
Audzes krājas tekošā pieauguma un dabiskā atmiruma prognožu modeļi

Jānis Donis ^{1,2*}, Guntars Šņepsts ¹, Raimonds Šēnhofs ¹,
Agita Treimane ¹ un Leonīds Zdors ²

Donis, J., Šņepsts, G., Šēnhofs, R., Treimane, A., un Zdors, L., 2015.
Audzes krājas tekošā pieauguma un dabiskā atmiruma prognožu modeļi.
Mežzinātne 29, 99–118.

Kopsavilkums. Latvijā ir izstrādātas vairākas kamerālās metodes faktiskās audzes tekošā pieauguma aprēķināšanai gan skuju kokiem, gan lapu kokiem. Tās pamatojas uz pagājušā gadsimta 60.-tajos un 70.-tajos gados vienreiz uzmērītu parauglaukumu datiem un ar urbumu metodēm iegūtiem caurmēra pieaugumiem. Savukārt dabiskā atmiruma modeļi ir izstrādāti tikai skuju kokiem. To izstrādes metodiskā pieeja publikācijās nav atspoguļota. Pētījumi liecina, ka Eiropā pēdējos gadu desmitos ir mainījusies audžu augšanas gaita, tādēļ nepieciešama gan pieauguma, gan atmiruma modeļu precizēšana.

Pētījuma mērķis ir izstrādāt kamerālo metodi faktiskās audzes tekošā pieauguma un dabiskā atmiruma prognozēm, balstot to uz pārmērītu meža statistiskās inventarizācijas parauglaukumu datu kopu.

Analīzē izmantoti dati par 2340 meža statistiskās inventarizācijas (MSI) I un II ciklā pēc 5 gadiem atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem. Katram parauglaukumam aprēķināts krājas tekošais faktiskās audzes vidēji periodiskais pieaugums. Balstoties uz šiem datiem aproksimēti jauni vienādojumi krājas tekošā faktiskās audzes vidēji periodiskā pieauguma aprēķinam priedei, eglei, bērzam, apsei, melnalksnim un baltalksnim. Aproksimācijai izmantots kokaudzes vecums krūšaugstumā $A_{1,3}$, audzes bonitāte pēc Orlova skalas un kokaudzes (meža elementa) šķērslaukums. No tās datu kopas atlasot audzes, kur nav veikta ciršana un atmirums nepārsniedz 20 % no sākotnējās krājas, izstrādāti jauni modeļi krājas tekošā vidēji periodiskā dabiskā atmiruma aprēķinam priedei, eglei, bērzam, apsei, melnalksnim un baltalksnim. Dabiskā atmiruma aproksimācijai izmantots kokaudzes vecums krūšaugstumā $A_{1,3}$ un kokaudzes šķērslaukums.

Vienādojumi izmantojami audžu kopas (stratu), nevis atsevišķas audzes pieauguma un audzes dabiskā atmiruma prognozēšanai, bet ne dabisko (ugunsgrēku, vējgāžu utt.) procesu rezultātā radušos masveida krājas atmiruma prognozēm.

Raksturvārdi: vidējais periodiskais krājas pieaugums, dabiskais atmirums.

•••

¹ Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava", Rīgas iela 111, Salaspils, LV-2169, Latvija;

* e-pasts: janis.donis@silava.lv

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

Donis, J.^{3,4*}, Snepsts, G.³, Senhofs, R.³, Treimane, A.³, and Zdors, L.⁴ **Stand volume increment and the natural mortality models.**

Abstract. In Latvia, several methods for calculation of current volume increment calculation, both for coniferous and deciduous stands have been developed earlier. They are based on data from once surveyed sample plots and radial increment cores. Majority of sample plots were established in the 1960-ies and 1970-ies. In turn, the models of natural mortality have been developed only for coniferous stands. The methodological approach of development of natural mortality models is not reflected in publications. Studies show that forest growth in Europe has changed during recent decades, therefore it is necessary to specify both the growth and natural mortality models.

The study aims to develop a cameral method for forecasts of mean period stand growth and natural mortality, based on re-measured National forest inventory (NFI) sample plot data sets.

The analysis used data from 2,340 NFI sample plots surveyed second time during 2009–2013. For each plot growing stock at the end of period and growing stock of trees alive at the beginning of period was calculated. Then gross mean periodic growth excluding increment of volume of losses (Z_{Mf}^{vp}) was calculated. Based on these new data, we developed equation of (Z_{Mf}^{vp}) for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst), birch (*Betula* spp.), aspen (*Populus tremula* L.), common alder (*Alnus glutinosa* L.) and grey alder (*Alnus incana* L.). Growth approximation used breast height age $A_{1,3}$, site quality class according to Orlov's scale and stand basal area. From the same basic data set we selected sample plots where no cutting occurred nor natural losses exceeded 20 % of initial growing stock for development of new models for approximation of volume of mean periodic natural mortality for pine, spruce, birch, aspen, common alder and grey alder stands. For approximation of natural mortality stand age at breast height $A_{1,3}$ and stand basal area were used.

Equations can be used for growth prognosis for strata of stands instead of prediction of growth and natural mortality of individual stands. They are not suitable for forecasting of natural losses created by disturbances (fire, windfall, etc.).

Key words: mean periodic volume growth, natural mortality.

•••

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

* e-mail: janis.donis@silava.lv

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

Донис, Я.^{5, 6*}, Шнепстс, Г.⁵, Шенхофс, Р.⁵, Треймане, А.⁵, и Здорс, Л.⁶ **Модели прогнозов фактического текущего прироста запаса и естественного отпада.**

Резюме. В Латвии разработан целый ряд камеральных методов для вычисления фактического текущего прироста хвойных и лиственных деревьев, которые основываются на данные, добытые в 60-ых и 70-ых гг. прошлого столетия путем одноразового измерения пробных площадей и с методом бурения определённых приростов диаметра. Модели естественного отпада разработаны только для хвойных деревьев, методика создания которых в публикациях не раскрыта. Исследования показывают, что в последние десятилетия ход роста насаждений в Европе изменился, поэтому необходимо произвести уточнение моделей прироста и отпада.

Цель данного исследования – разработать камеральный метод для прогнозирования текущего прироста и отпада насаждений, основываясь на набор данных о пробных площадях перемеренных вовремя статистической инвентаризации леса.

При анализе использованы данные о 2340 повторно измеренных пробных площадях в I и II циклах статистической инвентаризации леса спустя 5-летний срок. Для каждой пробной площади вычислен фактический средне периодичный текущий прирост запаса насаждения. Используя полученные данные, аппроксимированы новые уравнения для вычисления фактического средне периодичного текущего прироста сосновых, еловых, берёзовых, осиновых, черноольховых и белоольховых насаждений. Для аппроксимации прироста применён возраст насаждения на высоте груди $A_{1,3}$, бонитет по шкале Орлова и площадь поперечного сечения насаждения (лесной элемент). Из упомянутого набора данных выбирая те насаждения, где не проводились вырубki и отпад не превышал 20 % от изначального запаса, выработаны новые модели для вычисления фактического средне периодичного текущего прироста сосновых, еловых, берёзовых, осиновых, черноольховых и белоольховых насаждений. Для аппроксимации естественного отпада использован возраст насаждения на возрасте груди $A_{1,3}$ и площадь поперечного сечения насаждения.

Выработанные уравнения пригодны только для прогнозирования прироста и естественного отпада набора насаждений (страт), но не для отдельного насаждения. Уравнения также не пригодны для прогнозирования естественного отпада запаса насаждения, образовавшейся в результате естественных процессов (лесные пожары, ветровалы и др.).

Ключевые слова: средний периодичный прирост запаса, естественный отпад.

⁵ Латвийский государственный институт лесоведения «Силава», ул. Ригас 111, Саласпилс, LV-2169, Латвия; * эл. почта: janis.donis@silava.lv

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

Ievads

Jebkurā kokaudzē tās dzīves laikā notiek kvalitatīvas un kvantitatīvas izmaiņas, ko nosaka tās augšana un attīstība. Viens no kokaudzi raksturojošiem rādītājiem ir tās krāja, kas ir koku kopas stumbra tilpumu summa (Liepa, 1996, 2008). Viens no krājas izmaiņu raksturošanai izmantotajiem rādītājiem ir krājas pieaugums, kura klasifikācija detāli aprakstīta vairākās publikācijās (piemēram, Антанайтис, Загреев, 1981; Liepa, 1996 u.c.). To aprēķinu formulas ievietotas 1. tabulā.

Tekošā pieauguma noteikšanai izmantojamas vairākas metodes (Liepa, 1996; Антанайтис, Загреев, 1981), kuras klasificējamās šādi: atkārtotas uzskaites jeb pastāvīgoparauglukumumetode, paraugkoku metode, urbumu metodes un kamerālās metodes. Katrai no tām ir priekšrocības un trūkumi. **Atkārtotās uzskaites jeb pastāvīgo paraugluku metode** pielietojama tekošā pilnā pieauguma noteikšanai (periodiskais un vidēji periodiskais). Parauglukumus uzmēra ik pēc n ($n = 5...10$) gadiem. P. Sarma uzskata šo metodi par drošāko, pieļaujot, ka

1. tabula / Table 1

Krājas pieaugumu veidi un to aprēķināšanas vienādojumi (Liepa, 1996)
Types of volume increment and equations for calculation (Liepa, 1996)

Pieauguma veida rādītājs Type of volume increment	Apzīmējums Symbols	Vienādojums Equations
Krājas tekošā periodiskā difference Net periodic growth	Δ_M^p	$M_A - M_{A-n}$ (1)
Krājas tekošā vidēji periodiskā difference Net mean periodic growth	Δ_M^{vp}	$\frac{M_A - M_{A-n}}{n}$ (2)
Krājas tekošais pilnais periodiskais pieaugums Gross periodic growth including increment of volume of losses	Z_{Mp}^p	$M_A - M_{A-n} + M_n^a$ (3)
Krājas tekošais pilnais vidēji periodiskais pieaugums Gross mean periodic growth including increment of volume of losses	Z_{Mp}^{vp}	$\frac{M_A - M_{A-n} + M_n^a}{n}$ (4)
Krājas tekošais faktiskais periodiskais pieaugums Gross periodic growth excluding increment of volume of losses	Z_{Mf}^p	$M_A - m_{A-n}$ (5)
Krājas tekošais faktiskais vidēji periodiskais pieaugums Gross mean periodic growth excluding increment of volume of losses	Z_{Mf}^{vp}	$\frac{M_A - m_{A-n}}{n}$ (6)

Apzīmējumi / Legend:

- M_A – audzes krāja vecumā A (augošo koku krāja) / growing stock at the end of period;
- M_{A-n} – audzes krāja pirms n gadiem (pirms n gadiem augošo koku krāja) / growing stock at the beginning of period;
- n – laika intervāla lielums, kurā nosaka pieaugumu / length of period;
- M_n^a – atmiruma krāja (n gadu laikā atmirušo koku krāja perioda beigās) / standing volume at the end of period of trees which died during n years period;
- m_{A-n} – intervāla beigās audzē augošo koku krāja $A-n$ gadu vecumā / growing stock at age $A-n$ of trees alive at the end of period.

$n = 3$ (Liepa, 1996). Savukārt citi pētnieki uzskata, ka uzmērīšanai nepieciešams ievērojami ilgāks laiks (Антанайтис, Загреев, 1981). Metodes trūkums – mērījumu veikšana ne agrāk kā pēc 5 gadiem, kas neļauj noteikt ikgadējo pieaugumu, savukārt tās priekšrocība – iespējama audzes sastāva formēšanās apsekošana, kopējās produktivitātes prognozēšana u.c., tādēļ tā ir neaizstājama augšanas gaitas pētišanai (Liepa, 1996). Tekošā pieauguma noteikšanai nacionālā līmenī dati iegūstami meža statistiskās inventarizācijas (MSI) parauglaukumos (Jansons, Licite, 2009). Ar **paraugkoku metodi** aprēķināms faktiskais pieaugums – periodiskais, vidēji periodiskais un ikgadējais. Metodes precizitāti nosaka izvēlēto paraugkoku skaits un veids. Paraugkoku metodes ir precīzākās, nosakot pieaugumu īsā laika intervālā, it īpaši, aprēķinot ikgadējo pieaugumu. **Urbumu metodes** balstās uz izurbto skaidu radiālo pieaugumu mērījumiem. Tā kā augstuma pieaugums bieži vien nav izmērāms, to aprēķina, pielietojot dažādas empīriskās metodes, kuru pieauguma noteikšanas kļūda nepārsniedz 10–15 %. Minēto metožu darbietilpība, salīdzinājumā ar parauglaukumu un paraugkoku metodēm, ir ievērojami mazāka, tādēļ tās tiek izmantotas visbiežāk. Pie šīm metodēm pieskaitāmas Meijera-Loča metode, kuru plaši pielietojuši arī Latvijas pētnieki (Zviedris, Matuzānis, 1964; Matuzānis, Tauriņš, 1971; Liepa, 2011), kā arī I. Liepas izstrādātās metodikas (Liepa, 1968, 1975, 1996, 2011; Ли́па и др., 1980). Konkrētās audzes (meža elementa) krājas tekošā pieauguma noteikšanai, zinot radiālo pieaugumu, vidējo caurmēru D (cm),

šķērslaukumu G ($m^2 ha^{-1}$) un vidējo augstumu H (Liepa, 1996), tā pielietota MSI pirmajā uzmērīšanas ciklā, lai aprēķinātu faktiskās audzes potenciālo tekošo ikgadējo pieaugumu, kas balstīts uz iepriekšējo 5 (10) gadu radiālo pieaugumu vērtībām (Libiete *et al.*, 2009). **Kamerālās metodes** pamatojas uz tradicionālo, meža inventarizācijas laikā iegūto informāciju. Pie tām pieskaitāmas augšanas gaitas tabulu metodes (Ozols, 1926; Matuzānis, 1983; Liepa, 1996).

Sagaidāmā tekošā krājas pieauguma (vidējais turpmākajos 10 gados) noteikšanai, izmantojot lielu skaitu (vairāk nekā 1200) vienreiz uzmērītu parauglaukumu datus, ir izstrādāti vienādojumi parastās priedes (*Pinus sylvestris* L.), parastās egles (*Picea abies* (L.) Karst) un bērza (*Betula* spp.) audzēm (Matuzānis, 1983). Priedes un egles krājas tekošais pieaugums Z_M aprēķināts kā funkcija no šķērslaukuma G , krūšaugstuma vecuma gados $A_{1,3}$ un virsaugstuma bonitātes 100 gadu bāzes vecumā (H_{100}), $Z_M = f(G; A_{1,3}; H_{100})$; savukārt bērzam, apsei (*Populus tremula* L.) un melnalksnim (*Alnus glutinosa* L.) $Z_M = f(G; A_{1,3}; H_{50})$, bet baltalksnim (*Alnus incana* L.) kā funkcija no šķērslaukuma G , vecuma A , un bonitātes B pēc Orlova skalas $Z_M = f(G; A; B)$ (Нормативы для таксации ..., 1988). Priežu jaunaudzēm $Z_M = f(A; G; H_{20})$ aproksimēts, balstoties uz 55 parauglaukumu datiem (Геркис, 1981), bet egļu jaunaudzēm $Z_M = f(A; G; H_{20})$ aproksimēts, balstoties uz 144 parauglaukumu datiem (Бисениекс, 1975). Ņemot vērā datu ieguves metodiku, Z_M šajā gadījumā ir krājas tekošais faktiskais vidēji periodiskais pieaugums Z_{Mf}^{vp} .

I. Liepa (2008, 2009) izstrādājis kamerālo metodi, kas izmantojama audžu kopu krājas tekošā faktiskā potenciālā pieauguma noteikšanai, balstot to uz tradicionālajiem taksācijas aprakstu rādītājiem – suga, A , G , B . Metodes pamatā ir atsevišķu parauglaukumu pieaugumu dati. Tā paredzēta krājas pieauguma aprēķināšanai astoņām Latvijā mežsaimnieciski nozīmīgākajām sugām (P , E , B , A , M , Ba , Os , Oz) saistībā ar mežaudzes vecumu, šķērslaukumu un bonitāti ($Z_M = f(A; G; B)$). Diemžēl, I. Liepa (Liepa, 2008, 2009) nav atspoguļojis, kā metodiski aprēķināts (aproximēts) radiālais pieaugums dažāda vecuma, sugu un bonitāšu audzēm, un kāda ir šo aproksimāciju nenoteiktība.

Pētījumos mēdz nodalīt dabisko atmirumu, kas sevī neietver krājas zudumus, kuri radušies dabisko traucējumu (vējgāzes, ugunsgrēki utt.) vai cilvēka darbības (Liepa, 2009) rezultātā. Taču atšķirt dabisko traucējumu radītos zudumus no dabiskā atmiruma ne vienmēr ir iespējams. J. Bisenieks un J. Matuzānis 1976. g. (Нормативы для таксации ..., 1988) izstrādājuši modeļus ikgadējā dabiskā atmiruma ($m^3 ha^{-1}$) noteikšanai priežu audzēs un egļu audzēs 10 gadu laikā atkarībā no bonitātes (pēc Orlova skalas), vecuma un biežības, kas aprēķināta pēc Tretjakova skalas. Modeļu lietošanas ierobežojums – audzes vecums vismaz 40 gadi. Šos pašus datus aproksimējis I. Liepa (Liepa, 2008) un izskaitļojis reducēto ikgadējo atmirumu ($m^3 m^{-2}$), balstoties uz pieņēmumu, ka atmirums ir tieši proporcionāls šķērslaukumam, kas neatbilst teorijai, ka dabiskais atmirums pašizretināšanās dēļ biežākās audzēs ir lielāks nekā līdzīga vecuma

un augstuma retākās audzēs (Hasenhauer, 2006; Weiskittel *et al.*, 2011).

J. Bisenieks ir izstrādājis vienādojumus arī ikgadējā dabiskā atmiruma un kopējā dabiskā atmiruma aproksimācijai, kas balstīti uz vecumu, augstumu un šķērslaukumu $V_{atm} = f(A; H; G)$ priedei un eglei (Bisenieks, 1984).

Agrāk izstrādāto modeļu pamatā ir pagājušā gadsimta 60.-tajos un 70.-tajos gados ierīkoto un vienreiz uzmērīto parauglaukumu un tajos iegūto urbumu skaidu dati. Pētījumi liecina, ka daudzviet Eiropā audžu augšanas gaitā novērotas izmaiņas (Spiecker, 1999; Pretzsch, 2009), tādēļ ir nepieciešama jaunu modeļu izstrāde.

Pētījuma mērķis: izstrādāt kamerālo metodi faktiskās audzes tekošā pieauguma un dabiskā atmiruma prognozēšanai, balstoties uz pārmērītajos meža statistiskās inventarizācijas parauglaukumos iegūto datu kopu.

Materiāls un metodes

Analīzei izmantoti dati par 2340 meža statistiskās inventarizācijas (MSI) I un II ciklā pēc 5 gadiem atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, turklāt dati tikai par tiem parauglaukumiem, kuriem:

- abās uzmērīšanas reizēs sakritusi I stāvā valdošā koku suga;
- I stāvā valdošā koku suga bijusi priede (904 parauglaukumi), egle (425), bērzs (655), apse (104), melnalksnis (115), un baltalksnis (137);
- I stāva valdošās koku sugas krūšaugstuma vecums I. uzmērīšanas reizē bijis vismaz 5 gadi;
- I stāva valdošās koku sugas koku skaits

- 1. uzmērīšanas reizē uzrādījis vismaz 100 kokus uz hektāra;
- I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā caurmēra un tam atbilstošā augstuma pieaugums bijis pozitīvs un nav lielāks par 3 standartnovirzēm no parauglaukuma atbilstošās audzes vecuma desmitgades aritmētiski vidējās vērtības;
- dabiskais atmirums nav bijis lielāks par 20 % no 1. uzmērīšanas reizē konstatētās koku krājas, pieņemot, ka lielāku atmirumu izraisa dabiskie traucējumi, piem., spēcīgu vēju radīti audžu bojājumi;
- periodā starp uzmērīšanām nav konstatēta koku izciršana.

Paraugkopu raksturojošie taksācijas rādītāji atspoguļoti 2. tabulā.

Lai izvairītos no krājas izmaiņu kļūdām, kas MSI metodikas dēļ rodas, kokiem ieaugoties (pārsniedzot 2,0 cm krūšaugstuma caurmēru) vai pārejot uz citu reprezentācijas klasi (pārsniedzot 6,0 cm un 14,0 cm krūšaugstuma caurmēru), analīzei izmantoti tikai tie koki, kas konstatēti pirmajā uzmērīšanas ciklā un kuru reprezentācijas klases paliek nemainīgas.

Meža elementa koka augstums aprēķināts, izmantojot Petersona augstumliķni (van Laar, Akča, 2007), savukārt koku stumbru tilpumi izskaitļoti ar I. Liepas formulu (28. formula (Liepa, 1996)); attiecīgi izrēķināts meža elementa vidējais kvadrātiskais caurmērs un vidējā kvadrātiskā caurmēra koka augstums.

Veicot analīzi, faktiskās audzes tekošo vidēji periodisko pieaugumu katram parauglaukumam aprēķina šādi (Liepa, 1996):

$$Z_m = \frac{M_A - m_{A-n}}{n}, \text{ kur} \quad (7)$$

M_A – audzes krāja vecumā A (augošo koku krāja), $m^3 \text{ ha}^{-1}$;

m_{A-n} – intervāla n beigās audzē augošo koku krāja $A-n$ gadu vecumā, $m^3 \text{ ha}^{-1}$;

n – intervāla garums, gadi.

Visi aprēķini veikti audzes krājas pieauguma noteikšanai ar mizu.

Faktiskās audzes tekošā vidēji periodiskā krājas pieauguma prognozēšanai izstrādāts šāds vienādojums:

$$Z_{Mf}^{vp} = a_1 A_{1.3}^{a_2} a_3^B G^{a_4}, \text{ kur} \quad (8)$$

Z_{Mf}^{vp} – faktiskās audzes tekošais vidēji periodiskais krājas pieaugums, $m^3 \text{ ha}^{-1}$;

$A_{1.3}$ – kokaudzes I stāvā valdošās koku sugas krūšaugstuma vecums, gadi;

B – audzes bonitāte (atbilstoši Orlova bonitāšu skalai $I_a = 0, I = 1 \dots IV = 4, V = 5$);

G – kokaudzes (meža elementa) šķērslaukums, $m^2 \text{ ha}^{-1}$;

$a_1 \dots a_4$ – empīriskie koeficienti.

B aprēķināts, pielietojot J. Bisenieka sakarību aproksimāciju (6.12. tabula no Нормативы для таксации ..., 1988).

Modelis pašreiz ietver visus dabiskos zudumus kopā, t.sk., arī dabisko traucējumu radītos krājas zudumus, ja vien dabiskais atmirums nav lielāks par 20 % no 1. MSI ciklā parauglaukumā konstatēto koku krājas.

Vidējā periodiskā dabiskā atmiruma modelēšanai pārbaudīti 2 vienādojumi:

$$Z_M^{vp}(-) = b_1 A_{1.3}^{b_2} b_3^{\left(\frac{A_{1.3}}{100}\right)} G^{b_4}, \text{ kur} \quad (9)$$

$$Z_M^{vp}(-) = \frac{A_{1.3} G}{c_1 + c_2 A_{1.3} + c_3 G}, \text{ kur} \quad (10)$$

$Z_M^{vp}(-)$ – audzes tekošais vidēji periodiskais krājas dabiskais atmirums, $m^3 \text{ ha}^{-1}$;

$A_{1.3}$ – kokaudzes I stāvā valdošās koku sugas krūšaugstuma vecums, gadi;

G – kokaudzes šķērslaukums, $m^2 \text{ ha}^{-1}$;

$b_1 \dots b_4$ un $c_1 \dots c_3$ – empīriskie koeficienti.

Paraugkopas taksācijas rādītāji
Inventory data of sample set

Suga Species	Rādītājs Variable	Audzes taksācijas rādītāji Stand characterists										
		A	Bon	D	H	G	G1	M	M1	N	N1	Biez
Priede Pine	Aritm. vid. / Mean	68,6	2,3	23,7	19,3	25,6	22,4	242,9	221,6	1416	689,51	0,67
	Min. / Min	5	0	2,6	1,5	0,4	0,4	0,8	0,8	100	100	0,03
	Maks. / Max	230	6	56,5	35,1	72,0	61,2	823,2	745,5	11500	6700	1,68
	Standartnovirze / StdDev	29,8	1,7	8,4	6,7	11,2	9,2	145,1	129,0	1085	563	0,24
Egļe Spruce	Aritm. vid. / Mean	46,4	1,2	21,2	18,5	24,7	21,2	236,4	213,2	1708	812,24	0,69
	Min. / Min	5	0	2,6	2,7	0,3	0,3	1,1	1,1	100	100	0,03
	Maks. / Max	164	4	48,7	36,3	50,6	44,6	655,4	611,4	17180	5100	1,59
	Standartnovirze / StdDev	28,8	1,1	8,5	6,6	11,0	9,7	139,8	129,8	1620	652,6	0,26
Bērzs Birch	Aritm. vid. / Mean	40,4	1,5	17,6	18,5	20,7	16,3	185,8	157,7	1921,6	931,45	0,67
	Min. / Min	5	0	2,5	3,5	0,5	0,5	1,6	1,6	100	100	0,03
	Maks. / Max	105	6	40,5	32,0	50,9	45,8	652,7	615,1	14700	14700	4,59
	Standartnovirze / StdDev	18,8	1,3	7,6	6,7	10,8	8,3	123,1	104,6	1692	1099	0,33
Meln- alksnis Black alder	Aritm. vid. / Mean	41,5	1,6	20,2	18,7	26,4	23,1	246,3	226,6	1559,5	840,17	0,79
	Min. / Min	5	0	3,8	4,3	0,9	0,9	2,4	2,4	160	160	0,11
	Maks. / Max	77	5	34,6	28,0	49,0	40,4	598,9	530,3	7940	3020	1,43
	Standartnovirze / StdDev	16,0	1,0	6,5	5,0	10,7	9,6	126,0	119,7	1169	534,4	0,29
Apse Aspen	Aritm. vid. / Mean	41,6	0,3	24,3	23,4	29,9	23,3	337,3	288,1	2293,5	1211,3	0,83
	Min. / Min	6	0	2,4	4,0	0,8	0,8	2,8	2,8	240	160	0,20
	Maks. / Max	108	3	53,7	38,5	60,0	47,3	738,9	717,6	13400	13400	4,77
	Standartnovirze / StdDev	21,1	0,6	12,6	8,7	14,0	10,7	208,0	180,8	2259	1935	0,56
Balt- alksnis Grey alder	Aritm. vid. / Mean	26,0	1,2	13,1	14,5	21,6	19,5	163,7	152,5	2607,3	1912,6	0,91
	Min. / Min	5	0	2,6	4,7	1,1	1,1	3,2	3,2	220	220	0,09
	Maks. / Max	54	4	26,4	22,9	40,6	37,5	391,6	358,3	11800	11800	3,97
	Standartnovirze / StdDev	11,2	1,0	5,2	4,5	9,9	9,1	93,7	87,5	1971	1848	0,52

Apzīmējumi / Legend:

$A_{1,3}$ – audzes krūšaugstuma vecums / age at the breast height; Bon – bonitāte pēc Orlova skalas / site quality class according to Orlov's scale; D – vidējais kvadrātiskais caurmērs, cm / mean quadratic diameter, cm; H – vidējā kvadrātiskā caurmēra koka augstums, m / height of the tree with mean quadratic diameter, m; G – parauglaukumu kokaudzes šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$ / basal area of stand $m^2 ha^{-1}$; G1 – parauglaukumu kokaudzes I stāva šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$ / basal area of trees in the upper layer, $m^2 ha^{-1}$; M – parauglaukumu kokaudzes krāja, $m^3 ha^{-1}$ / volume of stand, $m^3 ha^{-1}$; M1 – parauglaukumu kokaudzes I stāva krāja, $m^3 ha^{-1}$ / volume of upper layer, $m^3 ha^{-1}$; N – parauglaukumu kokaudzes koku skaits uz hektāra, gab. ha^{-1} / number of trees in the stand per hectare, number ha^{-1} ; N1 – parauglaukumu kokaudzes I stāva koku skaits uz hektāra, gab. ha^{-1} / number of trees in the upper layer per hectare, number ha^{-1} ; Biez – parauglaukuma biezība pēc valdošās sugas, atbilstoši Tretjakova normālo šķērslaukuma skalai, ja H pārsniedz 12 m vai normatīvos noteiktajam normālajam koku skaitam, ja H ir mazāks / relative density by dominant species according to Tretjakov's scale of normal basal area, if $H > 12 m$, otherwise according to tables of normal number of trees.

Arī šajā gadījumā dabiskais atmirums uzskaitīts ar mizu.

Empīriskos koeficientu vērtības aprēķinātas, pielietojot datorprogrammu SPSS 14 riku *Nonlinear regression*.

Vienādojumu atbilstības izvērtējumam izmantoti šādi rādītāji, skat. 3. tabulu.

Rezultāti

Pētījumā aproksimētas koeficientu vērtības valdošās koku sugas, kokaudzes

I stāva un kokaudzes tekošā vidēji periodiskā krājas pieauguma aprēķināšanai (4. tabula). Egles, apses un baltalkšņa tekošais vidēji periodiskais krājas pieaugums pārbaudītajā datu kopā nenosaka bonitāte, jo attiecīgais koeficients (a_3), pie 95 % ticamības, būtiski neatšķiras no 1.

Vienādojumam, ar visiem analizē iekļautajiem meža elementiem, konstatētas ļoti nelielas vidējās novirzes (mazākas par $0,05 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), kas visos gadījumos ir

3. tabula / Table 3

Vienādojumu atbilstības izvērtēšanas statistiskie rādītāji
Model performance evaluation indicators

Statistiskais rādītājs <i>Performance criterion</i>	Apzīmējums <i>Symbols</i>	Vienādojums <i>Equations</i>	Ideālā vērtība <i>Ideal value</i>
Vidējā novirze <i>Mean residual</i>	MRES	$\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)}{n}$	0
Procentuālā vidējā novirze <i>Mean residual as %</i>	MRES%	$\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)}{\frac{n}{\bar{y}_i}} 100$	0
Vidējā absolūtā novirze <i>Absolute mean residual</i>	AMRES	$\frac{\sum y_i - \hat{y}_i }{n}$	0
Standartnovirze <i>Root mean square error</i>	RMSE	$\sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 1 - p}}$	0
Variācijas koeficients <i>Root mean square error as %</i>	RMSE%	$\frac{\sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 1 - p}}}{\bar{y}_i} 100$	0
Vidējā kvadrātiskā kļūda <i>Mean square error</i>	MSE	$\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}$	0
Modeļa efektivitāte <i>Model efficiency</i>	MEF	$\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y}_i)^2}$	0
Dispersijas attiecība <i>Variance ratio</i>	VR	$\frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2}{\sum(y_i - \bar{y}_i)^2}$	1

Apzīmējumi / Legend:

y_i – uzmērītais rādītājs / *observed values*;

\hat{y}_i – aprēķinātais rādītājs / *predicted values*;

\bar{y}_i – aritmētiski vidējais uzmērītais rādītājs / *mean observed values*;

$\bar{\hat{y}}$ – aritmētiski vidējais aprēķinātais rādītājs / *mean predicted values*;

n – novērojumu skaits / *count*;

p – vienādojuma parametru skaits / *number of model parameters*.

mazākas par 0,5 % no elementa aritmētiski vidējā faktiskās audzes krājas tekošā vidēji periodiskā pieauguma (5. tabula). Determinācijas koeficients ir no 0,398 apseī līdz 0,587 priedei.

Starpības starp uzņēmīto un aproksimēto Z_{Mf}^{vp} nav atkarīgas no vienādojumā iekļautajām faktoriālajām pazīmēm (krūšaugstuma vecuma, bonitātes un ele-

menta šķērslaukuma), jo visos gadījumos lineārās korelācijas ir vājas. Lai gan atsevišķos gadījumos, lielā novērojumu skaita dēļ, lineārās korelācijas ir statistiski būtiskas, tomēr tās vairāk atbilst nekorelatīvai haotiskai punktu kopai, nekā loģiskai sakarībai (1. attēls).

Aproksimētās faktiskās audzes I stāva vidējā periodiskā krājas pieauguma sakarības priēžu audzēm saistībā ar dažādiem

4. tabula / Table 4

Faktiskās audzes tekošā vidējā periodiskā krājas pieauguma un dabiskā atmiruma prognožu modeļu (vienādojumi 2, 3 un 4) koeficientu vērtības

Coefficients of current mean periodic volume increment and natural mortality models (eq. 2, 3, and 4)

Taksācijas vienība <i>Stand unit</i>	Koeficients <i>Coefficient</i>	Priede <i>Pine</i>	Egle <i>Spruce</i>	Bērzs <i>Birch</i>	Melnalksnis <i>Black alder</i>	Apse <i>Aspen</i>	Baltalksnis <i>Grey alder</i>
I stāvs <i>Stand's upper layer</i>	a_1	3,39671	8,10552	10,29680	5,11501	8,34939	15,13721
	a_2	-0,34574	-0,52985	-0,48196	-0,41588	-0,33549	-0,58424
	a_3	0,89252	1	0,91965	0,88642	1	1
	a_4	0,74736	0,72111	0,56730	0,75745	0,57340	0,50639
	b_1	0,00001	0,00775	0,00001	0,00001	0,00862	0,02320
	b_2	2,51928	0,89931	2,63332	2,96925	0,87142	0,51242
	b_3	0,01669	0,47010	0,00429	0,01016	0,09735	3,39058
	b_4	1,24501	0,77037	1,56922	1,06724	1,05999	0,89630
	c_1	843,948	112,514	627,283	607,204	25,709	159,571
	c_2	22,684	6,390	11,467	0,627	10,556	0,665
c_3	-28,539	6,284	-21,661	-3,639	-0,893	1,296	
Kopā <i>Total</i>	a_1	2,62196	8,81269	8,31111	5,26455	7,83413	13,76890
	a_2	-0,21806	-0,49799	-0,37108	-0,35313	-0,19714	-0,53498
	a_3	0,87171	1	0,91244	0,87505	1	1
	a_4	0,69408	0,65366	0,53069	0,68166	0,44586	0,49830
	b_1	0,00136	0,00469	0,00115	0,00001	0,00817	0,04435
	b_2	0,80676	0,97348	0,92814	3,77439	1,17931	-0,00722
	b_3	0,30652	0,19516	0,06400	0,00301	0,04528	9,29593
	b_4	1,33004	1,04411	1,64561	0,39367	0,86820	1,16853
	c_1	560,438	213,890	291,956	371,813	37,814	134,339
	c_2	18,758	9,344	12,656	-3,990	10,458	2,835
c_3	-16,195	-5,334	-11,830	10,166	-2,242	-1,068	

parametriem atspoguļotas 2. attēlā. Vienādā vecumā augstāku bonitāšu gadījumā pieaugums ir lielāks, līdzīgi arī lielāka šķērs-laukuma gadījumā, vienā un tajā pašā vecumā un bonitātē, pieaugums ir lielāks.

Savukārt dabiskā atmiruma vienādojumu statistiskie rādītāji abiem modeļiem ir salīdzinoši zemi (6. tabula). Vidējā novirze ir ievērojami lielāka, kaut arī lielākajā daļā gadījumu tā ir mazāka par $0,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Arī determinācijas koeficienti ir ievērojami zemāki nekā Z_{Mf}^{vp} aprēķinos: R^2

priedei ir tikai 0,144, un 0,475 baltalksnim (6. tabula).

Krājas dabiskā atmiruma modelis pašreizējā variantā nav atkarīgs no audzes bonitātes, jo izmantoto datu bonitātei nav statistiski būtiskas ietekmes uz kokaudzes krājas atmirumu, kas visticamāk skaidrojams ar pārāk īso periodu starp uzmērīšanas cikliem.

Statistiski korektai dabiskā atmiruma modelēšanai 5 gadu pārmērīšanas cikls ir pār īsu, jo:

5. tabula / Table 5

Faktiskās audzes tekošā vidēji periodiskā krājas pieauguma prognožu modeļu aproksimēto vienādojuma statistiskie rādītāji

Statistical indicators of current mean periodic volume increment prediction equations

Suga Species	Taksācijas vienība Stand's unit	Vienādojuma statistiskie rādītāji Criteria for evaluating model performance						
		MRES	AMRES	RMSE	MSE	VR	R ²	N
Priede Pine	I stāvs / upper floor	-0,03	1,89	2,53	6,39	0,529	0,556	904
	Kopā / total	-0,03	2,12	2,84	8,05	0,563	0,587	904
Egle Spruce	I stāvs / upper floor	0,00	2,57	3,33	11,09	0,545	0,543	425
	Kopā / total	0,01	2,87	3,63	13,13	0,501	0,492	425
Bērzs Birch	I stāvs / upper floor	-0,01	2,23	2,97	8,79	0,430	0,442	655
	Kopā / total	-0,01	2,63	3,42	11,65	0,443	0,448	655
Melnalksnis Black alder	I stāvs / upper floor	-0,01	2,52	3,18	10,02	0,544	0,549	115
	Kopā / total	-0,01	2,70	3,44	11,75	0,515	0,522	115
Apse Aspen	I stāvs / upper floor	0,01	2,90	3,77	14,06	0,438	0,426	104
	Kopā / total	0,00	3,07	4,13	16,88	0,395	0,398	104
Baltalksnis Grey alder	I stāvs / upper floor	-0,04	2,60	3,50	12,12	0,418	0,457	137
	Kopā / total	-0,02	2,71	3,64	13,18	0,395	0,414	137

Apzīmējumi / Legend:

MRES – vidējā novirze / mean residual;

AMRES – vidējā absolūtā novirze / absolute mean residual;

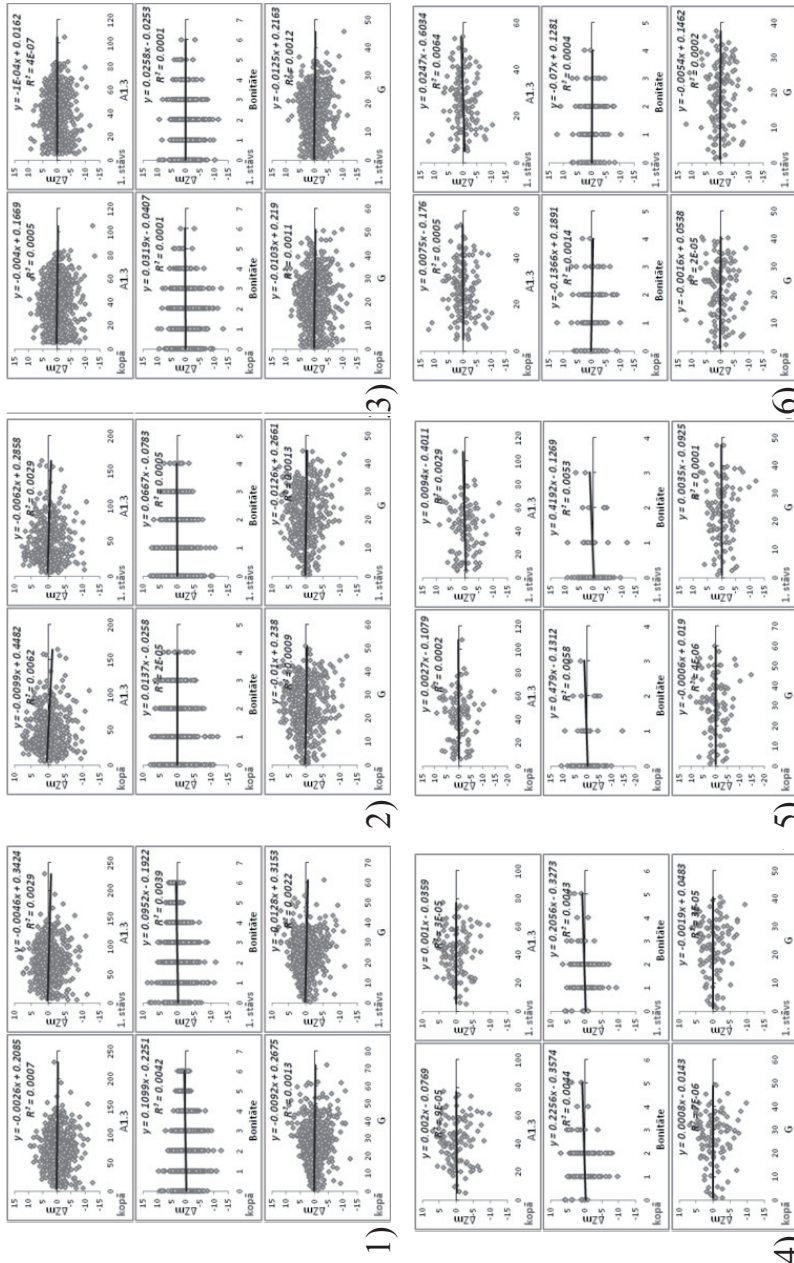
RMSE – standartnovirze / root mean square error;

MSE – vidējā kvadrātiskā kļūda / mean square error;

VR – dispersijas attiecība / variance ratio;

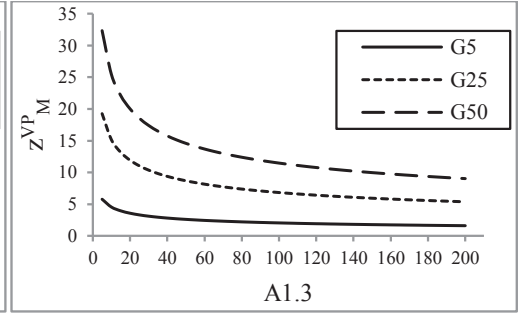
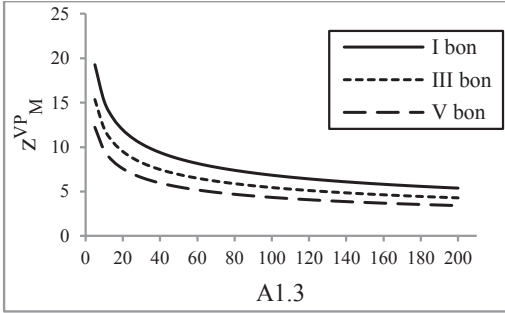
R² – determinācijas indekss / squared multiple correlation coefficient;

N – parauglaukumu skaits / count of sampling plot.



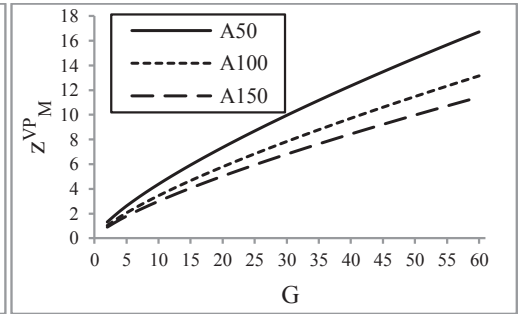
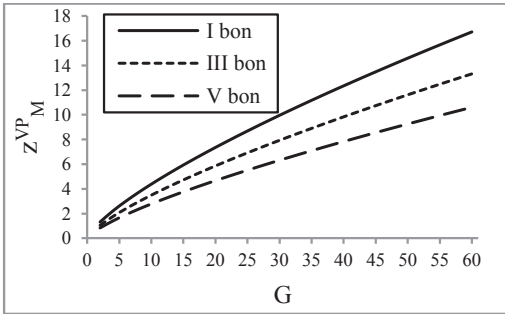
1. attēls. Faktiskās audzes I stāva (1. stāvs) un audzes kopējā (kopā) vidējā periodiskā krājas pieauguma starpības (ΔZ_{M0} , $m^3 ha^{-1}$ gadā) starp uzmērītajam un prognozētajam (2. vienādojumā) vērtībām saistībā ar audzes krūšaugstuma vecumu ($A_{1,3}$, gadi), bonitāti un attiecīgās mezaudzes šķērslaukumu (G , $m^2 ha^{-1}$).

1) priežu audzes; 2) egļu audzes; 3) bērzu audzes; 4) melnalkšņu audzes; 5) apšu audzes; 6) baltalkšņu audzes.
 Figure 1. Difference between observed and predicted (ΔZ_{M0} , $m^3 ha^{-1} year^{-1}$) values of gross mean periodic growth excluding increment of volume of losses of upper layer (1. stāvs) and stand's total ("kopā") depending of age at the breast height ($A_{1,3}$, years), site quality class (Bon) and basal area of the stand (G , $m^2 ha^{-1}$).
 1) pine; 2) spruce; 3) birch; 4) black alder; 5) aspen; 6) grey alder.



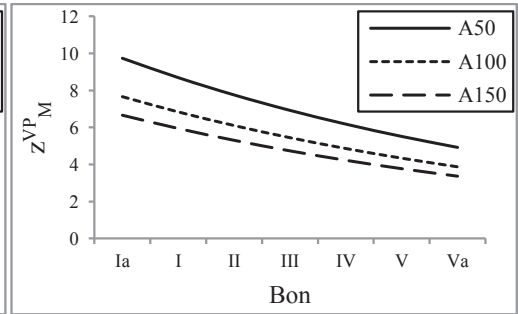
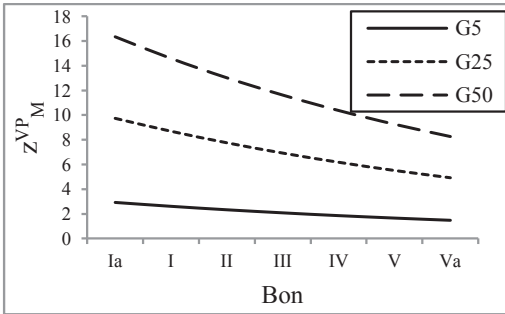
1)

2)



3)

4)



5)

6)

2. attēls. Faktiskās audzes I stāva vidējā periodiskā krājas pieauguma sakarības priekdes audzēm atkarībā no dažādiem parametriem, $A_{1.3}$, G un bonitātes.

1) $G = 25 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$; 2) Bon = 1; 3) $A_{1.3} = 50$; 4) Bon = 1; 5) $A_{1.3} = 50$; 6) $G = 25 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$.

Figure 2. Gross mean periodic growth excluding increment of volume of losses in pine stands depending on breast height age ($A_{1.3}$), basal area (G), and site quality class (Bon).

1) $G = 25 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$; 2) Bon = 1; 3) $A_{1.3} = 50$; 4) Bon = 1; 5) $A_{1.3} = 50$; 6) $G = 25 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$.

Faktiskās audzes vidējā periodiskā dabiskā atmiruma prognožu modeļu aproksimēto vienādojumu statistiskie rādītāji

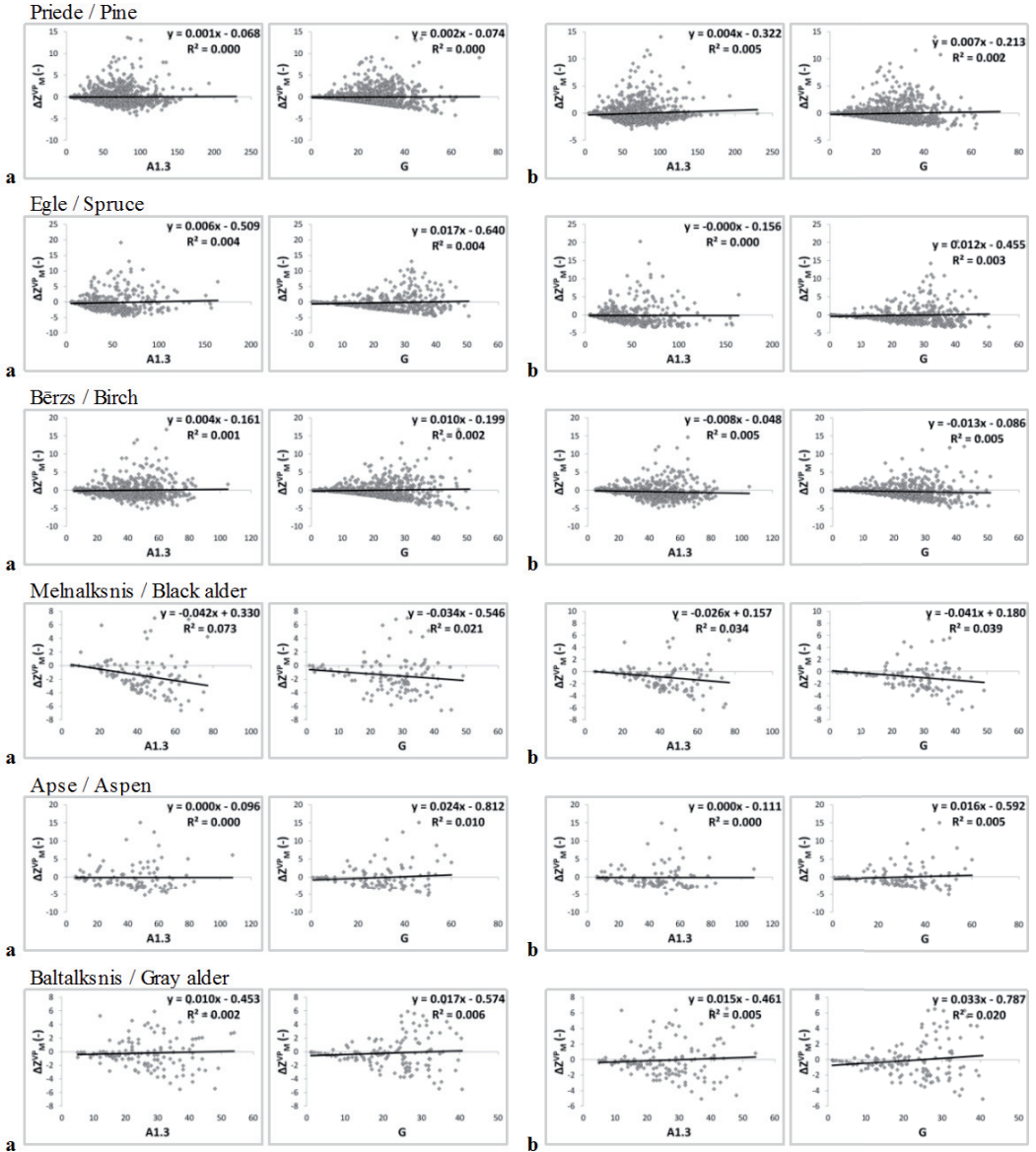
Statistical indicators of mean periodic natural mortality modelling equations

Suga <i>Species</i>	Taksācijas vienība <i>Stand unit</i>	Vienādojums <i>Equation</i>	Vienādojuma statistiskie rādītāji <i>Criteria for evaluating model performance</i>							
			MRES	AMRES	RMSE	MSE	MEF	R	R ²	N
Priede <i>Pine</i>	Kopā <i>Total</i>	3	-0,110	6,392	9,672	93,445	0,856	0,380	0,144	904
		4	0,126	6,317	9,654	93,092	0,853	0,383	0,147	904
	I stāvs <i>Upper floor</i>	3	-0,161	5,774	8,811	77,543	0,895	0,324	0,105	904
		4	0,422	5,543	8,773	76,886	0,889	0,339	0,115	904
Egle <i>Spruce</i>	Kopā <i>Total</i>	3	-1,156	9,695	14,177	200,504	0,808	0,446	0,199	425
		4	-0,777	9,503	14,101	198,354	0,802	0,449	0,202	425
	I stāvs <i>Upper floor</i>	3	-0,806	8,362	13,002	168,659	0,855	0,389	0,151	425
		4	-0,870	8,416	13,018	169,073	0,859	0,385	0,148	425
Bērzs <i>Birch</i>	Kopā <i>Total</i>	3	0,044	7,288	11,419	130,198	0,705	0,546	0,298	655
		4	0,331	7,278	11,503	132,127	0,716	0,535	0,286	655
	I stāvs <i>Upper floor</i>	3	-1,790	6,650	10,070	101,255	0,819	0,462	0,213	655
		4	0,404	5,810	9,863	97,129	0,787	0,469	0,220	655
Melnalksnis <i>Black alder</i>	Kopā <i>Total</i>	3	-7,157	11,289	14,695	213,983	1,096	0,493	0,243	115
		4	-0,106	8,185	12,143	146,127	0,755	0,496	0,246	115
	I stāvs <i>Upper floor</i>	3	-4,532	8,695	12,207	147,666	0,943	0,480	0,230	115
		4	-0,712	7,422	11,100	122,119	0,787	0,467	0,218	115
Apse <i>Aspen</i>	Kopā <i>Total</i>	3	-0,478	12,042	17,417	300,331	0,823	0,424	0,180	104
		4	-1,079	11,914	17,097	289,427	0,801	0,450	0,203	104
	I stāvs <i>Upper floor</i>	3	-0,510	10,454	15,870	249,342	0,871	0,362	0,131	104
		4	-0,723	10,326	15,795	247,014	0,872	0,364	0,132	104
Baltalksnis <i>Grey alder</i>	Kopā <i>Total</i>	3	-0,981	8,583	11,775	137,613	0,532	0,689	0,475	137
		4	-1,265	8,818	12,040	143,869	0,561	0,670	0,449	137
	I stāvs <i>Upper floor</i>	3	-0,385	8,335	11,618	133,957	0,578	0,661	0,436	137
		4	-0,405	8,389	11,667	135,101	0,588	0,651	0,424	137

- ir liels parauglaukumu īpatsvars, kuros piecu gadu laikā nav atmiris neviens koks (37 %) vai neviens I stāva koks (54 %);
- tik īsā laika periodā ir nelogišķi liels (retās audzēs – katrs atmirušais koks dod relatīvi lielu krājas atmirumu) vai nelogišķi mazs

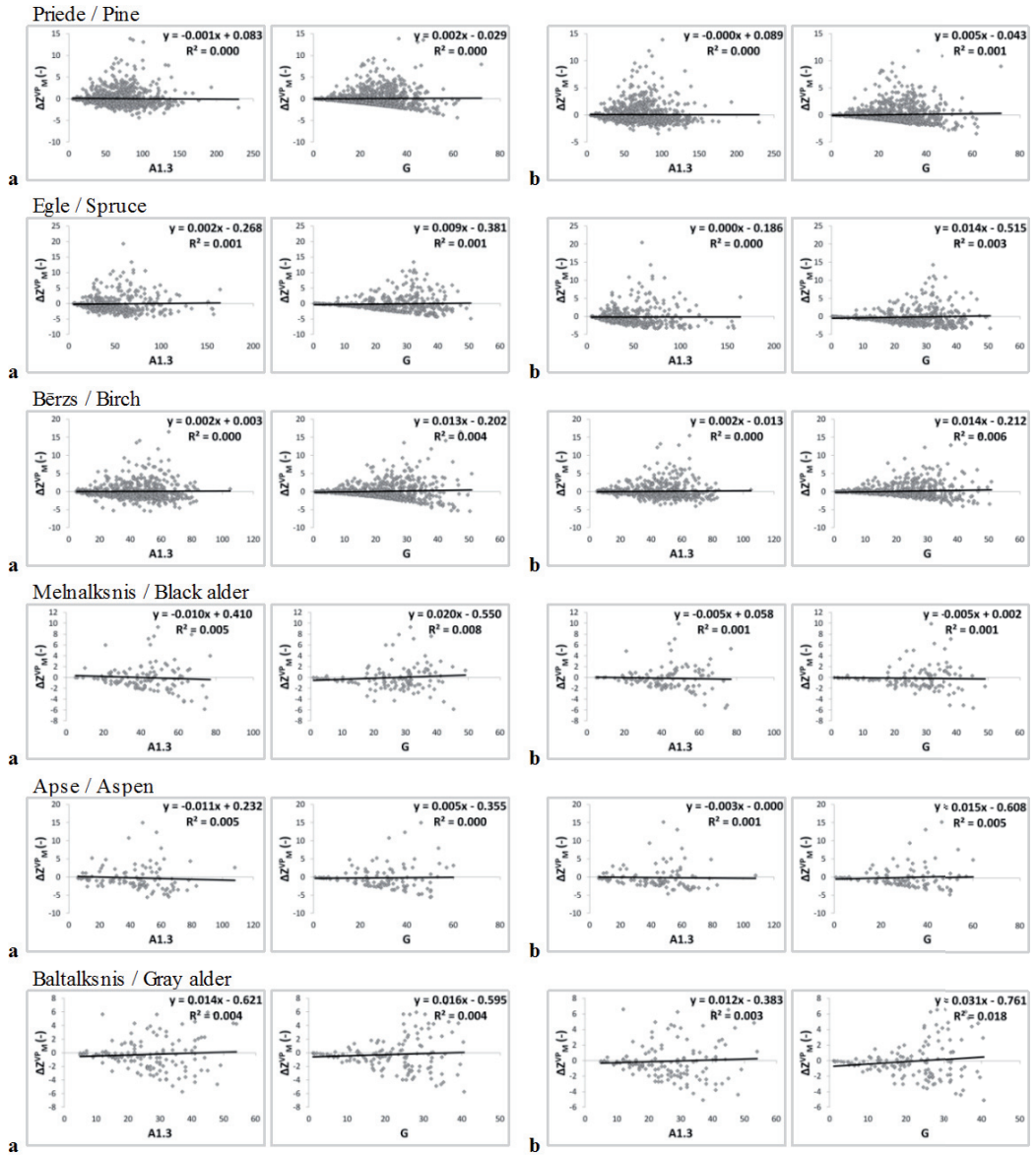
(pārbiezinātās audzēs – kur, iespējams, koki atmirst lēcienveidīgi, respektīvi, kādu laiku pārbiezinātā audzē koki nikuļo, bet neatmirst) dabiskais krājas atmirums.

Iepriekš minēto iemeslu dēļ vienādojumi būtu piemērojami lielas audžu



3. attēls. Audzes kopējā (a) un audzes I stāva (b) vidējā periodiskā krājas dabiskā atmiruma starpības ($\Delta Z_M(-)$, $m^3 ha^{-1}gadā$) starp uzmērītajām un prognozētajām (3. vienādojums) vērtībām saistībā ar audzes krūšaugstuma vecumu ($A_{1,3}$, gadi), un attiecīgā meža elementa šķērslaukumu (G , $m^2 ha^{-1}$).

Figure 3. Difference between observed and predicted mean periodic volume mortality ($\Delta Z_M(-)$, $m^3 ha^{-1}year^{-1}$) of stand's total (a) and upper layer (b) (eq. 3) depending of age at the breast height ($A_{1,3}$, years), and basal area of the forest element (G , $m^2 ha^{-1}$).



4. attēls. Audzes kopējā (a) un audzes I stāva (b) vidējā periodiskā krājas dabiskā atmiruma starpības ($\Delta Z_M^(-)$, $m^3 ha^{-1}gadā$) starp uzmēritajām un prognozētajām (4. vienādojums) vērtībām saistībā ar audzes krūšaugstuma vecumu ($A_{1,3}$, gadi), un attiecīgā meža elementa šķērsslaucumu (G , $m^2 ha^{-1}$).

Figure 4. Difference between observed and predicted mean periodic volume mortality ($\Delta Z_M^(-)$, $m^3 ha^{-1} year^{-1}$) of stand's total (a) and upper layer (b) (eq. 4) depending of age at the breast height ($A_{1,3}$, years), and basal area of the forest element (G , $m^2 ha^{-1}$).

kopas, nevis atsevišķas audzes dabiskā atmiruma prognozēšanai, kā arī tie nav izmantojami masveida krājas atmiruma prognozēšanai, kas radiē dabisko (ugunsgrēki, vējgāzes utt.) procesu rezultātā.

Abiem vienādojumiem un visiem analizētajiem meža elementiem saistībā ar modeļa mainīgajiem lielumiem (audzes krūšaugstuma vecumu un meža elementa šķērslaukumu pirmajā uzmērīšanas reizē) nav konstatētas sistemātiskas prognozētā krājas dabiskā atmiruma novirzes (3. un 4. attēls), jo lineārās korelācijas ir vājas ($R < 0,05$), lai gan lielā novērojumu skaita dēļ atsevišķos gadījumos lineārās korelācijas koeficientu vērtības ir lielākas par šo koeficientu kritiskajām vērtībām.

Sakarības starp audzes vidējā periodiskā dabiskā atmiruma lielumu un audžu taksācijas rādītājiem $A_{1,3}$ un šķērslaukumu priežu audzēs atspoguļotas 5. attēlā. Palielinoties šķērslaukumam, palielinās arī dabiskais atmirums. Konkrētā vecumā lielāka šķērslaukuma gadījumā lielāks ir arī dabiskais atmirums.

Krājas diferences prognoze aprēķināma atbilstoši 5. formulai:

$$\Delta_M^p = Z_{Mf}^p - Z_{Matm} - Z_{Mizc}, \text{ kur} \quad (11)$$

Δ_M^p – kokaudzes krājas diference;

Z_{Mf}^p – faktiskās audzes krājas pieaugums;

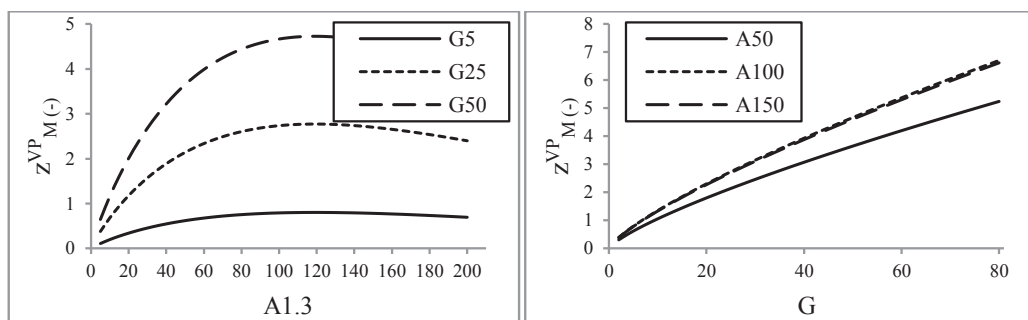
Z_{Matm} – kokaudzes krājas dabiskais zudums, ieskaitot dabisko atmirumu;

Z_{Mizc} – izcirstās kokaudzes krāja.

Modelējot krājas diferenci, strata faktiskās audzes krājas pieauguma aproksimācijai izmantojams 2. vienādojums, pielietojot atbilstošās koku sugas kopējās krājas koeficientus (4. tabula).

Vidējā periodiskā krājas dabiskā atmiruma aprēķinos priedei, bērzam, apsei un melnalksnim ieteicams izmantot 3. vienādojumu, savukārt eglei un melnalksnim – 4. vienādojumu un kopējās atmiruma krājas aprēķināšanas koeficientus.

Atbilstoši starptautiski pieņemtajām definīcijām, krājas dabiskos zudumus (*natural losses*) atbilstošajā periodā pašizretināšanās dēļ veido dabiskais atmirums (*natural mortality*) un atmirums, ko izraisījušas



5. attēls. Faktiskās audzes vidējā periodiskā krājas dabiskā atmiruma sakarības priedes audzēm atkarībā no dažādiem parametriem – $A_{1,3}$, G .

Figure 5. Gross mean periodic volume mortality in pine stands depending on breast height age ($A_{1,3}$), basal area (G).

slimības, kukaiņu kaitējums, uguns, vējš u.c. fiziskie bojājumi. Pašreizējā modelī uzskaitīti visi dabiskie zudumi kopā, t.sk. arī dabisko traucējumu radītais krājas zudums, ja vien dabiskais atmirums nav lielāks par 20 % no aprēķina perioda sākumā stratā konstatēto koku krājas, tādēļ vienādojums, iespējams, pārvērtē dabisko atmirumu, taču jebkurā gadījumā jāpatur prātā, ka koku skaits un dzīvo koku krāju samazina arī vējgāzes, snieglauzes u.c. traucējumi, tādēļ atmirušās koksnes veidošanās audzē notiek straujāk, nekā prognozē šie modeļi.

Vienādojumu sistēma izmantojama, modelējot dažādas ciršanas intensitātes vai apsaimniekošanas variantus audžu kopu (stratu) līmenī. Turklāt vienādojumi pielietojami, ievērojot šādus ierobežojumus:

Suga	$A_{1,3}$ (krūšaugstuma vecums)	Bonitāte
P	5...160	Ia...Vb
E	5...160	Ia...IV
B	5...120	Ia...V
M	5...120	Ia...V
A	5...120	Ia...II
Ba	5...60	Ia...IV

Veidojot stratus, viens no pieejamākajiem informācijas avotiem ir Meža valsts reģistrs, tomēr, kā liecina pētījumi, reģistrā ietvertā informācija kopumā ir ar sistemātisku novirzi, proti, dabā krājas (vismaz valsts mežos briestaudžu vecuma un vecākās audzēs) ir lielākas, nekā reģistrā uzrādītās (Zālītis, Jansons, 2009). Tādēļ lai, pielietojot kamerālās metodes izvairītos no būtiskām sistemātiskām kļūdām, svarīgi, lai audžu sākotnējie taksācijas dati būtu iespējami precīzāki.

Modeļi paredzēti pieauguma un atmiruma novērtējumam konkrētā laika brīdī, bet ne ilgtermiņa prognozēm.

Nākotnē nepieciešams izstrādāt modeļus, kas iekļautu ilgtermiņa vidējos dabisko traucējumu radītos krājas zudumus, tāpat arī modeļus atmirušo un izcirsto koku pieauguma aprēķināšanai.

Secinājumi

1. Izstrādāti jauni modeļi krājas tekošā faktiskās audzes vidēji periodiskā pieauguma aprēķinam priedei, eglei, bērzam, apsei, melnalksnim un baltalksnim. Pieauguma aproksimēšanai izmantots kokaudzes vecums $A_{1,3}$, audzes bonitāte un kokaudzes šķērslaukums.
2. Izstrādāti jauni modeļi krājas tekošā vidēji periodiskā dabiskā atmiruma aprēķinam priedei, eglei, bērzam, apsei, melnalksnim un baltalksnim. Dabiskā atmiruma aproksimācijai izmantots kokaudzes vecums $A_{1,3}$ un kokaudzes šķērslaukums.
3. Modeļi paredzēti stratu vidējā pieauguma un atmiruma aprēķināšanai, bet nav izmantojami prognozēm audzes līmenī.

Pateicība: pētījums veikts SIA “Meža nozares kompetences centrs” Eiropas Reģionālās Attīstības fonda projekta “Metodes un tehnoloģijas meža kapitālvērtības palielināšanai” pētījumu virziena „Mežaudžu augšanas gaitas un pieauguma noteikšana, izmantojot pārmērītos meža statistiskās inventarizācijas datus” (līguma Nr. 5.5.-5.1/000t/101/11/13) ietvaros.

Literatūra

1. Hasenhauer, H. (Ed.), 2006. *Sustainable Forest Management: Growth Models for Europe*. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 398 p.
2. Jansons, J., and Licite, I., 2009. Latvia. In: Tomppo, E., Gschwantner, Th., Lawrence, M. and McRoberts, R.E. (Eds.) *National Forest Inventories – Pathways for Common Reporting*. Heidelberg Dordrecht London New York: Springer, pp. 341–349.
3. Liepa, I., 1968. Jauna metode audzes masas tekošā pieauguma noteikšanai. *Jaunākais mežsaimniecībā* 10, 59–65.
4. Liepa, I., 1975. *Latvijas PSR mežaudžu krājas tekošā pieauguma tabulas*. Rīga: LRZTIPI, 9 lpp.
5. Liepa, I., 1996. *Pieauguma mācība*. Jelgava: LLU, 124 lpp.
6. Liepa, I., 2008. Latvijas skujkoku mežu krājas pieaugums. *LLU raksti* 20, 46–52.
7. Liepa, I., 2009. Krājas tekošā pieauguma noteikšanas kamerālā metode. *Mežzinātne* 20(53), 60–67.
8. Liepa, I., 2011. Audžu krājas tekošā pieauguma noteikšanas četru urbšanas metožu precizitātes salīdzinājums. *Mežzinātne* 23, 58–70.
9. Libiete, Z., Jansons, J., un Zālītis, T., 2009. Latvijas skujkoku audžu vecumstruktūra un ražība. *Mežzinātne* 19, 28–48.
10. Matuzānis, J., 1983. *Audžu augšanas gaitas un produktivitātes modeļi. Apskats*. Rīga: LatZTIZPI, 32 lpp.
11. Matuzānis, J., un Tauriņš, J., 1971. *Audžu pieaugums (apskats)*. Rīga, LRZTIPI, 32 lpp.
12. Ozols, J., 1926. *Meža taksācija un mežierīcība. Rokas grāmata mežkopjiem*. Rīga: Mežu departaments, 173 lpp.
13. Pretzsch, H., 2009. *Forest dynamics, growth and yield*. Berlin Heidelberg, Springer, 664 p.
14. Spiecker, H., 1999. Overview of recent growth trends in European forests. *Water, Air, and Soil Pollution* 116(1–2), 33–46.
15. Zālītis, P., un Jansons, J., 2009. *Mērķtiecīgi izveidotu kokaudžu struktūra*. Salaspils: LVMI Silava, 80 lpp.
16. Zviedris, A., un Matuzānis, J., 1964. Tekošā koksnes masas pieauguma noteikšana. *Jaunākais Mežsaimniecībā* 6/7, 49–56.
17. van Laar, A., and Akça, A., 2007. *Forest Mensuration*. Series: Managing Forest Ecosystems, Vol. 13, 2nd ed., XVI, 385 pp.
18. Weiskittel, A. R., Hann, D. W., Kershaw, J. A., and Vanclay, J. K., 2011. *Forest growth and yield modeling*. Chichester, UK: Wiley-Blackwell, 2nd ed., 415 p.

19. Антанайтис, В. В., и Загреев, В. В., 1981. *Прирост леса*. Москва: Лесная промышленность, 200 стр.
20. Геркис, Г., 1981. *Модель хода роста и первоначальная густота культур сосны в Латвийской ССР: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. с.-х. наук*. Рига: Латв. науч.-исслед. ин-т лесохоз. проблем, 16 стр.
21. Бисениекс, Я., 1975. Хода роста еловых молодняков искусственного происхождения. В кн.: Лиепа, И. Я., Мангалис, И. К., Матузанис, Я. К. и др. (редкол.) *Ель и ельники Латвии*. Рига: Зинатне, Министерство лесного хозяйства и лесной промышленности Латвийской ССР, Латвийский научно-исследовательский институт лесохозяйственных проблем, 140 стр.
22. Лиепа, И. Я., Бутенас, Ю. П., и Матузанис, Я. К., 1980. *Таблицы текущего прироста древостоев Прибалтики*. Рига: ЛатНИИНТИ, 51 стр.
23. Матузанис, Я. К. (ред.), 1988. *Нормативы для таксации леса Латвийской ССР*. Рига: 175 стр.