



BĒRZA AUGŠANAS GAITA STĀDĪJUMOS UZ BIJUŠAJĀM LAUKSAIMNIECĪBAS AUGSNĒM

J. DONIS, G. ŠNEPSTS

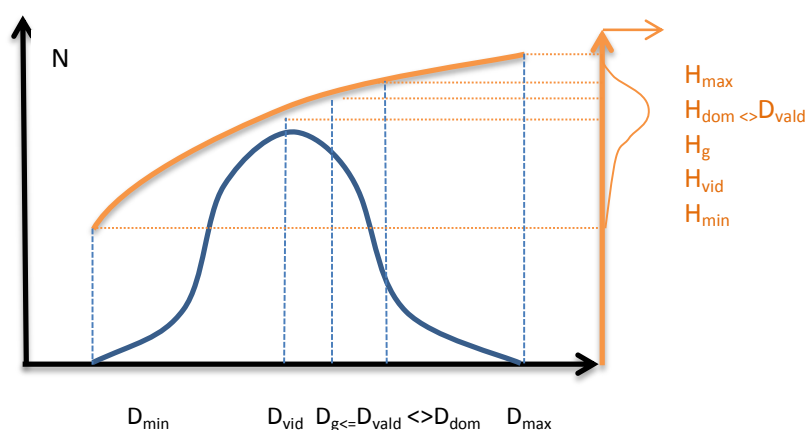
Pašreiz Latvijā netiek apstrādāti ap 603 tūkst. ha. lauksaimniecībā izmantojamo zemju, t.sk. krūmāju (108 tūkst. ha) un ārpus lauku blokiem esošās platības (368 tūkst. ha), kurās daudzos gadījumos uzsākusies dabiskā apmežošanās un to izmantošana lauksaimnieciskajai ražošanai saimnieciski ir apgrūtināta [1]. Šīs platības varētu izmantot mežsaimniecības vajadzībām. Kā viena no izmantošanas iespējām ir apmežošana ar bērzu vai bērzu plantāciju veidošana. Ekonomisko aprēķini balstāmi uz atbilstošiem augšanas gaitas modeļiem. Līdz šim Latvijā izstrādātie modeļi paredzēti bērzu audzēšanas modelēšanai meža zemēs. Tādēļ svarīgi noskaidrot vai bērza plantāciju un mežaudžu sākotnējā augšanas gaita ir līdzīga. Augšanas gaitu un sortimentu iznākumu aprites ciklā ietekmē mežsaimnieciskās darbības: augsnes sagatavošana, agrotehniskā kopšana, sastāva kopšana, krājas kopšana, kā arī mēslošana un atzarošana. Augsnes sagatavošana atstāj nozīmīgu ietekmi uz kociņu sākotnējo augšanu, jo ievērojami tiek samazināta zemes augu konkurence, tāpat, atbilstoši sagatavojot augsni, tiek uzlabota kokaugu barošanās apstākļi. Agrotehniskā kopšana samazina veģetācijas konkurenci un paātrina sākotnējo augšanu. Tīraudžu gadījumā sastāva kopšana tās klasiskā izpratnē nav vajadzīga, taču var būt gadījumi, kad nepieciešama arī valdošās sugas īpatņu skaita samazināšana. Retināšanā tiek samazināts koku skaits, lai palielinātu iegūstamās koksnes krāju (atmirstošo koku krājas izmantošana) un uzlabotu augšanas apstākļus paliekošajiem kokiem. Atzarošana palielina bezzaru (augstvērtīgās koksnes) daļas īpatsvaru.

Bez tam nozīmīga ietekme uz sortimentu iznākumu ir arī sākotnējam koku skaitam. Sākotnējais koku skaits ir atkarīgs no mežaudzes audzēšanas mērķa: vai tā ir biomasas audzēšana enerģētikas vajadzībām, papīrmalkas ieguvei vai arī lielu dimensiju sortimentu audzēšana (zāgbaļķi vai finierkluči). Vispārējais princips ir sekojošs: lai panāktu strauju virszemes biomasas pieaugumu, nepieciešams stādīt lielāku īpatņu skaitu uz platības vienības. Savukārt stādot mazāku koku, var palielināt iegūstamo lielo dimensiju sortimentu iznākumu.

Audzēšanas gaitas atspoguļošanai var tikt izmantoti individuāla koka augšanas gaitas modeļi, dimensijās līdzīgu koku (piem., caurmēra pakāpju) augšanas gaitas modeļi, vai vidējā (pēc dimensijām) koka augšanas gaitas modeļi. Latvijā parasti tiek izmantotas vidējā koka caurmēra un augstuma izmaiņas. Savukārt, lai iegūtu informāciju par kokaudzēšanas krāju atbilstoši prognozē arī koku skaita samazināšanos [2] vai šķērslaukuma izmaiņas [3]. Savukārt augšanas gaitas augstumā prognozēšanai tiek izmantoti vai nu vidējā koka augstuma izmaiņas piem., Orlova bonitāšu tabula [3], vai valdaudzēšanas koku augstuma izmaiņas [4] vai arī modelētas virsaugstuma (100 lielāko koku uz ha) izmaiņas

[2,3]. Iepriekšējie pētījumi liecina, ka audzes virsaugstuma attīstība ir stabilāks lielums salīdzinājumā ar vidējā augstuma izmaiņām, jo to mazāk iespaido saimnieciskā darbība.

Mūsu pētījumā audzes stāvokļa raksturošanai izmantoti virkne parametru – caurmērs, augstums, koku skaits, šķērslaukums. Vispārējās sakarības starp koku sadalījumu pa caurmēra pakāpēm un augstumu sadalījumu meža elementam atspoguļotas 0.1. att.. Vispārējā gadījumā vidējais aritmētiskais koku caurmērs ir mazāks par vidējo kvadrātisko koku caurmēru, kurš savukārt ir mazāks vai vienāds valdaudzes vidējo caurmēru. Savukārt valdaudzes vidējais caurmērs parasti ir mazāks par virsaugstuma koku vidējo caurmēru. Atbilstošas sakarības konstatētas arī augstumiem.



00.1. att. Vienkāršots meža elementa dažādu caurmēru un augstumu attiecību atspoguļojums. D_{vid} – vidējais aritmētiskais caurmērs; D_g – vidējais kvadrātiskais caurmērs, D_{vald} – valdaudzes koku vidējais kvadrātiskais caurmērs, D_{dom} – dominējošo koku (100 resnāko koku) vidējais caurmērs. H_{vid} , H_g , H_{vald} ; H_{dom} – atbilstošo koku augstumi pēc augstumlīknes [2].

Audzis krājas aprēķināšanai nepieciešams zināt vai nu vidējā koka tilpumu un koku skaitu, vai šķērslaukumu un veidaugstumu. Zinot vidējā koka caurmēru un augstumu, aprēķināms koka tilpums, izmantojot piem., R. Ozoliņa [5] tilpuma aprēķināšanas formulu. Atbilstoši pareizinot vidējā koka tilpumu ar koku skaitu iegūstam kokaudzis stumbru krāju.

Sortimentācijas aprēķinam izmantojama R. Ozoliņa izstrādātā sortimentu īpatsvara aprēķināšanas formula, kas balstīta uz stumbra veiduli un sortimentu dimensiju aprēķinu [5]. Zinot sortimentu iznākumu konkrētu dimensiju kokam, koku skaita sadalījumu pa caurmēra pakāpēm var aprēķināt kopējo sortimentu iznākumu audzē. Koku sadalījumu pa caurmēra pakāpēm var aprēķināt arī izmantojot piem., Veibula 3 parametru sadalījumu:

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left[\left(\frac{x-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha-1} \exp \left(- \left(\frac{x-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha} \right) \right] \quad (1),$$

kur:

α – formas parametrs;

β – mēroga parametrs;

γ – novietojuma parametrs.

Veibula sadalījuma kumulāta izsakāma ar sakarību:

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right], \quad (2).$$

Koku relatīvo īpatsvaru katrā caurmēra pakāpē aprēķina kā divu blakus esošu caurmēra pakāpju kumulātu starpību, proti, populācijas proporcija ar $x > L$ un $x < U$ aprēķina ar vienādojumu (3) [6].

$$P(L < x < U) = \exp\left[-\left(\frac{L-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right] - \exp\left[-\left(\frac{U-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right], \quad (3).$$

α , β un γ parametri aproksimēti izmantojot lineāru funkciju, par atkarīgo mainīgo izmantojot vidējā koka caurmēru un audzes biezību. Koeficientu vērtības atspoguļotas 0.1. tabula.

0.1. tabula

Veibula parametru aprēķināšanas vērtības

	Koeficienti	Vērtības
α	intercept	1.557854*
	D	0.028338*
	Biezība	-0.07466
β	intercept	-3.0986
	D	0.64221*
	Biezība	2.87378
γ	intercept	3.76267*
	D	0.36969*
	Biezība	-3.21411

Biezība aproksimēta izmantojot sakarību: $G_{\text{fakt}}/G_{\text{norm}}$, kur $G_{\text{norm}} = -143.92 + 99.88 + \lg(H+30)$ [3]. Vienādojums lietojums audzēs ar $5 < H < 35$ m. H – Vidējais augstums, m.

Savukārt augstumliņi (koku augstumu atkarībā no tā relatīvā caurmēra) var aprēķināt izmantojot Gafreja (*Gaffrey*) vispārējo augstumliņi [2]:

$$H_i = 1.3 + (H_g - 1.3) e^{\left(a_1 \left(1 - \frac{D_g}{D_i}\right) + a_2 \left(\frac{1}{D_g} - \frac{1}{D_i}\right)\right)}, \quad (4),$$

kur:

H_i – koka augstums, m;

H_g – vidējā kvadrātiskā koka augstums, m;

D_i – koka krūšaugstuma caurmērs, cm;

D_g – vidējā kvadrātiskā koka krūšaugstuma caurmērs, cm;

a_1, a_2 – koeficienti ($a_1=0.149607$; $a_2=4.310609$).

Lai aprēķinātu audzes krāju, nepieciešams izrēķināt vidējam kvadrātiskajam caurmēram atbilstoša koka augstumu, ja tas nav zināms. Ja konkrētajā gadījumā ir zināms tikai virsaugstums un koku skaits, tad to sakarības aproksimēšanai ar vidējo augstumu ieteikts izmantot sakarību [2]:

$$H_g = 1.49377 H_{dom}^{0.97974} N^{-0.07323} \quad (5),$$

kur:

H_g – vidējā kvadrātiskā caurmēra koka augstums

H_{dom} – virsaugstums

N – koku skaits uz ha.

Formula izmantojama, ja saglabāto koku skaits pārsniedz 150 gab ha⁻¹.

Koku dimensiju izmaiņu kopšanas ciršu rezultātā var aprēķināt izmantojot sakarību [7]:

$$D_{g(\text{pēc cirtes})} = 40000 * (G - G * G_{nocirsts} / G) / (3.14159 * (N - N * G_{nocirsts} / G * N_{nocirsts} / N * G / G_{nocirsts}))^{0.5} \quad (6),$$

kur:

G – audzes šķērslaukums;

$G_{nocirsts}$ – nocirsto koku šķērslaukums;

N – koku skaits pirms cirtes;

$N_{nocirsts}$ – nocirsto koku skaits.

Savukārt $H_{g(\text{pēc cirtes})}$ aprēķina atbilstoši (5) formulai pieņemot, ka kopšana veikta no apakšas un audzes H_{dom} nemainās.

Atbilstoši iepriekšējo pētījumu rezultātiem [2] noskaidrots, ka augstuma izmaiņu aproksimācijai var izmantot *Chapman-Richards* vienādojumu [6]:

$$H = 1.3 + a * [1 - \exp(-b * A)]^c \quad (7),$$

kur:

H – koka augstums, m;

A – koka krūšaugstuma vecums, gadi;

a, b, c – koeficienti, kuru vērtības jāaprēķina.

Šis vienādojums atbilst augšanas gaitas raksturošanai izvirzītajām formālajām prasībām:

- vienādojums apraksta sigmodiālu (S veida) augšanas gaitu ar pārliekuma punktu;
- vienādojumam ir horizontālā asimptota lielā vecumā.

Šai sakarībai vispārējā veidā atbilst gan vidējā koka augstuma augšanas gaita, gan virsaugstuma augšanas gaita, tomēr teorētisku apsvērumu dēļ augstuma augšanas gaitas modelēšanā priekšroka dodama virsaugstuma modelēšanai [3].

Lai raksturotu vidējā koka caurmēra pieaugumu krūšaugstumā, izmantojama sekojoša sakarība

$$Dg = a * [1 - \exp(-b * A)]^c \quad (8),$$

kur:

Dg – vidējā kvadrātiskā koka caurmērs krūšaugstumā, cm;

A – koka krūšaugstuma vecums, gadi;
 $a; b; c$ – koeficienti, kuru vērtības jāaprēķina.

Vienvecuma audzē platības vienībā augošo koku maksimālo skaitu nosaka to dimensijas D_g .

Audzē līmeņa atmiršanas modelos, kas raksturo pašizretināšanos, uzsvars tiek likts uz koku skaita uz hektāru un vidējā audzes koka krūšaugstuma caurmēra D_g sakarībām. Pētījumi liecina, ka koku skaitu atbilstošā vecumā ietekmē arī vietas auglība, kuru var izteikt ar bonitāti.

Dabiskā atmiršanas modelī koku skaita izmaiņai jāatbilst sekojošām prasībām:

- asimptotiska tiekšanās uz 0, palielinoties meža elementa koku vecumam;
- koku skaits pie konkrēta D_g nevar pārsniegt pašizretināšanās robežu.

Tiek pieņemts, ka ieaugšanās ir neievērojama un koku skaita samazināšanās notiek pakāpeniski.

Analīzē pašizretināšanās lielums modelēts izmantojot sekojošus vienādojumus:

$$N_2 = \left[N_1^{-1.4299} + \left(0.0000008 + \frac{7.668}{SI} \right) \left(\left(\frac{t_2}{10} \right)^{2.3206} - \left(\frac{t_1}{10} \right)^{2.3206} \right) \right]^{-\frac{1}{1.4299}} \quad (9),$$

kur:

N_1 un N_2 – koku skaits ha^{-1} attiecīgi vecumā t_1 un t_2 ;

SI – virsaudzuma bonitāte B; 50 gados; m;

Savukārt maksimāli iespējamais koku skaits N_{max} aprēķināms pēc sakarības:

$$N_{max} = 235023 * D_g^{-1.7831}, \quad (10).$$

Jebkurā gadījumā $N_2 \leq N_{max}$

Atbilstoši sakarībai (7), aprēķināta objekta paraugkoku augstuma augšanas gaita. Pēc tam iegūtās augstumlīknes izlīdzinātas, izmantojot vispārināto algebriskās diferences pieeju [8]. Rezultātā iegūtas no bāzes vecuma neatkarīgas augstumlīknes pēc formulas:

$$H_2 = 1.3 + (H_1 - 1.3) * \left[\frac{1 - \exp(-b_1 * A_2)}{1 - \exp(-b_1 * A_1)} \right] \left[b_2 + b_3 / \left(\frac{\ln H_1 - b_2 * (1 - \exp(-b_1 * A_1)) + \sqrt{[\ln H_1 - b_2 * (1 - \exp(-b_1 * A_1))]^2 - 4 * b_3 * (1 - \exp(-b_1 * A_1))}}{2}} \right) \right] \quad (11),$$

kur:

$H_1; H_2$ – koka (audzes) augstums attiecīgi 1. un 2. uzmērīšanas reizē, m;

$A_1; A_2$ – koka (audzes) vecums attiecīgi 1. un 2. uzmērīšanas reizē, gadi;

$b_1; b_2; b_3$ – koeficienti.

Caurmēra augšanas gaitas aproksimācijai izmantots jauns vienādojums [8]:

$$D_2 = D_1 \left(\frac{1 - \exp(-b_1 A_2)}{1 - \exp(-b_1 A_1)} \right)^{\left(b_2 + \frac{b_3}{X_0} \right)} \quad (12),$$

$$\text{kur:} \quad X_0 = \frac{1}{2} \left[(\ln D_1 - b_2 L_0) + \sqrt{(\ln D_1 - b_2 L_0)^2 - 4 b_3 L_0} \right] \quad (13),$$

$$\text{kur:} \quad L_0 = \ln[1 - \exp(-b_1 A_1)] \quad (14).$$

D_1 ; D_2 – audzes vidējais kvadrātiskais caurmērs attiecīgi 1. un 2. uzmērīšanas reizē, cm;

A_1 ; A_2 – audzes vecums attiecīgi 1. un 2. uzmērīšanas reizē, gadi;

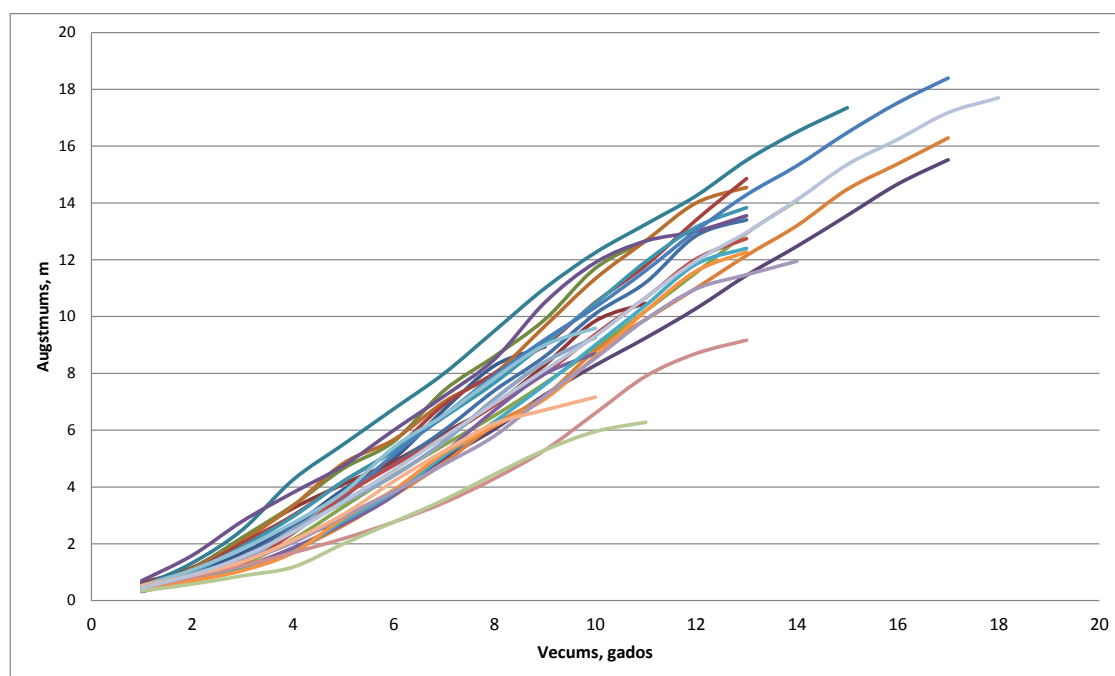
b_1 ; b_2 ; b_3 – koeficienti.

Augšanas gaitas analīzei izmantoti 24 pētījumu objektos iegūtu 400 koku stumbru analīžu dati.

Katram objektam aprēķināts paraugkoku vidējais augstums 1, 2, 3 utt. gadu vecumā, kā arī vidējais paraugkoku katra gada radiālais pieaugums un atbilstošais caurmērs krūšaugstumā. Atbilstoši sakarībai (7) aprēķināta objekta paraugkoku augstuma augšanas gaita, kas pēc tam aproksimēta izmantojot sakarību (11). Pēc līdzīgas pieejas aprēķināti arī katra objekta paraugkoku vidējā caurmēra izmaiņas, izmantojot sakarības (8) un (12-14). Koeficientu vērtības aprēķinātas, izmantojot datorprogrammu *SPSS 14 Advanced models*.

Iegūtie rezultāti salīdzināti ar agrāk izstrādātiem vienādojumiem [2].

Pētniecisko objektu paraugkoku vidējie augstumi attēloti 0.2. att.. Lēnāk augošie koki augstumlīknē veido acīmredzamu izliekumu, t.i., pieauguma pakāpenisku palielinājumu, savukārt straujāk augošie koku augstuma pieaugums ir praktiski lineārs.

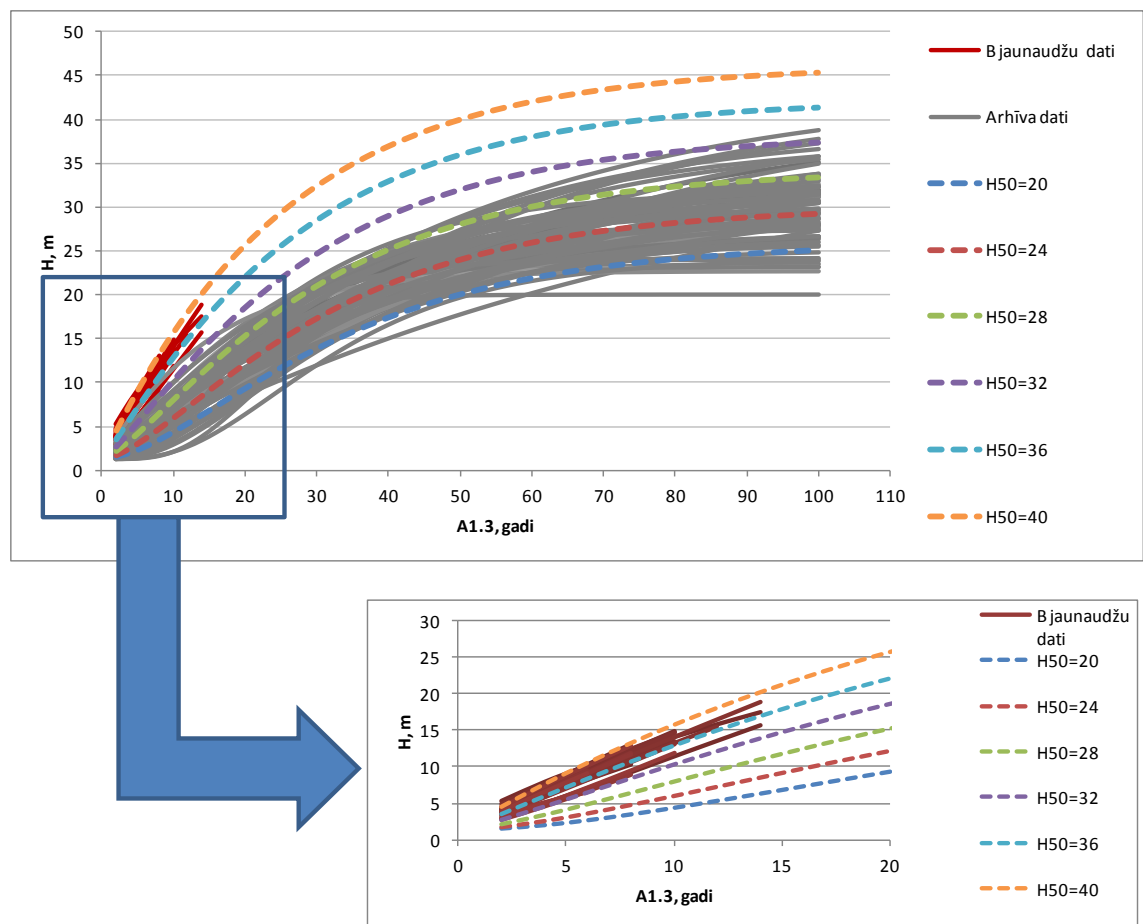


0.2. att. Pētījumu objektu paraugkoku augstuma augšanas gaita.

Aproksimēto augstuma augšanas gaitas vienādojumu (11. vienādojums) koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji atspoguļoti 0.2. tabula. Šo koeficientu vērtības aprēķinātas, izmantojot „arhīva stumbra analīžu datus” un šajā pētījumā iegūto stumbra analīžu datus. Vizuāli tie atspoguļoti 0.3. att..

Koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji (11. vienādojums)

Koeficients	Vērtība	Standart- kļūda	t-vērtība	95% ticamības intervāls	
				Min	Max
b1	0.040	0.001	49.420	0.038	0.042
b2	-3.960	0.461	-8.586	-4.864	-3.055
b3	19.108	1.634	11.694	15.902	22.313



0.3. att. Aproximētās un uzņēmītās augstuma augšanas gaitas

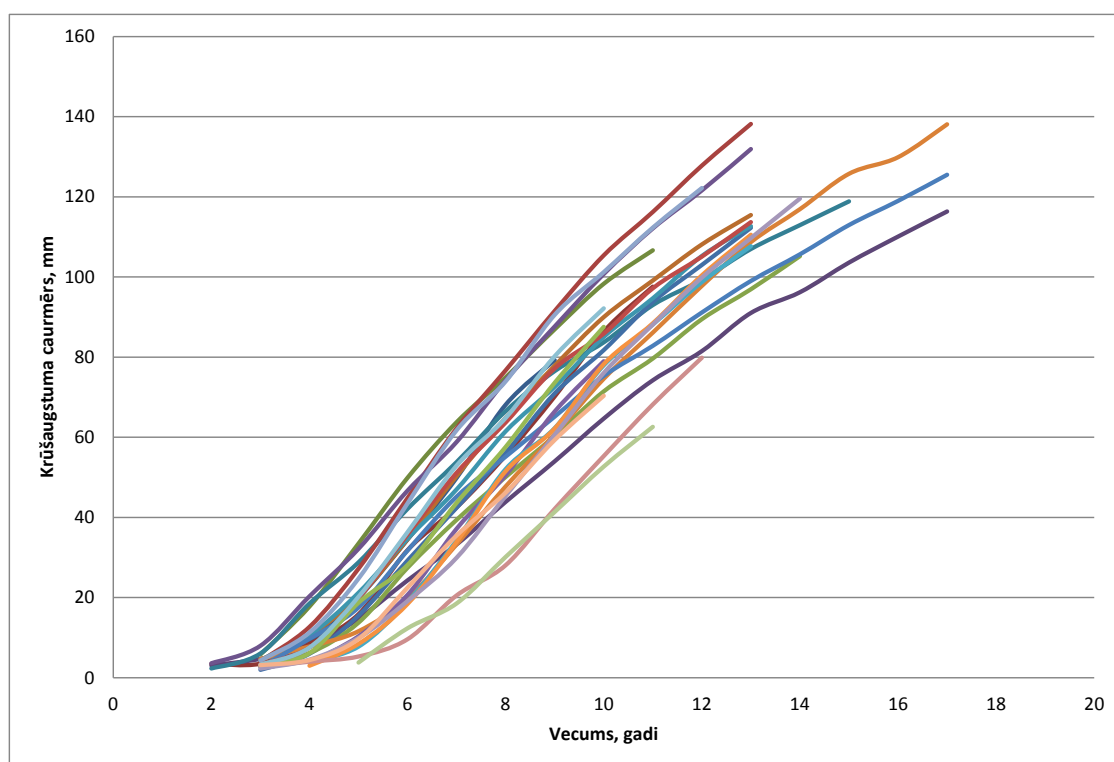
Salīdzinot arhīva paraugkoku datus ar lauksaimniecības zemēs augošo stādīto jaunaudžu koku datiem, konstatēts, ka stādītās audzes pirmajos desmit gados aug ievērojami straujāk nekā tas ir dabiskas izcelsmes audzēs. Ekstrapolējot stādīto audžu augšanas gaitu, tas, atbilstoši vienādojumiem, atbilstu $H_{50}=40\text{m}$. Taču visticamāk straujākā augšana ir izskaidrojama ar selekcijas efektu un agrotehniskās kopšanas ciršu radītu efektu, kurš varētu arī nebūt ilglaicīgs. Papildus efekta ilglaicīguma noskaidrošana ir turpmāko pētījumu uzdevums.

Pētnieciskajos objektos nocirsto paraugkoku krūšaugstuma caurmēra vidējo vērtību attīstība atspoguļota 0.4. att..

0.3. tabula

Koeficientu vērtības (12.-14. vienādojums)

Koeficients	Vērtība
b ₁	0.01289
b ₂	-0.98091
b ₃	7.17980

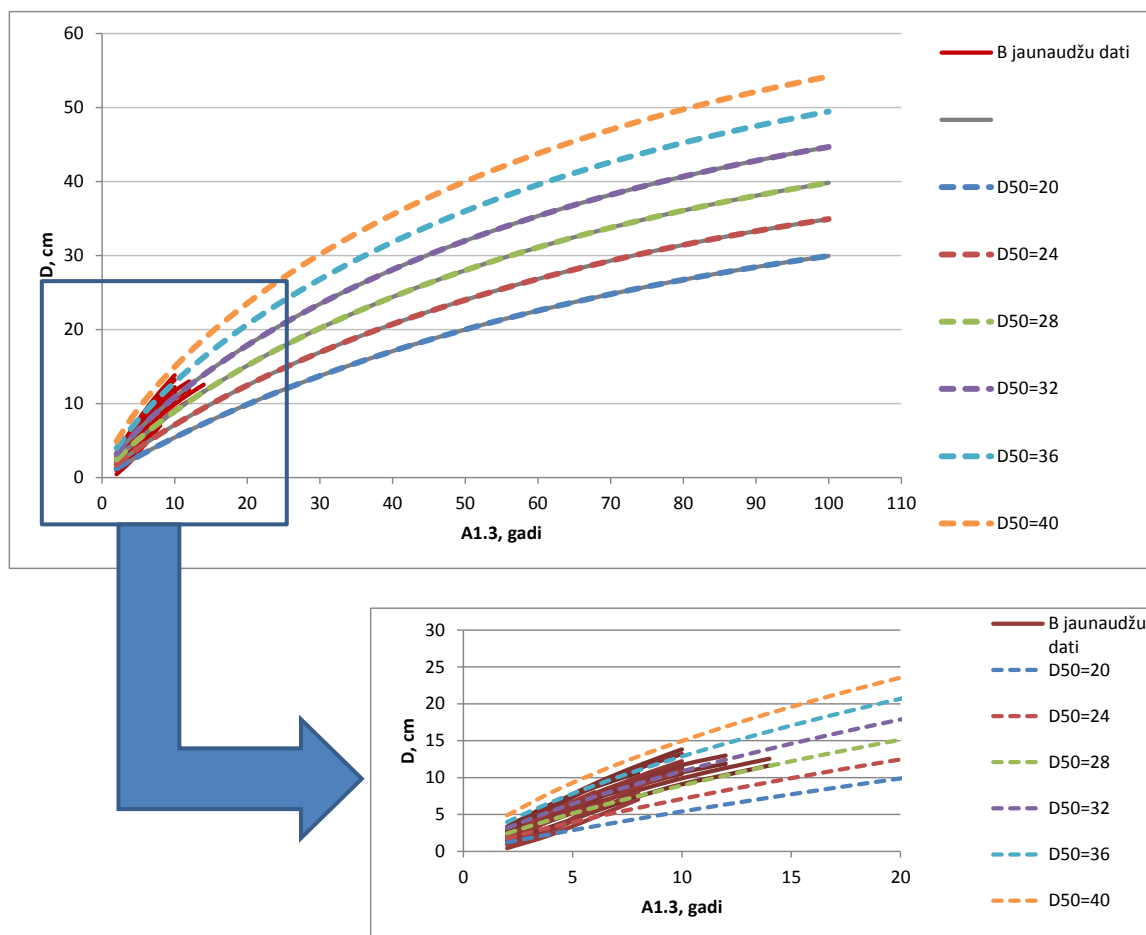


0.4. att. Pētījumu objektu paraugkoku caurmēra augšanas gaita.

Salīdzinājumā ar vispārējo caurmēra augšanas gaitu, kas iegūta aproksimējot meža statistiskās inventarizācijas parauglaukumu datus, konstatēts, ka arī caurmēra pieaugumi pārsniedz dabiski izcēlušos audžu vidējo caurmēru (skat. 5.attēls). Arī šajā gadījumā ekstrapolējot caurmēru pieaugšanas gaitu, tiek prognozēts, ka stādītie kociņi 50 gadu vecumā varētu sasniegt 40 cm caurmēru.

Tā kā pētījumā iegūtie dati atspoguļo sākotnējo augšanas gaitu mākslīgas ieaudzētās audzēs, un tie salīdzināta ar dabīgas izcelsmes, visticamākais – nekoptu, bērzu audžu augšanas gaitu, mums šobrīd nav adekvātas kontroles. Pēc MSI datiem 40-60 gadus vecu bērza audžu vidējais caurmērs ir ap 20 cm un vidējais augstums šajā vecumā ir ap 22m. Arī salīdzinot ar Somijā izstrādāto augšanas gaitas modeļiem [9], konstatēts, ka paraugkoku

augšanas gaita daļā gadījumu pārsniedz prognozes $H_{50}=30\text{m}$. Lai augšanas gaitas modeļos nodalītu kopšanas un selekcijas efektu būtu nepieciešami papildus eksperimenti.



0.5. att. Aproximētās un uzņēmētās caurmēra augšanas gaitas.

SECINĀJUMI

1. Atbilstoši mērījumiem, bērzi stādījumos plantācijās vismaz sākotnēji aug straujāk nekā meža zemēs, tomēr metodisku apsvērumu dēļ nav iespējama ticama augšanas gaitas ekstrapolācija.
2. Bērzu augšanas gaitas modelēšanai lauksaimniecības zemēs pagaidām izmantojami modeļi, kas izstrādāti bērzu augšanas gaitas modelēšanai meža zemēs.
3. Izstrādātie modeļi ļauj izvērtēt saimnieciskās darbības – kopšanas cirtes – ietekmi uz bērzu augšanas gaitu.

LITERATŪRA

1. Pilvere, I., *Zemes ekonomiski efektīva, ilgtspējīga un produktīva izmantošana lauksaimniecības un mežsaimniecības produkcijas ražošanai*. Starpatskaite LLU: Jelgava, 2013; p. 68
2. Donis, J. *Latvijas meža resursu ilgtspējīgas, ekonomiski pamatotas izmantošanas un prognozēšanas modeļu izstrāde*; LVMI Silava: Salaspils, 2012; p 67.
3. *Нормативы для таксации леса Латвийской ССР*. Рига, 1988; p 176.
4. Sacenieks, R.; Matuzānis, J., *Mežsaimniecības tabulas* Latvijas Valsts izdevniecība: 1964; p. 207
5. Ozolins, R., Forest stand assortment structure analysis using mathematical modelling *Forestry Studies/Metsanduslikud Uurimused* **2002**, 37, 33-42.
6. Clutter, J.L.; Fortson, J.C.; Pienaar, L.V.; Brister, G.H.; Bailey, R.L., *Timber management: A quantitative approach* John Wiley & Sons, Inc: New York, 1983; p. 333
7. Donis, J., *Latvijas meža resursu ilgtspējīgas, ekonomiski pamatotas izmantošanas un prognozēšanas modeļu izstrāde. Pārskats par Meža attīstības fonda pasūtīto pētījumu* LVMI "Silava": Salaspils, 2009; p. 136
8. Cieszewski, J.; Bailey, L., Generalized algebraic difference approach: theory based derivation of dynamic site equations with polymorphism and variable asymptotes *Forest Science* **2000**, 46, 116-126.
9. Liepiņš, K., Kārpainā bērza (*Betula pendula* Roth.) jaunaudžu augšanas gaita stādījumos lauksaimniecības augsnēs Latvijā. *Mežzinātne* **2011**, 23, 3-14.