателям. *Лесоводственно-биологические вопросы формирования высокопродуктивных насаждений*: сборник трудов ЛитНИИЛХ. Вильнюс, Моклас, 93-103.
21. Усольцев, В.А. (1985) *Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев*. Красноярск, издательство „Красноярск“, 175 с.

## Literatūra

1. Arhipova, I., Bāliņa, S. (2003) *Statistika ekonomikā. Risinājumi ar SPSS un Microsoft Excel*. Rīga, Datorzinības Centrs, 352 lpp.
2. Brants, J. (1929) *Lauksaimnieka mežkopība*. Rīga, LPI A/s Valters un Rapa, 237 lpp.
3. Katkevičs, A., Lukašunas, I. (1986) *Augsnes sagatavošanas veida ietekme uz baltalkšņa stādījumu augšanu*. Rīga, Zvaigzne, 59-63.
4. Kramer, H., Akca, A. (1982) *Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur*. Verlag, Frankfurt am Main, 93-99.
5. Kundziņš, A. (1937) *Dažu faktoru ietekme uz baltalkšņa (Alnus incana Moench.) veģetatīvo atjaunošanos*. Rīga, MDI, 45 lpp.
6. Liepa, I. (1996) *Pieauguma mācība*. Jelgava, LLU, 121 lpp.
7. Löhmus, K., Mander, Ü., Tullus, H., Keedus, K. (1996) Productivity, buffering capacity and resources of grey alder forests in Estonia. In: *Short rotation willow coppice for renewable energy and improved environment*. Perttu K., Koppel A. (eds.). Uppsala, 95-105.
8. *Meža statistika 2006*. [Elektroniskais resurss]. Rīga, Valsts Meža dienests, 2007. – 1 kompaktdisks.
9. Miezīte, O. (2008) *Baltalkšņa audžu ražība un struktūra*. Promocijas darbs Mežzinātnes nozarē Meža ekoloģijas un mežkopības apakšnozarē. Jelgava, 127 lpp.
10. Muukkonen, P., Mäkipää, R. (2006) *Biomass Equations for European Trees*: Addendum. *Silva Fennica*, Vol. 40(4), 763-773.