

Audzū krājas tekošā pieauguma noteikšanas četru urbšanas metožu precizitātes salīdzinājums

*Imants Liepa*¹

Liepa, I. (2011). Comparison of the accuracy of four boring method for assessing current volume increment of forest stands. *Mežzinātne* 23(56): 58-70.

Kopsavilkums. Iepriekšējās publikācijās piedāvājām vairākas audzes krājas tekošā pieauguma noteikšanas metodes, kuru pamatā ir uzskaites koku gadskārtu platuma mērījumi. Šī raksta uzdevums ir izklāstīt šo metožu precizitātes statistiskās pārbaudes rezultātus. Mērķa sasniegšanai visā Latvijas teritorijā atšķirīga fitocenotiskā, edafiskā un morfometriskā raksturojuma audzēs tika ierīkots 141 parauglaukums (PL). PL platība dažāda – no 0,1 līdz 1,0 ha. Kopējā PL skaita sadalījums ir šāds: valsts rietumu daļā (robežlīnija Rīga-Bauska) izvietots 81 PL, austrumu daļā – 60 PL; āra bērza (*Betula pendula* Roth) vai purva bērza (*B. pubescens* Ehrh.) audzēs – 42 PL, parastās egles (*Picea abies* (L.) Karst.) audzēs – 22 PL un parastās priedes (*Pinus sylvestris* L.) audzēs – 77 PL; audzēs, kas jaunākas par 60 gadiem, atrodas 74 PL, vecuma intervālā no 61 līdz 80 gadiem – 39 PL, no 81 līdz 100 gadiem – 22 PL un audzēs, kas vecākas par 100 gadiem – 6 PL; mētrāja augšanas apstākļiem atbilst 49 PL, damaksna – 87 un citiem augšanas apstākļiem – 5 PL; Ib vai Ia bonitātes klase pārstāvēta ar 52 PL, I klase – ar 58 PL, II klase – ar 19 PL, zemākas klases – ar 12 PL; 0,6 un zemākas biežības audzēs ierīkoti 3 PL, audzēs ar biežību 0,61 līdz 0,70 – 35 PL, ar biežību 0,71 līdz 0,80 – 46 PL, ar biežību 0,81 līdz 1,0 – 57 PL; empīriskais materiāls ievākts 30 tīraudzēs (sastāva koeficients lielāks par 0,95), audzēs ar valdošās koku sugas līdzdalību no 0,76 līdz 0,95 – 20 PL, ar sastāvu 0,60 līdz 0,75 – 20 PL un ar piemistrojumu zem 0,60 – 71 PL.

Pārbaudīta trīs urbumu metožu (Liepa, 1996) precizitāte. Tās nosacīti apzīmētas kā L1, L2, L3. Ar šīm metodēm iegūtās krājas tekošā pieauguma vērtības salīdzinātas ar kontroli – vērtībām, kuras aprēķinātas ar Rietumeiropā plaši lietoto H. Meijera–F. Leča (Loetsch, 1954) metodi, ko uzlabojuši Latvijas mežzinātnieki A. Zviedris un J. Matuzānis (Zviedris, Matuzānis, 1964). Iegūtās starpības izsacītas procentos no kontroles. Statistiskā analīze liecina, ka starp visām četrām metodēm pastāv nelielas atšķirības (4. tab.), relatīvo kļūdu rindas seko normālajam sadalījumam (1. att.), un krājas pieauguma noteikšanas precizitāte nav atkarīga no mežaudžu raksturojuma: koku sugas, audzes sastāva, valdošās koku sugas sastāva koeficienta, audzes vecuma,

¹ Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Mežkopības katedra, Akadēmijas iela 11, Jelgava, LV-3001, Latvija; e-pasts: imants.liepa@llu.lv

bonitātes, biežības, ģeogrāfiskā rajona Latvijas teritorijā un edafiskajiem apstākļiem.

Noskaidrots, ka relatīvā vidējā kļūda \bar{x} un standartkļūda $s_{\bar{x}}$ ir: metodei L1 $\bar{x} \pm s_{\bar{x}} = 3,0 \pm 0,45\%$; metodei L2 $\bar{x} \pm s_{\bar{x}} = -1,4 \pm 0,41\%$ un metodei L3 $\bar{x} \pm s_{\bar{x}} = 2,6 \pm 0,48\%$. Relatīvā vidējā kvadrātiskā kļūda sastāda: metodei L1 $s \pm s_s = 5,4 \pm 0,32\%$, metodei L2 $s \pm s_s = 4,9 \pm 0,29\%$ un metodei L3 $s \pm s_s = 5,6 \pm 0,34\%$. Precizitātes ziņā visas pārbaudītās metodes ir piemērotas atsevišķu audžu, to daļu un kopu krājas tekošā pieauguma noteikšanai. Katrā konkrētajā gadījumā metodes izvēli nosaka tās darbietilpīgums un laika patēriņš empīriskā materiāla ievākšanai.

Nozīmīgākie vārdi: kokaudze, krājas tekošais pieaugums, metodes precizitāte, statistiskais vērtējums.

...

Liepa, I.² **Comparison of the accuracy of four boring method for assessing current volume increment of forest stands.**

Abstract. The given study concerns statistical analysis of the accuracy of boring methods, proposed by us in earlier studies, for assessing current volume increment in inventorying forest stands. For this aim totally 141 sample plots (SP) from 0.1 to 1.0 ha in size (81 in western Latvia (west of the route Riga-Bauska), and 60 in eastern Latvia) were established in various forest stands having different phytocenotic, edaphic and morphometric traits. As to the dominant tree species the SPs were distributed as follows: silver (*Betula pendula* Roth) or hairy birch (*B. pubescens* Ehrh.) – 42; Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) – 22; Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) – 77; distribution after stand age: below 60 years – 74; from 61 to 80 years – 39; from 81 to 100 years – 22; above 100 years – 6; site types represented: Mr *Vacciniosa* – 49; Dm *Hylocomiosa* – 87; other types – 5; site indices represented: Ib or Ia – 52; I – 58; II – 19; and lower – 12; stand density index: 0.6 and lower – 3; from 0.61 to 0.70 – 35; from 0.71 to 0.80 – 46; from 0.81 to 1.0 – 57; stand composition: pure stands (stand composition index above 0.95) – 30; mixed stands (index from 0.76 to 0.95) – 20; from 0.60 to 0.75 – 20; lower 0.60 – 71.

Analyzed were three methods developed by the author of this article (L1, L2 and L3) for assessing the volume increment (Liepa, 1996). The results were compared with the control values calculated following the H. Mayer – F. Loetsch algorithm (Loetsch, 1954) as modified by the Latvian forest scientists A. Zviedris and J. Matuzānis (Zviedris, Matuzānis, 1964). The three data sets of differences were related to the control and expressed as a percentage. Statistical analysis showed that there are slight differences between the methods (Table 4), which correspond to the normal distribution (Fig. 1) with the accuracy of L1, L2 and L3 insignificantly depending on

² Latvia University of Agriculture, Department of Silviculture, Akademijas str. 11, Jelgava, LV-3001, Latvia; e-mail: imants.liepa@llu.lv

the stand characteristics such as dominant tree species, species composition, stand age, site index, density index, geographical region, and edaphic conditions.

The values for mean relative error \bar{x} and standard error $s_{\bar{x}}$ were as follows: for L1 $\bar{x} \pm s_{\bar{x}} = 3.0 \pm 0.45\%$; for L2 $\bar{x} \pm s_{\bar{x}} = -1.4 \pm 0.41\%$; and for L3 $\bar{x} \pm s_{\bar{x}} = 2.6 \pm 0.48\%$. Values of the mean square error: for L1 $s \pm s_s = 5.4 \pm 0.32\%$; for L2 $s \pm s_s = 4.9 \pm 0.29\%$; and for L3 $s \pm s_s = 5.6 \pm 0.34\%$. Comparison between the accuracy of the said methods shows that they are appropriate for estimating the current volume increment for individual stands, their parts and the total increment for larger forest areas. Therefore, the choice of one or another method depends only on the amount of work and the time required for the field work to collect empirical material.

Key words: forest stand, current volume increment, accuracy of methods, statistical analysis.

•••

Лиєпа, И.³ **Сравнение точности четырех упрощенных методов определения текущего прироста по запасу древостоев.**

Резюме. В предыдущих исследованиях нами были разработаны три упрощенные методы определения текущего прироста по запасу наличного древостоя. Задачей данного исследования является статистическая оценка точности применения этих методов в таксации лесных насаждений. Для достижения поставленной задачи в древостоях с различной фитоценотической, эдафической и морфометрической характеристиками была заложена 141 пробная площадь (ПП) величиной от 0,1 до 1,0 га. Распределение числа ПП: в западной части Латвии (на западной стороне от линии Рига-Бауска) была оценена 81 ПП и на восточной части – 60 ПП; в насаждениях, в которых преобладающей древесной породой являлась береза повислая (*Betula pendula* Roth) или береза пушистая (*B. pubescens* Ehrh.), заложены 42 ПП, с елью европейской (*Picea abies* (L.) Karst.) – 22 ПП и со сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) – 77 ПП; насаждения в возрасте до 60 лет включали 74 ПП, в возрасте от 61 до 80 лет – 39 ПП, от 81 до 100 лет – 22 ПП и более чем 100 лет – 6 ПП; ПП, соответствующих типу лесорастительных условий *Vacciniosa* было 49, типу *Hylocomiosa* – 87, другим типам – 5; ПП, представляющих классы бонитета Iб и Ia, было 52, I класс – 58, II – 19 и ниже II-ого класса – 12; насаждения с густотой 0,6 и менее были представлены 3 ПП, с густотой 0,61-0,70 было 35 ПП, 0,71-0,80 – 46 ПП и 0,81-1,0 – 57 ПП. Эмпирический материал содержал 30 чистых древостоев, 20 смешанных, с доминирующей древесной породой от 0,76 до 0,95; 20 ПП – с присутствием преобладающей породы от 0,60 до 0,75 и 71 ПП с примесью менее 0,6.

³ Латвийский сельскохозяйственный университет, Кафедра лесоводства, ул. Академияс 11, Елгава, LV-3001, Латвия; эл. почта: imants.liepa@llu.lv

Проверена точность трех методов оценки текущего прироста (обозначены $L1$, $L2$ и $L3$), разработанных автором этой статьи (Liepa, 1996). Данные, полученные методами $L1$, $L2$ и $L3$, сравнивались с контрольными значениями, рассчитанными по алгоритму Х. Мейера-Ф. Леча (Loetsch, 1954), улучшенному латвийскими лесоводами А. Звиедрисом и Я. Матузанисом (Zviedris, Matuzānis, 1964). Все значения, имевшие отличия от контрольных данных, были выражены в процентах от контроля. Статистический анализ показал, что между совокупностями данных, характеризующих точность вышеупомянутых методов оценки текущего прироста, значительных различий нет (Таб. 4.) – они соответствуют нормальному распределению (Рис. 1) и существенно не зависят от показателей, характеризующих древостоев: древесной породы, состава древостоя, удельного веса преобладающей породы в смешанных насаждениях, возраста, класса бонитета, густоты, географического района и эдафических условий.

Наши исследования показали, что относительные значения средней ошибки \bar{x} и ошибки стандартной $s_{\bar{x}}$ следующие: для метода $L1$ $\bar{x} \pm s_{\bar{x}} = 3,0 \pm 0,45\%$; для $L2$ $\bar{x} \pm s_{\bar{x}} = -1,4 \pm 0,41\%$ и для $L3$ $\bar{x} \pm s_{\bar{x}} = 2,6 \pm 0,48\%$, а соответствующие значения средней квадратичной ошибки: для $L1$ $s \pm s_s = 5,4 \pm 0,32\%$; для $L2$ $s \pm s_s = 4,9 \pm 0,29\%$ и для $L3$ $s \pm s_s = 5,6 \pm 0,34\%$.

С точки зрения точности все проверенные методы являются применимыми для оценки текущего прироста по запасу как отдельных древостоев, так и их частей и совокупностей. Выбор рабочего метода определяет его трудоемкость и требуемая затрата времени при сборе эмпирической информации.

Ключевые слова: древостой, текущий прирост по запасу, точность метода, статистическая оценка.

Ievads

Krājas tekošais pieaugums Z_M pieder audzes dinamiskajiem taksācijas rādītājiem, kas, atšķirībā no statistiskajiem rādītājiem, piemēram, krājas, vides izmaiņu ietekmi izsaka gadu griezumā. Šī iemesla dēļ tas ir piemērots kā dabisko faktoru, tā meža apsaimniekošanas pasākumu efektivitātes analīzei (Schweingruber, 1996). Nereti šajā nolūkā izmanto augstuma pieaugumu un, it īpaši, gadskārtu platumu, kas arī ir kvantitatīvas un turklāt vien-

kāršāk nosakāmas vērtības. Taču, būdamas krājas pieauguma sastāvdaļas, tās mazāk kompleksi atsedz audzē notiekošo procesu raksturu un intensitāti. Nenolie dzama krājas pieauguma priekšrocība – tā mērvienības izsakāmas absolūtos skaitļos, piemēram, $m^3 ha^{-1}$, kas salīdzinājumā ar mm vai procentiem ir ērtāk lietojamas dažādu saimniecisko paņēmieni ekonomiskai izvērtēšanai. Ne mazāk svarīgi, ka krājas pieaugums var kalpot koksnes resursu racionālas izmantošanas precizēšanai vai pat aprēķināšanai (Антанайтис, Заргеев,

1981). Protams, krājas pieauguma nozīme nebūtu pārspilējama. Nereti vides ietekmes raksturošanai ekonomiskā analīze nav nepieciešama, un šādos gadījumos adekvātas atbildes par vides dinamiku iegūstamas, analizējot gadskārtu platuma izmaiņas (Dauškane, 2011).

Krājas tekošais pieaugums izceļas ar lielu satura dažādību (Дворецкий, 1964). Katrs tā veids raksturo atšķirīgu audzes dzīves aspektu. Tādēļ pirms pielietošanas rūpīgi izsverama tā satura un izmantošanas mērķa savstarpējā atbilstība. Turklāt jāatceras, ka pēc dažām metodēm krājas pieaugumu aprēķina ar mizu, bet pēc citām – bez mizas. Pārpratumu novēršanai jāpasvīturo, ka šajā pētījumā ir runa par atsevišķu audžu, to daļu un kopu potenciālo faktisko vidēji periodisko tekošo krājas pieaugumu, ar to saprotot uzmērīšanas brīdī esošās koku kopas krājas palielinājumu, neņemot vērā radušos atmirumu (Liepa, 2008).

Krājas tekošā pieauguma noteikšanas metožu skaits sniedzas vairākos simtos un nemitīgi turpina palielināties. Tās atšķiras pēc vairākiem kritērijiem. Pirmkārt, pēc tā, kādu Z_M veidu tās izsaka, otrkārt, atšķirīga ir arī metožu precizitāte, treškārt, laika un darba patēriņš, ko prasa to īstenošana, un, ceturtkārt, metožu piemērotība darbam dažādos apstākļos. Izšķir četras metožu grupas (Liepa, 1996): pastāvīgo parauglūkumu jeb atkārtotas uzmērīšanas, paraugkoku, uzskaites koku urbumu un kamerālās metodes. Taksācijas vēsture liecina, ka lielāku ievēribu guvušas urbumu metodes, kas iepriekšminēto nosacījumu kontekstā ieņem

vidēju pozīciju. Raksta autors ir izstrādājis trīs urbumu metodes, kas nosacīti nosauktas $L1$, $L2$ un $L3$ un jau radušas praktisku pielietojumu. Tāpēc aktuāla ir šo metožu precizitātes noskaidrošana.

Krājas pieauguma metožu precizitātes statistisku vērtēšanu būtiski ierobežo divi aspekti – kontroles metodes izvēle un pietiekoši liels parauglūkumu skaits, kas pārstāvētu dažāda fitocenotiskā, edafiskā un morfometriskā raksturojuma mežaudzes. Kuru no metodēm izvēlēties kontrolei? Tas ir problemātisks uzdevums. Kontroles metodei jābūt plaši atzītai un, galvenais, tās precizitātes rādījumam jābūt tik augstam, lai rezultātus pārlicinoši varētu uzskatīt par patiesības iespējami labāko atklāsmi. Ideālā variantā šis nosacījums būtu īstenojams tad, ja katra parauglūkuma visus kokus nocirstu, sazāgētu 1 m garās sekcijās un katra stumbra tilpuma pieaugumu noteiktu pēc F. Hubera saliktās viduslūkuma formulas, krājas pieaugumu iegūstot kā attiecīgā parauglūkuma visu koku tilpuma pieauguma summu. Taču šis risinājums ir tik laika un darba prasīgs, ka šodien nav pieņemams pat zinātniskās izpētes līmenī, it īpaši, ja ir runa par lielāku parauglūkumu skaitu. Zināmi tikai daži šāda rakstura pētījumi (Дворецкий, 1964). Tādēļ ir loģiski kontrolei izvēlēties kādu no urbumu metodēm.

Šajā pētījumā kontrolei izraudzīta H. Meijera–F. Leča (Loetsch, 1954) metode, ko uzlabojuši Latvijas mežzinātnieki A. Zviedris un J. Matuzānis (Zviedris, Matuzānis, 1964.). Izšķiršanos pamato vai-

rākas atziņas. Pirmkārt, Rietumeiropā metode ir daudzu autoru atzīta un plaši lietota, kas nostiprina pārliecību par tās adekvātumu. Otrkārt, norādītajā A. Zviedra un J. Matuzāņa publikācijā ietverts informatīvs metodes apraksts un detalizēti izklāstīts tās pielietojums konkrēta parauglaukuma krājas tekošā pieauguma noteikšanā; turklāt sacītā pārbaudei ar minēto publikāciju var iepazīties katrs interesents. Treškārt, salīdzinājumā ar daudzām citām urbumu metodēm šī ir relatīvi mazāk darba un laika patēriņa prasīga, kas nepieciešams empīriskā materiāla ievākšanai.

Materiāls un metodika

Šī pētījuma metodiskais risinājums iedalāms trīs posmos:

- ~ parauglaukumu iekārtošana un taksācija;
- ~ parauglaukumu krājas tekošā pieauguma aprēķināšana, izmantojot minētās četras metodes;
- ~ metožu precizitātes statistiska salīdzināšana.

Parauglaukumu ierīkošana un taksācija saistīta ar pētījuma audžu izvēli tā, lai parauglaukumi pārstāvētu iespējami lielāku meža daudzveidību un būtu izvietoti visā Latvijas teritorijā. Pavisam ierīkots 141 meža elementa parauglaukums, galvenokārt mētrāja un damakšņa augšanas apstākļos. Tas nozīmē, ka mistrāudzē, piemēram, damakšņa audzē, kuras sastāvs ir 4P3E3B, vienā iemērītajā platībā (parauglaukumā klasiskajā izpratnē) kā patstāvīgas vērtēšanas vienības atsevišķi taksētas visu trīs sugu koku kopas,

tādējādi iegūstot trīs meža elementu parauglaukumus (turpmāk – parauglaukumus). Šāds risinājums informatīvāk īsteno iespēju analizēt audzes mīstrojuma ietekmi.

Ar dziļu pateicību daru zināmu, ka šī datu bagātība satur ne tikai raksta autora pašrocīgi ierīkotos un uzmērītus parauglaukumus, bet arī tādus, ko ierīkojuši un kuriem pēc H. Meijera–F. Leča uzlabotās metodes krājas tekošo pieaugumu aprēķinājuši bijušā Mežierīcības uzņēmuma taksatori: A. Ābelīte, B. Jēkabsons, Z. Lapiņš, M. Putns, A. Vīnarts, J. Zariņš, K. Zušmanis u.c. Parauglaukumu skaita sadalījums pēc audžu raksturojuma parādīts 1., 2. un 3. tabulā.

Parauglaukumi ierīkoti un taksēti laika posmā no 1960. līdz 2010. gadam, dati pārrēķināti 2010. gadā. Parauglaukumu forma – četrstūris, platība atkarībā no audzes raksturojuma – no 0,1 līdz 1,0 ha. Katrā parauglaukumā veikta klasiskā taksācija – kokaudzes dastošana 2 cm caurmēra pakāpēs un augstumliknes mērījumi, kas vēlāk izlidzināti ar logaritmisko funkciju, izmantojot MS Excel iespējas. Katra parauglaukuma dažādu caurmēra pakāpju 25-30 kokiem 1,3 m augstumā izdarīts viens urbums koksnes serdenišu iegūšanai tā, lai tas saturētu vismaz 15 gadskārtas. Urbšanas virziena orientācija pret debespusēm – nejauša, pret stumbra garenasi – stateniska. Serdeniši saglabāti un nogādāti laboratorijā gadskārtu platuma mērīšanai.

Parauglaukumu krājas tekošā pieauguma aprēķināšanai pēc metodes *LI* pamatā ir formula (1) (Liepa, 1996.):

1. tabula, Table 1

Parauglaukumu skaita sadalījums pēc koku sugas un reģiona
Distribution of sample plots by tree species and regions

Koku suga <i>Tree species</i>	Reģions <i>Region</i>		Kopā <i>Total</i>
	Rietumu <i>Western</i>	Austrumu <i>Eastern</i>	
Bērzs <i>Birch</i>	21	21	42
Egle <i>Spruce</i>	17	5	22
Priede <i>Pine</i>	43	34	77
Kopā <i>Total</i>	81	60	141

2. tabula, Table 2

Parauglaukumu skaita sadalījums pēc audzes vecuma un sastāva
Distribution of sample plots by stand age and species composition

Vecums, gadi <i>Age, yr.</i>	Sastāva koeficients <i>Composition index</i>				Kopā <i>Total</i>
	10	8-9	6-7	<6	
<=60	7	12	14	41	74
61-80	12	6	3	18	39
81-100	7	2	2	11	22
100<	4	0	1	1	6
Kopā <i>Total</i>	30	20	20	71	141

3. tabula, Table 3

Parauglaukumu skaita sadalījums pēc audzes biežības un bonitātes
Distribution of sample plots by stand density and site index

Biezība <i>Stand density</i>	Bonitāte <i>Site index</i>				Kopā <i>Total</i>
	1b+1a	0-1,5	1,6-2,4	2,5=<	
0,81-1,0	21	21	7	8	57
0,71-0,80	21	15	9	1	46
0,61-0,70	9	21	2	3	35
<=0,60	1	1	1	0	3
Kopā <i>Total</i>	52	58	19	12	141

$$Z_M = 127324 \psi G H^a D^{\beta \lg H + \varphi - 2} \left[\frac{Z_H (\alpha + \beta \lg D)}{H} + \frac{Z_D (\varphi + \lg H)}{10D} \right], \quad (1)$$

kur

Z_M – krājas tekošais pieaugums, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$;

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

H – vidējais augstums, m;

D – vidējais caurmērs, cm;

Z_D – krūšaugstuma vidējā caurmēra tekošais pieaugums, mm;

$$Z_D = 2iu, \quad (2)$$

kur

i – vidējās gadskārtas platums, ;

u – mizas biezuma koeficients, kas izsaka attiecību starp krūšaugstuma caurmēru ar mizu un bez mizas.

Z_H – vidējā augstuma tekošais pieaugums, m

$$Z_H = \frac{2iH(aD + b)}{cD + 100}, \quad (3)$$

$\psi, \alpha, \beta, \varphi$ – stumbra tilpīguma koeficienti;

a, b, c – augstuma pieauguma koeficienti.

Šeit un turpmāk koeficientu vērtības (Liepa, 1996).

Formula (1) izsaka attiecīgas koku kopas (audzes, audzes daļas, audžu kopas) krājas faktisko potenciālo tekošo pieaugumu ar mizu, citiem vārdiem, tā ir krājas palielināšanās iepriekšējos n gados, ko devusi uzmērīšanas brīdī esošā koku kopa, neņemot vērā atmirumu šajā laikā (Liepa, 2008.). Jāuzsver, ka šajā vērtībā ir iekļauts arī mizas pieaugums. Tam ir būtiska nozīme dažādu metožu rezultātu salīdzināšanā. Šajā pētījumā kontrolei izmantota H. Meijera–F. Leča metode, pēc kuras pieaugums aprēķināts kokiem bez mizas. Tādēļ pirms salīdzināšanas ar L1 metodi izskaitļotās vērtības ir jāizdala ar mizas tilpuma koeficientu s :

$$s = \frac{pD + q}{wD + 100} \quad (4)$$

L1 metodes lietošanas ierobežojumi:

$1,5 \leq H \leq 40$ m un $1,5 \leq D \leq 60$ cm.

L2 metodes pamatformula (5) ir vienkāršāka un arī ērtāk piemērojama:

$$Z_M = kG \left[\frac{2Z_D(H - 2Z_H + 4)}{10D + Z_D} + Z_H \right], \quad (5)$$

kur formulas parametru skaidrojums, to turpmākais izvērsums un mērvienības ir analogas formulai (1). Koeficients k izsaka stumbru tilpīgumu un tā vērtība ir atkarīga no koku sugas (Лиера, 1980). Arī formula (5) krājas tekošo pieaugumu uzrāda ar mizu un, lai iegūtu koksnes pieaugumu, Z_M vērtība, kas aprēķināta pēc šīs formulas, jādala ar koeficientu s .

L2 metodes lietošanas ierobežojumi:

skuju kokiem $10 \leq H \leq 35$ m un $8 \leq D \leq 50$ cm, izņemot priedi ($8 \leq H \leq 35$ m); lapu kokiem $15 \leq H \leq 35$ m un $8 \leq D \leq 50$ cm, izņemot melnalksni ($10 \leq H \leq 30$ m) un baltalksni ($6 \leq H \leq 25$ m un $4 \leq D \leq 30$ cm).

Pielietojot metodi L3, izšķirīga nozīme ir formulai (3), kas, izmantojot uzmērīšanas laika vidējo augstumu H , vidējo caurmēru D un gadskārtu platumu i iepriekšējos n gados, īsteno iespēju aprēķināt augstuma un caurmēra vidējās vērtības šī perioda sākumā, attiecīgi H_{-n} un D_{-n} . Tas ir pietiekami, lai, izmantojot kādu no stumbra tilpuma formulām, aprēķinātu arī vidējā koka stumbra tilpumu perioda beigās un sākumā. Šeit izmantota for-

mula (6) (Liepa, 1996).

$$v = \psi H^a D^{\beta \lg H + \varphi} \quad (6)$$

Abu minēto vērtību starpība ir vidējā koka tilpuma tekošais pieaugums perioda n laikā, kura reizinājums ar koku skaitu izsaka krājas pieaugumu Z_M . Sacīto apraksta formula (7).

$$Z_M = \psi N (H^a D^{\beta \lg H + \varphi} - H_{-n}^a D_{-n}^{\beta \lg H_{-n} + \varphi}) \quad (7)$$

Ar metodi L3 iegūst koksnes pieaugumu jeb krājas pieaugumu bez mizas, tāpēc tās rezultātus salīdzināt ar kontroli – H. Meijera–F. Leča metodi – var tieši. Jāatzīmē, ka metodi L3 iespējams modificēt, attiecīgi formulas (6) vietā izvēloties kādu citu, kuras precizitāte apmierina lietotāja prasības.

Metožu precizitātes salīdzināšanai katram parauglaukumam aprēķināta Z_M relatīvā starpība, kas iegūta, no pārbaudāmās metodes rezultāta atņemot ar kontroli izskaitļoto vērtību, starpību izdalot ar to un pareizinot ar 100. Kā metodes precizitātes rādītājs lietota vidējā (sistemātiskā) kļūda un standartnovirze, kas abas, izskaitļotas pēc MS Excel vai SPSS piedāvātajām iespējām, statistiski raksturo attiecīgās Z_M noteikšanas metodes rezultātu novirzes no kontroles. Izmantojot deskriptīvo statistiku un dispersijas analīzi, novērtēts atšķirību būtiskums starp metodēm un to precizitātes atkarībai no audzes atrašanās vietas reģiona, valdošās koku sugas, sastāva, bonitātes, biežības, vecuma, edafiskajiem un morfometriskajiem rādītājiem.

Rezultāti un diskusija

Atsevišķa parauglaukuma audzes krājas tekošā pieauguma aprēķināšanu parāda

sekojošs piemērs, kurā lielākas ticamības dēļ kontrolei izraudzīts parauglaukums, ko ierīkojuši un detāli novērtējuši kontroles metodes neapstrīdami lietpratēji (Zviedris, Matuzānis, 1964). Parauglaukums ierīkots pagājušā gadsimta sešdesmito gadu sākumā Bauskas apkaimē. Audzes raksturojums: sastāvs 8B2P, vecums – 55 gadi, bonitāte – Ia, biežība – 0,6, meža augšanas apstākļu tips – Dm, bērza šķērslaukums – 15,307 m² ha⁻¹. Parauglaukuma platība – 0,25 ha. Izmantojot mērījumu datus, aprēķināmi metodēm L1, L2 un L3 nepieciešamie bērza taksācijas rādītāji: vidējais caurmērs – 23,0 cm, vidējais augstums – 24,9 m, gadskārtas platuma vidējā vērtība – 1,206 mm, koku skaits – 368 ha⁻¹, augstuma pieaugums – 0,24 m, caurmēra pieaugums – 2,42 mm. Pēc uzlabotās H. Meijera–F. Leča metodes raksta autori aprēķinājuši, ka bērza tekošais krājas pieaugums bez mizas gadā sastāda 4,321 m³ ha⁻¹. Krājas tekošā pieauguma aprēķins, pielietojot pārbaudāmās metodes, devis šādus rezultātus: pēc L1 metodes $Z_M = 4,534$ m³ ha⁻¹, kas par 4,71% pārsniedz kontroles vērtību; pēc L2 metodes $Z_M = 4,291$ m³ ha⁻¹ jeb – 0,69%; pēc metodes L3 $Z_M = 4,470$ m³ ha⁻¹ jeb 3,45%. Šajā piemērā ar visām četrām metodēm saņemts līdzīgs rezultāts. Analogiski aprēķinātas arī pārējo 140 parauglaukumu Z_M vērtības un to relatīvās starpības ar kontroli. Iegūtās trīs skaitļu kopas apstrādātas ar deskriptīvās statistikas metodēm (Arhipova, Bāliņa, 2003.).

Deskriptīvās analīzes rezultāti parādīti 4. tabulā. Kā jau bija paredzams, relatīvo kļūdu paraugkopas seko normā-

4. tabula, Table 4

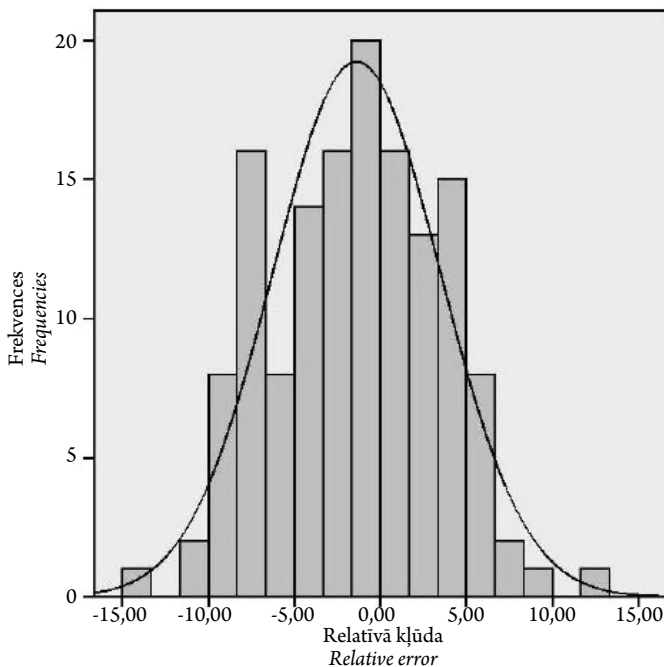
Deskriptīvās analīzes rezultāti, %
Results of descriptive analysis, %

Statistiskie rādītāji <i>Statistics</i>	Metodes <i>Methods</i>		
	L1	L2	L3
Vidējā kļūda <i>Average Error</i>	3,09	-1,38	2,65
Standartkļūda <i>Standard Error</i>	0,45	0,41	0,48
Standartnovirze <i>Standard Deviation</i>	5,40	4,87	5,65
Asimetrija <i>Skewness</i>	-0,13	0,01	-0,15
Ekscess <i>Kurtosis</i>	-0,39	-0,47	-0,34
Minimālā <i>Minimum</i>	-12,94	-13,76	-14,06
Maksimālā <i>Maximum</i>	14,43	12,07	14,52

lajam sadalījumam (1. att.). Visu pārbaudāmo metožu vidējās kļūdas ir nelielas, taču L2 metodei kļūda būtiski atšķiras no L1 un L2 ($p < 0,01$). Arī standartkļūdas un standartnovirzes vērtības ir nedaudz mazākas. Iespējamais šī fakta skaidrojums – formulas (1) un (7) ir atvasinātas no stuburu tilpuma vienādojuma, bet formula (5) – no krājas formulas. Zināma nozīme ir arī apstāklim, ka daļa egļu parauglaukumu pētījumā pārstāv dažāda vecuma audzes, kas veido likni diagrammā gadskārtas platums–koka caurmērs. Neapšaubāmi, ka piedāvātās metodes krājas pieauguma noteikšanai lietojamas arī dažāda vecuma audzēs, taču tādā gadījumā jāizvēlas atbilstoša aproksimācija. Šajā pētījumā visiem parauglaukiem piemērots taisnes vienādojums, tādējādi būtiski vienkāršojot turpmākos aprēķinus. Relatīvās kļūdas

palielināšanos izsauc arī tas, ka algoritma vienkāršošanas dēļ augstumlikne visos gadījumos aprakstīta ar logaritmiskās regresijas vienādojumu, kaut gan atsevišķās audzēs lielāku determinācijas koeficientu iespējams sasniegt ar citu, tikai katram konkrētajam gadījumam piemērotu vienādojumu. Kopumā statistiskās analīzes atzinums ir tāds, ka, neskatoties uz L2 metodes vienkāršību, tā uzrāda lielāko sakritību ar kontroli. Protams, sacītais attiecas tikai uz L2 atbilstības diapazonu, ko nosaka lietošanas ierobežojumi, kas izslēdz L2 piemērošanu jaunaudzju taksēšanai un savā laikā pamatoja metožu L1 un L3 izstrādi.

Relatīvās kļūdas reģionālā, taksonomiskā, edafiskā un fitocenotiskā atkarība pārbaudīta ar divu faktoru dispersijas analīzi, visos gadījumos saglabājot



1. attēls. *L2* relatīvo kļūdu sadalījums.
Figure 1. Distribution of relative errors of method *L2*.

vienu no faktoriem – koku sugu. Rezultāti redzami 5. tabulā, kur uzrādītas kritiskā punkta *p*-vērtības visām pārbaudāmajām metodēm un potenciālajiem ietekmes faktoriem. Pārpratumu novēršanai jāatzīmē, ka faktora ietekme uzskatāma par būtisku, ja $p < 0,05$ (rezultātu būtiskuma līmenī $\alpha = 0,05$) vai $p < 0,01$ ($\alpha = 0,01$). No 18 pozīcijām (3 metodes un 6 ietekmes faktori) tikai viena ir būtiska un arī tikai signifikances līmenī $\alpha = 0,05$. Atkarīgā pozīcija attiecas uz *L2*, norādot, ka šīs metodes relatīvo kļūdu nosaka koku suga. Kļūdas vidējās vērtības un to standartkļūdas pēc *L2*: bērzam $-2,89 \pm 0,65\%$; eglei $-1,72 \pm 1,15\%$; priedei $-0,46 \pm 0,56\%$, kas ir ļoti tuvas visas paraugkopas vidējiem skaitļiem $-1,38 \pm 0,41$ (4. tab.). Lielāko atšķirību uzrāda bērzs. Iespējams tādēļ, ka bērzu parauglaukumi satur divu dažādu koku sugu – āra bērza

(*Betula pendula* Roth) un purva bērza (*B. pubescens* Ehrh.) datus. Latvijas mežsaimniecības un mežzinātnes aprītē tradicionāli īstenota šāda prakse, kas niansētākos pētījumos var atsaukties uz to precizitāti. Kā jau atzīmēts iepriekš, šajā pētījumā izmantotas krājas tekošā pieauguma vērtības, neņemot vērā mizas ietekmi, kas starp abām bērzu sugām var uzrādīt ievērojamas atšķirības. Tā kā arī mizas tilpuma koeficienta *s* vērtības (4) noteiktas, tradicionāli nenodalot abas sugas, teorētiski atšķirības ir nenovēršamas.

Minēto metožu precizitātes morfoloģiskā atkarība pārbaudīta ar regresijas analīzi. Secināts, ka taksējamās koku kopas caurmēram nav būtiskas ietekmes. Neliela, taču nozīmīga ietekme ir vidējam augstumam (metožu determinācijas

5. tabula, Table 5

Pārbaudāmo ietekmju p-vērtības
The p-value of verifiable effect

Pārbaudāmā ietekme Verifiable effect	Metodes Method		
	L1	L2	L3
Reģions Region	0,648	0,526	0,683
Koku suga Tree species	0,262	0,034 *	0,955
Vecums Age	0,145	0,171	0,593
Sastāvs Species composition	0,834	0,885	0,791
Bonitāte Site index	0,187	0,054	0,567
Biezība Relative stand density	0,567	0,541	0,333

* ietekme būtiska līmenī $\alpha = 0,05$ / significant effect at $\alpha = 0.05$.

koeficienti: metodei $L1 - R^2 = 0,077$; $L2 - R^2 = 0,059$; $L3 - R^2 = 0,293$) – atšķirība no kontroles pieaug līdz ar augstuma palielināšanos. Iespējams tādēļ, ka kontroles metodei raksturīga mazāk diferencēta augstuma pieauguma noteikšana, kas padara mazāk precīzu vidējā augstuma aprēķināšanu, kāds audzei bijis pirms n gadiem un rezultātā – arī krājas tekošā pieauguma iznākumu.

Secinājumi

1. Visu četru pārbaudīto metožu precizitāte pieļauj to izmantošanu atsevišķas audzes, audzes daļas un audžu kopu krājas tekošā pieauguma noteikšanai. Taču, ja vien taksējamā audze atbilst nosacījumiem: skuju kokiem $10 \leq H \leq 35$ m un $8 \leq D \leq 50$ cm, izņemot priedi ($8 \leq H \leq 35$ m); lapu kokiem $15 \leq H \leq 35$ m un $8 \leq D \leq 50$ cm, izņemot melnalksni ($10 \leq H \leq 30$ m) un baltalksni ($6 \leq H \leq 25$ m un $4 \leq D \leq 30$ cm), priekšroka dodama metodei $L2$.
2. Visu metožu relatīvās kļūdas seko normālajam sadalījumam, to vidējās un vidējās kvadrātiskās vērtības nav būtiski atkarīgas no audzes augšanas reģiona, vecuma, mistrojuma, bonitātes, biežības un vidējā caurmēra, kas ievērojami atvieglo praktiskai lietošanai piemērotākās metodes izvēli. Audzes vidējā augstuma ietekme ir neliela, taču būtiska.
3. Metodes izvēli nosaka tās darbietilpīgums un empīriskā materiāla ievākšanai nepieciešamais laika patēriņš.

Literatūra

- Arhipova, I., Bāliņa, S.** (2003). Statistika ekonomikā. Risinājumi ar SPSS un Microsoft Excel. Rīga: Datorzinību centrs, 352 lpp.
- Dauškane, I.** (2011). Purvos augošās parastās priedes *Pinus sylvestris* L. radiālā pieauguma saistība ar klimatiskajiem faktoriem Latvijā. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga: LU, 86 lpp.
- Liepa, I.** (1996). Pieauguma mācība. Jelgava: LLU, 123 lpp.
- Liepa, I.** (2008). Latvijas skujkoku mežu krājas pieaugums. LLU Raksti 20 (315). Jelgava, 46.-52. lpp.
- Loetsch, F.** (1954). Das Tariffdifferenzverfahren zur Massenzuwachsermittlung in der Praxis und im Versuchswesen. Schweiz. Ztschr. Forstwesen, 3/4.
- Schweingruber, F. H.** (1996). Tree Rings and Environment. Dendroecology. Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt., 609 pp.
- Zviedris, A., Matuzānis, J.** (1964). Tekošā koksnes masas pieauguma noteikšana. Jaunākais Mežsaimniecībā, 6/7, 49.-56. lpp.
- Антанайтис, В. В., Загреев, В. В.** (1981). Пирост леса. – 2-е изд., перераб. Москва: Лесн. пром-сть, 200 с.
- Дворецкий, М. А.** (1964). Текущий прирост древесины ствола и древостоя. Москва: Лесн. пром-сть, 124 с.
- Лиєпа, И. Я.** (1980). Динамика древесных запасов. Прогнозирование и экология. Рига: Зинатне, 172 с.