



LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE
MEŽA FAKULTĀTE

Imants Liepa

MEŽA TAKSĀCIJA

Mācību līdzeklis
LLU Meža fakultātes studentiem,
nozares speciālistiem un meža īpašniekiem

Jelgava, 2018

Grāmata izdota ar AS «Latvijas valsts meži» atbalstu



Vāka mākslinieciskais noformējums – *Lilija Rimicāne*
Redaktore – *Ilze Čerņevska*

ISBN 978-9934-534-78-2

© Imants Liepa, teksts, 2018
© Rūta Kazāka, zīmējumi, 2018
© L. Rimicāne, dizains, 2018
© «Izdevniecība Avots», 2018

SATURA RĀDĪTĀJS

IEVADS	5
1. KOKA TAKSĀCIJA	7
1.1. Koka daļas un taksācijas rādītāji	7
1.2. Nocirsta koka taksācija	7
1.2.1. Stumbra garums	7
1.2.2. Stumbra caurmērs	8
1.2.3. Stumbra šķērslaukums	11
1.2.4. Stumbra forma	13
1.2.5. Stumbra tilpums	26
1.2.6. Mizas tilpuma noteikšana	41
1.2.7. Vainaga taksācija	47
1.2.8. Celma un sakņu taksācija	49
1.3. Augoša koka taksācija	51
1.3.1. Augoša koka taksācijas specifika	51
1.3.2. Augoša koka augstuma mērīšana	52
1.3.3. Caurmēra mērīšana	62
1.3.4. Augoša koka tuvinātās stumbra tilpuma formulas	64
1.3.5. Stumbru tilpuma tabulas	65
1.3.6. Stumbru raukuma tabulas	71
2. KOKMATERIĀLU TAKSĀCIJA	74
2.1. Kokmateriāli	74
2.2. Apaļie kokmateriāli	74
2.3. Zāģmateriāli	79
3. AUDZES TAKSĀCIJA	84
3.1. Audzes komponenti un frakcijas	84
3.2. Audzes izcelšanās	86
3.3. Audzes veids	86
3.4. Audzes sastāvs	87
3.5. Audzes vecums	88
3.6. Koku sociālais stāvoklis	92
3.7. Audzes bonitāte	93
3.8. Audzes biežība, biežums un slēgums	100
3.9. Paauga un pamežs	105
3.10. Zemsedze un zemsega	106
3.11. Šķērslaukums	108
3.12. Vidējais caurmērs	113
3.13. Vidējais augstums	118
3.14. Krāja	121
3.14.1. Vienlaidus dastošanas metode	121
3.14.2. Parauglaukumu metode	122
3.14.3. Vizūrleņķu metode	125
3.14.4. Paraugkoku metodes	126
3.14.5. Acumēra metode	132
3.15. Sortimentācija	133
3.15.1. Individuālās uzskaites metode	134
3.15.2. Paraugkoku metodes	136
3.15.3. Raukuma metodes	137
3.15.4. Parauglaukumu metode	139
3.15.5. Sortimentu tabulu metode	140

3.15.6. Preču tabulu metode	143
3.15.7. Reģiona sortimentu struktūra	145
3.16. Biomasas taksācija	147
3.16.1. Koku biomasas noteikšana	148
3.16.2. Zemāko stāvu biomasa	150
4. PIEAUGUMA TAKSĀCIJA	152
4.1. Pieauguma jēdziens	152
4.2. Koka pieaugums	154
4.2.1. Pamatformulas	154
4.2.2. Vidējā un tekošā pieauguma atkarība	155
4.2.3. Pieauguma mainīgums	156
4.2.4. Augstuma pieaugums	157
4.2.5. Caurmēra un šķērslaukuma pieaugums	160
4.2.6. Nocirsta koka stumbra tilpuma pieaugums	163
4.2.7. Augoša koka stumbra tilpuma pieaugums	171
4.2.8. Pieauguma noteikšanas precizitāte	174
4.3. Audzes krājas difference un pieaugums	176
4.3.1. Diferences un pieauguma klasifikācija	176
4.3.2. Tekošā pieauguma noteikšanas metodes	179
4.4. Papildus pieaugums	198
4.4.1. Papildus pieauguma jēdziens	198
4.4.2. Koka stumbra papildus pieaugums	199
4.4.3. Audzes (meža elementa) papildus pieaugums	202
4.4.4. Audžu kopas papildus pieaugums	205
5. AUGŠANAS GAITA	206
5.1. Stumbra analīze	206
5.2. Audžu augšanas gaitas tabulas	209
5.3. Augšanas gaitas tabulu sastādīšanas metodes	212
5.4. Augšanas funkcijas	214
5.5. Aktualizācija	215
NOBEIGUMS	221
LITERATŪRA	222
LATVIEŠU – ANĢĻU – KRIEVU TERMINU SARAKSTS	225
AUTORU SARAKSTS	236

IEVADS

Mežs nemitīgi pilda daudzveidīgas ekoloģiskās funkcijas: piesaista oglekli, ražo skābekli, attīra atmosfēru, stabilizē klimatu, aizsargā augsni, uzlabo cilvēka dzīves apstākļus, atveseļo garīgi un fiziski, veicina jaunradi zinātnē un mākslā, rada dzīvesprieku un labestību. Tā izpaužas meža galvenā nozīme modernajā pasaulē. Taču tā nav vienīgā. Mežs ir viens no cilvēka materiālās labklājības avotiem. Sadzīvē un praktiski visās tautsaimniecības nozarēs tieši vai netieši izmanto koksni, tās pārstrādes produktus vai kādu citu meža resursu veidu. Mežs bija cilvēka šūpulis un izdzīvošanas garants ilgajos laika pārbaudījumos, tas ir un būs uzticams labvēlis arī turpmāk.

Kāda ir bijusi cilvēka atbilde uz to? Viennozīmīga. Cilvēka un meža attiecību vēsture visur un vienmēr ir bijusi nepārdomātas izmantošanas un iznīcināšanas vēsture. Tā aizsākās tālā senatnē ar lokālu dienišķo vajadzību apmierināšanu un, gadu gaitā nemitīgi pastiprinādamās, ir novedusi līdz globālai pasaules meža apdraudētībai. Katras tautas attīstības un kultūras līmeni raksturo tās attieksme pret mežu. Reģionos ar augstu vispārējo kultūru (Eiropa, Ziemeļamerika) augstāks ir arī mežsaimniecības līmenis. Tas izpaužas ilgtspējīgā meža platību apsaimniekošanā un racionālā meža resursu izmantošanā. Taču pēdējā pusgadsimta laikā meža stāvoklis būtiski pasliktinās arī šeit. To ir izsaukušas kā fiziskās vides globālās izmaiņas (klimats, piesārņojums), tā pieaugoša konkurence pēc izejvielām. Ja vides aizsardzības efektivitāte neuzlabosies, nākotnē meža stāvokļa pasliktināšanās kļūs neatgriezeniska.

Lai saglabātu mežu – cilvēces eksistences ekoloģisko un materiālo priekšnosacījumu, protot noteikt un īstenot tālredzīgu meža labumu izmantošanas un atjaunošanas stratēģiju un taktiku, vispirms mežs ir jāpazīst. Mežkopim mežs ir jāpazīst tā, lai ne tikai saprastu, bet arī izjustu meža dzīvi tās pilnībā, daudzveidībā un skaistumā. Pirmie soļi šajā virzienā ir saistīti ar prasmi novērtēt esošās meža bagātības un paredzēt to izmaiņas nākotnē. Tas ir pamatnosacījums saimnieka attieksmei pret mežu. Kā to panākt, māca *meža taksācija*.

Mežs ir ekosistēma, kuras galvenais producents ir kokaudze. Kokaudze ir bioloģiski nozīmīgākā un saimnieciski vērtīgākā meža sastāvdaļa jeb *meža komponents*. Tā ir galvenā biomasas producētāja, meža specifiskās vides un īpašību radītāja, kā arī tautsaimniecībā neaizstājamo kokmateriālu avots. Meža taksācija ir mežzinātnes nozare par meža bagātību vērtēšanu. Šo domu akcentē tās nosaukums, kas atvasināts no latīņu vārda *taxatio* – vērtējums. Citās valodās ir līdzīgi: krievu – Лесная таксация vai Таксация леса, angļu – Forest mensuration, vācu – Holzmesskunde, franču un čehu – Dendrometrie, poļu – Dendrometria. Meža taksācijas izziņas objekts ir atsevišķs koks un tā daļas, koku kopas, atsevišķas audzes un to daļas, audžu kopas, meža masīvi un mežmateriāli.

Meža taksācija ir saistīta ar daudzām zinātnes nozarēm. Matemātika jau izsenis ir teorētiskais pamats dažādu vērtēšanas algoritmu izstrādē, mūsdienīgā skaitļošanas tehnika tos īsteno konkrētos aprēķinos, fizika kalpo mērinstrumentu un aparātu konstruēšanā un uzlabošanā, botānika un dendroloģija palīdz orientēties mežaudžu taksonomiskajā daudzveidībā, ekoloģija atsedz vides komplicēto struktūru un ietekmi meža dzīvē, entomoloģija un fitopatoloģija raksturo koku un audžu fizioloģisko un sanitāro stāvokli, ģeodēzija dod kartogrāfisko materiālu, augsnes zinātne veicina meža zemju auglības pilnīgāku izmantošanu, meža platību nosusināšana uzlabo augšanas apstākļus, mežizstrāde norāda uz meža resursu ieguves racionālākajiem paņēmieniem, prečzinība konkretizē mežmateriālu kvalitāti un tirgus pieprasījuma struktūru, mežkopība, mežierīcība un meža ekonomika integrē meža taksācijas rezultātu pārdomātu realizēšanu praktiskajā meža apsaimniekošanā un meža resursu izlietošanā.

Meža taksācijas zinātne sāka veidoties astoņpadsmitā gadsimta sākumā, kad koksne kļuva par intensīvas tirdzniecības objektu (Захаров Б., 1967). Līdz tam atsevišķu koku stumbru tilpumu un audžu krāju noteica pēc acumēra. Visus kokus iedalīja *lietkokos* un *malkaskokos*. Lietkoku vērtēšanai izmantoja dažādas vietējās tilpuma mērvienības, bet malku uzskaitīja vezumos. Vācijā un Francijā 18. gadsimta sākumā koksnes vērtība pieauga tik strauji, ka tur izvirzīja prasību pēc objektīvākas un precīzākas koksnes resursu apzināšanas jau pirms to ieguves. Meža taksācijas vēsturē izdala trīs posmus.

Stereometriskais etaps ietver visu 18. gadsimtu. Šajā laikā meža taksāciju godāja par meža matemātiku. Koka *stumbra tilpuma*, *audžu krājas* un citu nozīmīgāko uzdevumu risinājumos dominēja

stereometrijas formulas. Vēlāk šis virziens izrādījās neperspektīvs, jo koku un audžu *taksācijas rādītāju* statistiskā mainīguma un temporālās dinamikas dēļ stereometrijas metodes nebija adekvātas. Uz šo etapu attiecas pirmie mēģinājumi audžu krāju un tās *pieaugumu* noteikt, izmantojot *paraugkokus* un *parauglaukumus*. Ievērojama fizikāls R. Reomīrs (R. de Réaumur) jau 1721. gadā ieteica sastādīt audžu *augšanas gaitas tabulas*, bet pāris desmitgažu vēlāk koku *augstuma* un *caurmēra* mērījumi nebija nekas neparasts, stumbru tilpuma aprēķināšanai lietojot *viduslaukuma metodi* (Sarma P., 1948). Šajā laikā tika izdotas pirmās *stumbru tilpuma tabulas* un publicēti darbi par *ksilometrijas* iespējām.

Induktīvās izziņas etaps turpinājās no 19. gadsimta sākuma līdz 20. gadsimta divdesmitajiem gadiem. Tam raksturīga ļoti apjomīga un daudzpusīga empīrisku datu ievākšana. To apstrādei un vispārināšanai plaši izmantoja matemātisko statistiku, kas deva iespēju sastādīt un ieviest praksē visdažādākās tabulas. Šī darba nozīme meža taksācijā saglabājusies vēl joprojām. Induktīvās izziņas etapā liela uzmanība tika veltīta *stumbru formas* pētījumiem. Izveidojās *veidskaitļu teorija*, uz tās pamata Bavārijā tika sastādītas un izdotas pirmās stumbru tilpuma tabulas, kas orientētas pēc koku augstuma un *krūšaugstuma caurmēra*. Koka un audzes taksācijas rādītāju pieauguma un *augšanas gaitas* izziņāšana šajā etapā kļuva par vienu no nozīmīgākajiem meža taksācijas virzieniem. Ļoti strauji pilnveidojās ne tikai taksācijas metodiskā, bet arī tehniskā bāze. Zinātniskajos pētījumos produktīvi darbojās ASV, Austrijas, Krievijas, Zviedrijas u. c. intensīvas mežsaimniecības valstu meža speciālisti.

Modernās taksācijas etaps vienlīdz sekmīgi un kompleksi izmanto kā deduktīvo, tā induktīvo izziņas metodi. Zinātniskajos pētījumos un praksē plaši lieto datortehniku un tālīzpētes metodes.

Latvijā meža taksācijas aizsākumi attiecas uz 20. gadsimta sākumu. Tie ir bijuši un ir saistīti galvenokārt ar lokālo problēmu risināšanu, lai apmierinātu mežsaimniecības un mežsaimniecības izvirzītās prasības (vietējo koku sugu stumbru tilpuma, *raukuma*, pieauguma, augšanas gaitas, *sortimentācijas* un *mežmateriālu tilpuma* un *biomasas* aprēķināšanas algoritmu un praktiskās noteikšanas metožu izstrāde). Vienīgā mācību grāmata meža taksācijā latviešu valodā – P. Sarma. *Meža taksācija* – izdota 1948. gadā. Tagad tā kļuvusi par bibliogrāfisku retumu. Turklāt aizvadītajos 70 gados meža taksācijas teorija un prakse ir papildinājusies ar jaunām atziņām, metodēm un mērinstrumentiem, ir mainījušās taksācijai izvirzītās prasības un to risināšanas veids un iespējas. Informācija par atsevišķām meža taksācijas sadaļām atrodama: Skudra, Dreimanis, 1993; Liepa I., 1996; Līpiņš L., 1999; Līpiņš L., Liepa I., 2007. Sakarā ar visaptverošu datoru izmantošanu tautsaimniecībā dažādu tabulu sastādīšana kļuvusi mazāk aktuāla, jo ne tikai informatīvāk, bet arī praktiskāk ir lietot informatīvos materiālus, kas ietverti analītiskās izteiksmēs. Tāpēc arī pētniecības rezultāti jāizsaka abās formās. Pēdējo desmitgažu laikā sabiedrības interese ievērojami pastiprinājusies par meža ieneses mācību. Līdz ar to vairāk vērības jāveltī detalizētai koku un audžu pieauguma taksācijai. Savukārt sakarā ar meža resursu kompleksu izmantošanu par nepieciešamību kļuvusi koka un audzes biomasas visu *frakciju vērtēšana*. Ne mazāk aktuāla ir dažādu *vides faktoru* – abiotisko, biotisko, sekmīgas un nesekmīgas mežsaimnieciskās darbības ietekmes uz *meža produktivitāti* un *kvalitāti* vērtēšana. Nereti šādu ietekmju vizuālais efekts iestājas tikai pēc vairākiem gadiem, kad saimnieka iespējas kaut ko labot ir nokavētas. Šie un vēl citi meža vērtēšanas aspekti meža taksācijai ir jauns izaicinājums, kura risināšanas vajadzība un iespējas meža speciālistiem jāapzinās, sākot ar to saskares pirmo dienu.

Grāmata sarakstīta, vadoties no meža taksācijas attīstības tendencēm pasaulē, ņemot vērā specifiskās prasības, kas izriet no LLU Meža fakultātē apgūstamo akadēmiskā un profesionālā bakalaura, maģistra un doktora studiju kursu satura. Daži ieteikumi tās ērtākai lasīšanai. Pirmkārt, jāpatur vērā, ka jebkura studiju kursa apguve ir nesaraujami saistīta ar padziļinātām informatīvo avotu studijām. *Meža taksācijas* specifikai atbilst ļoti plašs starptautiski atzīts zinātnisko žurnālu un dažādu meža ekoloģijas un mežkopības konferenču materiālu klāsts. Diemžēl dažādu autoru atsevišķu jēdzienu izpratne un lietotie termini ne vienmēr ir viennozīmīgi saskaņoti, tādējādi izraisot papildu grūtības un it īpaši iesācēju vidū. Turklāt katrā valodā vienam un tam pašam jēdzienam sastopams bagātīgs sinonīmu krājums. Esmu pārliecināts, ka šajā ziņā informatīvs palīgs būs latviešu–angļu–krievu terminu saraksts, kas sastādīts, vadoties no terminu saturiskās jēgas un sinonīmu sastopamības biežuma. Lasītājam katram pašam ieteicams šo sarakstu papildināt atbilstoši saviem ieskatiem. Otrkārt, autoru saraksts palīdzēs ātri un bez grūtībām pārliecināties par to, vai attiecīgā autora viedoklis šajā grāmatā ir vai nav ietverts (skaitļi aiz katra autora norāda lappusi, kurā viņš minēts). Treškārt, grāmatas pirmajā lasījumā pieļaujama tikai tuvināta iepazīšanās ar formulām, izprotot to jēgu un nozīmi kopējā jēdzienu sistēmā. Savukārt formulu pirmo pielietošanu ieteicams veikt manuāli bez citu autoru sastādītu datorprogrammu izmantošanas. Ievērojot šos dažus nosacījumus, šķietami sarežģītais meža taksācijas studiju kurss būs kā interesanta un daudz jaunu atziņu atklājoša pastaiga mežā.

1. KOKA TAKSĀCIJA

1.1. Koka daļas un taksācijas rādītāji

Tradicionāli koka taksējamās daļas ir *stumbrs*, *saknes*, *celms*, *zari* un *lapu* vai *skuju kopums*. Saimnieciski vērtīgākā un apjomīgākā daļa ir stumbrs. Atkarībā no sugas, koka vecuma un augšanas apstākļiem tas aizņem 60 – 85% koka tilpuma. Līdz ar to galvenā vērība koka taksācijā vienmēr ir bijusi un ir stumbra parametru noteikšanai. Tāpēc stumbra taksēšanas metodoloģija ir izstrādāta ievērojami pilnīgāk, galvenokārt izmantojot tilpuma mērvienības. Pārējo koka daļu vērtēšanas vajadzība ir atkarīga no lokāliem nosacījumiem un pamatojas uz masas noteikšanu. Saknes atrodas augsnē, kur parasti veido plaši sazarotu un tiešai mērīšanai grūti pieejamu sistēmu. Celms sastāv no divām daļām, no kurām viena atrodas augsnē, bet otra – virs augsnē. Nereti lielāko nenoteiktību celma vērtēšanā rada celma augsnē daļas un sakņu saskares vietas noteikšana. Zari kopā ar lapām vai skujām veido *koka vainagu*. Atsevišķu koku daļu attiecības ir ļoti mainīgas. Tās uzskatāmi izsaka koka fizioloģisko stāvokli un koka un vides sarežģītās mijiedarbības raksturu un intensitāti.

Koka taksācijas rādītāji ir *augstums* (nocirstam kokam – *garums*), *caurmērs*, *šķērslaukums*, *stumbra forma*, *tilpums* un visu šo rādītāju *pieaugums*. Taksācijas rādītāju noteikšana jāīsteno kā nocirstam, tā augošam kokam. Abos gadījumos tā atšķiras darba metožu precizitātes un to lietošanas izmaksu ziņā. Nocirsts koks ir pieejams tiešajai uzmērīšanai, tāpēc tā taksācija ir vienkāršāka un precīzāka.

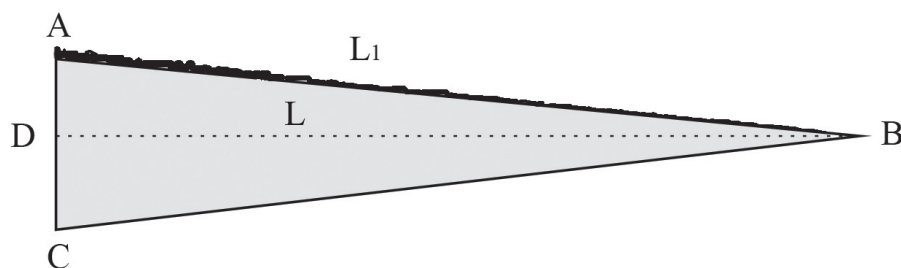
Meža taksācijā izmanto galvenokārt divas *mērvienību sistēmas* – *metrisko* un *imperālo* jeb *angļu sistēmu*. Pēdējo lieto zemēs, kurās dominējošā ir angļu valoda (Lielbritānija, ASV, Austrālija, Jaunzēlande u. c.). Vairākumā valstu ir ieviesta metriskā sistēma, tādējādi būtiski vienkāršojot dažādu mērījumu interpretāciju (Husch et al., 2003; Kershaw et al., 2016). Arī Latvija pieder šai valstu grupai. Nepieciešamība iepazīt angļu sistēmas mērvienības rodas, lasot publikācijas vai iesaistoties starptautiskajā kokmateriālu tirdzniecībā.

Metriskajā mērvienību sistēmā koka augstumu (stumbra garumu) izsaka metros (m), caurmēru – centimetros (cm), šķērslaukumu – kvadrātmetros (m²), tilpumu – kubikmetros (m³), masu – tonnās (t). Savukārt par taksācijas rādītāju simboliem iespēju robežās izvēlas mazos burtus atsevišķa koka, bet lielos – koku kopas gadījumā.

1.2. Nocirsta koka taksācija

1.2.1. Stumbra garums

Stumbra garums ir attālums no *resgaļa griezuma* līdz *galotnes pumpuram*. To var mērīt ar jebkuru garuma mēru. Ērti un vienkārši strādāt, lietojot 10 m vai 20 m garu *ruleti* ar labi saskatāmām centimetru un metru iedaļām. Mēru, kas īsāks par 10 m, izmantot nav ieteicams, jo atkārtotas atlikšanas dēļ var ieviesties un uzkrāties *mērīšanas kļūdas*.



1.1. att. Stumbra garuma mērīšanas shēma

Patieso stumbra garumu DB (1.1. att.) nav iespējams izmērīt. Tāpēc to mēra pa stumbra veiduli AB. Kļūda ΔL , kas tādējādi tiek pieļauta, ir ļoti niecīga un to var neņemt vērā. Redzams, ka

$$\begin{aligned}\Delta L &= L_1 - L, \\ L^2 &= L_1^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2, \\ \Delta L &= L_1 - \sqrt{L_1^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}.\end{aligned}\quad (1.1.)$$

Piemērs. Pieņemot, ka stumbra resgaļa diametrs $d = AC = 0,40$ m, veidules garums $L_1 = AB = 30,0$ m, mērījuma kļūda

$$\Delta L = 30,0 - \sqrt{30^2 - \left(\frac{0,40}{2}\right)^2} = 0,000667 \text{ m}$$

jeb 0,0022%. Lielākais kļūdu avots stumbra garuma mērīšanā ir nevīžīgs darbs ar ruleti. Jāuzmanās, lai mērīšanas laikā rulete būtu nostiepta un cieši piespiesta stumbra virsmai un lai starpā nebūtu zaru vietu *puni*, sūnas, ziemā arī ledus vai sniegs. Sevišķi tas attiecas uz līkiem stumbriem. Ļoti līkus stumbrus ieteicams mērīt pa daļām, atsevišķo daļu garumus sasummējot. Nocirsta koka garumu nosaka ar 0,1 m precizitāti.

Parasti stumbra vai tā daļu garumu h mēra, lai aprēķinātu saimnieciski nozīmīgāko taksācijas rādītāju – *tilpumu*. Cik liela *tilpuma noteikšanas kļūda* Δv rodas, ja garuma mērīšanā pieļaista kļūda Δh ? Vienkāršības dēļ pieņemsim, ka dotā stumbra daļa ir līdzīga cilindram, un tā tad tās tilpums

$$v = \frac{\pi d^2}{4} h. \quad (1.2.)$$

Tilpuma noteikšanas kļūda vienāda ar formulas (1.2.) parciālo diferenciāli pēc garuma jeb augstuma dv_h . Tāpēc *absolūtā kļūda*

$$\Delta v = dv_h = \frac{\partial v}{\partial h} dh = \frac{\pi d^2}{4} dh = \frac{\pi d^2}{4} \Delta h$$

un *relatīvā kļūda*

$$\Delta v\% = \frac{\Delta v}{v} 100 = \frac{\frac{\pi d^2}{4} \Delta h}{\frac{\pi d^2}{4} h} 100 = \frac{\Delta h}{h} 100.$$

Ņemot vērā, ka

$$\begin{aligned}\frac{\Delta h}{h} 100 &= \Delta h\%, \\ \Delta v\% &= \Delta h\%.\end{aligned}\quad (1.3.)$$

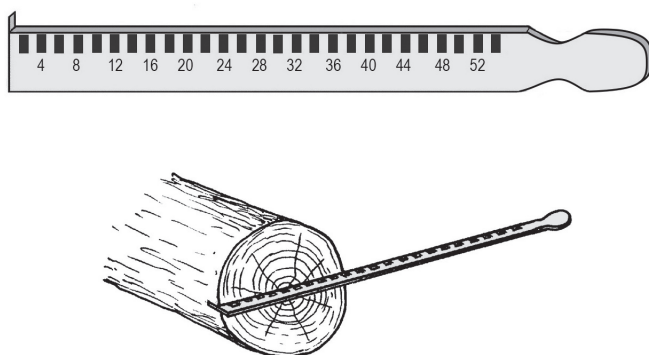
Sakarība (1.3.) nozīmē, ka neprecīzi izmērīts garums izraisa tikpat lielu tilpuma noteikšanas relatīvo kļūdu. Attiecībā uz visu stumbru jāsaka, ka šī sakarība ir nedaudz sarežģītāka. Samazinoties stumbra vai tā daļu garumam, relatīvā kļūda $\Delta v\%$ palielinās. Tāpēc īsāki garumi jāmēra precīzāk.

1.2.2. Stumbra caurmērs

Atkarībā no darba uzdevuma nocirsta koka caurmēru mēra vienā vai vairākās stumbra vietās. Mērīšanas vietai jābūt notīrītai no sūnām, atlobījušās mizas, sniega, ledus u. c. uzbiezinājumiem.

Ja caurmērs jāmēra arī bez mizas, kā tas ir stumbra nogriežņu (*apaļo kokmateriālu*) uzmērīšanā, jāuzmanās, lai mizas biezums tiktu ņemts vērā. Ja mērīšanas vietā ir *mieturis*, atsevišķs zars vai citas izcelsmes paresninājums, caurmēru mēra vienādos, pēc iespējas mazākos atstatumos virs un zem vajadzīgās vietas un aprēķina aritmētisko vidējo. Nereti mērīšanas vietā, īpaši stumbra resgalī, stumbra griezumam ir izteikti neregulārs. Tādā gadījumā caurmērs jāmēra vairākos virzienos, aprēķinot aritmētisko vidējo vērtību. Griezuma atkāpes no apla var sastapt jebkurā stumbra vietā. Tāpēc vienmēr vēlami divi savstarpēji perpendikulāri mērījumi. Ja griezumam ir elipses forma, caurmēru mēra garākās un īsākās ass virzienos. Dažkārt reizē ar esošo caurmēru jānosaka tā vērtība pirms zināma gadu skaita un jānoskaidro atsevišķu *gadskārtu* vai vairāku *gadskārtu* kopējais platums. Tādā gadījumā attiecīgajā vietā stumbru pārzāģē vai izzāģē 2–3 cm biezas ripas un mērījumus veic uz šiem griezumiem.

Koka caurmēra mērīšanai lieto *mērlineālu*, *dastmēru* vai *mērlenti*. Mērīšanas ērtību dēļ nereti kā mērlineālu izmanto 0,6–1,0 m garu koka brusiņu – *mērlatu*, kuras vienā galā perpendikulāri piestiprināts fiksators metāla plāksnītes veidā, bet otrā galā – rokturis. Centimetros un milimetros iedalītas skalas nulles punkts sakrīt ar fiksatora iekšējo plakni (1.2. att.). Mērot stumbra caurmēru, fiksatoru pieliek griezuma vienai malai un mērlatu pagriež tā, lai tā sakristu ar griezuma caurmēru. Rezultātu nolasa iepretī griezuma otrajai malai. Mērlata ir ļoti vienkāršs un parocīgs darbarīks, kas meža apstākļos nodrošina pieņemamu mērīšanas precizitāti (± 1 mm) stumbru griezumu abu caurmēru (ar un bez mizas) noteikšanā.

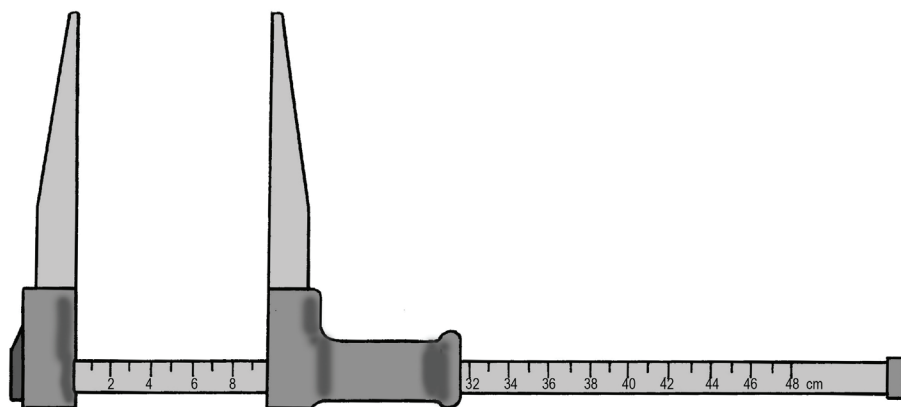


1.2. att. Caurmēra mērīšana ar mērlatu

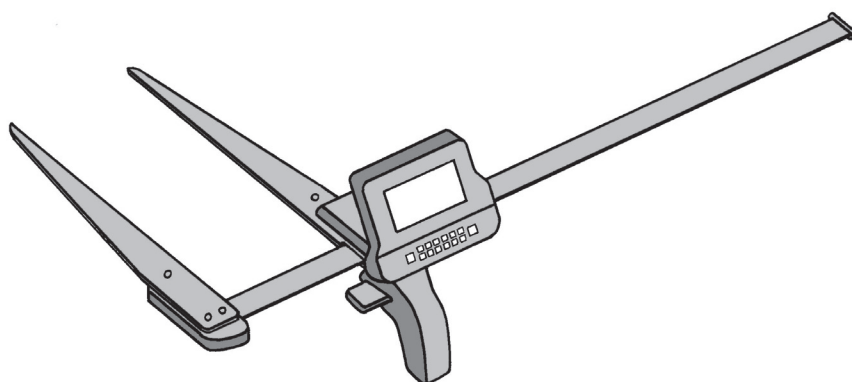
Visizplatītākais stumbru caurmēru mērīšanas veids ir *dastošana*. Lieto speciālu rīku – *dastmēru*. Mežsaimniecības praksē dastmēru sāka ieviest 19. gadsimta sākumā. Kopš tā laika izstrādāts ļoti daudz dažādu konstrukciju. Tās var klasificēt pēc vairākām pazīmēm. Pēc izmantošanas nolūka izšķir *parastos* un *speciālos* dastmērus. Pirmos lieto vienīgi caurmēra mērīšanai, otros – arī citu taksācijas rādītāju, piemēram, *stumbra šķērslaukuma* vai tilpuma, noteikšanai. Speciālie dastmēri atšķiras ar rezultātu skalas izveidojumu. Tā papildināta tā, ka iespējams vienlaicīgi nolasīt arī citu lielumu vērtības, kas atbilst izmērītajam caurmēram. Atkarībā pēc uzbūves principa izdala dastmērus, kuru pamatā ir ģeometriskā aksioma, ka starp paralēlām taisnēm taisņu nogriežņi ir vienāda garuma. Atsevišķu grupu veido dastmēri, kas dibinās uz taisnleņķa trijstūra īpašībām. Sastopami koka, metāla, plastikāta un kombinētie dastmēri. Savulaik izplatītākie bija koka dastmēri, jo tie bija vieglāki, vienkāršāk izgatavojami un līdz ar to arī lētāki. To trūkums bija relatīvi ātrā nolietošana, no kā cieta mērījumu precizitāte. Jāatzīmē, ka visai šai patiesi izcilajai izdomas bagātībai šodien vairs ir tikai vēsturiska vērtība. Tāpēc to izvērsts izklāsts šajā grāmatā nav ietverts.

Jaunākā laika dastmēriem (1.3. att.) minētie trūkumi ir novērsti.

Dastmēra nozīmīgākā priekšrocība ir tā, ka stumbra caurmēru iespējams mērīt jebkurā tā vietā. Dastmēra lietošanas ierobežojumi ir divi – mērāmā stumbra caurmērs un piekļuve mērīšanas vietai, kā tas ir *grēdās* nokrautu (krautnētu) *apaļo kokmateriālu* gadījumā. *Meža mērinstrumentu* ražotāju firmas piedāvā dažāda izmēra dastmērus, piemēram, Zviedrijas firma Haglöf izplata dastmērus, kas piemēroti stumbru mērīšanai ar maksimālo caurmēru intervālā no 40 līdz 127 cm. Un tomēr atsevišķos gadījumos arī tas ir nepietiekami, piemēram, *dižkoku* gadījumā. Pēdējā laikā aizvien iecienītāki kļūst *digitālie dastmēri*, kas automātiski ieraksta, uzglabā un meža apstākļos iegūto informāciju pārraida uz datoru (1.4. att.). Modernie dastmēri ir stabili, precīzi un praktiski.



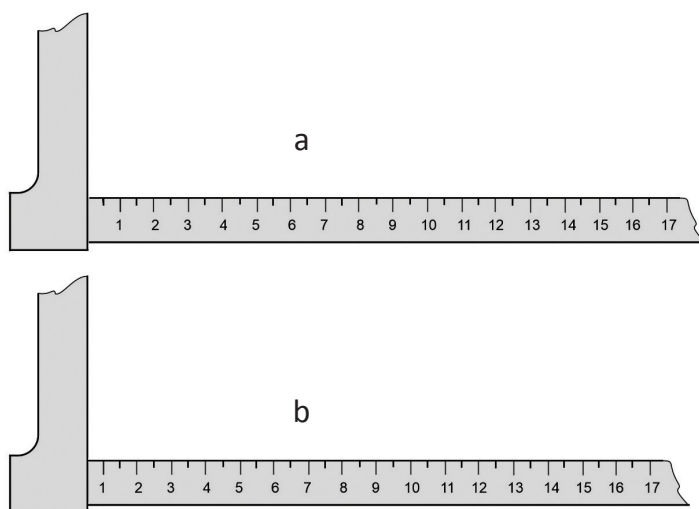
1.3. att. Haglöf firmas dastmērs



1.4. att. Haglöf firmas digitālais dastmērs

Dastojot mērlineālu un abus *tverus* viegli piespiež stumbram tā, lai dastmēra plakne un stumbrass būtu apmēram stateniski. Rezultātu nolasa uz skalas pie *kustamā tvera* iekšējās malas. Zinātniskajām vajadzībām dasto ar 1 mm noteiktību, kas uzskatāma par augstāko, strādājot ar dastmēru. Gadījumos, kad tik augsta rezultātu precizitāte nav nepieciešama un vēl jo vairāk – ir jāizmēra liels stumbru daudzums, izdevīgi lietot dastmērus, kas graduēti caurmēra pakāpēs. *Caurmēra pakāpe* ir noteikta garuma caurmēra intervāls – caurmēra mērīšanas vienība, parasti 1, 2 vai 4 cm. Dastojot nepilnās pakāpes atmet vai noapaļo uz augšu. Kopējam koku skaitam pieaugot, noapaļošanas kļūda izlīdzinās un, jo mazāks ir *caurmēra pakāpes solis*, jo ātrāk tas notiek. Koku dastošana caurmēra pakāpēs vienkāršo taksācijas rādītāju aprēķināšanu. Taču lauka darbu laikā noapaļošana sagādā neērtības un ir cēlonis pārskatīšanās kļūdām. Tāpēc *parastās skalas dastmēra* vietā izmanto dastmēru ar *pašnoapaļotāja skalu*. Pēdējai nulles un atskaites punkti nesakrīt, jo skala ir it kā iebīdīta *nekustamajā tverī* par pusi no skalas soļa (1.5. att.). Dastošanas rezultātu izsaka kustamā tvera iekšējai malai tuvākā redzamā iedaļa. Strādājot ar šādu dastmēru, rezultātu noapaļošana un stumbru sadalīšana caurmēra pakāpēs notiek mehāniski. Neatkarīgi no skalas dastmērs atbilst prasībām, ja, sabīdot abus *tverus* kopā, to iekšējās malas visā garumā blīvi sakrīt.

Ļoti resnu koku caurmēru nosaka, izmantojot mērlenti. Citiem vārdiem, izmēra stumbra apkārtmēru un, to izdalot ar $\pi = 3,1416$, iegūst caurmēru. Izšķir *parastās* un *speciālās mērlentes*. Pēdējām vienā pusē ir parastā skala, ar ko mēra aploces garumu, bet otrā pusē – skala, kas graduēta tā, ka uzrāda mērījuma vietas caurmēru. Salīdzinot ar dastošanu, aploces paņēmieni ir mazāk precīzi, jo neizlīdzina stumbra šķēsgriezuma neregulāro formu. Mērīšanas kļūdas izraisa epifītu apaugums, mizas pacēlumi vai noplēsumi, *stumbra ekscentriskums* un neatbilstība prasībai, lai mērāmās aploces plakne būtu stateniska stumbra garenasij. Pastāv uzskats, ka ar aploces paņēmieni iegūst par dažiem procentiem lielākas caurmēra vērtības (Тюрин А., 1938; Husch et al., 2003).



1.5. att. Dastmēra skalas: *a* – parastā skala; *b* – pašnoapaļotāja skala

Caurmēra mērīšanas kļūdas Δd ietekmi stumbra tilpuma noteikšanā izsaka līdzīgi kā Δh ietekmi. Šajā gadījumā jāatrod formulas (1.2.) parciālais diferenciālis pēc caurmēra dv_d . Absolūtā kļūda

$$\Delta v = dv_d = \frac{\partial v}{\partial d} dd = \frac{\pi dh}{2} dd = \frac{\pi dh}{2} \Delta d.$$

Relatīvā kļūda

$$\Delta v = \frac{\Delta v}{v} 100 = \frac{\frac{\pi dh}{2} \Delta d}{\frac{\pi d^2}{4} h} 100 = \frac{2\Delta d}{d} 100.$$

Tā kā

$$\frac{\Delta d}{d} 100 = \Delta d\%,$$

$$\Delta v\% = 2\Delta d\%.$$

(1.4.)

No sakarības (1.4.) izriet, ka neprecizitātes caurmēra noteikšanā izraisa divas reizes lielāku tilpuma aprēķināšanas kļūdu nekā stumbra garuma gadījumā (formula (1.3.)). Tāpēc stumbra caurmērs jāmēra sevišķi rūpīgi.

1.2.3. Stumbra šķērslaukums

Stumbra šķērslaukums ir griezuma laukums, kas ir statenisks stumbra garenasij. Tas ir atkarīgs no *griezuma formas*. Pēdējā ir ļoti daudzveidīga, to ietekmē *koku suga, koka vecums, griezuma attālums no resgaļa, augšanas apstākļi* un *mizas raksturs*. Jaunām un vidēja vecuma eglēm stumbru vidusdaļas griezumi ļoti maz atšķiras no *apļa* vai *elipses* laukuma. Turpretī vecu koku griezumi ar biezu krevi celma augstumā ir tik ekscentriski, ka neatgādina nevienu ģeometrisku figūru. Arī vides apstākļi nozīmīgi izmaina griezuma formu. Par uzskatāmu piemēru kalpo mežmalas koki, kuriem ekscentricitāte veidojusies galvenokārt vēja ietekmē. Stumbra šķērslaukuma lielākā caurmēra un valdošo vēju virzieni sakrīt, lielākajam rādiusam esot aizvēja pusē. Kopumā praktiskām vajadzībām pieņem, ka stumbra šķērslaukums atbilst aplim. Līdz ar to šķērslaukums

$$g = \frac{\pi d^2}{4} = 0,7854d^2.$$

(1.5.)

Tajos gadījumos, kad caurmēra vietā mērīta *aploce* c ,

$$g = 0,080c^2, \quad (1.6.)$$

jo $c = \pi d$. Tāpēc $d = \frac{c}{\pi}$, kuru ievietojojot formulā (1.5.),

$$g = \frac{\pi}{4} \left(\frac{c}{\pi} \right)^2 = \frac{c^2}{4\pi} = 0,080c^2.$$

Kā jau norādīts 1.2.2. sadaļā, stumbra apkārtmēru nevar izmērīt tik precīzi kā tā caurmēru. Arī formulas (1.5.) un (1.6.) dod sistemātisku pozitīvu kļūdu. No visām figūrām ar vienādu perimetru lielākais laukums ir aplis, un jebkura griezuma novirze no tā izsauc kļūdainu rezultātu. Jārēķinās ar to, ka pat krūšaugstumā stumbra šķērsgriezuma patiesā forma nav aplis. Tāpēc, lai kaut daļēji mazinātu stumbra ekscentriskuma ietekmi, atsevišķi koki jādasto divos savstarpēji stateniskos virzienos vai arī tā, lai mērījumi sakristu ar griezuma lielāko un mazāko caurmēru. Aprēķinos jālieto to vidējā vērtība. Parasti izmanto aritmētisko vidējo. Pastāv uzskats, ka precīzāku rezultātu dod ģeometriskais vidējais, kas ir kvadrātsakne no abu mērījumu reizinājuma. Skuju kokiem un it īpaši parastajai eglei griezuma laukumu var pieņemt kā elipses tuvinājumu. Šajā gadījumā atbilstošāka ir formula (1.7.).

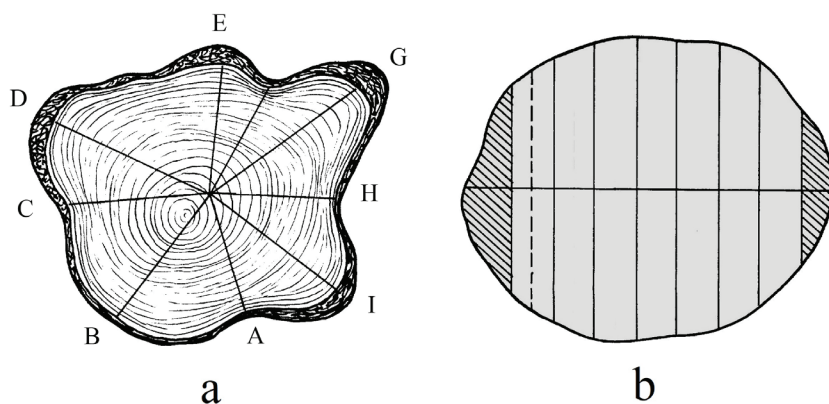
$$g = 0,7854ab, \quad (1.7.)$$

kur a un b ir elipses diametru – stateniskie stumbra caurmēra mērījumi. Kļūdu, kas tiek pielaista, elipses laukumu aizstājot ar apli, izsaka sakarība:

$$\begin{aligned} g_a - g_e &= \frac{\pi}{4} \left(\frac{a+b}{2} \right)^2 - \frac{\pi}{4} ab = \frac{\pi}{4} \left(\frac{a^2 + 2ab + b^2}{4} - ab \right) = \\ &= \frac{\pi}{4} \left(\frac{a^2 + 2ab + b^2 - 4ab}{4} \right) = \frac{\pi}{4} \left(\frac{a^2 - 2ab + b^2}{4} \right) = \frac{\pi}{4} \left(\frac{a-b}{2} \right)^2 = 0,1964(a-b)^2. \end{aligned}$$

Vairākumā gadījumu šī starpība ir 2–3% robežās un tāpēc prakses vajadzībām pieņemts lietot apla formulu. It īpaši tas ir tad, ja tiek uzmērītas koku kopas. Pieaugot koku skaitam kopā, atsevišķu koku mērījumu kļūdas izlīdzinās, to vidējai vērtībai tiecoties uz nulli.

Mazvarbūtīgi, taču iespējams, ka atsevišķa griezuma laukums jānosaka sevišķi precīzi. Lieto kādu no *griezuma ripas* laukuma uzmērīšanas tiešajām metodēm, no kurām plašāk pazīstamas ir *vidējā rādiusa* un *paralēlo līniju metodes* (1.6. att.). Mērīšanu var veikt tieši uz griezuma virsmas vai arī uz tās papīra novilkuma. Strādājot ar vidējā rādiusa metodi, apmēram griezuma vidū atzīmē tā ģeometriskā centru, no kura izmēra attālumus līdz griezuma ārmalas raksturīgajiem punktiem, aprēķina to



1.6. att. Stumbra šķērslaukuma tieša mērīšana: a – ar vidējā rādiusa metodi, b – ar paralēlo līniju metodi (pēc Sarma P., 1948)

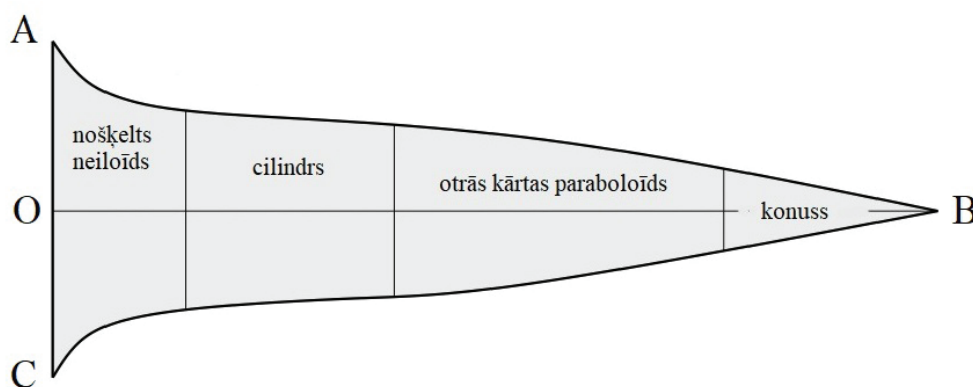
aritmētisko vidējo vērtību un atbilstoši tai – apļa vai elipses laukumu. Paralēlo līniju metodi īsteno, lielākā caurmēra virzienā iezīmējot taisni un uz tās vienādos attālumos atliekot punktus. Caur šo nogriežņu viduspunktiem novelk paralēlas līnijas un izmēra to garumu. Griezuma attēls sastāv no trapečēm un diviem trijstūriem (abi malējie fragmenti), kuru laukumu summa izsaka griezuma šķērs-laukumu. Aprēķinu precizitāti nosaka izmērīto rādiusu (vidējā rādiusa metode) vai iezīmēto punktu (paralēlo līniju metode) skaits, kuram palielinoties, palielinās arī precizitāte.

Caurmēra mērīšanas kļūdas ietekme stumbra šķērslaukuma un tilpuma noteikšanā ir vienāda, proti, $\Delta g\% = \Delta v\% = 2\Delta d\%$.

1.2.4. Stumbra forma

1.2.4.1. Veidule

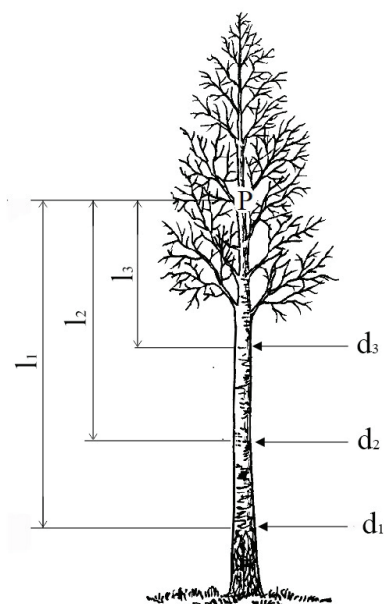
Stumbriem ar vienādu augstumu un caurmēru ir vairāk vai mazāk atšķirīgs tilpums. Tas tāpēc, ka stumbriem ir atšķirīga forma, kas būtiski ietekmē ne tikai to tilpumu, bet arī *sortimentu iznākumu*. Tāpēc koka taksācijā stumbra formas pētījumi allaž bijuši uzmanības lokā. Labu priekšstatu par stumbra formu sniedz garengriezumus ar plakni, kas iet caur stumbra garenasi (1.7. att.). Griezuma laukums OAB ir simetrisks attiecībā pret stumbra garenasi OB. Šī atziņa izriet no pieņēmuma, ka stumbra šķērsgriezumu var uzskatīt par apli. Savukārt šī simetrija pieļauj domu, ka stumbrs ir *rotācijas ķermenis*, kas rodas, tā *veidulei* AB rotējot ap asi OB. Līdz ar to vienkāršojas stumbra formas pētīšana, jo no trīsdimensiju telpas var pāriet uz plakni. Stumbra formu pilnīgi nosaka tā veidule. Tāpēc kopš 19. gadsimta vidus notiek intensīvi veidules labākās aproksimācijas vienādojuma meklējumi. Stumbra forma un *veidules forma* ir identiski jēdzieni, un pētīt stumbra formu nozīmē pētīt tā veiduli (Турский Г., 1927).



1.7. att. Stumbrs kā rotācijas ķermenis

Stumbra veidules forma ir ļoti daudzveidīga. Kaut gan visām mūsu koku sugām raksturīgi, ka virzienā no resgaļa uz galotni stumbrs kļūst tievāks un tāvad veidules ordinātas pakāpeniski samazinās, galotnes punktā sasniedzot nulles vērtību, tomēr šī maiņa katra koka stumbram ir atšķirīga. Tas ievērojami apgrūtina stumbra formas pētījumu rezultātu vispārināšanu un izmantošanu tilpuma noteikšanā. Veidules formu vienlaicīgi ietekmē koku suga, vecums, ekoloģiskie apstākļi un citi faktori. Tomēr, neskatoties uz to, veikti daudzi pētījumi, lai teorētiski pamatotu stumbru formas izmaiņas atkarībā no kādas vienas stumbra funkcionālās nozīmes. Pazīstamas dažādas hipotēzes, uz kuru pamata mēģināts izstrādāt vispārēju *veidules vienādojumu*. Hipotēžu pamatā ir aksiomātiska atziņa, ka stumbram jābūt tādām, lai nodrošinātu koka pastāvēšanu un bioloģisko funkciju norisi nemitīgi mainīgos vides apstākļos visā dzīves laikā. Tāvad jābūt tādiem nosacījumiem, atbilstoši kuriem tāds stumbrs veidojas. Šādu nosacījumu kopas kvantitatīvs formulējums arī būtu stumbra vispārējās veidules teorētiskais pamatojums. Diemžēl līdzšinējie meklējumi spēj piedāvāt parciāla rakstura hipotēzes. Visas tās var iedalīt divās grupās – mehāniskā un fizioloģiskā pamatojuma hipotēzes (Assmann E., 1970). Pirmās grupas hipotēzes stumbra formas veidošanos skaidro kā koka *atsauces reakciju* uz *lieces* un *spiedes* iedarbību. Šveices botāniķis S. Švendeners (Schwendener S.) 1874. gadā izteica domu, ka, tā kā

jebkuras slodzes, kas kokam jāiztur, samazinās galotnes virzienā, ir saprotami, ka šajā virzienā samazinās arī stumbra caurmērs, turklāt tā, lai koka spēja pretoties tā nolaušanai saglabātos līdzīga visa stumbra garumā (cit. pēc Кофман Г., 1986). Šo tēzi attīstot tālāk, K. Metcgers (Metzger C.) 1893. gadā publicēja datus par egļu stumbru formas pētījumiem. Viņš atzina, ka stumbru forma veidojas atbilstoši būvmehānikas atziņai, ka maksimālās noturības ķermeņa diametru kubi ir tieši proporcionāli šo diametru attālumam līdz spēka pielikšanas punktam P (1.8. att.):



1.8. att. Stumbru diametru atkarība no attāluma līdz vēja spēka pielikšanas punktam (pēc Захаров Б., 1967)

$$\frac{d_1^3}{l_1} = \frac{d_2^3}{l_2} = \dots = \frac{d_n^3}{l_n} \quad (1.8.)$$

P. Kozicins 1909. gadā precizēja, ka sakarība (1.8.) ir patiesa tikai attiecībā uz bezkodola kokiem. Kokiem ar kodolu viņš ieteica pakāpes rādītāja 3 vietā lietot 4,5. K. Metcgera formulas plašāka pārbaude apliecinājusi tās samērā labu atbilstību stumbra vidusdaļā. Turpretī resgaļa un galotnes daļā novirzes ir tik lielas, ka sakarību (1.8.) praksē izmantot nevar. To nav grūti saprast, ja atceras, ka mehāniskās hipotēzes dibinās uz pieņēmumu par koksnes vienādu pretestību mehāniskajai iedarbībai visā stumbra garumā. Kā liecina koksnes zinātne, tā nebūt tas nav. Bez visa tā punkta P atrašanās grūtību dēļ veidules vienādojums, kas pamatots uz sakarību (1.8.), būtu nepieņemams praktiskai lietošanai.

V. Hohenadls (Hohenadl V.) 1924. gadā ieteica koka pašsvara hipotēzi. Atbilstoši tai stumbra formas veidošanos mazāk ietekmē vēja mehāniskā darbība nekā stumbra un *vainaga* kopējā *masa*. Tāpēc stumbra formai jābūt tādai, lai to noturētu. Viņš secināja, ka tāda stumbra veiduli vislabāk apraksta eksponentfunkcija

$$d = Ae^{f(x)}, \quad (1.9.)$$

kur A ir no koku sugas atkarīgs koeficients, e – naturālo logaritmu bāze ($e = 2,71828$) un $f(x)$ – funkcija pēc nosakāmā caurmēra d atrašanās vietas attāluma no galotnes pumpura. Citi autori gan konstatēja, ka neatkarīgi no $f(x)$ konkrētās izteiksmes sakarā ar koka pašsvara hipotēzes vienpusību arī sakarības (1.9.) apmierinoša atbilstība vērojama tikai stumbra vidusdaļā (Assman E., 1970).

Daudzi zinātnieki asi kritizēja uzskatus par koka stumbru kā vienkāršu telpisku veidojumu. Viņi pasvītvoja nepieciešamību ievērot tās īpatnības stumbra veidošanās procesā, kas saistītas ar koksnes anatomisko uzbūvi un dažādu fizioloģisku funkciju nodrošinājumu augā. M. Preslers (Pressler M.) 1865. gadā publicēja darbus par stumbra formas atkarību no koka *asimilācijas virsmas* lieluma. Šo domu 1883. gadā atbalstīja R. Hartigs (Hartig R.), iesakot šo atkarību raksturot ar *agrīnās* un *vēlīnās koksnes* daudzumu stumbra šķērsgrīzumā. Savukārt P. Žakards (Jaccard P.) 1913. gadā ieteica transpirācijas hipotēzi. Viņš uzskatīja, ka visam koka stumbram raksturīga vienāda ūdens vadāmība

un tāpēc transpirācijas virsmas un šķērsgriezuma vadaudu aizņemtās daļas laukumu attiecība ir nemainīgs lielums. Tā kā vairākumu koka bioloģisko īpatnību nosaka tā apgaismojuma apstākļi, vairākas hipotēzes stumbra formas veidošanās nosacījumus skaidroja ar gaismas noteicošo ietekmi (Кофман Г., 1986).

Jāatzīst, ka, neskatoties uz plašajiem un visnotaļ daudzveidīgajiem pētījumiem, kā mehāniskā, tā fizioloģiskā virziena stumbra formas veidošanās teorētiskie meklējumi nav devuši apmierinošu rezultātu. Kopumā tie pārliecinoši liecina, ka stumbra augšanu, tā formu ieskaitot, nosaka tik daudz nemitīgi mainīgu faktoru, ka nav iespējams ieteikt visiem gadījumiem vienotu veidules vienādojumu. Tāpēc ir likumsakarīgi, ka stumbra formas pētījumi attīstās arī citos virzienos, necenšoties rast veidules aproksimācijas teorētisku pamatojumu.

Koka stumbra veidule ir sarežģīta un ļoti mainīga līkne (1.7. att.). Tai ir divi *pārlietuma (infleksijas) punkti*, no kuriem pirmais atrodas aptuveni 0,1 stumbra garuma attālumā no resgaļa griezuma, bet otrs – koka vainaga daļā. Līdz pirmajam pārlietuma punktam, skatot no stumbra pamata, veidule ir ieliekta. Lietuma rakstura noteicošais cēlonis ir *blīzums*. Šādai līknei rotējot ap stumbra garenasi, rodas *nošķeltam neiloīdam* pietuvināts ķermenis. Relatīvi īsu veidules posmu aiz pirmā pārlietuma punkta var uzskatīt par paralēlu rotācijas asi un tai atbilstošo ķermeni par *cilindru*. Kā trešais seko izliektas līknes fragments, kuru var pielīdzināt otrās kārtas parabolai un atbilstošo rotācijas ķermeni – otrās kārtas *nošķeltam paraboloidam*. Jāatzīmē, ka daļa pētnieku veidules otro un trešo posmu apvieno vienā, aprakstot to ar trešās kārtas parabolas vienādojumu un atbilstoši iegūstot trešās kārtas nošķeltu paraboloidu. Veidules ceturtās daļas forma ir tāda, ka tās rotācijas ķermenis pielīdzināms *konusam*.

Veidules minētos nogriežņus katru atsevišķi var aprakstīt ar funkciju

$$y^2 = px^r, \quad (1.10.)$$

kur y ir veidules attālums no rotācijas ass jeb stumbra rādiuss, x – griezuma attālums līdz galotnes pumpuram, p – veidules *formas koeficients*, r – *formas eksponents*, kas nosaka piederību attiecīgajam rotācijas ķermenim. Formas eksponents raksturo līknes formu. Stereometrijas jeb regulārajiem rotācijas ķermeņiem tā ir robežās $0 \leq r \leq 3$:

ja $r = 0$, $y^2 = p$, $y = \pm\sqrt{p}$, kas norāda, ka veidule ir garenasij paralēla taisne,

kurai rotējot veidojas cilindrs;

ja $r = 1$, $y^2 = px$, $y = \pm\sqrt{px}$ – veidule ir parabola, kurai rotējot rodas paraboloids;

ja $r = 2$, $y^2 = px^2$, $y = \pm\sqrt{px^2}$ – veidule ir pret garenasi slīpa taisne,

kuras rotācija dod konusu;

ja $r = 3$, $y^2 = px^3$, $y = \pm\sqrt{px^3}$ – veidule ir Neila parabola, kas rotējot dod neiloīdu.

Reālu stumbru veidules fragmenti precīzi neatbilst nevienam no minētajām izteiksmēm un līdz ar to arī rotācijas ķermeņiem. Tas nozīmē, ka formas eksponenta vērtība nesakrīt ar iepriekš minētajām. Vēl jo vairāk sacītais attiecas uz stumbru kopumā. Visos gadījumos stumbru un to daļu rotācijas ķermeņi ieņem starpstāvokli. Formas kvocientu var izmantot dažādu stumbru vai to daļu formas salīdzināšanai. Lai šo domu īstenotu, izmēra, piemēram, katra salīdzināmā stumbra caurmēru divās vietās, kas no stumbra pamatnes vai arī galotnes atrodas attālumos x_1 un x_2 . Atbilstoši formulai (1.10.)

$$y_1^2 = px_1^r \text{ un } y_2^2 = px_2^r, \text{ no kurienes } \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^2 = \left(\frac{x_2}{x_1}\right)^r \text{ un pēc logaritmēšanas}$$

$$r = \frac{2(\lg y_2 - \lg y_1)}{\lg x_2 - \lg x_1}. \quad (1.11.)$$

Konkrētu stumbru vai to daļu eksponenta r vērtība parasti ir daļskaitlis, kas atkarībā no caurmēra mērīšanas vietu izvēles atrodas starp stereometrijas ķermeņu raksturīgajām vērtībām, tādējādi apļiecinot, cik sarežģīta ir stumbra veidule un ka to ar vienu kopēju vienādojumu (1.10.) aprakstīt nevar.

D. Mendeļejevs 1899. gadā un I. Belonovskis 1917. gadā ieteica izmantot otrās vai trešās kārtas parabolas vienādojumu, bet K. Vimmenauers (Wimmenauer K.) 1918. gadā – ceturtās kārtas paraboloidu

(cit. pēc Тюрин А., 1938). Otrās kārtas parabolas lietojumu šajā jomā būtiski ierobežo tās nepiemērotība stumbra veidules infleksijas punktu ietveršanai. Šajā ziņā trešās kārtas parabola ir elastīgāka:

$$y = A + Bx + Cx^2 + Dx^3 + \dots, \quad (1.12.)$$

kur y ir stumbra griezuma rādiuss, x – griezuma attālums no sakņu kakla, A, B, C, D – koeficienti, kurus aprēķina, dotā stumbra caurmēru mērot vismaz tik vietās, cik ir nosakāmo koeficientu. Formulā (1.12.) saskaitāmo virkni turpinot, var iegūt jebkuras pakāpes parabolas vienādojumu. Nenoliedzami ir tas, ka, palielinoties parabolas pakāpei, palielinās tās spēja atsegt konkrēta stumbra veidules rakstura nianšes. Latvijā R. Ozoliņš izmantoja sestās kārtas polinomu (Нормативы..., 1988). Savukārt V. Džurdžu izvēlējās 15., bet D. Brüss (Bruce D.) ar līdzautoriem – pat 40. pakāpes polinomu, augsto pakāpju lietošanu pamatojot ar grūtībām infleksijas punktu pieņemami precīzā ietveršanā veidules vienādojumā (cit. pēc Кофман Г., 1986).

Sakarības (1.12.) abas puses pareizinot ar $\pi d/4$, iegūst izteiksmi, kas izsaka šķērslaukuma g atkarību no griezuma attāluma līdz sakņu kaklam x :

$$g = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots \quad (1.13.)$$

Sekojojot matemātikas atziņai, ka vienu un to pašu līkni iespējams aprakstīt ar ļoti daudz dažādiem vienādojumiem, stumbra veidules empīrisku formulu skaitu var papildināt neierobežoti. Šo atziņu meža taksatori ir centušies īstenot vērīgi visā pasaulē, tomēr jāatzīst, ka līdzšinējie meklējumi vēl nav devuši ideālu rezultātu. Ir nostiprinājusies kopēja atziņa, ka veidules vienādojums ir informatīvākais stumbra formas rādītājs. Taču ne vienīgais. Sakarā ar tā noteikšanas grūtībām stumbru formas pētījumi notikuši arī citos virzienos, rezultātā piedāvājot vairākus vienkāršākus un mazāk adekvātus formas raksturotājus: *raukumu, formas koeficientus, veidskaitļus* u. c. rādītājus.

1.2.4.2. Raukums

Ar stumbra raukumu saprot tā caurmēra samazināšanos virzienā no resgaļa uz galotni. Kā jau norādīts iepriekš, šīs koku īpatnības informatīvākais rādītājs ir stumbra veidule jeb *raukuma līkne*. Taču pazīstami arī citi ieteikumi, kas pamatojas uz atsevišķu stumbra griezumu caurmēru attiecībām. Izšķir *absolūto* un *relatīvo raukumu*.

Absolūto raukumu izsaka kā tādu skaitļu rindu, kas iegūti, ik pēc noteikta intervāla caurmēru mērot visā stumbra garumā. Parasti izvēlas 1 m vai 2 m garu intervālu. Saistībā ar stumbra garumu absolūtais raukums līdzīgi kā veidule informatīvi atsedz stumbra formu. Lai salīdzinātu dažādu stumbru vai to daļu caurmēra izmaiņu vidējo intensitāti, absolūto raukumu izsaka centimetros uz 1 metru. Visbiežāk tā vērtību s izmanto apaļo kokmateriālu kvalitātes raksturošanai, rēķinot to kā attiecīgās stumbra daļas (sortimenta) divu caurmēru d_1 un d_2 starpības dalījumu ar attālumu starp tiem l un izsakot cm m^{-1} :

$$s = \frac{d_1 - d_2}{l}. \quad (1.14.)$$

Absolūto raukumu aprēķinot atsevišķām stumbra daļām, d_1 mēra daļas resgaļa un d_2 – tievgaļa griezumā, ja visam stumbram, – tad caurmērs jāņem 1,3 m attālumā no sakņu kakla un jādala ar $L-1,3$, kur L ir stumbra garums. Jāatzīmē, ka visam stumbram šo rādītāju parasti nerēķina, jo tam ir maza praktiskā vērtība (Семенюта Ф., 1961).

Pēc formulas (1.14.) aprēķinātā s vērtība visam stumbram ir atkarīga no visiem tiem pašiem faktoriem kā veidules gadījumā. Taču, ja ir runa par apaļo kokmateriālu raukumu, tad būtisko faktoru skaitu papildina konkrētā sortimenta piederība stumbra daļai jeb sortimenta vieta stumbrā (*resgalis, vidusdaļa, galotnes daļa*), tievgaļa caurmērs d_1 un garums l (Līpiņš L., Liepa I., 2007). Šo atkarību apraksta formula:

$$s = a + b_1 d_1 + b_2 l + b_3 l^2, \quad (1.15.)$$

kur s – sortimenta raukums, cm m^{-1} ;

l – sortimenta garums, m;

a, b_i – no koku sugas, stumbra daļas un tievgaļa caurmēra atkarīgi koeficienti.

Pētījumu rezultāti par Latvijas mežu galveno veidotāju koku sugu vidējiem raukumiem sadalījuma pēc sortimentu piederības stumbra daļai apkopoti 1.1. tabulā.

1.1. tabula

Raukuma vidējās vērtības (pēc Līpiņš L., Liepa I., 2007)

Koku suga	Raukums, cm m ⁻¹		
	Resgaļa sortimenti	Vidusdaļas sortimenti	Galotnes sortimenti
Priede	1,08	0,75	1,20
Egle	1,13	1,00	1,12
Bērzs	1,83	0,78	0,96
Apse	1,44	0,83	1,02
Melnalksnis	1,24	0,89	0,89
Baltalksnis	1,30	0,72	0,72

Iegūtie dati liecina par mūsu platuma grādiem raksturīgu ainu. Lielākais raukums ir stumbra resgalī, sevišķi tas ir izteikts bērzam un apsei. Savukārt skujukokiem resgaļa un galotnes daļas sortimentu raukums ir savstarpēji izlīdzinātāks, taču galotnes daļā lielāks nekā lapkokiem. Vidusdaļā visām koku sugām tas ir relatīvi neliels, nepārsniedzot 1 cm m⁻¹. Zināšanām par raukumu galvenokārt ir praktiska nozīme, jo tā ir viena no iespējām noteikt apaļo kokmateriālu tautsaimnieciski nozīmīgāko taksācijas rādītāju – tilpumu.

Raukuma vienādojuma (1.15.) koeficienti a , b_i katrai koku sugas un stumbra daļas kombinācijai visumā ir atšķirīgi, taču ir arī tādas kombinācijas, kas atšķiras pavisam nedaudz un tāpēc pieļauj to apvienošanu grupās, tādējādi būtiski vienkāršojot raukuma praktisko izmantošanu. Izdalītas piecas šādas grupas (1.2. tab.).

1.2. tabula

Raukuma vienādojuma parametri (pēc Līpiņš L., Liepa I., 2007)

Raukuma grupa	Koeficienti				Lietošanas ierobežojumi
	a	b_1	b_2	b_3	
P, E, A resgaļa sortimenti	0,7164	0,0463	-0,3622	0,0344	$5,0 \leq d_1 \leq 60$ cm, $2,0 \leq l \leq 7,0$ m
B, M, Ba resgaļa sortimenti	1,0059	0,06085	-0,2867	-0,00087	$5,0 \leq d_1 \leq 60$ cm, $2,0 \leq l \leq 7,0$ m
P, A, M, Ba vidusdaļas sortimenti	0,5563	0,00518	0,06286	-0,010	$5,0 \leq d_1 \leq 50$ cm, $2,0 \leq l \leq 7,0$ m
E un B vidusdaļas sortimenti	0,4994	0,02503	-0,1525	0,0227	$5,0 \leq d_1 \leq 50$ cm, $2,0 \leq l \leq 7,0$ m
P, E, A, B galotnes daļas sortimenti	1,2540	0,00215	-0,1701	0,02953	$5,0 \leq d_1 \leq 30$ cm, $2,0 \leq l \leq 6,0$ m

Paskaidrojumi: P – priede, E – egle, B – bērzs, A – apse, M – melnalksnis, Ba – baltalksnis

Relatīvo raukumu nosaka, absolūto raukumu attiecinot pret kādu no stumbra caurmēra mērījumiem noteiktā attālumā no sakņu kakla. Rezultātu izsaka šī bāzes caurmēra daļās vai procentos. Visbiežāk bāzes caurmēru izvēlas 1,3 m attālumā no sakņu kakla, pieņemot, ka tas ir brīvs no resgaļa blīzuma ietekmes. Savukārt caurmēra mērīšanas vietas izvēlas vienādos attālumos vienu no otras. Relatīvā raukuma priekšrocība ir iespēja uzskatāmi salīdzināt dažādos apstākļos augušu koku stumbru formu. Pētījumos noskaidrots, ka koku sugas robežās relatīvais raukums būtiski samazina dažādu dimensiju stumbru datu izkliedi, kas ievērojami vienkāršo stumbru un to daļu tilpuma aprēķināšanu.

V. Hohenadls 20. gadsimta divdesmitajos gados ieteica bāzes augstumu izvēlēties nevis 1,3 m, bet gan stumbra garuma vienas desmitdaļas attālumā no sakņu kakla. Pēc H. Cimmerles (Zimmerle H.)

ieskatiem, vēl labāku datu izlīdzinājumu var panākt, ja bāzes caurmēru izvēlas divu desmitdaļu attālumā no stumbra pamata (cit. pēc Assmann E., 1970). Bijušajā PSRS relatīvā raukuma ideju attīstīja V. Zaharovs (Захаров В., 1961).

1.2.4.3. Formas koeficienti

Par formas koeficientiem sauc divu dažādās stumbra vietās mērītu caurmēru attiecības. Tas nozīmē, ka tie izsaka relatīvā raukuma vērtības. Formas koeficientus meža taksācijā ieviesa A. Šifels (Schiffel A.) 1889. gadā. Viņš ieteica četras šādas attiecības q_i , par bāzes caurmēru lietojot krūšaugstuma caurmēru $d_{1,3}$:

$$q_i = \frac{d_h}{d_{1,3}}, \quad (1.16.)$$

kur d_h – caurmērs mērīšanas vietā h , kas izteikta stumbra garuma daļās, skaitot no resgaļa. Pēc A. Šifela, izšķir q_0 , q_1 , q_2 un q_3 , attiecīgi d_h mērot sakņu kaklā, vienā ceturtdaļā, pusē un trīs ceturtdaļās stumbra garuma. Jebkurš formas koeficients ir relatīvais caurmērs un kā atsevišķs skaitlis stumbra formu raksturo ierobežoti. Visi kopā tie izsaka relatīvo raukumu un tāpēc, zinot stumbra garumu un bāzes caurmēru, ar zināmu tuvinājumu var attēlot stumbra veiduli. Jāatzīmē, ka formas koeficientus aprēķina stumbriem kā ar, tā arī bez mizas, attiecīgi izmērot formulu (1.16.) un (1.17.) skaitītāju un saucēju.

No visiem formas koeficientiem plašāko lietojumu meža taksācijā guvis q_2 , kuru atbilstoši (1.16.) izsaka formula

$$q_2 = \frac{d_{1/2}}{d_{1,3}}. \quad (1.17.)$$

Pēc A. Šifela un A. Tjurina pētījumiem (cit. pēc Тюрин А., 1938), dažādu koku sugu q_2 svārstās robežās no 0,45 līdz 0,85. Turklāt kā atsevišķā audzē, tā koku sugai kopumā q_2 seko *normālajam sadalījumam*. Citu autoru jaunāki dati to apstiprina. Atbilstībai normālajam sadalījumam ir nepārvērtējama praktiskā nozīme. Šī atziņa teorētiski pamato iespēju koku kopu taksācijā vadīties tikai pēc dotās sugas vidējās stumbra formas, kas ļoti vienkāršo gan dažādu palīgmateriālu (formulas, tabulas) un normatīvu izstrādi, gan arī to pielietošanu ikdienas praksē. Vēl jo vairāk, kļūda, kas rodas, izmantojot vienīgi stumbra vidējo formu, samazinās apgriezti proporcionāli kvadrātsaknei no koku skaita. Ir noskaidrota q_2 atkarība no dažādiem faktoriem, kā arī aprēķinātas mūsu koku sugu q_2 vidējās vērtības: priedei $q_2 = 0,65$, eglei un apsei $q_2 = 0,70$, bērzam $q_2 = 0,66$, ozolam, osim, melnalksnim un baltalksnim $q_2 = 0,68$. Palielinoties raukumam, q_2 vērtība samazinās. Nosacīti pieņemts par raukiem uzskatīt kokus, kuru stumbra $q_2 < 0,60$, par vidēji raukiem, ja $0,60 \leq q_2 \leq 0,75$ un par maz raukiem jeb slaidiem, ja $q_2 > 0,75$. Slēgtās audzēs stumbra q_2 vērtības ir lielākas nekā skraju audžu vai it īpaši klajuma kokiem. Nenoliedzama q_2 priekšrocība ir šī rādītāja zemā mainība. Variācijas koeficients visām koku sugām ir apmēram vienāds – vidēji 6 – 8%, un tas ir spēkā kā atsevišķās audzēs, tā arī audžu kopās. Secināts, ka ģeogrāfiskā ietekme ir neliela – apmēram 2% robežās. Nav mazsvarīgi arī tas, ka q_2 raksturo tieši stumbra apakšējās un līdz ar to sortimentu ziņā vērtīgākās daļas raukumu. Šie un vēl citi pozitīvie fakti, par kuriem būs runa turpmāk, izskaidro q_2 plašo lietojumu meža taksācijā. Dažkārt izmanto arī pārējos formas koeficientus, taču salīdzinājumā ar q_2 tā ir reta parādība.

Visiem formas koeficientiem piemīt īpašība, ko var uzskatīt kā trūkumu – tie ir atkarīgi ne tikai no stumbra formas, bet arī no tā garuma un caurmēra krūšaugstumā – garumam un caurmēram palielinoties, tie samazinās. Lai to novērstu, N. Tretjakovs ieteica lietot *formas klases* (cit. pēc Захаров В., 1961). Arī tās ir stumbra divu caurmēru attiecības, kuru aprēķināšanai kā formulas (1.16.) saucēju lieto caurmēru $d_{1/4}$, kas mērīts stumbra garuma vienā ceturtdaļā, skaitot no sakņu kakla. Ieteikuma autors izšķir trīs formas klases:

$$q_{0/1} = \frac{d_0}{d_{1/4}}, \quad (1.18.)$$

$$q_{2/1} = \frac{d_{1/2}}{d_{1/4}}, \quad (1.19.)$$

$$q_{3/1} = \frac{d_{3/4}}{d_{1/4}}. \quad (1.20.)$$

Tā kā formulās (1.18.), (1.19.) un (1.20.) saucējs ir lielums, kas mērīts relatīvā attālumā no sakņu kakla, formas klases ir mazāk atkarīgas no stumbra garuma un tāpēc labāk atsedz stumbra formu. V. Zaharovs uzskata, ka informatīvāk lietot formulu

$$q_n = \frac{d_n}{d_{0,1}}, \quad (1.21.)$$

kur d_n ir caurmērs, kas mērīts katrā stumbra garuma desmitajā daļā. Tādējādi katru koku raksturo 10 formas klases, kas kopā izsaka katras koku sugas kopējās relatīvā raukuma vērtības. Daļa autoru (Дворецкий М., 1964; Кофман Г., 1968) noraida šo stumbru formas līdzības hipotēzi, uzsverot, ka stumbra formu ietekmē arī koka vecums, vainaga daļas garums u. c. faktori. Tāpēc šai hipotēzei ir tikai orientējošs raksturs.

Jāatzīmē, ka Ziemeļamerikā termina *formas klase* saturu interpretē dažādi un katrā ziņā atšķirīgi iepriekš sacītajam. J. Žirards (Girard J., 1933) formas raksturošanai izstrādāja rādītāju, kuru ASV Meža dienests (*Forest Service*) ar nosaukumu Žirarda *formas klase* q_g ieviesa savā aprītē tilpuma tabulu sastādīšanai (cit. pēc Husch et al., 2003). Šajā gadījumā pirmā standartbaļķa tievgaļa caurmērs bez mizas tiek attiecināts pret krūšaugstuma caurmēru ar mizu. Sastopamas arī vēl citas formas klases interpretācijas.

Mēģinājumi stumbra formas pētījumos palielināt pirmā baļķa nozīmi bijuši arī Latvijā. Te jāuzsver E. Ostvalda priekšlikums meža taksācijā ieviest *veidrādi* D (Sarma P., 1948).

$$D = d_{1,3} - d_6. \quad (1.22.)$$

Veidrādis ir stumbra divu caurmēru starpība, no kuriem viens ir krūšaugstuma caurmērs un otrs stumbra caurmērs 6 m attālumā no sakņu kakla. Kā izriet no P. Sarma pētījumiem egļu audzēs, veidrādis mainās robežās no 0 – 11 cm, uzrādot vidējo aritmētisko vērtību 3,72 cm. Kā veidrāža pozitīva iezīme jāatzīst tā parocīga noteikšana ne tikai nocirstiem, bet arī augošiem kokiem. Minētais autors noskaidrojis, ka veidrādis ir nedaudz atkarīgs no augšanas apstākļiem, audzes vecuma, biežības un attiecīgā stumbra garuma. Plašāku atzinību taksatoru sabiedrībā veidrādis gan nav iemantojis.

1.2.4.4. Veidskaitļi

Veidskaitlis ir taksācijas rādītājs, kas raksturo ne tikai stumbra vai tā daļu formu, bet arī tilpīgumu. *Tilpīgums* rāda, cik lielā mērā forma ir ietekmējusi vienādu dimensiju ķermeņu tilpumu. Šajā nolūkā ķermeņa tilpumu salīdzina ar kāda regulārā rotācijas ķermeņa tilpumu. J. Paulsens jau 1800. gadā ierosināja stumbra tilpumu attiecināt pret vienkāršākā rotācijas ķermeņa – cilindra tilpumu (cit. pēc Тюрин А., 1938):

$$f = \frac{v}{v_c}, \quad (1.23.)$$

kur v – ir stumbra tilpums,

v_c – bāzes cilindra tilpums,

f – *reducijas skaitlis*, ko vēlākos pētījumos sāka saukt par veidskaitli (no vācu *Formzahl*).

No J. Paulsena priekšlikuma izriet atziņa, ka, lai noteiktu f vērtību, ir jāzina stumbra tilpums, un otrādi, zinot f , iespējams cilindra tilpumu reducēt uz stumbra tilpumu (no tā arī cēlies f sākotnējais nosaukums):

$$v = f v_c. \quad (1.24.)$$

Īpaši parocīgi tas būtu nenocirstu koku gadījumā, kad jāsamierinās tikai ar diviem izmēriem stumbra rādītājiem – krūšaugstuma caurmēru un stumbra garumu, ko augošiem kokiem sauc par augstumu un apzīmē ar h . Šī iemesla dēļ veidskaitļu teoriju mācību grāmatās parasti apskata augošu koku taksācijas sadaļā. Taču, ņemot vērā, ka veidskaitlis nav tikai redukcijas faktors, bet informatīvi raksturo arī stumbra formu, šajā grāmatā visi formas rādītāji aprakstīti vienviet.

Formulā (1.23.) bāzes cilindru jāizvēlas tādu, lai tā augstums būtu vienāds ar stumbra augstumu un caurmērs sakristu ar kādu noteiktu stumbra caurmēru. Vispār kā izteiksmes (1.23.) skaitītāju var ņemt ne tikai stumbra, bet jebkuras citas koka daļas vai visa koka tilpumu. Atkarībā no tā iespējami stumbra, koka, *vasas*, *zaru*, *lietkoksnes*, *rupjkoksnes*, *mizas* utt. veidskaitļi. Veidskaitļiem piemīt svarīga īpašība – tos var saskaitīt vai atskaitīt. Tā, piemēram, no *vasas* veidskaitļa atņemot stumbra veidskaitli, iegūst vainaga veidskaitli. Daudzās valstīs plaši izmanto rupjkoksnes veidskaitli. Tā aprēķināšanai formulas (1.23.) skaitītājā ņem to koka stumbra un zaru kopējo tilpumu, kuru tievgaļa caurmērs nav mazāks par noteiktu vērtību, piemēram, 7 cm. Lai izvairītos no pārpratumiem, studējot ārzemju literatūru, šī īpatnība jāpatur prātā. Postpadomju valstīs visbiežāk lieto stumbra veidskaitli, kas aprēķināts, formulā (1.23.) stumbra tilpumu ņemot ar mizu. Jāatzīmē, ka vienīgi stumbra veidskaitlis ir tilpīguma un formas rādītājs. Pārējos gadījumos tas uzskatāms tikai kā cilindra tilpuma pārrēķināšanas koeficients.

Teorētiski vispārīgo veidskaitļu formulu iegūst, pamatojoties uz tāda rotācijas ķermeņa īpašībām, kuru apraksta veidules vienādojums (1.10.). Tā kā šādu ķermeņu griezuma laukumi jeb caurmēru kvadrāti ir proporcionāli to attālumam līdz virsotnei, izsakām stumbra pamata laukumu ar brīvi izvēlēto šķērslaukumu, kas no stumbra galotnes atrodas attālumā $h - a$:

$$\frac{g}{g_a} = \frac{h^r}{(h-a)^r},$$

no kurienes

$$g = g_a \left(\frac{h}{h-a} \right)^r. \quad (1.25.)$$

Izteiksmi (1.25.) ievietojot vispārīgajā rotācijas ķermeņa tilpuma formulā

$$v = \frac{1}{r+1} gh, \quad (1.26.)$$

iegūstam

$$v = g_a h \frac{1}{r+1} \left(\frac{h}{h-a} \right)^r$$

jeb

$$v = g_a h f_v, \quad (1.27.)$$

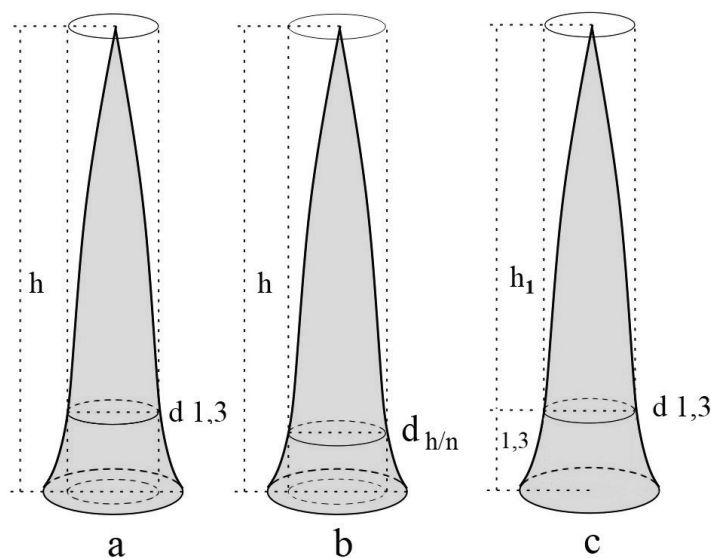
kur

$$f_v = \frac{1}{r+1} \left(\frac{h}{h-a} \right)^r. \quad (1.28.)$$

Sakarība (1.28.) ir veidskaitļa vispārīgā formula. Tā rāda, ka, izvēloties atšķirīgu šķēsgriezuma g_a atrašanās vietu stumbūrā, iespējams atvasināt bezgalīgi daudz dažādu veidskaitļu. Meža taksācijā pazīstami trīs – *absolūtais*, *normālais* un *krūšaugstuma* veidskaitlis.

Absolūtais veidskaitlis f_0 . Tas ir stumbra un tāda bāzes cilindra tilpuma attiecība, kura augstums ir vienāds ar koka augstumu un pamata laukums sakrīt ar stumbra pamata šķērslaukumu (1.9. att., c). Tāpēc $a = 0$ un no vispārīgās veidskaitļa formulas (1.28.) iegūstam:

$$f_0 = \frac{1}{r+1}. \quad (1.29.)$$



1.9. att. Veidskaitļi: *a* – krūšaugstuma jeb neīstais, *b* – normālais jeb īstais, *c* – absolūtais (pēc Sarma P., 1948)

Veidskaitlis f_0 ir atkarīgs tikai no stumbra formas. Tāpēc H. Rinikers (Riniker H.) 1873. gadā to nosauca par absolūto veidskaitli. Turklāt $f_0 \leq 1$ (cilindra $f_0=1$, paraboloīda $f_0=0,500$, konusa $f_0=0,333$ un neiloīda $f_0=0,250$). Teorētiski tā ir liela f_0 priekšrocība. Praktiski tomēr sakarā ar sakņu blīvumu un pamata griezuma krasu atšķirību no apļa laukuma to grūti izmantot. Tāpēc 1873. gadā H. Rinikers ierosināja to aprēķināt, pieņemot par bāzes cilindra pamatlaukumu stumbra šķērslaukumu krūšaugstumā, bet par augstumu – stumbra daļas garumu virs šī līmeņa. No tā izriet, ka f_0 jāaprēķina, ignorējot stumbra daļu zem krūšaugstuma. Tāpēc šīs daļas tilpums jānosaka atsevišķi un jāpieskaita virsējās daļas tilpumam, kas aprēķināts pēc f_0 , t. i.,

$$v = g(h-1,3)f_0 + 1,3g\psi, \quad (1.30.)$$

kur ψ ir H. Rinikera koeficients ($\psi > 1$). Formula (1.30.) ir neērta un tāpēc H. Rinikera ierosinājums meža taksācijas praksē neieviesās (Korf V., 1953).

Pēc G. Špeidela (Speidel G.) 1874. gada priekšlikuma, par bāzes cilindra pamatlaukumu jāņem nevis reālais, bet hipotētiskais stumbra pamatnes griezums, kas ir brīvs no resgaļa ietekmes. Šim nolūkam viņš ieteica formulu, pamatojoties uz rotācijas paraboloīda šķērslaukumu un augstumu proporcionalitāti:

$$g_0 : g = h : (h-1,3)$$

jeb

$$d_0^2 : d^2 = h : (h-1,3),$$

no kurienes

$$d_0 = d \sqrt{\frac{h}{h-1,3}}. \quad (1.31.)$$

Formula (1.31.) dibinās uz atziņu, ka stumbra apakšējā daļa ir paraboloīds. Kā zināms, tā vairāk līdzinās neiloīdam, un sakarā ar to arī G. Špeidela mēģinājums uzlabot f_0 noteikšanu neguva atzinību. Praktiski absolūto veidskaitli neizmanto, un tam galvenokārt ir vēsturiska nozīme.

Normālais veidskaitlis f_n . Pēc H. Smaliāna (Smalian H.) 1873. gada ieteikuma, f_n aprēķina kā attiecību starp stumbra tilpumu un tāda bāzes cilindra tilpumu, kura augstums ir vienāds ar koka augstumu, bet pamata laukums – ar stumbra šķērsriezuma laukumu h/n attālumā no sakņu kakla (1.9. att., b). Vispārīgajā veidskaitļa formulā (1.28.) ievietojot $a = h/n$,

$$f_n = \frac{1}{r+1} \left(\frac{n}{n-1} \right)^r. \quad (1.32.)$$

Formula (1.32.) rāda, ka f_n ir atkarīgs tikai no stumbra formas un n vērtības. Tāpēc M. Preslers 1873. gadā to nosauca par normālo jeb īsto veidskaitli (cit. pēc Sarma P., 1948). Sākotnēji viņš pieņēma $n = 20$. Līdz ar to formulu (1.32.) var uzrakstīt vienkāršāk:

$$f_n = \frac{1}{r+1} 1,105^r, \quad (1.33.)$$

no kurienes cilindra $f_n = 1$, paraboloīda $f_n = 0,526$, konusa $f_n = 0,368$ un neiloīda $f_n = 0,289$.

Ja $n = 20$, kokiem, kuru $h < 20$ m, caurmēra mērīšanas vieta iekrīt zem un var atrasties resgaļa blīvuma zonā. Tāpēc I. Klauprehts (Klauprecht I.) 1846. gadā izmantoja arī $n = 10$ (cit. pēc Korf, 1972), un līdz ar to

$$f_n = \frac{1}{r+1} 1,10^r. \quad (1.34.)$$

Šāda nenoteiktība n izvēlē ietekmē f_n lietošanas praktiskumu un precizitāti. Tādēļ daļa autoru iestājās, ka jālieto tikai $n = 10$. V. Zaharovs (Зараров В., 1967) šajā jomā veicis plašus pētījumus un aprēķinājis biežāk sastopamo koku sugu f_n vidējās vērtības: priedes $f_n = 0,52$; egles, apses un melnalkšņa $f_n = 0,54$; bērza $f_n = 0,49$; ozola $f_n = 0,50$ un oša $f_n = 0,51$. Viņš konstatējis, ka f_n ir raksturīga maza izkliede (variācijas koeficients $s\% = 2,3 - 5,2\%$) un tā *empīriskais sadalījums* audzēs seko normālajam sadalījumam. Novērojumos apstiprinājusies no vienādojuma (1.34.) secināmā atziņa, ka koka augstums un caurmērs neietekmē f_n . Lai novērstu nepieciešamību mērīt caurmēru $d_{0,1}$, V. Zaharovs pētījis $d_{0,1}$ un d atkarību, pierādot, ka tā ir lineāra. Piemēram, priedei Baltkrievijas apstākļos

$$d_{0,1} = 0,80 + 0,928 d. \quad (1.35.)$$

Salīdzinot ar absolūto veidskaitli f_0 , normālais veidskaitlis f_n ir labāk izpētīts un tam ir zināmas priekšrocības. Taču, neskatoties uz visu to, arī tas nav ieviesies meža taksācijas ikdienā.

Krūšaugsstuma veidskaitlis f . Tas ir attiecība starp stumbra un tāda bāzes cilindra tilpumu, kura augstums ir vienāds ar koka augstumu, un pamata laukums sakrīt ar krūšaugsstuma šķērslaukumu (1.9. att., a). Formulā (1.28.) ievietojot $a = 1,3$,

$$f = \frac{1}{r+1} \left(\frac{h}{h-1,3} \right)^r. \quad (1.36.)$$

Krūšaugsstuma veidskaitli sāka lietot jau ilgi pirms pārējiem veidskaitļiem. Formulu (1.36.) meža taksācijā ieviesa J. Hosfelds (Hosfeld J.) 1812. gadā. Tāpēc f sauc arī par *seno* veidskaitli.

Pēc sakarības (1.36.) redzams, ka krūšaugsstuma veidskaitlis ir atkarīgs ne tikai no stumbra formas, bet arī no koka augstuma. Tāpēc vienādas formas, bet dažāda augstuma kokiem ir atšķirīgas f vērtības. Šī iemesla dēļ M. Preslers f nosauca par *neīsto* veidskaitli, jo tas atšķirībā no f_0 un f_n tikai daļēji raksturo stumbra formu.

Krūšaugstuma veidskaitļa atkarību no stumbra formas raksturo formas koeficients q_2 . Tas izriet no sekojošas sakarības:

$$f = \frac{v}{gh} = \frac{\frac{\pi d_{1/2}^2}{4} h}{\frac{\pi d_{1/2}^2}{4} h} = \frac{d_{1/2}^2}{d^2}$$

un, ievērojot, ka $d_{1/2}^2 / d^2 = q_2^2$, iegūstam V. Veizes (Weise W.) formulu

$$f = q_2^2. \quad (1.37.)$$

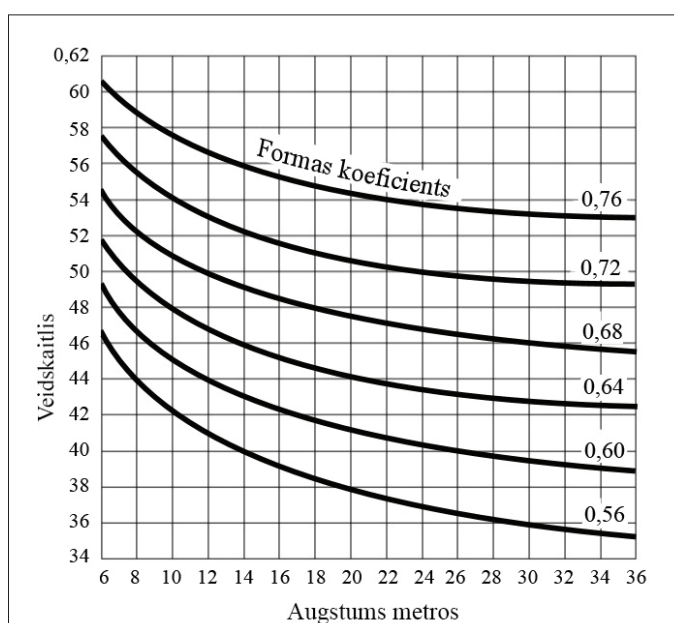
Sakarība (1.37.) ir ļoti vienkārša un ērti lietojama. Taču pēc A. Šifela pētījumiem, ir jāreķinās ar $\pm 10\%$ iespējamo kļūdu.

M. Kunce (Kunze M.) 1891. gadā konstatēja, ka starpība starp f un q_2 vienas sugas stumbriem, kuru augstums pārsniedz 15 – 18 m, ir samērā pastāvīgs lielums. Viņš to izteica ar sakarību

$$f = q_2 - c. \quad (1.38.)$$

Formulas (1.38.) autors aprēķinājis, ka vidēji: priedei $c = 0,20$; eglei $c = 0,21$; dižskābardim $c = 0,225$. Šī virziena pētījumus turpinot, A. Tjurins pierādīja, ka, salīdzinot ar izteiksmi (1.37.), formula (1.38.) dod īstenībai būtiski tuvākus rezultātus. Viņš arī izskaitļojis, ka melnalksnim $c = 0,22$ un liepai $c = 0,21$. Pēc N. Kobanova pētījumiem bērzam $c = 0,22$ un apsei $c = 0,24$. Savukārt V. Zaharovs noskaidrojis, ka ozolam $c = 0,197$ un osim $c = 0,20$. Latvijas apstākļos, pēc R. Prinča datiem, baltalksnim $c = 0,20$.

No teorētiski atvasinātās veidskaitļa pamatformulas (1.36.) redzams, ka stumbra augstums un forma veidskaitli ietekmē vienlaicīgi. Tāpēc A. Šifels krūšaugstuma veidskaitļus grupēja pa augstuma un formas koeficienta q_2 klasēm un iegūtos rezultātus analizēja grafiski (1.10. att.).



1.10. att. Krūšaugstuma veidskaitļu, stumbru augstumu un formas koeficientu q_2 atkarība (pēc Тюрин А., 1938)

Viņš secināja, ka visām koku sugām ir viens un tas pats likņu veids. Tā aprakstīšanai minētais autors ieteica sekojošas formulas:

eglei (1899)

$$f = 0,140 + 0,66q_2^2 + \frac{0,32}{q_2h}, \tag{1.39.}$$

lapeglei

$$f = -0,155 + 0,87q_2 + \frac{0,47}{q_2h}, \tag{1.40.}$$

priedei

$$f = 0,160 + 0,896q_2 + \frac{0,34}{q_2h} \tag{1.41.}$$

un balteglei

$$f = -0,150 + 0,88q_2 + \frac{0,36}{q_2h}. \tag{1.42.}$$

Kā jau norādīja pats formulu (1.39.) – (1.42.) autors, tās dod līdzīgus rezultātus. Vēlākie pētījumi apstiprināja šo secinājumu, ka visām koku sugām iespējams lietot egles formulu. Salīdzinot pēc sa-
karības (1.39.) aprēķinātos veidskaitļus ar to patiesajām vērtībām, noskaidrots, ka šī A. Šifela formula nepārsniedz ± 3% kļūdu. Tas liecina par ļoti augstu atkarības $f(h, q_2)$ ciešumu. Līdzīgu secinājumu 1908. gadā Zviedrijā ieguva A. Māss (Maas A.) un 1911. gadā Krievijā – M. Tkačenko, A. Tjurins u. c. Uz šī secinājuma pamata M. Tkačenko formulēja stumbru formas likumsakarību – jebkuros ap-
stākļos izveidojušos audžu koku stumbru krūšaugstuma veidskaitļi ir līdzīgi, ja to augstumi un formas koeficienti q_2 ir vienādi. Vadoties pēc šīs likumsakarības, prakses vajadzībām M. Tkačenko sastādīja vispārīgās veidskaitļu tabulas, kas orientētas pēc koku augstuma un krūšaugstuma veidskaitļa klases (1.3. tab.) (cit. pēc Захаров B., 1967).

1.3. tabula

M. Tkačenko stumbru vispārīgie veidskaitļi (pēc Sarma P., 1948)

Augstums, m	Formas koeficients q_2					
	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
12	0,405	0,438	0,471	0,509	0,550	0,592
14	0,396	0,429	0,463	0,503	0,544	0,587
16	0,389	0,422	0,457	0,498	0,540	0,584
18	0,383	0,417	0,454	0,494	0,537	0,581
20	0,379	0,413	0,450	0,491	0,534	0,579
22	0,374	0,409	0,447	0,488	0,531	0,576
24	0,371	0,406	0,444	0,485	0,529	0,575
26	0,367	0,403	0,441	0,483	0,527	0,575
28	0,364	0,401	0,439	0,481	0,527	0,575
30	0,361	0,399	0,437	0,480	0,525	0,574
32	0,359	0,396	0,436	0,479	0,524	0,573
34	0,357	0,394	0,434	0,477	0,523	0,572
36	0,356	0,393	0,433	0,476	0,522	0,571
38	0,354	0,351	0,431	0,475	0,521	0,570
40	0,352	0,390	0,430	0,474	0,520	0,570

Līdzīgas tabulas ir publicējuši rinda citu autoru (A. Šifels, A. Māss, J. Jefremovs u. c.). Latvijā veidskaitļa tabulas baltalksnim sastādījis R. Princis. R. Prinča tabulu iekārtojums gan ir nedaudz

praktiskāks – tās atbilst baltalkšņa vidējām q_2 vērtībām un ir sakārtotas pēc koku augstuma un krūšaugstuma caurmēra, kā tas ir stumbru tilpuma tabulās. Salīdzinot dažādu autoru veidskaitļu tabulas, var secināt, ka atšķirības starp tām samazinās, pieaugot koka augstumam un q_2 vērtībai. Savukārt stumbru tilpīguma jeb f samazināšanās secībā koku sugas sakārtojamas šādi: ciedra priede, baltegle, egle, apse, melnalksnis, ozols, priede, bērzs, baltalksnis. Vienai un tai pašai koku sugai dažādu autoru tabulas nedaudz atšķiras, kas izskaidrojams ar attiecīgo pētījumu fona dažādību. Atšķirībā no h un q_2 veidskaitļa atkarība no fona faktoriem ir netieša. Tās lielumu nosaka tas, cik lielā mērā tie ietekmē stumbra augstuma un formas veidošanos. F. Grundnera (Grundner F.), A. Švapaha (Schwappach A.), F. Baura (Baur F.), A. Māsa u.c. pētījumos pierādījis, ka koka vecuma ietekme ir maza. Praktiski tā sāk izpausties tikai tad, ja vecuma intervāls ir lielāks par 40 gadiem. Lielāka ietekme ir fitocenotiskajiem un edafiskajiem apstākļiem. Noskaidrots, ka biežākās audzēs augušu koku stumbra krūšaugstuma veidskaitlis ir lielāks nekā retākās audzēs. Tas ir viegli saprotams, jo šādi stumbri ir slaidāki un ar lielāku q_2 , tātad tilpīgāki. Arī *vainaga garumam* ir zināma nozīme. To koku veidskaitlis ir lielāks, kuriem vainags ir īsāks. Šo faktu skaidro ar stumbru formas veidošanās mehānisko hipotēzi. Kokiem ar īsāku vainagu vēja spēka pielikšanas punkts atrodas augstāk un tāpēc stumbru noturībai pret lauzi jābūt lielākai. Šajā sakarībā stumbra vidusdaļā un augšdaļā izveidojas lielāks caurmērs un tāpēc arī tilpīgāki stumbri, kas izpaužas kā lielākas f vērtības. Noskaidrots, ka, augšanas apstākļiem pasliktinoties, f palielinās. Tas tāpēc, ka viena un tā paša augstuma kokiem dažādos edafiskajos apstākļos ir atšķirīga forma, pie kam trūcīgākā vidē augušu koku q_2 ir lielāks un tādēļ arī f ir lielāks. Visumā virzienā no dienvidiem uz ziemeļiem augsnes auglība samazinās. Sakarā ar to līdzīgos citos augšanas nosacījumos palielinās stumbru tilpīgums. Ir autori, kas norāda, ka šī tendence ir vāja, piemēram, A. Vagina skatījumā priedei tā nepārsniedz 10 – 15%. Tomēr minētā atziņa tiek uzskatīta kā teorētiskais pamats dažādu vietējo taksācijas tabulu izstrādāšanai, kuru izmantošana lokalizēta atsevišķu ģeogrāfisko reģionu ietvaros.

Veidskaitļa noteikšanas kļūdas Δf ietekmi stumbra tilpumā aprēķina kā formulas (Zagrējevs V.)

$$v = \frac{\pi d^2}{4} hf \quad (1.43.)$$

parciālo diferenciāli pēc veidskaitļa dv_f .

Absolūtā kļūda

$$\Delta v = dv_f = \frac{\partial v}{\partial f} df = \frac{\pi d^2}{4} h df = \frac{\pi d^2}{4} h \Delta f.$$

Relatīvā kļūda

$$\Delta v \% = \frac{\Delta v}{v} 100 = \frac{\frac{\pi d^2}{4} h \Delta f}{\frac{\pi d^2}{4} hf} 100 = \frac{\Delta f}{f} 100.$$

Tā kā

$$\frac{\Delta f}{f} 100 = \Delta f \% ,$$

$$\Delta v \% = \Delta f \% , \quad (1.44.)$$

kas nozīmē, ka veidskaitļa noteikšanas kļūda izraisa tik pat lielu tilpuma relatīvo kļūdu.

Starp krūšaugstuma, normālo un absolūto veidskaitli pastāv noteiktas atkarības. To skaidrošanai izmanto augoša koka stumbra tilpuma vispārīgo formulu (1.43.), attiecīgi izmantojot interesējošos veidskaitļus. Tā, piemēram, attiecībā uz krūšaugstuma veidskaitli $f_{0,1}$ un normālo veidskaitli $f_{0,1}$, vienam un tam pašam stumbram

$$v = \frac{\pi d^2}{4} hf \quad \text{un} \quad v = \frac{\pi d_{0,1}^2}{4} hf_{0,1}$$

un tāpēc

$$\frac{\pi d^2}{4} hf = \frac{\pi d_{0,1}^2}{4} hf_{0,1},$$

no kurienes

$$f = f_{0,1} \frac{d_{0,1}^2}{d^2} . \quad (1.45.)$$

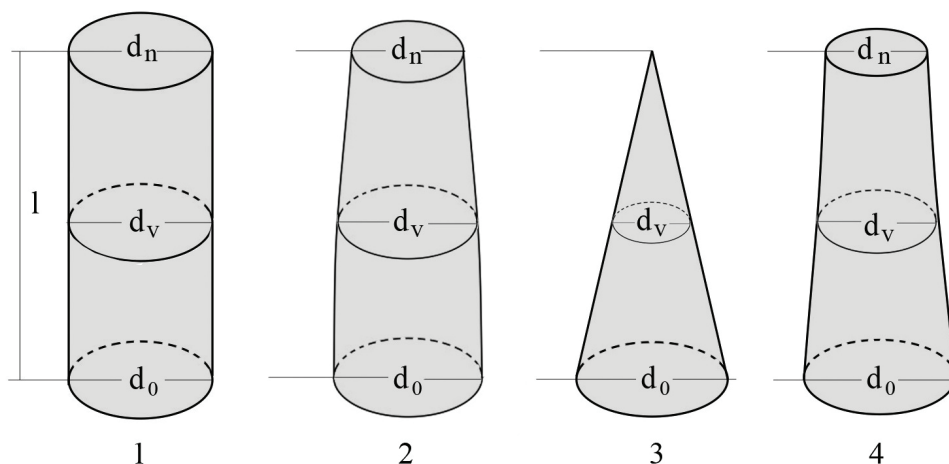
Līdzīgi iegūst arī pārējo atkarību izteiksmes.

Ar veidskaitli cieši saistīts *veidaugstuma* jēdziens. Veidaugstums hf ir augstuma un veidskaitļa reizinājums. Ļoti nozīmīga veidaugstuma īpašība ir tā, ka, sākot ar $h = 5$ m, ir spēkā lineāra atkarība $hf = f(h)$, citiem vārdiem, šos abus taksācijas rādītājus var izteikt ar taisnes vienādojumu. Linearitāte ievērojami vienkāršo stumbru tilpuma aprēķināšanu kā atsevišķiem kokiem, tā audzēm. Parasti hf nosaka empīriski atkarībā no koku sugas, stumbru vidējās formas un koku augstuma, izsakot vienādojuma vai tabulas veidā.

1.2.5. Stumbra tilpums

1.2.5.1. Vispārīgās stereometrijas formulas

Kā jau atzīmēts sadaļā 1.2.4.1., stumbra veidule ir tik sarežģīta līkne, ka nepakļaujas precīzam matemātiskajam aprakstam. Tikai atsevišķus tās posmus un līdz ar to arī atbilstošos rotācijas ķermeņus meža taksācijā tuvināti pielīdzina stereometrijas formulām: cilindram, nošķeltam paraboloidam, nošķeltam neiloidam un konusam (1.7. att.). Atbilstības gadījumā stumbra daļu tilpuma aprēķināšanai lieto šo taksācijā ievērtību vairāk guvušo četru teorētisko ķermeņu tilpuma formulas tieši, iepriekš izmērot attiecīgo parametru vērtības (1.11. att.).



1.11. att. Meža taksācijā biežāk izmantotie stereometriskie ķermeņi: 1 – cilindrs, 2 – nošķelts paraboloids, 3 – konuss, 4 – nošķelts neiloids, d_0 – resgaļa caurmērs, d_n – tievgaļa caurmērs, d_v – vidus caurmērs

Attiecīgās formulas (Husch et al., 2003):

cilindram

$$v = \frac{\pi}{4} d_0^2 l , \quad (1.46.)$$

nošķeltam paraboloidam

$$v = \frac{\pi}{8} (d_0^2 + d_n^2) l , \quad (1.47.)$$

konusam

$$v = \frac{\pi}{12} d_0^2 l , \quad (1.48.)$$

nošķeltam neilōdam

$$v = \frac{\pi}{24} (d_0^2 + 4d_v^2 + d_n^2) l, \quad (1.49.)$$

kur v – stereometrijas ķermeņa (stumbra daļas) tilpums, m^3 ;

l – stumbra daļas garums, m ;

d_0 – stumbra daļas resgaļa griezuma caurmērs, m ;

d_n – stumbra daļas tievgaļa caurmērs, m ;

d_v – stumbra daļas vidus caurmērs, m .

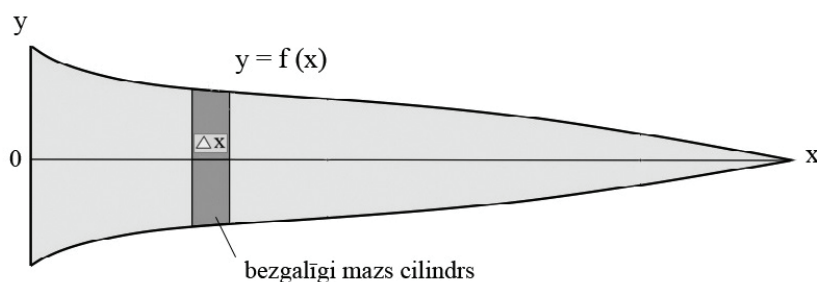
Mūsdienās stereometrijas ķermeņu tilpuma formulas tiešā veidā meža taksācijā praktiski neizmanto, šeit tām ir teorētiska un vēsturiska nozīme. Sacītā pamatā ir vairāki būtiski ierobežojumi. Pirmkārt, tā ir jau iepriekš pieminētā stumbra daļu neatbilstība teorētiskajiem stereometrijas ķermeņiem. Otrkārt, Ir ļoti grūti vai pat neiespējami noteikt vietu stumbrā, kurā nosacīti beidzas viens un sākas otrs pielīdzināmais ķermenis. Treškārt, mežsaimniecībā stumbrus sagarumo ne jau pēc to atbilstības stereometrijas specifikai, bet gan pēc standarta vai pircēja formulētajām prasībām. Sakarā ar to pastāv augsta varbūtība, ka viens sortiments ietver formas ziņā atšķirīgas stumbra daļas. Ceturtkārt, saimnieciski nozīmīgākā pirmā baļķa pamata laukuma forma blīzuma dēļ tik lielā mērā atšķiras no apla, ka kļūst par cēloni nepieļaujami lielām stumbra resgaļa tilpuma noteikšanas kļūdām. Pēdējo ierobežojumu iespējams novērst, ja stumbra daļas pamata laukumu aizstāj ar kādu citu, piemēram, šķērsriezuma laukumu, kas noteikts sortimenta vidū $g_{1/2}$. Taču tas nemazina pārējo ierobežojumu ietekmi.

1.2.5.2. Vienkāršās tilpuma formulas

Stumbra tilpuma noteikšanā iespējami divi risinājumi. Pirmajā gadījumā tilpumu aprēķina, stumbru nesadalot mazākās vienībās. Mērījumus un aprēķinus veic tieši visam stumbram vai tā nosakāmajai daļai. Pēc otrā paņēmiena gluži pretēji – stumbru vai tā daļu sadala vairākos nogriežņos jeb *sekcijās*, katrai no tām tilpumu nosaka atsevišķi un sasummē. Protams, ka ar otro risinājumu pilnīgāk tiek uztverta stumbra forma un līdz ar to var sasniegt precīzākus rezultātus, taču darba un laika patēriņš ir ievērojami lielāks. Tāpēc meža taksācijā lieto abus risinājumus, vadoties no konkrētā uzdevuma nosacījumiem. Atbilstoši teiktajam arī tilpuma formulas iedala divās grupās – *vienkāršajās* un *saliktajās tilpuma formulās*.

Teorētiski vienkāršo tilpuma formulu skaits ir bezgalīgs. Atkarībā no to izvešanas metodikas izšķir *deduktīvās* jeb *atvasinātās* un *empīriskās tilpuma formulas*.

Deduktīvās formulas. Tās iegūst, integrējot veidules vienādojumu. Galvenā problēma ir izvēlēties atbilstošāko veidules vienādojuma veidu. Tam jābūt kopīgam visiem stumbriem, pareizi jāraksturo veidules īpatnības un vēlams, lai tas būtu iespējami vienkāršāks. Kaut gan teorētiski iespējama jebkura veidules vienādojuma integrēšana, meža taksācijā deduktīvo formulu atvasināšanai kā pietiekoši informatīvu un reizē ļoti vienkāršu lieto vienu no klasiskajām veidules aproksimācijām (1.10.) vai (1.12.). Šajā gadījumā ir izraudzīta sakarība (1.12.). Līdz ar veidules analītiskās izteiksmes izvēli ir atrisināta problēma par stumbra formas obligātu iekļaušanu tā tilpuma aprēķināšanā. Lai pārliecinātos par to, iedomāsimies, ka divas stumbra garenasij statenisiskas plaknes norobežo nelielu tā daļu, kuras garums ir Δx (1.12. att.).



1.12. att. Stumbra tilpuma integrēšanas shēma: iesvītrotā daļa – bezgalīgi mazs cilindrs, Δx – šī cilindra augstums, $y=f(x)$ – veidules vienādojums

Var pieņemt, ka iesvītrotais ķermenis ir elementārs cilindrs, kura pamata rādiuss ir y un augstums – Δx . Tāpēc tā tilpums

$$\Delta v = \pi y^2 \Delta x. \quad (1.50.)$$

Summējot elementāro cilindru tilpumus un ievērojot nosacījumu, ka $\Delta x \rightarrow 0$, iegūstam stumbra kā rotācijas ķermeņa tilpumu

$$v = \pi \int_{x_1}^{x_2} y^2 dx \quad (1.51.)$$

jeb šajā gadījumā

$$v = \pi \int_{x_1}^{x_2} (A + Bx + Cx^2 + Dx^3 + \dots) dx, \quad (1.52.)$$

kur $x_2 - x_1$ izsaka visa stumbra vai tā daļas garumu, kuras tilpumu nosaka.

Turpmākā izveduma vienkāršošanas dēļ stumbra veidules vienādojumu (1.12.) nedaudz pārveido, izsakot to ar šķērslaukumu. Tādējādi iegūst izteiksmi (1.13.), kas apraksta šķērslaukuma atkarību no tā attāluma līdz pamata griezumam. Jāatzīmē, ka izraudzītais veidules vienādojums nosaka, ka iegūtās sakarības ir paraboloīdu formulas. Tāpēc tās vairāk piemērotas stumbru vidusdaļas, mazāk visa stumbra, resgaļa un galotnes tilpuma aprēķināšanai.

Sekojo sakarībai (1.12.),

$$v = \int_0^l (a + bx + cx^2 + \dots) = \left[ax + \frac{bx^2}{2} + \frac{cx^3}{3} + \dots \right]_0^l = al + \frac{bl^2}{2} + \frac{cl^3}{3} + \dots$$

jeb

$$v = l \left(a + \frac{bl}{2} + \frac{cl^2}{3} + \dots \right). \quad (1.53.)$$

Sakarība (1.53.) ir pamats stumbra un tā daļu tilpuma formulu atvasināšanai. Pati atvasināšana ir atkarīga no diviem nosacījumiem. Pirmais no tiem ierobežo turpmāk izmantojamo sakarības (1.53.) saskaitāmo skaitu, otrs izsaka koeficientu $a, b, c, \dots$ aprēķināšanas veidu.

Ja izteiksmē (1.53.) izraugās tikai divus saskaitāmos, nosakāmais tilpums vispārīgā veidā

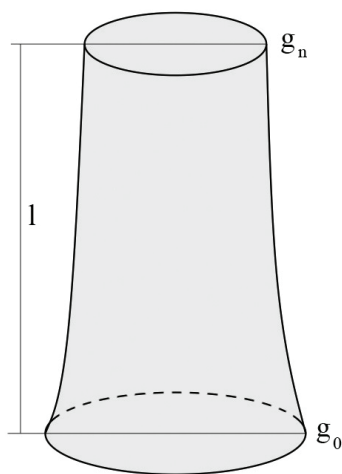
$$v = l \left(a + \frac{bl}{2} \right) \quad (1.54.)$$

un tam atbilstošais šķērslaukums (formula (1.13.))

$$g = a + bx. \quad (1.55.)$$

Tas nozīmē, ka koeficientu a un b aprēķināšanai jāizmanto divi šķērslaukumi g_a un g_b . Atkarībā no to izvēles iegūst dažādas tilpuma formulas. Tā kā abu šķērslaukumu izvēle nav ierobežota, neierobežots ir arī iegūstamo formulu skaits. Šeit aplūkosim dažas meža taksācijā populārākās tilpuma formulas.

H. Smaliana formula. Ieteikta 1806. gadā Vācijā, pieņemot $g_a = g_0$ un $g_b = g_n$, kur g_0 ir stumbra vai tā daļas pamata jeb resgaļa šķērslaukums un g_n – tā tievgaļa šķērslaukums (1.13. att.)



1.13. att. H. Smaliana formulas shēma

Atbilstoši nosacījumiem g_0 attālums no pamata griezuma ir $x_a = x_0 = 0$ un g_n attālums – $x_b = x_n = l$. Pēc formulas (1.55.)

$$g_0 = a + b \cdot 0 = a$$

un

$$g_n = a + bl$$

jeb

$$g_n = g_0 + bl,$$

no kurienes

$$bl = g_n - g_0.$$

Koeficientu a un b vērtības ievietojot sakarībā (1.54.),

$$v = l \left(g_0 + \frac{g_n - g_0}{2} \right) = \frac{l}{2} (g_0 + g_n).$$

Izteiksmi

$$v = \frac{l}{2} (g_0 + g_n) \quad (1.56.)$$

meža taksācijā sauc par H. Smaliana jeb *galalaukumu formulu*. Tā ir nošķelta paraboloīda formula un izsaka, ka stumbra nogriežņa tilpums ir vienāds ar abu gala laukumu pussummas un garuma reizinājumu. Tā kā veselam stumbram $g_n = 0$ un $l = L$, tā tilpums

$$v = L \frac{g_0}{2}. \quad (1.57.)$$

Sakarā ar to, ka stumbra pamata griezums parasti ir ļoti ekscentrisks, H. Smaliana formula nav piemērota vesela stumbra vai tā resgaļa daļas tilpuma aprēķināšanai. Šī iemesla dēļ nav ieteicams to lietot arī jebkuras citas izteikti rauktas stumbra daļas tilpuma noteikšanai. P. Sarma (1948) norāda, ka atsevišķos gadījumos kļūda var sasniegt +50%. A. Tjurins (Тюрин А., 1938) min vēl lielāku skaitli – +64,6%, kas konstatēts, novērtējot 25 – 40 cm resnus un 25 – 30 m garus ozola stumbrus.

F. Hubera (Huber) formula. Lai novērstu neprecizitātes, kas saistītas ar *resgaļa blīzumu*, šo formulu meža taksācijā 1825. gadā Vācijā ieviesis F. Hubers. Pieņēmumi: $g_a = g_{1/2}$ un $g_b = g_n$, t. i., tā izvesta, bāzes griezumus izvēloties stumbra vai tā daļas vidū un tievgalī (1.14. att.).

Tāpēc $x_a = x_{1/2} = l/2$ un $x_b = x_n = l$. Līdz ar to, sekojot formulai (1.55.),

$$g_{1/2} = a + \frac{bl}{2}$$

un

$$g_n = a + bl,$$

no kurienes

$$bl = g_n - a.$$

Tālāk seko

$$2g_{1/2} = 2a + bl$$

$$2g_{1/2} = 2a + g_n - a$$

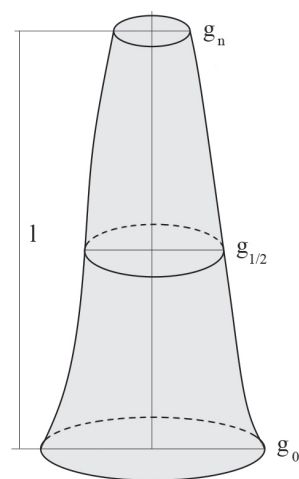
$$a = 2g_{1/2} - g_n$$

un

$$bl = g_n - 2g_{1/2} + g_n = 2(g_n - g_{1/2}),$$

bet

$$v = l \left[2g_{1/2} - g_n + \frac{2(g_n - g_{1/2})}{2} \right] = lg_{1/2}.$$



1.14. att. F. Hubera formulas shēma

Tā kā vidus šķērslaukumu $g_{1/2}$ pieņemts apzīmēt ar γ ,

$$v = \gamma l, \quad (1.58.)$$

bet visam stumbram

$$v = \gamma L. \quad (1.59.)$$

Sakarību (1.58.) meža taksācijā sauc arī par *viduslaukuma formulu*. Lai pēc tās noteiktu tilpumu, ir jāzina stumbra vai tā daļas garums un vidus šķērslaukums. Savas vienkāršības dēļ viduslaukuma formula izraisījusi vispārīgu mežkopju ievērību. Neskaitāmi speciālisti dažādās valstīs empīriski pārbaudījuši un atzinuši tās precizitāti un piemērotību darbam mežā. Kā vispāratzīti minami M. Preslera, A. Švapaha, M. Kunces, A. Šifela, F. Korsuņa, N. Tretjakova u. c. autoru pētījumi (Korf V., 1972). Latvijas apstākļos viduslaukuma formulas atbilstību pārbaudījis E. Ostvalds (Sarma P., 1948). Visi autori ieguvuši apmēram līdzīgus rezultātus, kurus apkopojot var secināt sekojošo.

Viduslaukuma formula ir parocīgākā no visām vienkāršajām deduktīvajām stumbra un tā daļu tilpuma formulām. To var lietot kā veselu stumbru, to kopu vai atsevišķu daļu tilpuma noteikšanai. Formulas noteiktība ir atkarīga no vērtējamā ķermeņa atbilstības otrās kārtas paraboloidam, jo tā dibinās uz pieņēmumu, ka stumbra veiduli apraksta otrās kārtas parabolas vienādojums.

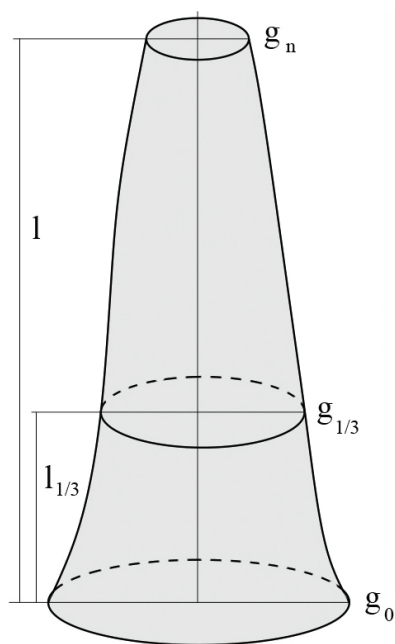
Minētā atbilstība dažādām koku sugām izpaužas atšķirīgi. Konstatētas šādas *sistemātiskās kļūdas*: priedei un lapeglei no -4,5 līdz -7,5%; eglei, balteglei, ozolam, osim, skābardim un melnalksnim no +1,0 līdz +3,0%; apsei +2,7%. Atsevišķu stumbru tilpuma noteikšanā relatīvā kļūda bijusi robežās: priedei no -40 līdz +15%; lapeglei no -31 līdz +12%, eglei no -5,6 līdz 6,0%; balteglei no -15,8 līdz +16,7% un ozolam no -4,0 līdz +3,4%. Formulas atbilstība ir lielāka koku sugām ar plānu un gludu mizu. Noskaidrots, ka, piemēram, priedes stumbriem bez mizas ar šo formulu tilpumu var aprēķināt tikpat precīzi kā egles stumbriem ar mizu.

Vislabākos rezultātus F. Hubera formula uzrāda tādu vidēji slaidu stumbru vērtēšanā, kuru formas koeficients $g_2 = 0,70$. Sevišķi slaidiem stumbriem kļūda var sasniegt +10%, bet rauktiem – līdz -17%. Šeit iespējami gadījumi, kad visam stumbram tilpums tiek izskaitļots mazāks nekā tā daļai bez galotnes. Tā kā bieža miza samazina g_2 , ir saprotams, kāpēc priedei un lapeglei formulas atbilstība ir mazāka nekā citām koku sugām ar plānu mizu.

Stumbra daļas tilpumu iespējams aprēķināt precīzāk nekā visa stumbra tilpumu. Turklāt, jo īsāks ir vērtējamā nogriežņa garums, jo precīzāks ir rezultāts. Tas izskaidrojams ar to, ka īsāki stumbra nogriežņi vairāk līdzinās paraboloidam vai cilindram. Šī iemesla dēļ viduslaukuma formulu plaši izmanto atsevišķu stumbra daļu – apaļo kokmateriālu – taksēšanā.

Būtiska nozīme ir stumbra daļai, no kuras izzāģēts vērtējamais nogrieznis. A. Matīsens (Mathiesen A.) Tartu apkaimē noskaidrojis, ka bērza apakšējās līdz 5 m garās stumbra daļas taksēšana pēc F. Hubera formulas dod ap -3% kļūdu, vidusdaļā ir niecīga pozitīva novirze, kas nepārsniedz 1%, un galotnes daļā tā atkal ir negatīva – līdz -4%.

N. Anučina dati liecina, ka atsevišķu 6,5 m līdz 8,5 m garu nogriežņu vērtēšanas kļūdas svārstās robežās no -27% līdz +18%. Savukārt F. Korsuņš Čehijā konstatējis, ka apaļo kokmateriālu tilpuma noteikšanas *vidējā kvadrātiskā kļūda* iekļaujas intervālā $\pm 8,5$ līdz $\pm 12,7\%$. Samērā plašā kļūdas amplitūda izskaidrojama ar resgaļa un galotnes daļas izteikto raukumu. F. Korsuņa pētījumi norāda, ka apmēram 76% no kļūdas apmēriem dod caurmēra nepareiza mērīšana un noapaļošana uz veseliem centimetriem. Tas vēlreiz pasvītro, cik nepieciešama ir atsevišķu stumbru un to daļu dastošana divos perpendikulāros virzienos (Анучин Н., 1977).



1.15. att. J. Hosfelda formulas shēma

Vairāki autori mēģinājuši uzlabot viduslaukuma formulu. Tā kā sistemātiskā kļūda ir negatīva, ir ieteikts caurmēru mērīt nedaudz zemāk par $d_{1/2}$. Empīriski noskaidrots, ka eglei tas būtu $d_{0,45}$. Ir ieteikti arī citi neparocīgi risinājumi, piemēram, mērīt caurmēru tuvāk resgalim par tik centimetriem, cik metru satur vērtējamā nogriežņa dubultgarums. M. Kuncē Vācijā, analizējot ap 30 000 stumbru, noteicis korekcijas koeficientu k , to iesakot aprēķināt kā faktiskā tilpuma un viduslaukuma formulas rezultāta attiecību. Tāpēc patieso tilpumu iegūst kā šī faktora un viduslaukuma formulas rezultāta reizinājumu. Centieni uzlabot viduslaukuma formulu līdz šim nav guvuši vērā ņemamu atsaucību.

J. Hosfelda formula. Ieteikta 1812. gadā Vācijā, pieņemot, ka $g_a = g_{1/3}$ un $g_b = g_n$, citiem vārdiem, pamata laukuma vietā ņemot stumbra vai tā daļas griezumu vienas trešdaļas attālumā no pamata.

Atbilstoši tam $x_a = l/3$ un $x_b = x_n = l$. Tāpēc

$$g_{1/3} = a + \frac{bl}{3}$$

un

$$g_n = a + bl.$$

Neatkārtojot a un bl aprēķināšanas gaitu, kas ir līdzīga iepriekšējiem gadījumiem, rakstām to izteiksmes

$$a = \frac{3g_{1/3} - g_n}{2}$$

un

$$bl = \frac{3g_n - 3g_{1/3}}{2},$$

kuras ievietojot tilpuma formulā (1.54.) iegūstam

$$v = l \left(\frac{3g_{1/3} - g_n}{2} + \frac{3g_n - 3g_{1/3}}{2 \cdot 2} \right).$$

Pēc saīsināšanas

$$v = \frac{l}{4} (3g_{1/3} + g_n). \quad (1.60.)$$

Tā kā vesela stumbra $g_n = 0$ un $l = L$,

$$v = \frac{3}{4} L g_{1/3}. \quad (1.61.)$$

Empīriski noskaidrots, ka cilindram, paraboloīdam un konusam līdzīgu stumbra daļu tilpuma noteikšanā J. Hosfelda formula noteiktības ziņā ir pielīdzināma viduslaukuma formulai.

A. Tjurina formula (Тюрин А., 1938). Pieņēmumi: $g_a = g_{1/4}$ un $g_b = g_n$. Attiecīgi $x_a = l/4$ un $x_b = x_n = l$. Rezultātā

$$g_{1/4} = a + \frac{bl}{4},$$

$$g_n = a + bl,$$

$$a = \frac{4g_{1/4} - g_n}{3},$$

$$bl = \frac{4(g_n - g_{1/4})}{3}$$

un

$$v = \frac{l}{3} (2g_{1/4} + g_n), \quad (1.62.)$$

bet veselēm stumbriem ($g_n = 0$ un $l = L$)

$$v = \frac{2}{3} L g_{1/4}. \quad (1.63.)$$

Visos iepriekšējos atvasināšanas gadījumos $g_b = g_n$ un atšķirīga ir tikai g_a noteikšanas vieta, kuru var izvēlēties pilnīgi brīvi. Šo tilpuma formulu atvasināšanas gaitu 1930. gadā vispārināja D. Sibircevs (Тюрин А., 1938). Ja $g_a = g_{l/k}$,

$$v = \left[k g_{l/k} + g_n (k - 2) \right] \frac{l}{2(k - 1)}. \quad (1.64.)$$

Mainot arī g_b noteikšanas vietu, tilpuma formulu atvasināšanu var turpināt neierobežoti. Tradicionāli dažādi autori pieturējušies nosacījumam, ka abi šķērslaukumi jāizvēlas vienādos attālumos no stumbra vai tā daļas galiem. Priekšstatam šeit atzīmēsim tikai dažas pazīstamākās formulas.

Divu sekciju formula. Pieņēmumi: $g_a = g_{1/4}$, $g_b = g_{3/4}$, $x_a = x_{1/4} = l/4$ un $x_b = x_{3/4} = 3l/4$.

$$a = \frac{3g_{1/4} - g_{3/4}}{2},$$

$$bl = 2(g_{3/4} - g_{1/4})$$

un

$$v = \frac{l}{2} (g_{1/4} + g_{3/4}). \quad (1.65.)$$

Sakarību (1.65.) par divu sekciju formulu sauc tāpēc, ka caurmēra mērīšanas vietas $g_{1/4}$ un $g_{3/4}$ iekrīt tur, kur atrastos abi viduslaukumi, ja stumbrs vai tā daļa būtu sadalīti uz pusēm. P. Sarma (1948) atzīmē augstu formulas atbilstību stumbra un tā daļu tilpuma noteikšanai.

K. Gausa (Gauß) – O. Simonija (Simony) formula. Izvēloties $g_a = g_{0,21}$ un $g_b = g_{0,79}$, iegūst

$$v = \frac{l}{2} (g_{0,21} + g_{0,79}), \quad (1.66.)$$

ko parasti raksta

$$v = \frac{l}{2} (g_{1/5} + g_{4/5}). \quad (1.67.)$$

Pazīstama arī otra O. Simonija formula

$$v = \frac{l}{2} (g_{1/6} + g_{5/6}). \quad (1.68.)$$

N. Tretjakova formulas. Šīs stumbra tilpuma formulas izceļas ar izteiktu vienkāršību:

$$v = 0,6413 d_{1/2} d_{1/4} L \quad (1.69.)$$

$$v = 0,5795 L d_{1/4} \sqrt{d_{1/4} d_{1/2}}. \quad (1.70.)$$

S. Petrini (S. Petrini) formula.

$$v = 0,781 g_{0,36} L. \quad (1.71.)$$

A. Šifela formula. Tā ir viena no senākajām un plašāk pazīstamām

$$v = l \left(0,61 g_{1/4} + 0,62 g_{3/4} - 0,23 \frac{d_{3/4}}{d_{1/4}} g_{1/4} \right). \quad (1.72.)$$

Iepriekš apskatītās deduktīvās tilpuma formulas atvasinātas, izmantojot sakarības (1.53.) pirmos divus saskaitāmos. Ne mazāku formulu daudzumu nodrošina šīs sakarības pirmo trīs locekļu

izmantošana. Atvasināšanas gaita ir līdzīga. Atšķirība ir tā, ka teorētiski otrā formulu grupa dod precīzākus rezultātus, jo pamatojas uz trīs caurmēra mērījumiem un tātad labāk atsedz stumbra formas ietekmi. Taču vienlaicīgi tās ir mazāk ērtas praktiskai lietošanai. Neapstājoties pie formulu izveduma, atzīmēsim dažas plašāk pazīstamas šīs grupas tilpuma formulas.

I. Ņūtona (Newton) – K. Rīkes (Riecke) formula. Meža taksācijā to ieviesa K. Rīke 1849. gadā. Par bāzes šķērslaukumiem kalpo g_0 , $g_{1/2}$ un g_n (1.14. att.):

$$v = \frac{l}{6} (g_0 + 4\gamma + g_n) \quad (1.73.)$$

un veseliem stumbriem ($g_n = 0$)

$$v = \frac{L}{6} (g_0 + 4\gamma). \quad (1.74.)$$

Formulu (1.73.) un (1.74.) trūkums ir tas, ka jāizmanto pamata šķērslaukums g_0 , kura noteikšana saistīta ar kļūdām resgaļa blīzuma dēļ.

O. Simonija formula. Nolūkā apiet blīzuma ietekmi 1876. gadā O. Simonijs ieviesa savu trešo formulu

$$v = \frac{l}{3} (2g_{1/4} - \gamma + 2g_{3/4}). \quad (1.75.)$$

M. Orlova formula. Tā publicēta 1929. gadā.

$$v = \frac{l}{3} (g_{1/6} + \gamma + g_{5/6}). \quad (1.76.)$$

Līdzīgas stumbra vai tā daļu tilpuma noteikšanas formulas sastopamas lielā skaitā. Vēl jo vairāk, to atvasināšana var katram kalpot par patstāvīgu treniņu meža taksācijas apgūšanā. Šeit esam apskatījuši tikai nedaudzas no neierobežoti lielā deduktīvo formulu skaita.

Empīriskās formulas. Šīs grupas formulas iegūst kā regresijas vienādojumus. Tas nozīmē, ka ar kādu no precīzajām metodēm lielākam stumbru un to daļu skaitam nosaka tilpumu, šo datu analīzē izvēlas atbilstošāko analītisko izteiksmi, aprēķina regresijas koeficientus un statistiskā vērtējuma rādītājus. Parasti empīriskajās tilpuma formulās kā regresori izmantoti stumbra vai tā daļas garums, izteikts metros, un caurmērs, kas mērīts centimetros vienā vai vairākās vietās dažādos attālumos no sakņu kakla augošiemi kokiem vai no pamata griezuma stumbru daļām. Empīrisko formulu atbilstība ir atkarīga no regresijas vienādojuma veida, tā locekļu skaita un paraugkopas apjoma. Dažu empīrisko formulu piemēri.

B. Šustova formula

$$v = ad_{1/2}dh. \quad (1.77.)$$

Formula ieteikta Krievijā 1932. gadā. Pēc formulas autora vērtējuma tā ir vienkārša un samērā precīza. Viņš noskaidrojis, ka priedes un ozola stumbriem $a = 0,53$. Savukārt čehu pētnieks F. Korsuņš papildinājis – egles un baltegles stumbriem $a = 0,55$ (Korf V., 1972). Formulas (1.77.) atvasināšanā pieņemts, ka katrai koku sugai attiecība q_2/f ir konstanta: priedei $q_2/f = 1,468$; eglei $q_2/f = 1,450$; ozolam $q_2/f = 1,476$. Ja, piemēram, priedei $q_2/f = 1,468$, $f = q_2/1,468$. Ņemot vērā, ka $q_2 = d_{1/2}/d$,

$$v = \frac{\pi d^2}{4} hf = \frac{\pi d^2}{4} h \cdot \frac{d_{1/2}}{1,468d} = 0,534d_{1/2}dh.$$

Pēc N. Anučina atzinuma, B. Šustova formula ir precīzāka par vienkāršo viduslaukuma formulu. Vēl jo vairāk, akcentējot q_2 ietekmi attiecībā q_2/f , A. Karpovs ieteicis konstantes 0,534 vietā ņemt koeficientu $k = f(q_2)$:

$$\begin{array}{cccccc} q_2 & 0,60 & 0,65 & 0,70 & 0,75 & 0,80 \\ k & 0,53 & 0,54 & 0,55 & 0,56 & 0,57. \end{array}$$

I. Liepas formula. Formula ieteikta Latvijas mežu veidojošo koku sugu veselu stumbru tilpuma aprēķināšanai (Liepa I., 1996). Formulas lietošanas ierobežojumi: $2 \leq L \leq 40$ m un $1 \leq d_{1,3} \leq 60$ cm.

$$v = \psi L^{\alpha} d_{1,3}^{\beta \lg L + \phi}, \tag{1.78.}$$

kur v – stumbra tilpums, m³;
 L – stumbra garums, m;
 $d_{1,3}$ – krūšaugstuma caurmērs, cm;
 $\psi, \alpha, \beta, \phi$ – no koku sugas atkarīgi koeficienti (1.4. tab.).

1.4. tabula

Formulas (1.78.) koeficienti

Koku suga	ψ	α	β	ϕ
Priede	$1,6541 \cdot 10^{-4}$	0,56582	0,25924	1,59689
Egle	$2,3106 \cdot 10^{-4}$	0,78193	0,34175	1,18811
Bērzs	$0,9090 \cdot 10^{-4}$	0,71677	0,16692	1,75701
Apse	$0,5020 \cdot 10^{-4}$	0,92625	0,02221	1,95538
Melnalksnis	$0,7950 \cdot 10^{-4}$	0,77095	0,13505	1,80715
Baltalksnis	$0,7450 \cdot 10^{-4}$	0,81295	0,06935	1,85346
Ozols	$1.3818 \cdot 10^{-4}$	0,56512	0,14732	1,81336
Osis	$0,8530 \cdot 10^{-4}$	0,73077	0,06820	1,91124

R. Ozoliņa formula. Formula izstrādāta Latvijas apstākļiem ar nosacījumu, ka stumbra garums $L > 12$ m.

$$v = a d_{1,3}^p (L + b)^q, \tag{1.79.}$$

kur v , $d_{1,3}$ un L kā formulā (1.78.), un koeficientu vērtības dotas 1.5. tabulā.

1.5. tabula

Formulas (1.79.) koeficienti

Koku suga	α	b	p	q
Priede	$1,2022 \cdot 10^{-4}$	−4,1	1,94986	0,71934
Egle	$1,8797 \cdot 10^{-4}$	−5,5	1,82692	0,74180
Bērzs	$0,3792 \cdot 10^{-4}$	0,9	2,00018	0,96720
Apse	$0,4020 \cdot 10^{-4}$	0,7	2,00109	0,97053
Melnalksnis	$0,1960 \cdot 10^{-4}$	4,2	1,97489	1,17192
Baltalksnis	$0,6005 \cdot 10^{-4}$	−0,1	1,94071	0,89051

Formulas (1.78.) un (1.79.) praktiski pilnīgi ietver visu to informāciju, ko satur Latvijā lietojamās tilpuma tabulas, kas sastādītas, izmantojot precīzās saliktās tilpuma formulas.

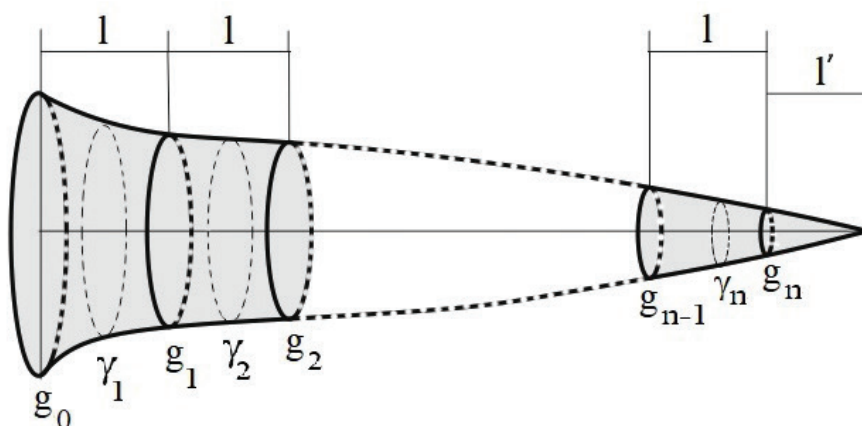
1.2.5.3. Saliktās tilpuma formulas

Kā izriet no iepriekšējās sadaļas, vienkāršo tilpuma formulu atbilstību nosaka parametru aprēķināšanai izmantoto šķērslaukumu skaits un to izvietojums uz stumbra vai tā daļas. Tā kā tas ir atkarīgs no integrējamās izteiksmes (1.13.) saskaitāmo daudzuma, kuru var izvēlēties pilnīgi brīvi, attiecīgi to palielinot, iespējams atvasināt tilpuma formulas ar pēc patikas augstu precizitāti. Teorētiski tas ir ļoti vienkārši. Praktiski grūtības sagādā gan tas, ka caurmērs jāmēra dažādās stumbra vietās, kas izvietotas nevienādos attālumos viena no otras, gan arī tas, ka šādas formulas ir ļoti sarežģītas un neērtas. Tāpēc meža taksācijā šīs precīzu formulu atvasināšanas paņēmieni nav ieviesies. Izmanto citu metodi. Atbilstoši tai iedomājas stumbru vai tā daļu, sadalītu vienāda garuma nogriežņos – sekcijās.

Katras sekcijas tilpumu nosaka atsevišķi pēc kādas vienkāršās formulas un iegūtos rezultātus saskaita. Minētās skaitļošanas operācijas uzrakstot vienā izteiksmē, iegūst *saliktās tilpuma formulas*. Tām piemīt augsta precizitāte, jo īsiem stumbra nogriežņiem parasti ir samērā regulāra forma un tāpēc atsevišķu sekciju tilpums tiek noteikts visai precīzi. Sekciju aprēķiniem iespējams lietot jebkuru vienkāršo formulu. Tāpēc atkarībā no tās izvēles var iegūt neierobežoti daudz dažādu salikto formulu stumbra vai tā daļu tilpuma aprēķināšanai. Meža taksācijas praksē plašāku atzinību guvušas H. Smaliana, F. Hubera, J. Hosfelda un T. Simpsona saliktās tilpuma formulas.

Jebkuru stumbru var iedomāties sadalītu vienāda garuma sekcijās. Taču katrā atsevišķā gadījumā sadalījums var būt atšķirīgs. Samazinot sekciju garumu, palielinās to skaits un tāpat arī caurmēra mērījumu skaits. Tāpēc stumbra forma tiek uztverta pilnīgāk, un aprēķinātais rezultāts ir tuvāks patiesajam tilpumam. Parasti izvēlas 2 m, 1 m vai 0,5 m garas sekcijas. Ir autori (V. Hohenadls, V. Zaharovs), kas uzskata, ka informatīvāk izvēlēties nevīs konstantu sekcijas garumu, bet gan nemainīgu sekciju skaitu, katru stumbru sadalot 10 vienādās daļās. Pēc viņu domām, šāds stumbra sadalījums sekcijās pilnīgāk raksturo tā formu un līdz ar to atvasinātās saliktās tilpuma formulas ir precīzākas. Šī uzskata atbilstība empīriski vēl nav vispusīgi pārbaudīta, turklāt šāda sadalīšana piemērojama vienīgi veseliem stumbriem. Šo iemeslu dēļ minēto ieteikumu izmanto tikai atsevišķos gadījumos.

H. Smaliana saliktā formula (1.16.att.).



1.16. att. Sekcijās sadalīts stumbrs: $g_0, g_1, g_2, g_{n-1}, g_n$ – sekciju galu laukumi; $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_n$ – sekciju viduslaukumi; l – sekciju garums; l' – galotnes sekcijas garums (pēc Sarma P., 1948)

Katras sekcijas tilpumu aprēķinot pēc vienkāršās H. Smaliana formulas (1.56.), iegūstam:

$$v_1 = \frac{l}{2}(g_0 + g_1),$$

$$v_2 = \frac{l}{2}(g_1 + g_2),$$

$$v_n = \frac{l}{2}(g_{n-1} + g_n).$$

Parasti pēdējā sekcija ir nepilna garuma, piešķirsim tai apzīmējumu l' . Tās tilpumu v' aprēķina pēc konusa formulas. Līdz ar to visa stumbra tilpums:

$$\begin{aligned} v &= v_1 + v_2 + \dots + v_n + v' = \\ &= \frac{l}{2}(g_0 + g_1) + \frac{l}{2}(g_1 + g_2) + \dots + \frac{l}{2}(g_{n-1} + g_n) + \frac{l'}{3}g_n = \\ &= l \left(\frac{g_0 + g_n}{2} + g_1 + g_2 + g_{n-1} \right) + \frac{l'}{3}g_n. \end{aligned}$$

Sakarību

$$v = l \left(\frac{g_0 + g_n}{2} + g_1 + g_2 + \dots + g_{n-1} \right) + \frac{l'}{3} g_n \quad (1.80.)$$

sauc arī par *salikto galalaukumu formulu*.

F. Hubera saliktā formula (1.16. att.). Atsevišķu sekciju tilpumu aprēķinot pēc vienkāršās viduslaukuma formulas (1.58.),

$$v_1 = \gamma_1 l,$$

$$v_2 = \gamma_2 l,$$

$$v_n = \gamma_n l,$$

kurus sasummējot un pieskaitot galotnes konusa tilpumu

$$v = l(\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n) + \frac{l'}{3} g_n$$

jeb

$$v = l \sum_i \gamma_i + \frac{l'}{3} g_n, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1.81.)$$

Izteiksmi (1.81.) pazīst arī kā *salikto viduslaukumu formulu*. Praktiskajā darbā tā ir ērtāka par pārējām saliktajām formulām un tāpēc to lieto visbiežāk.

Saliktā J. Hosfelda formula. Izmantojot vienkāršo J. Hosfelda formulu (1.60.) un i-tās sekcijas $g_{1/3}$ apzīmējot ar p_i ,

$$v_1 = \frac{l}{4}(3p_1 + g_1),$$

$$v_2 = \frac{l}{4}(3p_2 + g_2),$$

$$v_n = \frac{l}{4}(3p_n + g_n).$$

Saskaitot atsevišķo sekciju tilpumu,

$$v = \frac{l}{4}[g_1 + g_2 + \dots + g_n + 3(p_1 + p_2 + \dots + p_n)] + \frac{l'}{3} g_n. \quad (1.82.)$$

T. Simpsona formula. To atvasina, katras sekcijas tilpumu izsakot ar I. Ņūtona-K. Rīkes formulu (1.73.).

$$v_1 = \frac{l}{6}(g_0 + 4\gamma_1 + g_1),$$

$$v_2 = \frac{l}{6}(g_1 + 4\gamma_2 + g_2),$$

$$v_n = \frac{l}{6}(g_{n-1} + 4\gamma_n + g_n)$$

un pēc summēšanas

$$v = \frac{l}{6}[g_0 + g_n + 4(\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n) + 2(g_1 + g_2 + \dots + g_{n-1})] + \frac{l'}{3} g_n. \quad (1.83.)$$

Šeit katras sekcijas tilpumu nosaka pēc trīs šķērslaukumiem. Tāpēc teorētiski sakarībai (1.83.) jāuzrāda īstenībai tuvāki rezultāti. Sevišķi tas sakāms par ļoti rauktiem – koniskiem un neiloidāliem stumbriem vai to daļām.

Salikto formulu atbilstības pārbaude liecina, ka to precizitāte ir augsta un apmierina visstingrākās prasības. Tāpēc tās lieto dažādu tabulu sastādīšanai, vienkāršo tilpuma formulu salīdzināšanai u.c. darbos, kas prasa palielinātu precizitāti. Neskatoties uz ievērojamo darba un laika ietilpību, daļa pētnieku ir centušies empīriski pārbaudīt salikto formulu piemērotību. Jāatzīst gan, ka vairumā gadījumu paraugkoku skaits ir visai ierobežots vai arī nav uzrādīts. Minēsim divus piemērus. Pirmajā pētījumā Krievijā (1.6. tab.) analizēti 35 paraugkoki (17 bērzi, 15 priedes, 3 ozoli).

1.6. tabula

Salikto tilpuma formulu precizitāte (pēc Тюрин А., 1938)

Formula	Vidējā kvadrātiskā kļūda, %			Vidējā svērtā kļūda, %
	priede	bērzs	ozols	
H. Smaliana	+0,3	+0,8	+0,2	+0,53
F. Hubera	-1,2	-0,9	+1,9	-0,79
J. Hosfelda	-0,6	-0,3	-0,3	-0,43
T. Simpsona	-0,2	+0,3	+0,8	+0,13

No 1.6. tabulas var secināt, ka visu formulu precizitāte ir augsta un apmēram līdzīga, nevienā gadījumā relatīvā kļūda nepārsniedz $\pm 2\%$. Tāpēc formulu izvēli nosaka to praktiskums. Šinī ziņā visparocīgākā ir saliktā viduslaukumu formula. Diemžēl minētajā pētījumā nav uzrādīti dati par atsevišķu stumbru tilpuma aprēķināšanas kļūdām, kas izslēdz salikto formulu statistisko vērtējumu.

Otro pārbaudi īstenojis čehu pētnieks F. Korsuņs (Korf V., 1972). Viņš pārbaudījis salikto viduslaukumu formulu, akcentējot sekciju garuma ietekmi uz kļūdas lielumu un raksturu (1.7. tab.). Kļūdas aprēķinātas, par patiesajiem pieņemot rezultātus, kas iegūti ar T. Simpsona formulu.

1.7. tabula

Saliktās viduslaukumu formulas atbilstība (pēc Korf F., 1972)

Sekcijas garums, m	Sistemātiskā kļūda, %	Vidējā kvadrātiskā kļūda, %
2	-0,19	$\pm 1,78$
2	-0,61	$\pm 1,43$
1	-0,05	$\pm 0,96$
1	-0,22	$\pm 0,49$

F. Korsuņa dati rāda, ka sekcijas garums būtiski ietekmē rezultātu precizitāti. Līdzīgu atziņu izteikuši daudzi autori, piemēram, igauņu pētnieks A. Matisens. Viņš empīriski pārliecinājies, ka, salīdzinot ar 0,5 m garām sekcijām, tilpums, kas noteikts ar 1 m sekcijām, sevišķi stumbra galotnes daļā, var dot līdz $-7,3\%$, bet ar 2 m garām sekcijām – pat līdz $-9,5\%$ lielu kļūdu. Izrādījies, ka 0,5 m garas sekcijas un caurmēra mērījumi ar 0,5 cm noapaļojumu devušas patiesībai tuvākus rezultātus nekā 1 m garas sekcijas, kuru caurmērs mērīts divos savstarpēji perpendikulāros virzienos ar milimetra noteiktību.

Ideja par iespējami īsāku sekciju garumu stumbru un to daļu tilpuma noteikšanā mašinizētajā mežizstrādē novesta līdz pilnībai. Kā zināms, apaļo kokmateriālu ieguvē izmantojot harvesterus, atsevišķu stumbru un sortimentu tilpums tiek aprēķināts automātiski. Algoritmiskais pamats ir kāda no saliktajām tilpuma formulām (ja nav īpašu nosacījumu, tā ir saliktā viduslaukumu formula). Koka apstrādes laikā ik pēc zināma attāluma tiek mērīts arī caurmērs visa stumbra garumā. Mērīšanas vietu attālumu jeb nosacīto sekciju garumu iespējams ieregulēt līdz dažiem centimetriem. Tas nozīmē, ka teorētiski ideāli tiek uztverta stumbra forma un aprēķinātas tilpuma vērtības ir tuvas patiesajām.

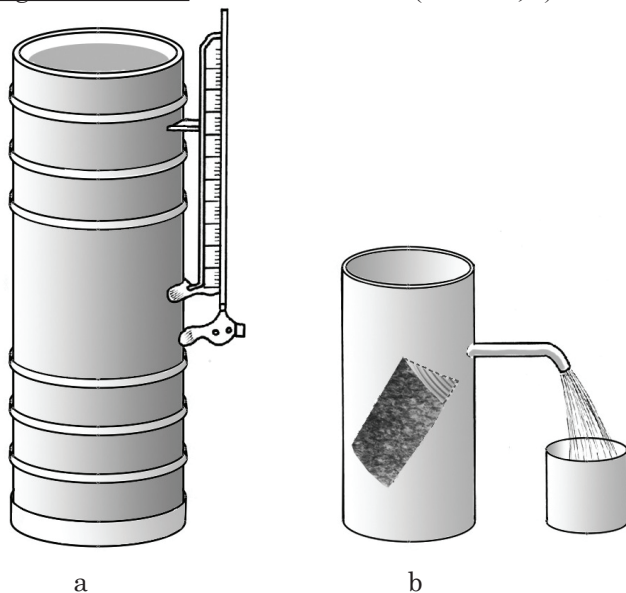
1.2.5.4. Tilpuma fizikālā noteikšana

Ar aprakstītajām matemātiskajām formulām koka stumbra vai tā daļu tilpumu var noteikt tikai tad, ja vērtējamā ķermeņa forma atbilst stereometrijas ķermeņu formai. Kā jau norādīts iepriekš, pat

taisnu, slaidu un apaļu koku stumbri pilnīgi neapmierina šo prasību. Tādas koka daļas kā saknes, celmi un zari, kā arī nepareizas formas liki stumbri nepavisam nav piemērotas analītiskai tilpuma vērtēšanai. Nepieciešamības gadījumā lieto tiešo tilpuma mērīšanu. Izmanto *fizikālās metodes*. Izšķir vairākas fizikālās tilpuma noteikšanas metodes.

Ksilometriskā metode. Metodes teorētiskais pamats ir fizikas likums, ka šķidrumā iegremdēts ķermenis izspiež šķidruma daudzumu, kas vienāds ar tā tilpumu. Meža taksācijā kā šķidrumu lieto ūdeni. Trauku, kas aprīkots izspiestā ūdens tilpuma mērīšanai, sauc par *ksilometru*. Ksilometriskā metode pazīstama kopš astoņpadsmitā gadsimta beigām. Pastāv uzskats, ka tā ir visprecīzākā tilpuma noteikšanas metode. Nereti tā lietota pētnieciskajā darbā, dažādu normatīvu izstrādāšanā un salikto tilpuma formulu precizitātes salīdzināšanā (1.6. tab.), ksilometriski noteikto tilpumu pieņemot par patieso vērtību. Atkarībā no izspiestā ūdens daudzuma noteikšanas pazīstami divi ksilometru tipi – ar mainīgu un ar pastāvīgu ūdens līmeni.

Ksilometrs ar mainīgu ūdens līmeni ir cilindrisks trauks (1.17. att., a)



1.17. att. Ksilometri ar mainīgu (a) un pastāvīgu (b) ūdens līmeni (pēc Захаров В., 1967)

Parasti tā diametrs ir 40 – 50 cm un augstums – 1,5 – 2,0 m. Apmēram 50 cm augstumā ksilometram pierīkota metāla caurulīte, kuras uz augšu vērstajam galam pievienots caurspīdīgs stobriņš ar graduētu skalu. Jāievēro nosacījums, ka stobriņam un skalai jābūt paralēliem ksilometra sienām. Pēc aprakstītās konstrukcijas izveidots R. Hartiga (1851. g.) ksilometrs.

Ķermeņa tilpuma noteikšanai vertikāli nostādītā ksilometrā ielej tik daudz ūdens, lai tas būtu redzams caurspīdīgā stobriņa apakšējā daļā, un pieraksta skalas nolasi, piemēram, 12,1 dm³. Pēc tam ksilometrā iegremdē doto ķermeni. Tā kā koksne ūdenī peld, to aptuveni 2 cm dziļi iegremdē, lietojot speciālu metāla tīkliņu, kam piestiprināts metāla stienītis. Tīkliņa un stienīša tilpums ir ņemts vērā skalas graduēšanā, un tāpēc to lietošana sistemātisku kļūdu nerada. Parasti gan, salīdzinot ar vērtējamo koka gabalu, tīkliņa un stienīša kopējais tilpums ir nenozīmīgi mazs un to var neņemt vērā. Pēc ķermeņa iegremdēšanas otrreiz nolasa ūdens līmeņa augstumu, piemēram, 21,2 dm³. Abu nolašu starpība ir nosakāmā ķermeņa tilpums, proti, $v = 21,2 - 12,1 = 9,1$ dm³. Jāpatur prātā, ka jāstrādā bez vilcināšanās, jo koksne uzsūc ūdeni un tādējādi izraisa sistemātisku negatīvu kļūdu. Sevišķi tas attiecas uz sausu un porainu koksni. Tāpēc pēc otrās nolases ķermeni izceļ no ūdens, ļauj tam notecēt atpakaļ ksilometrā un pēc tam skalas nolasa trešo reizi, piemēram, 12,0 dm³. Starpība starp pirmo un trešo nolasi ir vienāda ar ķermeņa uzsūktā ūdens daudzumu. Dotajā piemērā $\Delta v = 12,1 - 12,0 = 0,1$ dm³. Šis lielums kā korekcija jāpieskaita iepriekš aprēķinātajam ķermeņa tilpumam – $v = 9,1 + 0,1 = 9,2$ dm³.

Ir pazīstami šī tipa ksilometri ar pārbīdāmu skalu, kurai iedaļas turpinās uz abām pusēm no nulles atzīmes. Pirmais šādu skalu lietojis K. Bēmerle (Behmerle K.) deviņpadsmitā gadsimta beigās. Pirms ķermeņa iegremdēšanas skalu pārbīda tā, lai nulles atzīme sakristu ar ūdens līmeni caurspīdīgajā stobriņā. Līdz ar to atkrīt nepieciešamība pēc pirmās nolases.

Ksilometra ar mainīgu ūdens līmeni noteiktība ir atkarīga no trauka diametra. Jo mazāks ir tā diametrs, jo augstāk caurspīdīgajā stobriņā paceļas ūdens pēc noteikta tilpuma ķermeņa iegremdēšanas. Sakarā ar to, ka minimālais attālums starp skalas blakus iedaļām praktiski nevar būt mazāks par 1 mm, dažāda caurmēra ksilometru iedaļas vērtības ir atšķirīgas. Tā, piemēram, ja trauka šķērslaukums $g = 1 \text{ cm}^2$, ksilometra noteiktība $\Delta v = 1 \text{ cm}^2 \times 0,1 \text{ cm} = 0,1 \text{ cm}^3$; ja $g = 10 \text{ cm}^2$, $\Delta v = 10 \text{ cm}^2 \times 0,1 \text{ cm} = 1 \text{ cm}^3$; ja $g = 100 \text{ cm}^2$, $\Delta v = 100 \text{ cm}^2 \times 0,1 \text{ cm} = 10 \text{ cm}^3$ utt. Praksē biežāk lietotā ksilometra $d = 50 \text{ cm}$, tāpēc $g = 1963 \text{ cm}^2 \times 0,1 \text{ cm} = 196,3 \approx 200 \text{ cm}^3$ jeb $0,2 \text{ dm}^3$. Dažkārt skalai piekārtots *nonijs*.

Ksilometrs ar pastāvīgu ūdens līmeni ir vēl vienkāršāks (1.17. att., b.). Trauka forma un izmēri nav svarīgi. Vienīgais nosacījums ir, lai tā augšējā daļā būtu krāns izspiestā ūdens notecēšanai. Kā viens no pirmajiem šī ksilometra tipa lietotājiem tiek uzskatīts K. Heiers (Heyer K., 1846. g., Vācija). Strādā šādi. Ksilometru pieļauj ar ūdeni, kamēr tas sāk izplūst pa krānu. Kad ūdens vairs nepil, to aizgriež un ūdeni iegremdē vērtējamo ķermeni. Pēc ūdens līmeņa nomierināšanās atgriež krānu un ļauj ūdenim notecēt uztvērējtraukā. Tas var būt arī mērtrauks. Tādā gadījumā uz tā skalas nolasa iegremdētā ķermeņa tilpumu. Ja mērtrauka nav, ūdeni var uzkrāt un tā tilpumu izmērīt laboratorijā. Arī šeit iespējams izslēgt kļūdu, kas rodas, ūdenim iesūcoties koksnē ksilometlēšanas laikā. Šajā nolūkā jālieto svari. Pirms iegremdēšanas ķermeni nosver, piemēram, 17,4 kg. Nosver arī pēc ķermeņa izcelšanas un ūdens notecēšanas, piemēram, 17,6 kg. Abu svērumu starpība, kas šajā piemērā ir $\Delta m = 17,6 - 17,4 = 0,2 \text{ kg}$, izsaka to ūdens daudzumu, kas iesūcies dotajā ķermenī un tādēļ nav izspiests no trauka. Šo starpību pieskaita izspiestajam ūdens daudzumam, atceroties, ka 1 kg ūdens aizņem 1 dm^3 (ūdens temperatūras ietekmi praktiski var neņemt vērā).

Hidrostatiskā metode. Tā dibinās uz Arhimēda likumu, ka ūdenī iegremdēts ķermenis zaudē no svara tik, cik sver tā izspiestā ūdens daudzums. Tā kā ķermeņa svars un masa ir tieši proporcionāli lielumi, koka gabala svara zaudējums ūdenī ir vienāds ar tā tilpumu. Jālieto svari, trauks ar ūdeni un balasts (metāla atsvars). Pēdējais nepieciešams, lai koka gabalu iegremdētu ūdenī, netraucējot tā svēršanu. Pirms un pēc iegremdēšanas vērtējamo ķermeni un balastu nosver, iegūstot attiecīgi M un M_1 , m un m_1 .

Starpība

$$v = (M - M_1) - (m - m_1) \quad (1.84.)$$

ir dotā ķermeņa tilpums. Turklāt, ja svēršanas rezultātu izsaka kilogramos, tilpumu iegūst kubikdecimetros, ja tonnās, – tad kubikmetros.

Svēršanas metode. Ja jānosaka lielāka daudzuma viendabīga materiāla tilpums, tieša ksilometriskās vai hidrostatiskās metodes izmantošana ir neērta vai pat nereāla. Šinī gadījumā izraugās reprezentatīvu paraugu, to nosver, iegūstot parauga masu m , un ar kādu no iepriekš aprakstītajām metodēm nosaka tā tilpumu. Nosver arī visu vērtējamā materiāla daudzumu M . Tā kā viendabīgas vielas ķermeņa tilpums ir tieši proporcionāls tā masai, dotā materiāla tilpums

$$V = \frac{M}{m}, \quad (1.85.)$$

kur M ir vērtējamās koksnes masa un m – parauga masa. Svēršanas metodes gala rezultāts ir atkarīgs no vērtējamās koksnes daudzuma un parauga svēršanas, kā arī parauga tilpuma noteikšanas precizitātes. Īpaši nozīmīga ir parauga reprezentativitāte. Tāpēc to ieteicams sastādīt, ievērojot datu statistiskās apstrādes nosacījumus.

Blīvuma metode. Līdzīga svēršanas metodei. Atšķirība tā, ka formulā (1.85.) parauga masu aizstāj ar koksnes blīvuma koeficientu ρ , ko nolasa normatīvajos materiālos. Kā zināms, vielas blīvums ir masas un tilpuma attiecība, proti,

$$\rho = \frac{m}{v}, \quad (1.86.)$$

no kurienes

$$v = \frac{m}{\rho}. \quad (1.87.)$$

Dažādu koku sugu koksnes blīvums ir atšķirīgs. Tas ir atkarīgs arī no koksnes mitruma, parauga atrašanās vietas stumbrā (resgalis, galotne, *kodols*, *aplieva*), koka vecuma, stumbra caurmēra, augšanas apstākļiem u. c. faktoriem (Боровиков, А., Уголев Б., 1989). Analizējot lielāka skaita pētījumu rezultātus dažādās valstīs un laika posmos, var secināt, ka vienai un tai pašai sugai un mitruma saturam

koksnes blīvuma vērtības nedaudz atšķiras, ko var izskaidrot ar attiecīgo pētījumu fona daudzveidību. Latvijas mežu veidojošo nozīmīgāko koku sugu koksnes blīvuma vidējās vērtības apkopotas 1.8. tabulā.

1.8. tabula

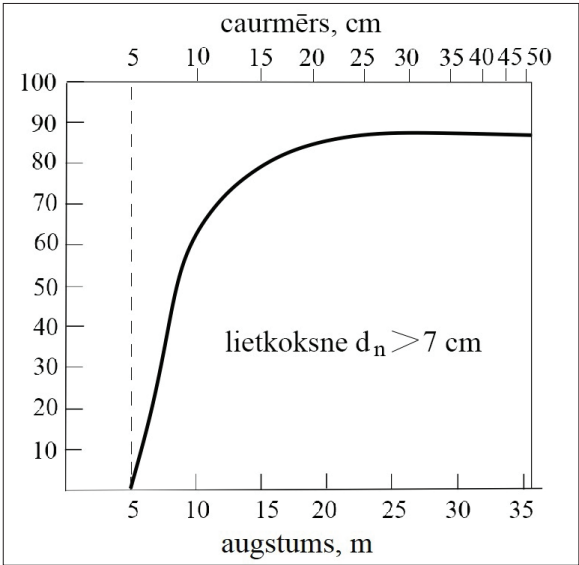
Koksnes blīvuma koeficienta ρ vērtības

Koku suga	Koksne			
	svaigi cirsta $\rho_{sv.c.}$	gaissausa ρ_{12}	absolūti sausa ρ_0	bāzes blīvuma ρ_b
Priede	0,86	0,51	0,48	0,42
Egle	0,85	0,45	0,42	0,36
Lapegle	0,83	0,66	0,64	0,54
Ozols	1,11	0,69	0,65	0,57
Osis	0,92	0,68	0,65	0,56
Bērzs	0,92	0,64	0,62	0,52
Apse	0,81	0,50	0,46	0,40
Melnalksnis	0,83	0,52	0,50	0,43

Piezīme: $\rho_{12}, \rho_0, \rho_b$ – pēc Уголев Б., 2001.
Augošu vai svaigi cirstu koku tilpuma noteikšanai, izmantojot (1.87.) formulu, lieto $\rho_{sv.c.}$ vērtības, pārējās – atbilstoši koksnes mitruma saturam.

1.2.5.5. Lietkoksnē tilpums

No koka stumbra var izzāgēt dažādus apaļos kokmateriālus jeb *sortimentus*. Kopā tie sastāda *lietkoksnī* (timber), ko ārzemju literatūrā sauc par komerciālo koksni. Vācijā, piemēram, lietkoksnē pieskaita to stumbra apakšējo daļu (*Derbholz*), kuras caurmērs ir lielāks par 7 cm (robežvērtība d_n). Latvijā un pārējās bijušās Padomju Savienības valstīs stumbra tilpumu uzskaita visā tā garumā (augstumā). Līdz ar to arī koku stumbru tilpuma noteikšanas metodes un līdzekļi (formulas, koeficienti un tabulas) ir piemēroti šai vajadzībai. Atsevišķiem stumbriem procentuāli starpība starp visa stumbra un lietkoksnē tilpumu nav liela, taču koku kopu gadījumā tā uzkrājas un var sasniegt ievērojamu apjomu. Starpības lielumu nosaka stumbra dimensijas un robežvērtība d_n . To uzskatāmi ilustrē E. Asmana piemērs (Assmann E., 1970) (1.18. att.).



1.18. att. Egles stumbra lietkoksnē relatīvais iznākums atkarībā no koka augstuma un krūšaugstuma caurmēra (pēc Assmann E., 1970)

Lai novērstu iespējamās pārpratumus, it īpaši audžu krājas datus salīdzinot, ir jārisina abi uzdevumi. Stumbra daļa ar caurmēru, kas ir mazāks par robežvērtību, var tikt izmantota dažādi. Arī pašas robežvērtības katrā valstī var būt atšķirīgas. Latvijā stumbra galotnes daļu caurmēra diapazonā no 3–6 cm ieskaita malkā, bet vēl tievākā daļa veido *atliekas* (Līpiņš L., 1999). Atbilstoši komerciālajai situācijai iespējams jebkurš cits iedalījums. Ja ir panākta vienošanās par d_n , līdz kuram ir jānosaka stumbra resgaļa daļas tilpums v_p , to aprēķina kā divu tilpumu starpību (1.19. att.):

$$v_l = v - v', \quad (1.88.)$$

kur v ir stumbra kopējais tilpums, kuru aprēķina ar kādu no iepriekš aprakstītajām metodēm atbilstoši stumbra garumam (augstumam) L un krūšaugstma caurmēram d , un v' – tilpums stumbra galotnes daļai virs caurmēra d_n . Augošam kokam v' parocīgi noteikt ar H. Smaliana vienkāršo gala laukumu formulu:

$$v' = \frac{l'}{2} g_n = \frac{l'}{2} \cdot \frac{\pi}{4} d_n^2 = \frac{\pi}{8} l' d_n^2. \quad (1.89.)$$

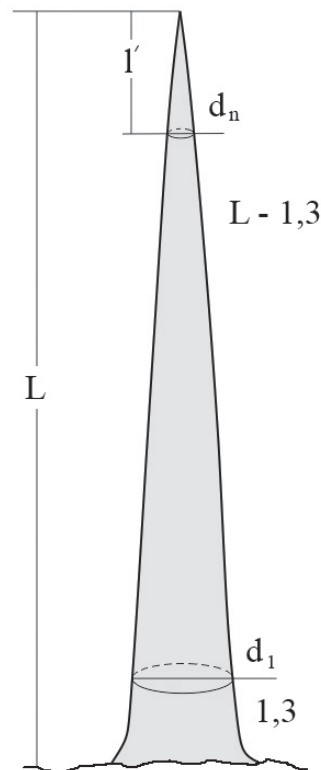
Stumbra galotnes daļas (virš d_n) garumu l' nosaka, ievērojot rotācijas ķermeņu īpašību, ka griezumam šķērslaukumi vai to caurmēru kvadrāti un to attālumi līdz augšējam vai apakšējam griezumam ir proporcionāli. Šajā gadījumā

$$\frac{d_n^2}{d^2} = \frac{l'}{L - 1,3},$$

no kurienes

$$l' = \frac{d_n^2 (L - 1,3)}{d^2}. \quad (1.90.)$$

Izmainot d_n vērtību, var aprēķināt dažādu lietkoksnēs kategoriju aptuvenu tilpumu. Rezultāta precizitāti būtiski ietekmē aprēķināmās galotnes daļas atbilstība paraboloīda formai. Tāpēc ir vēlams izvēlēties $d_n \leq 10$ cm. Palielinoties d_n , pieaug rezultāta relatīvā kļūda.



1.19. att. Stumbra lietkoksnēs daļas tilpuma noteikšanas shēma

1.2.6. Mizas tilpuma noteikšana

Miza ir neiztrūkstoša augoša koka sastāvdaļa. Meža taksācijā miza jāvērtē divos aspektos. Pirmajā gadījumā jānosaka augošu vai nocirstu nemizotu stumbru mizas tilpums. Tāda vajadzība rodas sakarā ar to, ka daudzu koku sugu mizai ir rūpnieciska nozīme un tāpēc iepriekš vēlams zināt mizas iznākumu. Daži piemēri. Ozola, egles un kārkļu mizu izmanto miecvielu, bērza – koku darvas, Amūras korķa koka – korķa un izolācijas plātņu ieguvei. Ne mazāk svarīgi mizas tilpumu zināt arī tad, ja mežmateriālus uzskaita tikai pēc koksnes daudzuma, bet miza aiziet ražošanas atliekās. Otrs aspekts saistīts ar mizas kā sagatavotās meža produkcijas vērtēšanu. Kā vienā, tā otrā gadījumā svarīgi ir divi kvantitatīvi mizas rādītāji – *mizas biezums* un *mizas tilpums*.

Mizas biezums. Koku sugas ietvaros izšķiroša nozīme ir mizas biezumam un tā izmaiņām stumbra garenvirzienā. Pēc mizas biezuma var izdalīt sugas ar biezu un krevainu mizu un sugas ar plānu un gludu mizu. No skujkokiem kā pirmās grupas piemēru var minēt duglāziju, lapegli un arī priedi, no lapkokiem – ozolu un kārpaino bērzu. Savukārt otrajai grupai atbilst egles un baltegle, kā arī dižskābardis un baltalksnis. Mizas biezuma ietekmes vērtēšanai svarīgi noskaidrot dotās koku sugas šī rādītāja mainīšanās raksturu galotnes virzienā. Parasti, to salīdzinot starp koku sugām, izmanto mizas biezuma mērījumus krūšaugstumā. Vairākumā gadījumu, arī nosakot mizas ietekmi stumbra tilpumā, pieņem, ka mizas biezums ir vienāds visa stumbra garumā. Taču mērījumi liecina, ka vienmēr tas tā nebūt nav. Par piemēru tam var kalpot E. Asmana (Assmann E., 1970) apkopotie Ph. Flurija (Flury Ph.), G. Mitčerliha (Mitscherlich G.), R. Šrobera (Schrober R.) un H. Cimmerles mērījumu dati atkarībā no koku sugas un mērījuma vietas stumbrā (1.9. tab.).

Mizas dubultbiezuma vidējās vērtības, cm (pēc Assmann E., 1970)

Mērīšanas vieta, m	Priede		Egle		Eiropas lapegle	
	d=20 –40cm	d=40 –60cm	d=20 –40cm	d>40 cm	d=20 –40cm	d=40 –60cm
1	3,4	5,0	1,4	2,2	4,2	7,4
3	2,0	3,4	1,2	1,9	3,0	4,9
5	1,4	2,6	1,1	1,8	2,7	4,3
7	1,0	2,0	1,1	1,8	2,5	3,9
9	0,8	1,6	1,1	1,8	2,3	3,7
12	0,8	1,4	1,0	1,8	2,1	3,5
15	0,6	1,0	1,0	1,7	1,9	3,3
18	0,6	0,8	1,0	1,7	1,7	3,2
21	–	0,8	0,9	1,7	1,6	3,0
Mizas %	11,5	10,4	9,8		21,8	20,7

Šajā tabulā redzamas vairākas ietekmes. Pirmkārt, visām koku sugām stumbra galotnes virzienā miza kļūst ievērojami plānāka. Otrkārt, visos griezuma līmeņos mizas biežumu būtiski ietekmē stumbra caurmērs krūšaugstumā – resnākiem kokiem mizas biežums ir lielāks. Treškārt, mizas biežuma atšķirību dēļ atšķiras arī visa stumbra mizas tilpuma procents, kas aprēķināts no stumbra tilpuma ar mizu. Tas sastāda vērā ņemamas vērtības, sasniedzot vairāk nekā desmito daļu no stumbra apjoma, bet lapeglei pat piekto daļu. Ceturtkārt, visas iepriekš minētās pazīmes ir katrai koku sugai un koka vecumam specifiskas.

Pie līdzīgiem secinājumiem nonākuši daudzi citi pētnieki, piemēram, Ph. Flurijs jau 1897. g. Šveicē un A. Krīdeners laikā no 1909. – 1913. g. Krievijā (1.10. tab.). Jāatzīmē, ka A. Krīdeners mizas biežumu stumbra garuma L (augstuma) desmitdaļās izteicis procentos no mizas biežuma krūšaugstumā.

1.10. tabula

Mizas relatīvais biežums stumbra garuma desmitdaļās, % (pēc Тюрин А., 1938)

Koku suga	Attālums no sakņu kakla						
	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L	0,5 L	0,6 L	0,7 L
Priede	72	40	24	15	12	10	8
Egle	85	77	71	65	61	57	55
Ozols	90	82	76	72	70	70	69
Osis	100	93	86	79	72	65	58
Bērzs	64	55	47	40	34	29	25
Apse	84	74	65	57	50	44	39
Liepa	100	87	75	64	54	45	37

Multiplās atkarības dēļ amerikāņu pētnieks B. Hašs (Husch et al., 2003) dotās koku sugas mizas biežumu katrā konkrētā stumbra vietā iesaka izteikt kā daudzfaktoru regresijas vienādojumu, par argumentiem izraugoties koka vecumu, krūšaugstuma caurmēru ar mizu, mērīšanas vietas attālumu no sakņu kakla un caurmēru ar mizu mērīšanas vietā. Pēc viņa un līdzautoru pārliecības šāds vienādojums būtu prakses vajadzībām pietiekami informatīvs, taču neparocīgs pēdējā argumenta vērtības noteikšanas dēļ. Šī iemesla pēc parasti pieņem, ka mizas biežums visa stumbra garumā ir vienāds un mērāms krūšaugstumā. Šāds pieņēmums mazina mizas vērtējuma precizitāti, taču ievērojami atvieglo pašu vērtēšanu. Kuru no abām iespējām izvēlēties, nosaka katra konkrētā vērtējuma nosacījumi.

Nocirstam kokam mizas biežumu mēra izraudzītās vietas griezumā, lietojot mērlineālu (1.20. att.) vai arī dastmēru. Mizas biežumu b , izteiktu milimetros vai centimetros, aprēķina, abu mērījumu starpību dalot ar divi:

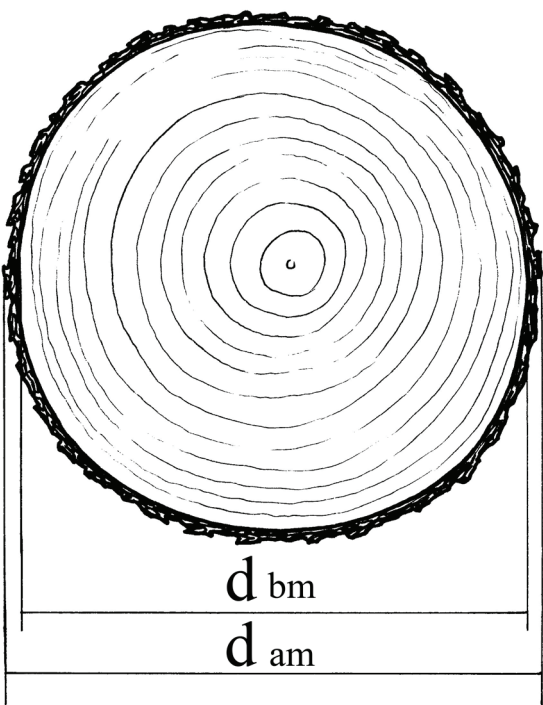
$$b = \frac{d_{am} - d_{bm}}{2} \tag{1.91.}$$

Ērtību dēļ nereti b vietā lieto $2b$, nosaucot to par *mizas dubultbiezumu*. Tas atvieglo aprēķinus, piemēram, apaļo kokmateriālu kopai no caurmēra ar mizu pārejot uz caurmēru bez mizas. Tiešai mizas biezuma mērīšanai lieto vairākus rīkus: *mizas biezuma mērītāju*, *pieauguma āmuru* un *pieauguma svārpstu* (1.21. att.).

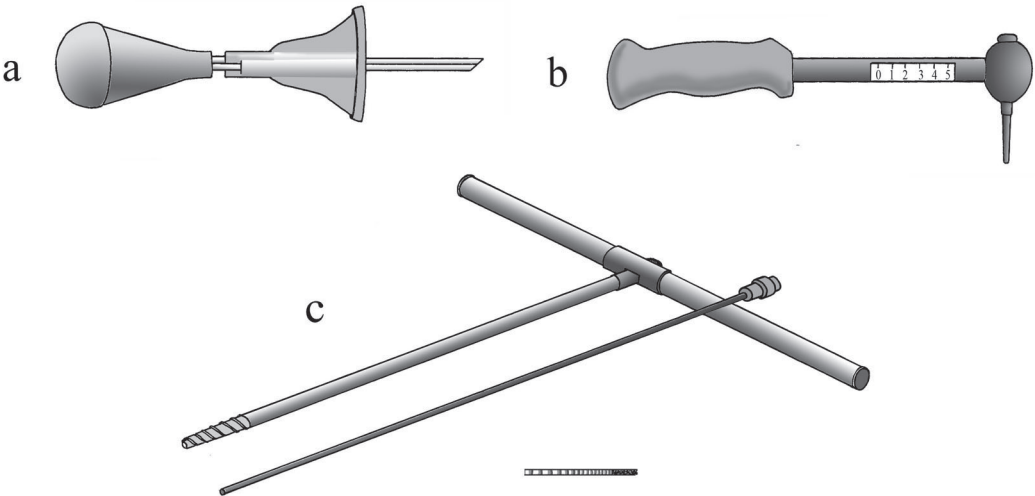
Labs mizas biezuma raksturotājs ir *mizas biezuma koeficients* u , kuru izsaka attiecība starp stumbra diametru ar un bez mizas 1,3 m attālumā no sakņu kakla:

$$u = \frac{d}{d_{bm}} 100. \tag{1.92.}$$

Latvijā biežāk sastopamo koku sugu u vidējās vērtības redzamas 1.11. tabulā.



1.20. att. Mizas biezuma mērīšanas shēma (pēc Līpiņš L., Liepa I., 2007)



1.21. att. Mizas biezuma mērīšanas rīki: a – mizas biezuma mērītājs; b – pieauguma āmurs; c – pieauguma urbis

Dažādu empīrisko koeficientu vērtības (pēc Liepa I., 1996)

1.11. tabula

Koku suga	k	Augstuma pieauguma			Mizas tilpuma			u
		a	b	c	p	q	w	
Priede	0,390	-0,0642	6,356	27,105	20,60	143,9	19,53	1,103
Egle	0,415	-0,0256	1,693	5,794	5,25	117,6	5,00	1,046
Bērzs	0,385	-0,0728	-1,51	-35,71	0,20	110,2	0,02	1,095
Apse	0,405	-0,0357	2,352	12,829	0,78	109,9	0,67	1,061
Melnalksnis	0,400	0,0050	7,240	90,909	-0,55	119,0	-0,36	1,081
Baltalksnis	0,380	0,0958	3,478	45,988	-49,10	93,3	-45,83	1,050

B. Hašs ar līdzautoriem (Husch et al., 2003) ASV noskaidrojuši, ka krūšaugstumā stumbra caurmēru ar mizu d un bez mizas d_{bm} saista lineāra atkarība:

$$d_{bm} = kd, \quad (1.93.)$$

kur grafiskais attēls ir taisne, kas iet caur koordinātu nulles punktu. Pamatojoties uz šo atziņu,

$$k = \frac{\sum_j (dd_{bm})}{\sum_j d}, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (1.94.)$$

kur n ir stumbru skaits, kas izmantoti k noteikšanai. Šo koeficientu minētie autori izmanto mizas biezuma un tilpuma aprēķināšanai. Mizas biezums

$$b = \frac{1}{2}(d - d_{bm}),$$

un, tā kā $d_{bm} = kd$,

$$b = \frac{1}{2}(d - kd) = \frac{d}{2}(1 - k). \quad (1.95.)$$

Mizas tilpums. Skaitliski stumbra mizas tilpumu v_m var raksturot dažādi. To izsaka gan tilpuma vienībās, gan procentos no kopējā stumbra tilpuma

$$p_m = \frac{v_m}{v} 100, \quad (1.96.)$$

vai arī kā mizas tilpuma koeficientu s , kuru aprēķina, kopējo stumbra tilpumu ar mizu v dalot ar tā tilpumu bez mizas v_{bm}

$$s = \frac{v}{v_{bm}}. \quad (1.97.)$$

Nocirsta koka stumbra mizas tilpumu nosaka kā starpību starp stumbra tilpumu ar un bez mizas, lietojot saliktās vai vienkāršās tilpuma formulas. Šajā nolūkā arī caurmēru mēra attiecīgi ar un bez mizas. Ja stumbru rūpīgi nomizo, tā mizas tilpumu var noteikt precīzāk ar fizikālajām metodēm. Mazāk precīziem aprēķiniem, to skaitā arī augošu koku mizas tilpuma aprēķināšanai, izmanto p_m un s . Šinī gadījumā

$$v_m = \frac{v p_m}{100} \quad (1.98.)$$

vai

$$v_m = \frac{v}{s}. \quad (1.99.)$$

Lielumu p_m un s vērtības aprēķinātas plašu pētījumu rezultātā. To skaitā jāmin M. Kunces, A. Šifela, Ph. Flurija u. c. pazīstamu autoru darbi, kas 19. gs. otrajā pusē veikti vairākās Rietumeiropas zemēs. Krievijā laikā no 1909. g. līdz 1913. g. bagātīgu un vispusīgu materiālu ievācis A. Krīdeners. Atziņas par priedes un egles mizas daudzumu Latvijas apstākļos 1938. g. publicējis P. Mūrnieks.

Mizas daudzums ir atkarīgs no koku sugas, mizas biezuma, stumbra caurmēra un formas, koka vecuma, augšanas apstākļiem, novietojuma stumbrā u. c. faktoriem. Stumbra mizas procents sevišķi liels ir jauniem un sīkiem kokiem. A. Zviedris un V. Gaross norāda uz pētījumu, kur 2 m garu un 1 cm resnu bērza sīkstumbu p_m vidējā vērtība bijusi 50%, turpretī 10 m garu un 8 cm resnu koku $p_m = 11\%$.

Stumbra forma mizas tilpumu ietekmē mazāk. Rauktu stumbru mizas procents ir lielāks, citiem vārdiem, tas ir apgriezti proporcionāls formas koeficientam q_2 . Piemēram, vienāda garuma un caurmēra priedes stumbriem, ja $q_2 = 0,71$, $p_m = 10\%$, ja $q_2 = 0,59$, $p_m = 15\%$.

Augšanas apstākļu ietekme ir vēl mazāka. Tā, piemēram, ja $d = 8$ cm, labos augšanas apstākļos auguša ozola stumbra $p_m = 22\%$, ļoti sliktos $p_m = 24\%$. Līdzīgi dati iegūti arī resnākiem kokiem: ja $d = 40$ cm, attiecīgi $p_m = 15\%$ un $p_m = 19\%$.

Vērā ņemama ietekme ir stumbra caurmēram krūšaugstumā ar mizu. Sacīto ilustrē A. Krīdenera dati (1.12. tab.).

Mizas tilpuma procenta p_m atkarība no koku sugas un caurmēra (pēc Sarma P., 1948)

Krūšaugstuma caurmērs d , cm	Koku suga			
	Egle	Ozols	Apse	Liepa
13	14	27	14	28
18	13	22	14	25
22	12	20	14	22
27	11	20	13	21
31	10	20	13	21
36	10	19	13	20
40	10	19	13	20
44	10	19	13	19
49	10	18	13	19
53	10	18	13	-
58	9	18	12	-
62	9	17	12	-
67	9	17	12	-

Pēc 1.12. tabulas var secināt, ka visām koku sugām mizas tilpuma procents samazinās, palielino- ties stumbra caurmēram. Samazināšanās ātrums dažādām koku sugām ir atšķirīgs. A. Tjurins liepai to aprakstījis ar hiperbolas formulu:

$$p_m = 16 + \frac{135}{d}. \tag{1.100.}$$

B. Hašs p_m aprēķināšanai atsevišķām stumbra daļām (sortimentiem) iesaka izmantot koeficientu k (formula 1.94.). Ja ar d_v apzīmē attiecīgās stumbra daļas vidus caurmēru un atceras, ka $d_{bm} = kd$ (formula 1.93.),

$$v_{bm} = \frac{\pi}{4} (kd_v)^2 l = k^2 v \tag{1.101.}$$

un mizas tilpums

$$v_m = v - v_{bm} = v(1 - k^2), \tag{1.102.}$$

no kurienes

$$p_m = (1 - k^2)100. \tag{1.103.}$$

Augšminēto iemeslu kompleksās ietekmes dēļ p_m svārstās plašās robežās. Ph. Flurijs konstatējis šādus izkliedes intervālus: priedei 4,0 – 9,6%, eglei 6,2 – 14,3%, lapeglei 16,3 – 24,3%, balteglei 6,7 – 13,3%, dižskābardim 5,2 – 10,3%. Vienai un tai pašai sugai dažādu autoru dati atšķiras. Par to, piemēram, liecina A. Krīdeners aprēķinātās p_m vērtības: priedei 8,5 – 13,0% un eglei 9,0 – 14,0%. A. Krīdeners noteicis arī pārējo biežāk sastopamo koku sugu p_m izkliedes robežas: ozolam 17 – 27%, osim 13 – 20%, apsei 12 – 18% un liepai 18 – 34%. Minētie skaitļi norāda, ka, kaut arī koku suga ir būtisks faktors, tā nevar būt vienīgais rādītājs koka mizas tilpuma aprēķināšanā un atsevišķu koku sugu vidējām p_m vērtībām ir orientējoša nozīme. Lietuvas pētnieks J. Butenas, uzmērot vairāk nekā 10 000 stumbru datus, Baltijas apstākļiem aprēķinājis mizas tilpuma koeficienta s vērtības (1.13. tab.).

Mizas tilpuma koeficienta S vērtības (pēc J. Butenas)

Caurmērs, cm	Koku suga					
	Priede	Egle	Bērzs	Apse	Melnalksnis	Baltalksnis
6	1,216	1,170	1,116	1,114	—	1,137
8	1,200	1,140	1,118	1,108	1,180	1,123
10	1,185	1,130	1,120	1,103	1,178	1,112
12	1,172	1,120	1,121	1,100	1,177	1,104
14	1,162	1,120	1,123	1,098	1,175	1,097
16	1,151	1,120	1,125	1,097	1,172	1,093
18	1,143	1,120	1,127	1,098	1,169	1,089
20	1,135	1,120	1,129	1,099	1,164	1,087
24	1,123	1,110	1,140	1,104	1,159	1,085
28	1,113	1,100	1,160	1,109	1,152	-
32	1,106	1,100	1,175	1,112	1,145	-
36	1,100	1,100	1,182	1,113	1,140	-
40	1,097	1,090	1,184	1,114	1,340	-
44	1,096	1,090	-	1,115	-	-
48	1,095	1,090	-	1,116	-	-
52	1,094	1,090	-	1,117	-	-
56	1,093	1,090	-	1,118	-	-
60	1,092	1,090	-	1,118	-	-

Pēc 1.13. tabulas autora domām, atskaitot koku sugu un stumbra caurmēru, pārējo faktoru ietekme nav liela un prakses vajadzībām to var neievērot. Mūsu pētījumi rāda, ka minēto koku sugu mizas tilpuma koeficienta S atkarību no caurmēra apraksta hiperbolas vienādojums

$$s = \frac{pd + q}{wd + 100} \quad (1.104.)$$

Formulā (1.104.) stumbra caurmērs d ir izteikts centimetros. Parametru vērtības dotas 1.11. tabulā.

Vairāki autori stumbra mizas biezuma koeficienta p_b un tilpuma koeficienta p_m atkarību centušies aprakstīt formulas veidā. V. Zaharovs pierādījis, ka eglei

$$p_m = 2p_b, \quad (1.105.)$$

kur

$$p_b = \frac{d - d_{bm}}{d} 100. \quad (1.106.)$$

Pēc F. Forsuņa pētījumiem, atsevišķas stumbra daļas

$$p_b = 400 \frac{t}{d}, \quad (1.107.)$$

kur $t = d - d_{bm}$ ir divkāršs mizas biezums.

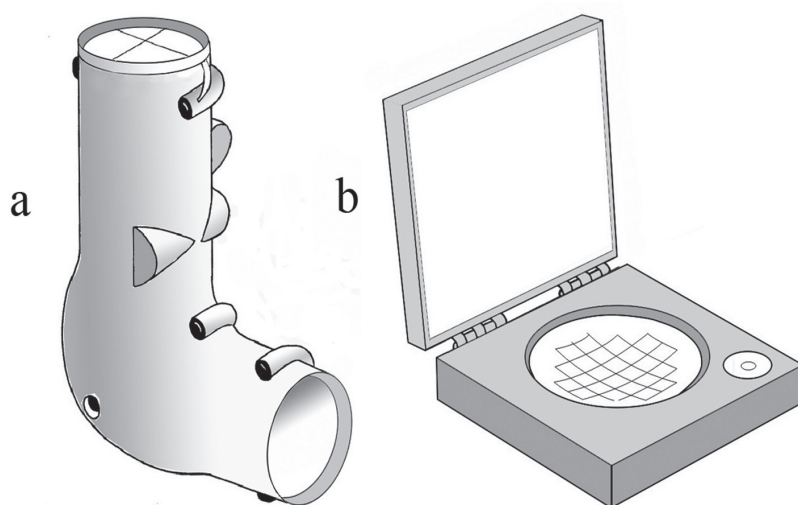
Noskaidrots, ka stumbra daļu mizas tilpumu un biezumu saista sakarība

$$p_m = 80 \left[1 - \left(\frac{d_{bm}}{d} \right)^2 \right]. \quad (1.108.)$$

No iepriekš sacītā izriet, ka mizas vērtēšana ir samērā sarežģīts uzdevums un tā precīzai risināšanai jālieto fizikālās metodes vai saliktās tilpuma formulas. Tā kā tas ir ļoti darbietilpīgi, mežsaimniecības praksē izmanto (1.98.) un (1.99.) formulas, bet apaļo kokmateriālu tirdzniecībā sortimentu mizas rādītājus nosaka standartizētos mērījumos.

1.2.7. Vainaga taksācija

Vainags ir koka augšējā virszemes daļa, kas pilda auga nozīmīgāko fizioloģisko funkciju norisi – fotosintēzi, elpošanu, transpirāciju, pieaugumu, atmirumu, barības vielu un fotosintēzes produktu pārvietošanos u. c., kā rezultātā iespējama koka augšana un attīstība, biomasas ražošana un meža atjaunošanās. Dažādām koku sugām ir atšķirīga vainaga forma, kas atkarīga no sugas prasībām pēc vides faktoru nodrošinājuma. Sevišķi svarīgs ir apgaismojums. Normālas biežības audzēs saulmīļu sugu (priede, lapegle, bērzs, ozols) kokiem raksturīgs salīdzinoši mērena vai neliela apjoma vainags, kas atrodas smidra stumbra galotnes daļā. Turpretī ēncietīgajām sugām (egle, baltegle, liepa, goba) šādos augšanas apstākļos veidojas vainags, kas aizņem stumbra lielāko daļu. Savukārt atklātā vidē koku stumbri ir īsi un raukti, bet vainagi – ļoti plaši, ar gariem un resniem zariem. Vainaga piemērotība fizioloģisko funkciju īstenošanai būtiski ietekmē koka produktivitāti, t.sk. arī stumbra tilpumu un tā pieaugumu (Broks J., 2003). Ne mazums dažādu valstu meža pētnieku centušies rast kvantitatīvas sakarības starp vainaga apjomu un formu, no vienas puses, un koka, it īpaši koku kopu koksnes pieaugumu, no otras. Atzīts, ka vainaga noteicošie un viegli nosakāmie parametri ir *vainaga caurmērs*, *garums* un *horizontālās projekcijas laukums*. Tradicionālajā taksācijā koka vainaga caurmēru mēra tā platākajā vietā divos savstarpēji stateniskos virzienos. Savukārt vainaga projekcijas laukumu aprēķina pēc 5–6 vainaga perifērijas raksturīgāko punktu projekcijām. Katru no tām iegūst kā iedomātas vertikāles krustpunktu ar zemes virsmu. Šos punktus atzīmē un izmēra to attālumu (rādiusu) līdz stumbra pamatnes šķēslaukuma centram. Ja punktus atliek uz papīra, iegūst daudzstūri, kura laukumu var aprēķināt pēc ģeometrisku figūru formulām. Vienkāršāk vainaga projekcijas laukumu aprēķināt pēc apla formulas, izmantojot vidējā aritmētiskā rādiusa vērtību. Vainaga punktu projecēšanai pazīstami dažādas konstrukcijas instrumenti – *densiometri*.



1.22. att. Koka vainaga projecēšanas instrumenti: *a* – taisnleņķa densiometrs, *b* – sfēriskais densiometrs

No meža taksācijas viedokļa koka vainags sastāv no diviem saimnieciski atšķirīgiem komponentiem – zariem un *zaleņa*. Zinātniskajos pētījumos zarus sadala *frakcijās*, vadoties no to tievgaļa caurmēra griezuma vietā. Zaru frakciju skaitu un katras frakcijas tievgaļa caurmēra vērtību nosaka pētnieciskais mērķis, piemēram, tabulu sastādīšana lietošanai prakses vajadzībām. Atsevišķa zara garumu parasti mēra no tā pamatnes līdz vietai, kuras griezuma caurmērs $d_z = 0,6$ cm. Zaru galotnes, kuru pamata caurmērs ir mazāks par 0,6 cm, koku lapas (skujas) un nepārkoksnējušies jaunie dzinumi veido zaleni – meža nekoksnes produktu. Zaleni izmanto bioloģiski aktīvu savienojumu ieguvei farmācijā, pārtikā, kosmētikā, lopbarībā un augu aizsardzībā (Daugavietis M., 2003). Zaleņa daudzpusīgais pielietojums nosaka tā vērtēšanas vajadzību.

Vainaga un tā sastāvdaļu tilpums ir izteikti variabls lielums. Tas atkarīgs no koku sugas, koka vecuma, stumbra caurmēra, vainaga garuma, caurmēra un blīvuma, fitocenotiskajiem un edafiskajiem apstākļiem u. c. faktoriem. Pētnieciskajā darbā resno un taisno zaru tilpumu var aprēķināt pēc

saliktajām tilpuma formulām. Šeit gan jāievēro, ka sekciju garums nedrīkst pārsniegt 0,5 m. Pareizi noteikt liko un tievo zaru, kā arī zaleņa tilpumu iespējams vienīgi ar fizikālajām metodēm. Sevišķi parocīga un precīza ir svēršanas metode ar zaru blīvuma $\rho_{sv.c.}$ noteikšanu eksperimentāli pētījuma laikā. Nevajadzētu izmantot dažādu tabulu datus, ja nav pārliecības, ka tie izsaka zaru blīvumu. Ar to var pielaist rupjas kļūdas, jo ne visām koku sugām stumbra un zaru koksnes blīvums ir vienāds, taču šādās tabulās parasti ir apkopotas tieši stumbru koksnes blīvuma vērtības. Parasti vainaga un tā komponentu tilpumu izsaka procentos no stumbra tilpuma ar mizu.

Atbilstoši ražošanas prasībām nereti vainagu vērtē, zaru un zaleņa tilpuma vietā nosakot masu. Šajā gadījumā vērtēšanas rezultātu uzrāda kilogramos vai tonnās. Tilpuma aizstāšanu ar masu pamato divi praktiski iemesli. Pirmkārt, vainaga komponentu praktiskā izmantošana, piemēram, siltuma enerģijas iegūšanai, ir atkarīga vairāk no masas nekā tilpuma. Otrkārt, jau vismaz kopš 20. gs. sākuma ir zināms, ka koka vainaga masu aprēķināt ir ērtāk un precīzāk nekā tā tilpumu. Secināts, ka koka vainaga masu un tā stumbra taksācijas rādītājus, piemēram, krūšaugstuma caurmēru saista cieša alometriskā atkarība (cit. Усолицев В., 1997). Tāpēc tajos gadījumos, kad nepieciešamas arī vainaga komponentu tilpuma vērtības, tās izdevīgāk atvasināt pēc svēršanas rezultātiem, tos izdalot ar attiecīgā komponenta blīvumu.

Koka vainaga taksācija bijusi aktuāla visā meža taksācijas attīstības gaitā. M. Preslers jau 19. gs. beigās atzina, ka zaru tilpuma vai masas noteikšanā bez koku sugas jāņem vērā arī konkrētā vainaga un stumbra garuma attiecība. Tā, piemēram, ja egles vainags aizņem 20% no koka garuma, zaru tilpums ir 9%, bet, ja vainaga garumu izsaka 60%, zaru tilpums ir 30%. Pēc M. Kunces domām, minētajiem faktoriem jāpieskaita arī koka vecums. Šo atziņu viņš ilustrē ar sekojošiem datiem (1.14. tab.).

1.14. tabula

Zaru tilpums procentos no stumbra tilpuma (pēc Sarma P., 1948)

Koku suga	Vecums, g.	Vainaga garums procentos no stumbra garuma							
		10	20	30	40	50	60	70	80
Priede	21–60	7	13	20	28	37	47	-	-
	61–140	7	10	14	17	21	-	-	-
Egle	21–40	23	25	29	35	42	51	61	73
	41–60	15	18	22	28	35	44	55	67
	61–100	9	11	14	17	21	25	30	-
	101–140	5	7	10	14	18	23	28	-

F. Korsuņs iesaka zaru tilpuma procentu p_z aprēķināt pēc hiperbolas vienādojuma, piemēram, eglei

$$p_z = 17,4 \frac{d}{L} - 5,3, \tag{1.109.}$$

kur d ir dotā koka stumbra caurmērs centimetros, kas mērīts 1,3 m attālumā no sakņu kakla, un L – stumbra garums metros. Formulas (1.109.) autors norāda, ka, attiecībai d/L palielinoties par 0,1, p_z palielinās par 2 %. Šī atziņa saskan ar daudzu citu pētnieku secinājumiem, ka starp koka zarainumu un formas koeficientu q_2 pastāv negatīva korelācija, citiem vārdiem, slaidiem stumbriem zaru mazāk.

A. Tjurins p_z aprēķināšanai rekomendē vēl vienkāršāku sakarību

$$p_z = 10 + 0,1d. \tag{1.110.}$$

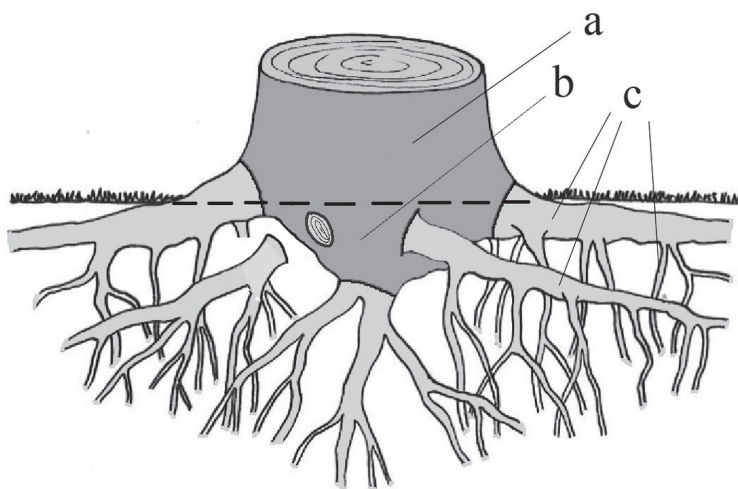
N. Anučins gan norāda, ka ar formulu (1.110.) apmierinošus rezultātus var sasniegt tikai tad, ja, stumbra caurmēram pieaugot, q_2 samazinās. Tas ir saprotami, jo tik sarežģītu jautājumu kā koka zaru daudzums nevar aprakstīt ar lineāru vienargumenta funkciju. Acīmredzot perspektīvākais pētījumu virziens ir saistīts ar multiplās regresijas izmantošanu.

Mežsaimniecības praksei domātajās tabulās zaru tilpumā ieskaita arī skujas un lapas, tādējādi kopā sastādot 10 – 20% no stumbra tilpuma. Nocirsta koka zaru tilpumu nosaka, sakraujot zarus grēdā un tās tilpumu (augstuma, platuma un garuma reizinājumu) steros pārrēķinot uz ciešmetriem, lietojot tilpīguma (blīvuma) koeficientu 0,3 (Skudra P., 2003).

1.2.8. Celma un sakņu taksācija

Parasti par *celmu* sauc koka stumbra apakšējo daļu, kas paliek virs zemes pēc koka nociršanas. Vairumā gadījumu šī stumbra daļa satur augstvērtīgu koksni. Tāpēc ir ekonomiski izdevīgi kokus nocirst tā, lai celma augstums h_c būtu iespējami mazāks, nepārsniedzot tā pieļaujamo augstumu. Pēdējais ir atkarīgs no stumbra caurmēra zāģējuma vietā d_c . Ja $d_c \geq 30$ cm, $h_c \leq d_c / 3$, ja $d_c < 30$ cm, $h_c \leq 10$ cm. Pēc koka nociršanas celms paliek dotajā platībā un pamazām sadalās, atbrīvojot uzkrātās barības vielas. Dažkārt celmus izmanto kā vērtīgu meža resursu mežķīmijas produktu ražošanai. Šeit labs piemērs ir priedes celmi, kas 10–20 gadu laikā pēc koka nociršanas bagātīgi sasveķojas. No šādiem priežu celmiem gatavo *celmu malku*, kas ir vērtīga izejviela ķīmiskajai pārstrādei vai enerģētiskās koksnes ieguvei.

Koka celma tilpuma vai masas vērtēšanas sakarā iepriekš minētā celma definīcija ir nepilnīga, tā izsaka tikai vienu celma komponentu – tā virszemes daļu. Meža taksācijas izpratnē koka celms ir sarežģītāks veidojums.



1.23. att. Koka celms: a – virszemes daļa, b – pazemes daļa, c – saknes

Celms sastāv no virszemes daļas un augsnē esošās jeb pazemes daļas. Abas šīs daļas veido koka celma frakciju – monolītu, saknēs nediferencētu ķermeni, no kura atiet saknes. Pētnieciskajā darbā, piemēram, CO₂ piesaistes aprēķinos celms un saknes jāvērtē atsevišķi. Nereti šo nosacījumu neņem vērā, tādējādi meža resursu vērtēšanā pieļaujot sistemātiskas kļūdas. Par to uzskatāmi liecina celmu malka. Tā satur ne tikai celma, bet arī sakņu koksni, turklāt dažādās proporcijās, kas atkarīgas no celmu raušanas tehnoloģijas.

Celma tilpums. Precīzu atsevišķu celmu tilpumu var noteikt ar fizikālajām metodēm. Tas gan ir ilgstošs un smags darbs, kas īstenojams tikai pētnieciskos nolūkos. Par parocīgākām uzskatāmas ksilometriskā vai svēršanas metode. Lai kādu no tām varētu izmantot, nepieciešama celmu atrakšana vai izskalošana. Parasti celmu un saknes no augsnes atbrīvo vienlaicīgi, darba apjomam palielinoties daudzkārtīgi, turklāt jāērķinās ar daļas sīko sakņu zaudējumu, tās aizvācot kopā ar augsni. Nākamais pasākums ir celma atbrīvošana no saknēm. Rūpīgi jāseko, lai celms netiktu izrobotš vai arī pie tā nepaliktu sakņu puni. Pēc atrakšanas jāveic celma un sakņu attīrīšana no augsnes – skalošana un liekā ūdens nožāvēšana. Pēc šiem priekšdarbiem celmu vai saknes var iegremdēt ksilometrā vai nosvērt. Šādi precīzi iegūtos pietiekama daudzuma dažādu celmu un sakņu datus izmanto regresijas vienādojumu vai tabulu sastādīšanai, ko var lietot prakses vajadzībām. Visbiežāk celma un sakņu iznākumu uzrāda procentos no stumbra tilpuma ar mizu.

Sakņu tilpums. Nereti, vadoties no to tievgaļa caurmēra, saknes sadala vairākās frakcijās. Frakciju skaitu un dimensijas nosaka darba uzdevums. Vienkāršākajā gadījumā izšķir trīs sakņu frakcijas – rupjās, vidējās un tievās. Celmus laužot, visbiežāk rupjās saknes saglabājas kopā ar celmu, tādējādi papildinot celmu malku. Vidējais celmu malkas grēdu tilpīguma koeficients pieņemts par 0,4. Vidējās saknes tikai daļēji saglabājas kopā ar celmu, atkarībā no augsnes īpašībām to zināma daļa celma

raušanas laikā notrūkst un paliek augsnē. Tievās saknes (sīksaknes) praktiski visas papildina augsnes organisko vielu daudzumu. Šī iemesla dēļ būtiski samazinās vidējo un tievo sakņu apjoma noteikšanas precizitāte pat pētnieciskajā darbā, kurā izmanto atrakšanas vai skalošanas metodi. Minētās specifikas dēļ ir relatīvi maz precīzu datu par sakņu telpisko izvietojumu, frakciju proporcijām, formu, garumu, tilpumu u. c. īpatnībām. Kā vienu no pilnīgākiem veikumiem šajā jomā jāatzīst H. Holstenera-Jorgensena (Holstener-Jørgensen) darbs (cit. Assmann E., 1970), kas veikts Dānijā. Izskalotas trīs līdzīgos apstākļos augušu pirmā kokaudzes stāva paraugkoku sakņu sistēmas. Paraugkoku vecums: ozolam – 49; dižskābardim – 64; eglei – 45 gadi. Secināts, ka ozola vainaga projekcijas laukums ir būtiski lielāks, salīdzinot ar tā sakņu sistēmas aizņemto platību. Savukārt dižskābardim un eglei šie lielumi izrādījušies apmēram līdzīgi. Taču visu paraugkoku atsevišķu sakņu garums tālu pārsniedz vainaga projekcijas robežu. Konstatēts pārsteidzoši liels sakņu garums (1.15. tab.). Pētījumā tas izteikts $\text{km} \times \text{ha}^{-1}$. Dati pa koku sugām ir atšķirīgi. Iespējams, ka dižskābarža pārākumu var izskaidrot ar paraugkoka vecumu, taču ozolam un eglei vecuma starpība ir tikai četri gadi. Visiem paraugkokiem līdz ar sakņu resnumu samazinās to garuma īpatsvars. Jāuzsver fizioloģiski aktīvāko sīko sakņu salīdzinoši augstā līdzdalība sakņu sistēmas kopējā garumā. Tas varētu raksturot dažādu koku sugu atšķirīgās spējas edafisko apstākļu izmantošanā. Protams, šiem apsvērumiem ir tikai orientējošs raksturs paraugkoku minimālā skaita dēļ.

1.15. tabula

Paraugkoku dažādu sakņu frakciju garums, $\text{km} \cdot \text{ha}^{-1}$ (pēc Assmann E.,1970)

Koku suga	Caurmēra intervāls, mm					Kopējais garums	
	0 – 1,5	1,5 – 5,5	5,5–10,5	10,5–40,5	>40,5	km	%
Ozols	503	163	38,8	32,4	2,1	739,3	29
Dižskābardis	1850	522	82,5	65,0	2,9	2522,4	100
Egle	1030	228,8	36,7	28,4	5,7	1329,6	53

H. Holstenera–Jorgensena šī unikālā pētījuma paraugkoku 1.15. tabulā norādīto sakņu frakciju tilpuma vērtības redzamas 1.16. un 1.17. tabulās. Jāatzīmē, ka sakarā ar celma jēdziena neviennozīmīgu izpratni dažādu autoru dati nav salīdzināmi. H. Holstenera–Jorgensena pētījumā paraugkoki nozāģēti līdz ar zemi un līdz ar to par celmu uzskatīta tikai celma pazemes daļa. Savukārt ir publikācijas, kurās abas celma daļas un saknes kā pašsaprotams fakts ieskaitītas vienā kopīgā kategorijā (Нормативы для ..., 1988). Celmu un sakņu tilpumi jau tā ir ļoti variabli lielumi, kas ir būtiski atkarīgi no koku sugas, vecuma, izcelšanās, celma caurmēra un augstuma, augšanas apstākļiem u. c. faktoriem. Šo dabisko iemeslu un celma jēdziena izpratnes atšķirību dēļ var saprast, kāpēc dažādu pētnieku dati ir tik dažādi. V. Korfs, atsaucoties uz vācu taksatoru publikācijām, min šādus celma un sakņu tilpuma procenta p_{c+s} vidējās vērtības: priedei 10 – 20%; eglei 15 – 25%; ozolam 14 – 20%; skābardim 5 – 15%. A. Tjurins uzskata, ka celma tilpuma procents p_c atrodams 4 – 10% robežās. M. Orlovs izkliesis robežas vispārina diferencēti pa sugām (1.18. tab.) (Нормативы для ..., 1988).

1.16. tabula

Paraugkoku dažādu sakņu frakciju tilpums, $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (pēc Assmann E.,1970)

Koku suga	Caurmēra intervāls, mm					Kopējais tilpums	
	0–1,5	1,5–5,5	5,5–10,5	10,5–40,5	>40,5	m^3	%
Ozols	0,39	1,13	1,85	10,02	3,99	17,4	34
Dižskābardis	1,45	3,38	3,36	20,54	10,4	39,1	76
Egle	0,81	1,39	1,73	10,29	37,0	51,2	100

Paraugkoku frakciju tilpuma sadalījums (pēc Assmann E.,1970)

Koku suga	Pazemes daļa, m ³			Virs- zemes daļa, m ³	Kopā, m ³	Īpatsvari, %		
	celma	sakņu	kopā			celma	sakņu	paz. d.
Ozols	20,0	17,4	37,4	201	237,4	10,0	8,6	18,6
Dižskābardis	37,8	39,1	76,9	316	392,9	12,0	12,4	24,4
Egle	32,1	51,2	83,3	398	481,3	8,1	12,9	21,0

Celma un sakņu procenti (pēc Нормативы для ..., 1988)

Koku suga	Tilpuma %		
	p_c	p_s	p_{c+s}
Priede	8–12	10–13	18–25
Egle	10–12	15–18	25–30
Ozols	12–20	10–15	22–35
Bērzs, apse, melnalksnis	8–10	12–14	20–24

Atrakšanas vai izskalošanas paņēmieni sevišķi neparocīgs ir sīko sakņu ($d < 1,5$ mm) tilpuma un masas vērtēšanai. Pirmkārt, jau tāpēc, ka, saknes atbrīvojot no augsnes, daļa sakņu tiek zaudēta. Otrkārt, ļoti slikti var fiksēt sīko sakņu telpisko un jo īpaši vertikālo sadalījumu. Lielā mērā šos trūkumus var novērst, lietojot statistisko paņēmieni. Šajā gadījumā sakņu materiālu ievāc tikai atsevišķos iepriekš noteikta skaita punktos. Katra atsevišķa punkta stāvokli koka sakņu sistēmas projekcijas laukumā nosaka pēc polārajām koordinātām α un l , kur α ir nosakāmā punkta virziena azimuts, kas mērīts no dotā koka stumbra šķērslaukuma (celma) centra, un l – attālums starp šiem punktiem. Abas koordinātas izvēlas randomizēti. Šādā veidā noteiktā punktā augsnē vertikāli iedzen dobu metāla cilindru ar iekšējo diametru, piemēram, 5,0 cm. Cilindrā atrodas visas dotā punkta sakņu daļas. Pēc mazgāšanas un žāvēšanas nosaka to tilpumu ar ksilometrēšanas metodi. Mainot cilindra iedzīšanas dziļumu, iespējams noteikt arī sakņu sistēmas vertikālo sadalījumu, turklāt darot to ar matemātiskās statistikas metodi.

1.3. Augoša koka taksācija

1.3.1. Augoša koka taksācijas specifika

Nocirsta koka taksēšanas metodes principā iespējamas lietot arī augošu koku vērtēšanai, jo abos gadījumos jānosaka vieni un tie paši taksācijas rādītāji. Praktiski gan tas ir grūti vai pat neiespējami. Iepriekš aplūkoto metožu ierobežotība izriet no augoša koka vertikālā stāvokļa, kura dēļ nav iespējama koka augstuma tieša mērīšana. Arī caurmēru tieši var izmērīt vienīgi stumbra apakšējā daļā. Sakarā ar to, ka zari aizsedz stumbru, nereti caurmēru tā vidusdaļā un augstāk nevar izmērīt arī netieši. Tāpēc stumbra tilpumu nevar aprēķināt pat pēc vienkāršajām tilpuma formulām, kas paredz stumbra caurmēra mērīšanu vairākos augstumos, kas iekrīt no zemes nesasniedzamās un bieži vien arī nesaredzamās vietās. Ja redzamība pieļauj, šos mērījumus varētu veikt arī netieši. Tomēr parasti no šīs iespējas atsakās tās lielās darbietilpības dēļ. To izmanto tikai atsevišķos gadījumos, ja sevišķi rūpīgi jānosaka augoša koka stumbra tilpums. Tas nozīmē, ka tīri tehnisku apsvērumu dēļ ir jāatsakās no pazīstamajām un precīzajām nocirsta koka stumbra tilpuma formulām un jāizstrādā tādas metodes, kas dibinās uz nedaudziem ērti izpildāmiem mērījumiem. Nenoliedzami, ka šāda pieeja ir saistīta ar tilpuma noteikšanas precizitātes samazināšanos.

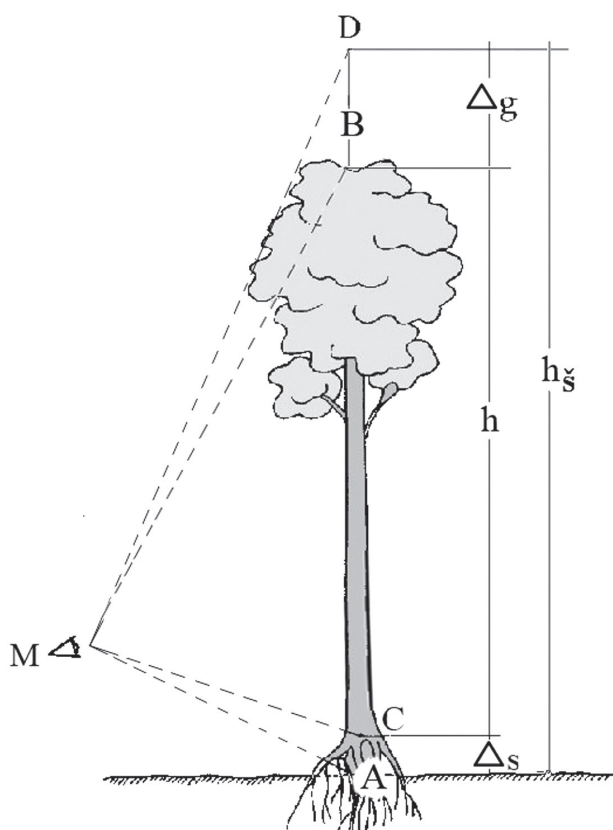
Vairākums augoša koka vērtēšanas metožu izstrādātas tā, ka tās pamatojas uz diviem mērījumiem. Pirmais no tiem ir koka augstums h , kas sakrīt ar nocirsta stumbra garumu L , otrs – stumbra caurmērs 1,3 m augstumā no koka sakņu kakla. Šāds mērīšanas augstums pieņemts arī tādēļ, lai būtu ērtāka

mērīšana. Tas atbilst vidēja auguma cilvēka krūšu augstumam. Tāpēc stumbra caurmēru šajā augstumā pieņemts saukt par *krūšaugstuma caurmēru*. To apzīmē ar d vai īpašos gadījumos, kad iespējami pārpratumi, – ar $d_{1,3}$.

Sakarā ar to, ka augoša koka caurmēra mērīšana dažādā augstumā ir ierobežota, apgrūtināta ir arī formas koeficientu un veidules vienādojuma izmantošana stumbra formas raksturošanai. Tāpēc tika ieviests īpašs formas rādītājs – veidskaitlis, kas dibinās uz stumbra tilpīgumu. Arī mizas, zaru, zaleņa, celmu un sakņu tilpuma un masas noteikšana iespējama tikai netieši, lietojot empīriskas formulas vai dažādus koeficientus, kas aprēķināti pēc nocirstu koku analīzes datiem.

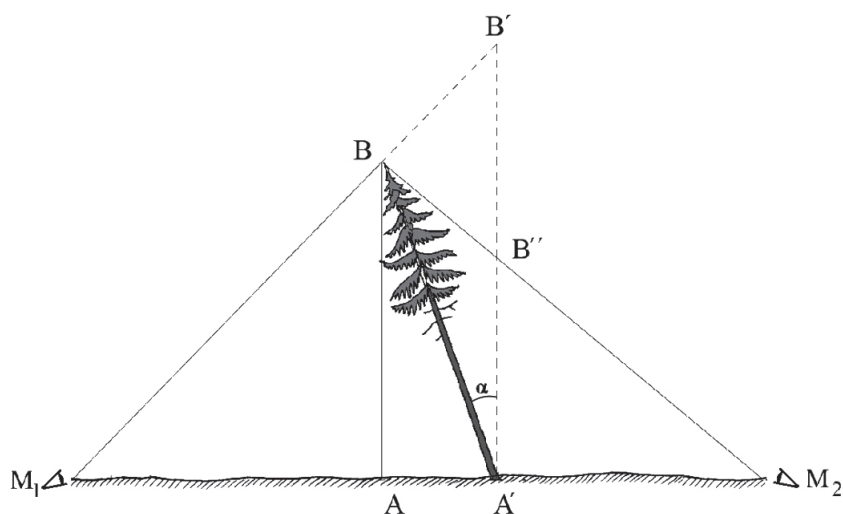
1.3.2. Augoša koka augstuma mērīšana

Koka augstums ir attālums no sakņu kakla līdz galotnes pumpuram. Vairākumā gadījumu koku sakņu kakls gandrīz sakrīt ar augsnes virskārtu un nelielo novirzi praktiski var neņemt vērā. Taču atsevišķos gadījumos, piemēram, nosusinātās platībās pēc augsnes nosēšanās, sakņu kakls var atrasties metru un vairāk virs augsnes. Mērot koka augstumu, to nedrīkst ignorēt. Ne mazāk svarīgi pareizi noteikt augšējā punkta atrašanās vietu. Vecākiem lapkokiem ar plašu un kuplu vainagu galotnes pumpuru aizsedz sānu zari. Tāpēc, neatkāpjoties pietiekami tālu no koka, tiek mērīts tā šķietamais augstums AD, kas ir lielāks par patieso CB (1.24. att.).



1.24. att. Koka augstums: h – patiesais; h_g – šķietamais; Δ_g un Δ_s – mērīšanas kļūdas galotnes pumpura un sakņu kakla nepareizas izvēles dēļ; MB un MC – patiesās vizūras; MD un MA – šķietamās vizūras

Tādējādi tiek pielaistas divas kļūdas, kas abas palielina mērījuma rezultātu. Parasti mežā koki aug vertikāli vai tikai nedaudz ieslīpi. Šī īpatnība tiek ņemta vērā, konstruējot jebkura tipa koku augstuma mērīšanas instrumentus. Ja tomēr slīpums ir ievērojams, piemēram, kā tas gadās ar vētras izšūpotiem kokiem, novirze no vertikāles var izsaukt nepieļaujami lielas kļūdas. Tāpēc, ja koks aug slīpi, jāmēra arī stumbra slīpuma leņķis. Ja to nedara, sevišķi rupjas kļūdas rodas, kad mērītājs nostājas koka sāgāzuma virzienā, turklāt, ja slīpā koka galotne ir vērsta uz mērītāju, mērījums pārsniedz patieso koka augstumu, ja no mērītāja, – efekts ir pretējs (1.25. att.).

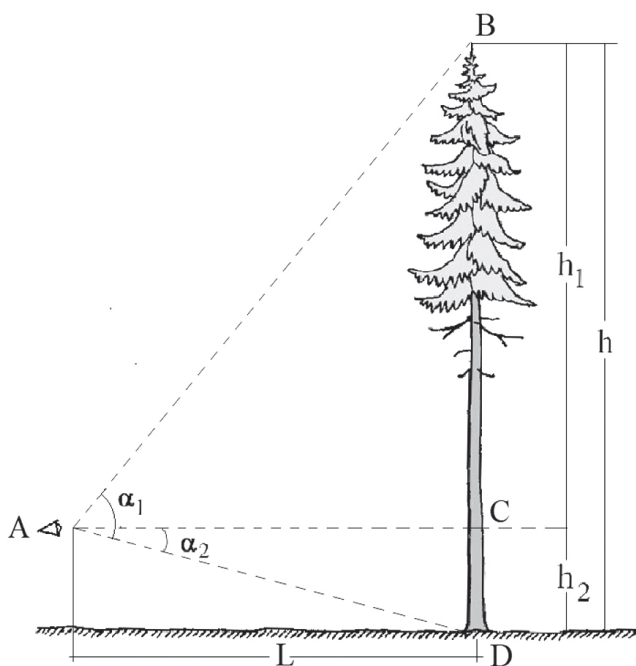


1.25. att. Slīpa koka augstuma mērīšanas kļūdas atkarībā no mērītāja atrašanās vietas (pēc Husch et al., 2003)

Šajā attēlā redzams, ka, vizējot no mērītāja stāvpunkta M_1 , koka patiesā augstuma $A'B$ vietā tiek izmērīts vertikālais attālums $A'B'$ jeb koka šķietamais augstums. Tā kā $A'B' > AB$, rodas pozitīva kļūda (pārvērtēšanas efekts). Savukārt vizējot no stāvpunkta M_2 $AB < A'B$, izsaucot negatīvu kļūdu (pārāk zema novērtējuma efekts). Abu efektu lielumu nosaka koka slīpuma (sagāzuma) leņķis α . Koka augstuma patiesā vērtība $A'B$ jāaprēķina, izmantojot trigonometrijas sakarību $AB / A'B = \cos \alpha$, no kurienes

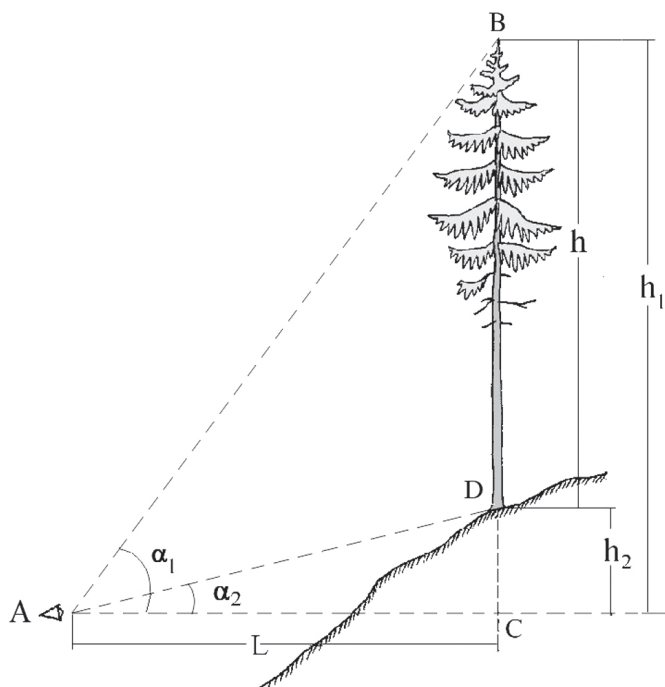
$$A'B = \frac{AB}{\cos \alpha} = AB \cdot \sec \alpha. \quad (1.111.)$$

Papildu grūtības var sagādāt koka fitocenotiskais stāvoklis, proti, lielas biežības audzēs blakus koku vainagi aizsedz mērāmā koka galotni tā, ka ar mērītāja attāluma maiņu nav iespējams uzlabot koka galotnes saskatāmību. Ne mazāk nozīmīga ir mērītāja un koka savstarpējais novietojums reljefā. Pamatā izšķir trīs situācijas: mērīšana notiek līdzenā vietā; slīpā apvidū, kur koks aug pacēlumā; slīpā apvidū, kur koks aug ielejā.



1.26. att. Koka augstuma mērīšana līdzenā vietā

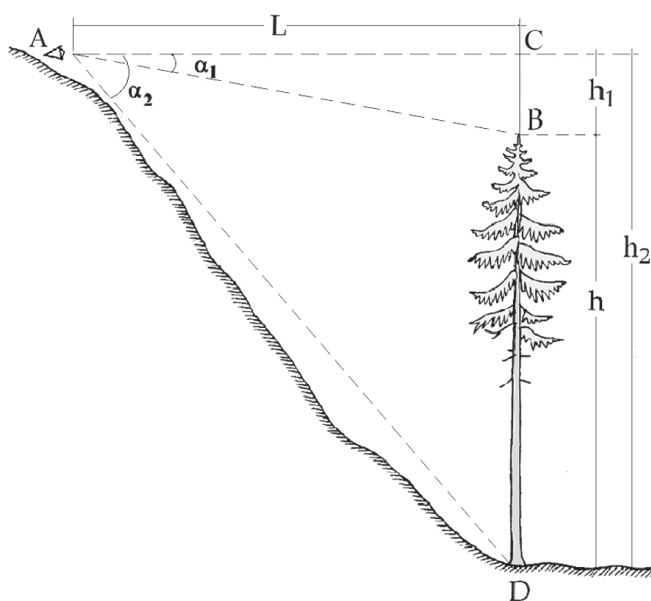
Pirmo situāciju (1.26. att.) raksturo nosacījums, ka mērītāja acs līmeņa horizontālā taisne AC šķērso koka stumbru. Koka augstums $BD = BC + CD$ jeb $h = h_1 + h_2$, tātad mērīšanas uzdevums ir noteikt h_1 un h_2 vērtības un saskaitīt tās. Savukārt vertikālos leņķus α_1 un α_2 veido horizontālā līnija AC ar vizūrām uz galotni B un sakņu kaklu D kokam, kas no mērītāja atrodas attālumā $AC = L$. Attālumu L pieņemts saukt par mērīšanas bāzi.



1.27. att. Koka augstuma mērīšana uz nogāzes

Otrajā situācijā mērāmais koks aug uz nogāzes (1.27. att.), un tā sakņu kakls atrodas virs mērītāja acu augstuma (mērītājs atrodas nogāzes lejas daļā). Principiālā atšķirība no iepriekšējās situācijas ir tā, ka šoreiz $h = h_1 - h_2$.

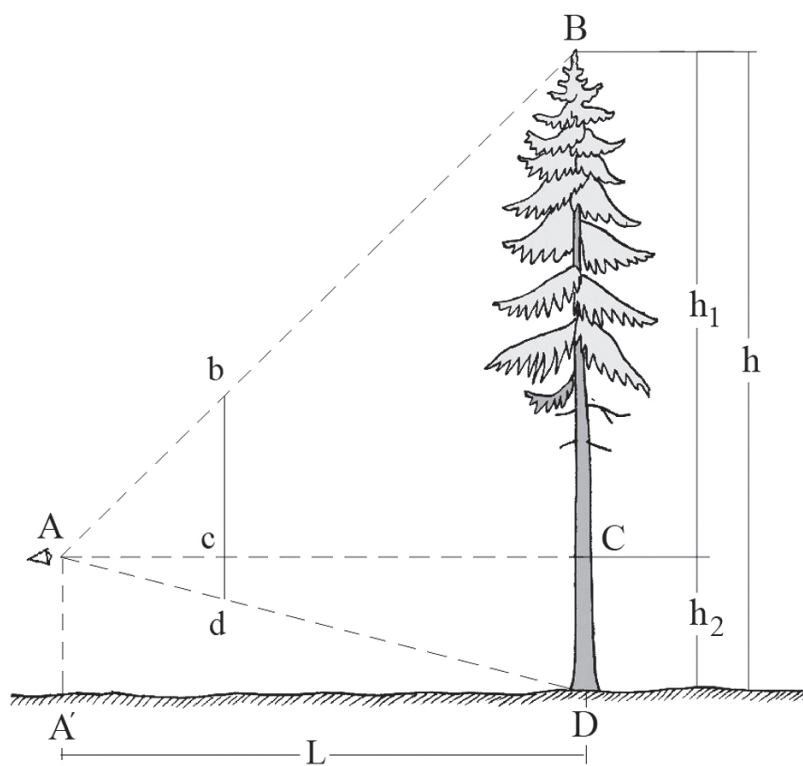
Trešajā gadījumā mērāmais koks aug ielejā (1.28. att.), un acs līmeņa taisne iet virs koka galotnes (mērītājs atrodas nogāzes augšpusē). Principiālā atšķirība tā, ka $h = h_2 - h_1$.



1.28. att. Ielejā augoša koka augstuma mērīšana

Augoša koka augstumu var mērit tieši un netieši. Tiešai mērīšanai izmanto mērvienībās iedalītas latiņas, kuras vertikāli pieliek mērāmā koka stumbram un nolasa galotnes pumpuram atbilstošo iedaļu. Šis risinājums ir ērts un precīzs, taču tikai zemu koku ($h < 5$ m) mērīšanai. Augstākiem kokiem grūtības rada pareiza latis novietošana un nolasīšana. Īpašos gadījumos pieļaujama pat rāpšanās kokā, lai tā augstumu izmērītu ar ruleti. Pastāv uzskats, ka tiešā mērīšana ir vienīgā precīzā augstuma mērīšanas metode kokiem ar plašu un noapaļotu vainagu (Philip, 1994). Parasti dod priekšroku netiešajai mērīšanai, koka augstumu izmērot ar speciālu rīku – *augstummēru* jeb *hipsometru*. Ir izstrādāts daudz ļoti dažādu augstummēru konstrukciju, kuru skaits aizvien vēl turpina papildināties. Lielās daudzveidības dēļ augstummērus klasificē, iedalot tos ģeometriskajos un trigonometriskajos augstummēros. Kopš 20. gadsimta piecdesmitajiem gadiem daļa autoru otrajā grupā izdala apakšgrupu – optiskie augstummēri (Захаров Б., 1967). Jāatzīmē gan, ka vairākus tradicionāro instrumentu ir tikai vēsturiska nozīme un tos tikpat kā vairs nelieto. Meža taksācijas praksē iecienīti ir modernie augstummēri, kas izceļas ar konstrukcijas vienkāršību un precizitāti. Tāpēc šajā grāmatā neskaitāmo vēsturisko konstrukciju izklāsts nav iekļauts, ierobežojoties tikai ar to kopējo principu skaidrojumu.

Ģeometrisko augstummēru shēma. Pirmās grupas instrumentu pamatā ir līdzīgu trīsstūru īpašību izmantošana. Vienu no līdzīgajiem trīsstūriem ABD (lielais trīsstūris, izteikts metros) veido mērāmais koks, otru – Abd (mazais trīsstūris, izteikts centimetros) (1.29. att.).



1.29. att. Ģeometrisko augstummēru kopējā shēma

Izmantojot līdzīgo trīsstūru īpašības,

$$\frac{BD}{CD} = \frac{bd}{cd},$$

no kurienes koka augstums

$$BD = \frac{CD \cdot bd}{cd}. \quad (1.112.)$$

Sakarības (1.112.) komponenti bd un cd ir jāiestrādā augstummēra konstrukcijā, vēlams, lai to vērtības būtu regulējamas. Obligāts nosacījums ir, ka vizēšanas laikā bd ir jābūt vertikālā stāvoklī. To parasti panāk, izmantojot Zemes gravitāciju, vienkāršāko konstrukciju gadījumā punktā b piesienot

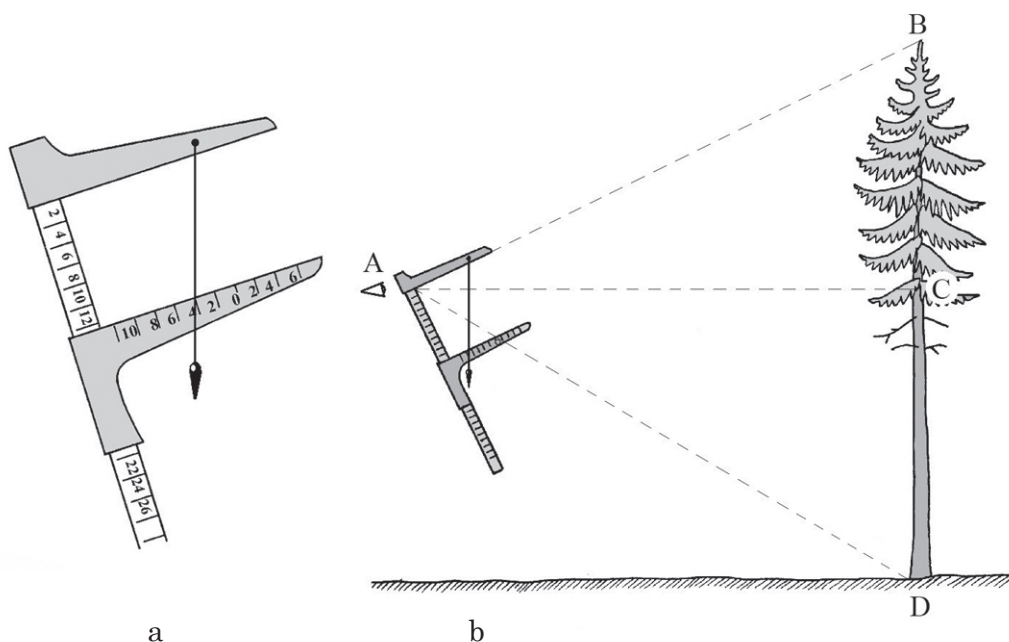
atsvaru. Punkta c stāvokli un mērījumu nolasīšanas skalu fiksē uz bd . Lielā trīsstūra komponentu CD izmēra tieši dabā.

Laika gaitā izstrādāti un lietoti daudzi un dažādi ģeometriskie augstummēri. Kā pazīstamākos var minēt J. Hosfelda, V. Veizes, F. Kleina (Klein F.), M. Faustmana (Faustmann M.) spoguļhipsometra u. c. konstrukcijas. Tā kā līdzīgo trīsstūru princips ir ļoti uzskatāms, koka augstuma mērīšanai var piemērot arī pārsteidzoši elementārus mērīšanas līdzekļus, kas atrodami katrā audzē un lietojami, kad mūsdienīgie augstummēri atstāti mājās. Turklāt jāpiezīmē, ka, neskatoties uz visu vienkāršību, pieredzējis taksators spēj nodrošināt $\pm 0,5$ m mērījumu precizitāti. Kā piemēru minēšu mežā pacelta spieķa lietošanu augstummēra kvalitātē.

Spieķis – augstummērs. Tas ir pats vienkāršākais koka augstuma mērīšanas rīks, kas ir pameža krūma vai koka taisna stumbra fragments. Spieķa garums ir 70 vai 80 cm, caurmērs – 1–2 cm. Uz tā vienādos attālumos iegriezti 10 robī, no kuriem resgaļa pirmais griezumš ir dziļāks. Koka augstumu mērot, atkāpjas no tā un, spieķi brīvi turot pirkstos, lai tas varētu ieņemt vertikālu stāvokli, to tuvina acij vai attālina no tās, kamēr vizūras AbB un AdD gar spieķa galiem ietver mērāmo koku (1.29. att.). Tad, nemainot galvas stāvokli, vizē caur resgalim tuvāko robu un ievēro vizūras AcC un koka stumbra krustošanās punktu C . Pēc tam pieiet pie koka un ar spieķi izmēra attālumu CD . Tā kā pēc konstrukcijas $bd/cd = 10$, koka augstums $h = 10 \cdot CD$. Mērīšanas noteiktību ietekmē divu nosacījumu ievērošana – galvas nemainīgs un spieķa vertikāls stāvoklis vizēšanas laikā. Nereti tiek ignorētas abas prasības un rezultātā iegūta atziņa par nepieņemami lielām kļūdām. Spieķa stateniskuma ieturēšanu var būtiski uzlabot, ja spieķa resgalim piestiprina pietiekami smagu atsvaru, kas, izpildot svērteņa funkciju, nodrošina šīs prasības izpildi.

Dastmērs – augstummērs. Dastmēru šim nolūkam izmanto diezgan bieži. Reālos apstākļos mēra ne tikai augstumu vien. Praktiski vienmēr to neiztrūkstoši pavada arī dastošana. Tas nozīmē, ka dastmērs allaž ir pie rokas un ir racionāli to izmantot kā caurmēra, tā augstuma mērīšanai. Pateicoties dastmēra lielajiem izmēriem, ar to var ērti un precīzi vizēt, arī skalu iedaļu intervāli ir lieli un labi nolasāmi. Tāpēc, nedaudz ievingrinoties, ar dastmēru var sasniegt labus rezultātus. Ir zināmi trīs paņēmieni koka augstuma mērīšanai ar dastmēru. Šeit apskatīsim vienu no tiem.

Pirms darba dastmērs nedaudz jāpielāgo (1.30. att.). Šajā nolūkā pie nekustīgā tvera iekšējās malas 35 cm attālumā no mērlīnēļa piestiprina svērteņa aukliņu. Uz kustīgā tvera pret šo punktu atzīmē nulles iedaļu, bet uz abām pusēm no tās – tāda paša lieluma iedaļas kā uz mērlīnēļa.



1.30. att. Koka augstuma mērīšana ar dastmēru: a – dastmēra pielāgošana, b – mērīšanas shēma

Pirms mērīšanas kustīgo tveri atbīda bāzei AC atbilstošā attālumā. Šī iemesla dēļ ērtāk lietot dastmēru ar parasto skalu. Vizē gar nekustīgā tvera iekšējo malu un pēc svērteņa nomierināšanās

rezultātu nolasa uz kustīgā tvera skalas punktā, kurā to krusto svērteņa aukla. Vispirms vizē uz koka galotni, pēc tam uz tā sakņu kaklu un kā parasti, atkarībā no koka situācijas reljefā, nolases summē vai atskaita. Šī paņēmiena neērtība ir kustīgā tvera graduēšana un svērteņa lietošana.

Jāatceras, ka visos gadījumos, kur mērīšanas bāze ir horizontālais attālums no mērītāja līdz kokam, slīpais attālums, kas mērīts uz nogāzes ar slīpuma leņķi $\beta > 10^\circ$, mērīšanas bāzes iegūšanai slīpais attālums ir jāreducē, pareizinot to ar $\cos \beta$.

Trigonometrisko augstummēru shēma. Šīs grupas augstummēru uzbūves un lietošanas pamatā ir trigonometriskās likumsakarības. Dažkārt ir grūti izšķirties, kurai grupai dots augstummērs piešķaitāms. Tā, piemēram, pēc vienu autoru domām, Blūma–Leisa (Blume–Leiss) augstummērs pieder ģeometriskajiem, pēc citu pārliecības – trigonometriskajiem augstummēriem. Domstarpību iemesls ir tas, ka šo augstummēru iespējams graduēt, izmantojot gan līdzīgu trīsstūru malu attiecības, gan vizēšanas vertikālo leņķu α_1 un α_2 trigonometriskās funkcijas. Galvenā atšķirība ir tā, ka ar trigonometriskajiem augstummēriem mēra vertikālos leņķus α_1 un α_2 un pēc tiem un bāzes attāluma AC aprēķina h_1 un h_2 (1.26. att.). Redzams, ka

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{BC}{AC},$$

no kurienes

$$BC = h_1 = AC \cdot \operatorname{tg} \alpha_1. \quad (1.113.)$$

Līdzīgi

$$CD = h_2 = AC \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 \quad (1.114.)$$

un atkarībā no koka situācijas reljefā (1.26. att.), (1.27. att.) un (1.28. att.):

$$h = AC(\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) \quad (1.115.)$$

$$h = AC(\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2) \quad (1.116.)$$

vai

$$h = AC(\operatorname{tg} \alpha_2 - \operatorname{tg} \alpha_1). \quad (1.117.)$$

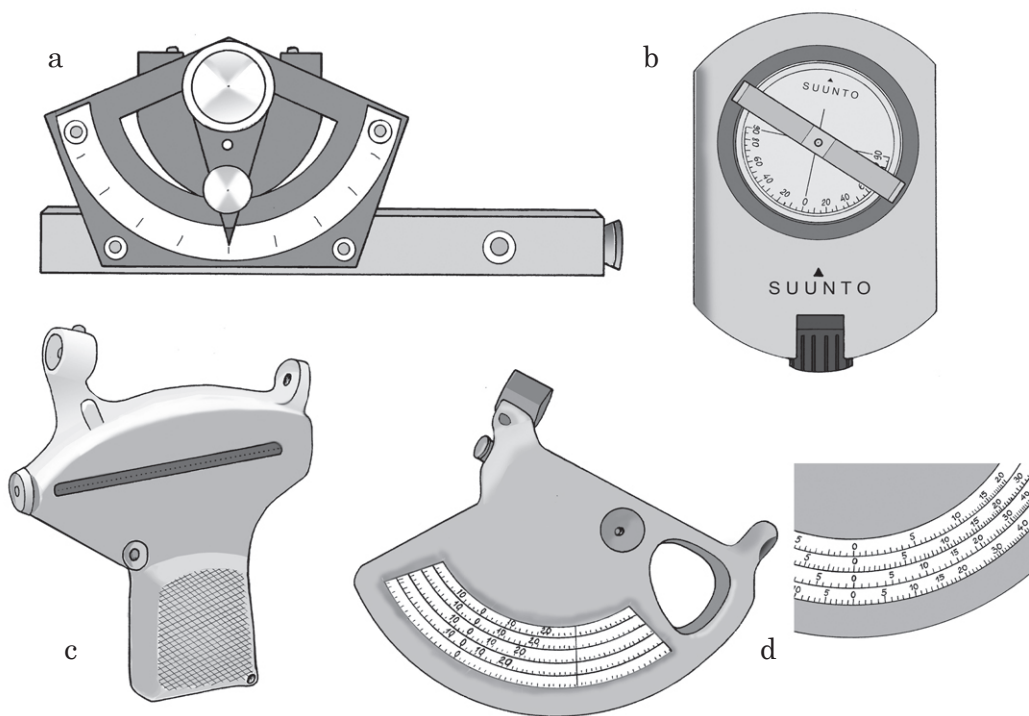
Kaut arī trigonometriskās formulas (1.115.), (1.116.) un (1.117.) ir ļoti vienkāršas, ērtāk tomēr augstumu nolasīt tieši uz skalas. Tāpēc vairākumam šīs grupas instrumentu ir vairākas skalas. Viena no tām uzrāda vertikālo leņķu vērtības, izteiktas grādos, pārējās atbilstoši bāzes attālumam – metros. Trigonometriskajiem augstummēriem pieder: *Haga*, *Metra*, *Blume-Leiss* altimetri, *Suunto* klinometrs u. c. (Husch et al., 2003). Nereti vertikālos leņķus mēra arī ar attiecīgiem ģeodēziskajiem instrumentiem, mazo izmēru un darba ērtību dēļ biežāk izvēloties *eklimetru* (1.31. att.).

Eklimetrs (1.31. att., a). Tas ir visā pasaulē plaši lietots instruments nogāžu slīpuma leņķu un koka augstuma mērīšanai.

Pazīstamas dažādas konstrukcijas. Instruments sastāv no vizējamās caurulītes un graduēta loka, kas savienoti tā, ka horizontālai vizūrai atbilst nulles vērtība uz visām eklimetra skalām. Tās ir vismaz divas – viena ir graduēta grādos no 0° līdz 90° un otra procentos. Lai varētu mērīt vertikālos leņķus kā virs, tā zem acu augstuma līmeņa, skalas ir graduētas uz abām pusēm no nulles atzīmes. Jaunākās konstrukcijas eklimetri ir apgādāti ar līmeņrādi. Rezultāta nolasīšanas brīdī tam jāatrodas horizontālā stāvoklī un, ja instruments nav bojāts, nolasīšanas indeksam – skalu nulles punktā.

Suunto klinometrs (1.31. att., b). Ļoti populārs un plaši izplatīts instruments, parocīgs darbam mežā. Ražo Somijā. Daudzas reizes uzlabots. Kustīgās daļas iestrādātas kapsulā ar viskozu šķidrumu, kas vizēšanas laikā slāpē skalu svārstības, tādējādi būtiski uzlabojot nolašu ātrumu un precizitāti. Instrumentam ir vairākas skalas, kas pieļauj izvēli mērīšanas rezultātu nolasīt metros, grādos vai procentos.

Haga altimetrs (1.31. att., c). Vizēšanai ērtāks nekā *Suunto* klinometrs, jo attālums starp acs un priekšmeta dioptriem ir garāks. Arī šajā konstrukcijā īstenota svērteņa bremsēšanas ideja, kas paātrina rezultātu nolasīšanu. Instrumentam ir vairākas skalas, no kurām viena ir procentu skala, un pārējās domātas augstuma nolasīšanai. Iespējams izmantot 15, 20, 25 un 30 m bāzes attālumus. Katram no tiem ir atsevišķa skala, kas redzama instrumenta sānos un ir iestādāma pirms mērīšanas, pagriežot slēdzi zem priekšmeta dioptra. Zem skalas atrodas aretēšanas un rezultāta fiksēšanas pogas. Ar pirmo



1.31. att. Trigonometrisko augstummēru piemēri: *a* – eklimetrs, *b* – klinometrs *Suunto*, *c* – altimetrs *Haga*, *d* – altimetrs *Blume-Leiss* (pēc Husch et al., 2003)

augstummēru ieslēdz vizēšanai, ar otro – pēc vizēšanas piefiksē nolasīšanas indeksu, kas būtiski uzlabo rezultāta nolasīšanu. Parasti altimetram ir piekārtots skatu meklētājs, kas atvieglo vizēšanas punkta atrašanu vizūras līnijā. Sevišķi nozīmīgi tas ir, ja mērāmā koka galotne atrodas vainagu klājā.

Blume-Leiss altimetrs (1.31. att., *d*). Neskatoties uz atšķirīgo ārējo izskatu, pēc konstrukcijas un lietošanas tas ir līdzīgs altimetram *Haga*. Instrumentam ir četras metriskās skalas (atbilstoši 15, 20, 30 un 40 m bāzēm) augstuma un piektā – nogāzes slīpuma leņķu mērīšanai. Iespējama arī skatu meklētāja pievienošana. Ražo Vācijā. Darbā ļoti parocīgs, jo ir neliels, viegls, un visas kustīgās detaļas ir iekļautas vieglmetāla korpusā, kas pieļauj darbu mežā pat sliktos laika apstākļos. Vizūras līniju nodrošina acs un priekšmeta dioptri. Zem priekšmeta dioptra atrodas slēdzis, kura nospiešana fiksē svērteņa stāvokli. Augstummēra apakšējā daļā ir redzamas visas piecas skalas un nolasīšanas indekss tievas šautriņas veidā. Ja vizūra ir horizontāla, visu skalu nulles iedaļas atrodas pret nolasīšanas indeksu. Instrumenta otrajā pusē ir korekcijas koeficientu tabula, kas lietojama nelīdzēnā apvidū, lai izslēgtu nogāzes slīpuma leņķa ietekmi, ja tas ir lielāks par 10° . Šajā gadījumā patieso augstuma vērtību iegūst, nolasīto augstumu sareizinot ar korekcijas koeficientu.

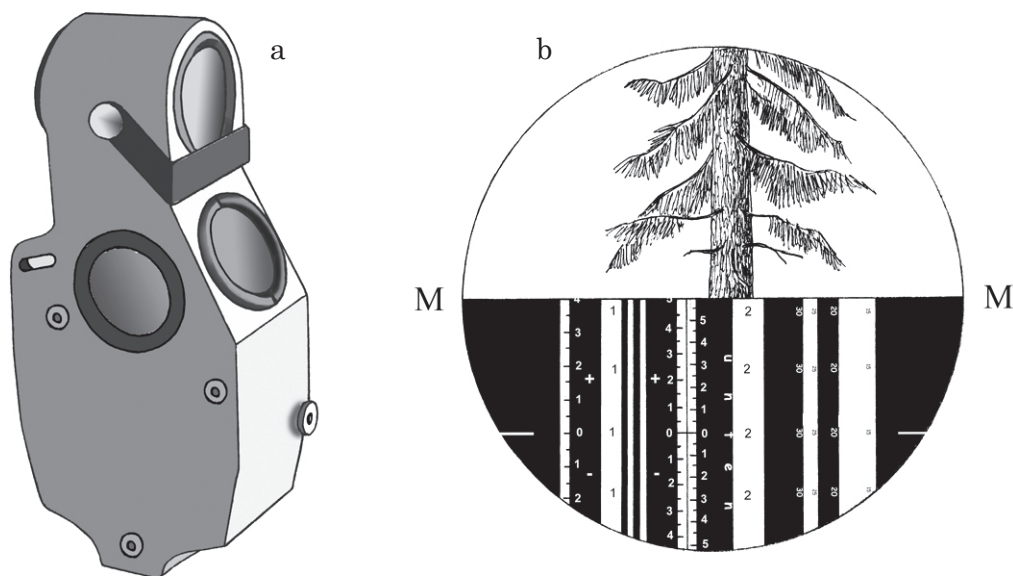
Bāzes attāluma mērīšanai lieto tālmēru un speciālu saliekamo latu. Tā ir 7–8 cm plata melna lata, uz kuras noteiktos attālumos iekrāsoti pieci balti četrstūri. Katrā no tiem ierakstīts skaitlis, kura vērtība virzienā no augšas uz leju palielinās: 0; 15; 20; 30 un 40. Bāzes attālumu nosaka šādi. Latu vertikāli piestiprina mērāmā koka stumbram tā, lai nulles atzīme atrastos apmēram taksatora acu augstumā. Pēc tam no attāluma, kas aptuveni vienāds ar izraudzīto bāzi, skatās caur tālmēra lodziņu un, dažus soļus atkāpjoties vai tuvojoties kokam, panāk stāvokli, kad lates nulles un izvēlētais bāzes uzraksts saplūst. Šāds stāvoklis norāda, ka attālums no taksatora līdz latai ir vienāds ar bāzes vērtību. Lai uzlabotu lates saskatāmību tālmērā, augstummēru vēlams nedaudz grozīt ap tālmēra asi.

Pastāv uzskats, ka trigonometriskie augstummēri ir precīzāki par ģeometriskajiem. Šeit aprakstīto hipsometru noteiktība ir līdzīga, atsevišķa mērījuma kļūdai nepārsniedzot 0,5 m.

Optiskie augstummēri. Šo augstummēru konstrukcijā izmantotas optiskās likumsakarības par dažādu lēcu gaismas staru laušanas īpatnībām. Instrumenti ir nelieli, viegli un parocīgi darbā, taču salīdzinājumā ar iepriekš aprakstītajiem augstummēriem – relatīvi dārgi.

V. Biterliha (Bitterlich V.) *spoguļrelaskops* (1.32. att., *a*). Konstruēts 1949. g. Austrijā. Spoguļrelaskops (turpmāk – relaskops) ir portatīvs universāls meža taksācijas instruments, ar kuru var mērīt

dažādu koka un audzes taksācijas rādītājus. Sākotnēji tie bija: koka augstums un caurmērs jebkurā attālumā no sakņu kakla, audzes šķērslaukums, nogāzes slīpums un horizontālais attālums. Ar laiku palielinājies arī izmantošanas veidu skaits. Šeit relaskopu aplūkosim tikai kā augstummēru, daļu pārējo tā lietošanas iespēju iztirzāsim citās grāmatas vietās.



1.32. att. Spoguļrelaskops: *a* – ārējais izskats; *b* – redzeslauks

Laika gaitā relaskopa konstrukcija ir daudzkārt atkārtoti uzlabota. Tāpēc lietošanā sastopami nedaudz atšķirīgi varianti. Ikvienu no tiem var lietot divējādi – turot rokā vai arī kopā ar trijkāji gadījumos, kad jāveic sevišķi rūpīgi mērījumi. Tāpēc tā apakšējā skaldnē ir izveidots vītņots caurums relaskopa uzskrūvēšanai uz trijkāja. Vizēšanai uz novērojamo punktu kalpo acs un priekšmeta dioptri, kas apaļu lodziņu veidā redzami instrumenta augšējā daļā. Priekšmeta dioptram pierīkota metāla plāksnīte, kas paredzēta relaskopa mērīšanas skalu izgaismojuma regulēšanai. Šim nolūkam kalpo vēl trīs līdzīga izmēra un izskata lodziņi, kas iestrādāti relaskopa abās sānu un priekšpusēs skaldnēs tieši zem priekšmeta dioptra. Priekšējā skaldnē ierīkots arī aretēšanas slēdzis, kuru nospiežot atbrīvojas instrumenta nedaudz paplašinātajā apakšējā daļā iestiprinātais lokveida svārstis, kas smaguma spēka ietekmē ieņem vajadzīgo stāvokli neatkarīgi no vizūras līnijas slīpuma. Uz svārsta sāniem attēlotas skalas un dažāda platuma joslas, kas kalpo dažādu taksācijas rādītāju nolasīšanai.

Ieskatoties acs dioptrā, redzams relaskopa redzes lauks. Tā forma ir aplis. Horizontālais diametrs to dala augšējā un apakšējā daļā. Pirmajā redzams mērīšanas objekts, tādējādi būtiski atvieglojot tā atrašanu un uzlabojot vizēšanas precizitāti. Vienlaikus šī taisne *MM* (1.32. att., *b*) norāda rezultātu nolasīšanas līmeni. Redzes lauka apakšējo daļu aizņem skalu un dažāda platuma joslu sistēma. Parasti koka augstuma mērīšanai domātas skalas, kas pamācībā apzīmētas ar 1, 4 un 5. Katra skala lietojama tai paredzētajai bāzei (horizontālajam attālumam līdz mērāmajam kokam): skalai 1 tā ir 20 m, skalai 4 – 25 m un skalai 5 – 30 m. Ja jālieto bāzes garums 15 m, lieto 30 m skalu, iegūto nolasi dalot ar 2. Savukārt horizontālā attāluma mērīšanai izmantojamas joslas 7 un 8. Pārējās joslas attiecas uz caurmēra un šķērslaukuma mērīšanu.

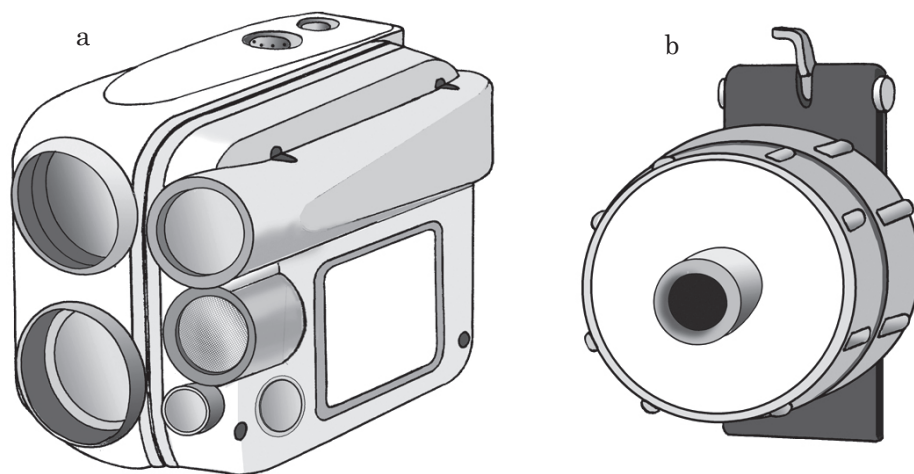
Koka augstuma mērīšanas procedūra ir parasta: jāizvēlas mērīšanas bāze, jānostājas bāzes attālumā no mērāmā koka un jāvizē uz galotni un sakņu kaklu. Vajadzīgos skaitļus nolasa no attiecīgās bāzes augstuma skalas un redzes lauka līnijas krustpunkta. Artikulētā reljefā nogāzes slīpuma korekcija automātiski iekļauta nolāsē.

Ja bāzes attālumu mēra ar relaskopu, jālieto relaskopa komplektā esošā 2 m garā lente, kuras galos un vidū iekrāsotas svītras. Lente jāpiestiprina vertikāli mērāmā koka stumbram un jāatiet no tā apmēram izvēlētajās bāzes attālumā. No šī stāvokļa vizē uz lentes vidusdaļas atzīmi un, tuvojoties un attālinoties no mērāmā koka, panāk stāvokli, kur instrumenta redzes laukā horizontālā līnija *MM* sakrīt ar šo atzīmi. Pēc aretēšanas slēdža nospiešanas relaskopu sagriež horizontāli tā, lai redzes lauka labajā pusē būtu redzamas horizontālas skalas un joslas. Vienai no joslām (parasti divnieku) ir uzraksts

unter. Šīs joslas apakšējo malu saskaņo ar divmetrīgās lentes apakšējo atzīmi un pēc lentes augšējās atzīmes nolasa attālumu līdz kokam.

Jāatzīmē, ka skalu un joslu izvietojums, kā arī mērīšanas procedūra cita varianta relaskopam var izrādīties atšķirīga. Tādēļ pēc instrumenta iegādes rūpīga iepazīšanās ar pamācību jāpieņem par obligātu.

Vertex Laser (1.33. att.). Tas ir instruments (turpmāk – verteks), kas lietojams precīzai koku augstuma, horizontālo attālumu un leņķu mērīšanai. Ražo Zviedrijas firma *HAGLÖF*.



1.33. att. *Vertex Laser VL402*

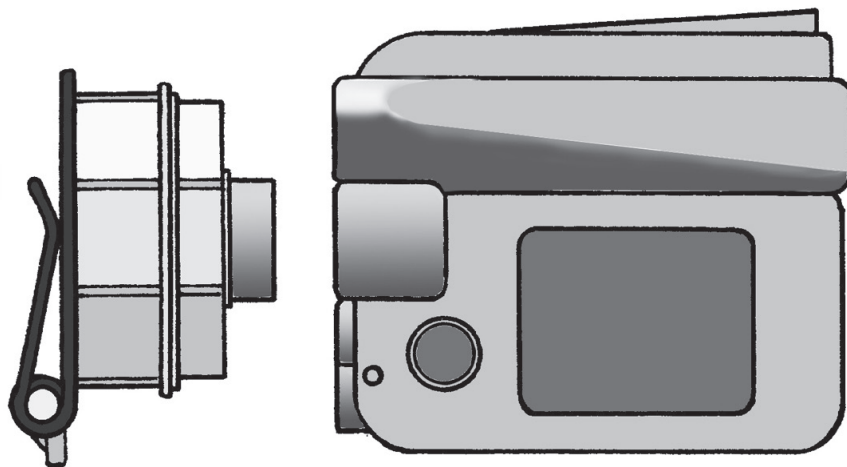
Izstrādātas vairākas modifikācijas, kas apvieno lāzera un ultraskaņas tehnoloģijas. Minētos mērījumus var īstenot kā ar vienu, tā otru. Pirmā vairāk piemērota garāku attālumu mērīšanai atklātā apvidū, otrā domāta īsākiem attālumiem, turklāt neatkarīgi no apauguma blīvuma. Tas izskaidrojams ar instrumenta izstarotā signāla atstarošanās īpatnībām. Lāzera signāls atstarojas no mazākā ceļā sastaptā šķēršļa. Meža apstākļos ir grūti vai pat neiespējami nodrošināt, lai vizūra uz koka galotni vai sakņu kaklu būtu brīva no veģetācijas. Jo īpaši sacītais attiecas uz audzēm ar izteiktu paaugu un pamežu. Turpretī ultraskaņu šis apstāklis netraucē. To atstaro *transponders* jeb reflektors (1.33. att., *b*), kuru pirms mērīšanas piestiprina pie koka, parasti acu vai 1,3 m augstumā. Pēc laika, ko ultraskaņas impulss pavada ceļā līdz transponderam un atpakaļ, tiek aprēķināts attiecīgais attālums. Mērīšanas neatkarība no apauguma arī nosaka to, kāpēc mezsaimnieku vidū lielāku atzinību iemantojusi tieši ultraskaņas tehnoloģija (instrumenta pamācībā, piemēram, (*Vertex Laser II...*, 2010) kodēta ar atzīmi 2P). Taču jāatceras, ka ultraskaņas tehnoloģija nav lietojama apvidū ar ultraskaņas ģenerēšanas avotu, arī dabisko, kā tas ir, piemēram, tropiskajos mežos, kur tāds avots ir ultraskaņas emitējošās dzīvnieku sugas.

Pirms darba sākšanas vēlams ievērot sekojošu operāciju secību: instrumenta iestatīšana; transpondera aktivizēšana; kalibrēšana; mērīšanas metodes izvēle. Visas šīs darbības ir niansēti aprakstītas katra konkrētā instrumenta komplektā esošajā pamācībā. Šeit akcentēsim darbības, kas izpildāmas, instrumentu sagatavojot koka augstuma mērīšanai ultraskaņas režīmā.

Instrumenta iestatīšana. Ar šo procedūru ieregulē darba uzdevumam atbilstošus nosacījumus. Tā ir vēlama katrā gadījumā, bet jo īpaši, ja instruments ir tikko iegādāts vai arī iepriekš bijis lietots citos atšķirīgos mērījumos. Darbību secība: 1) nospiež režīma slēdzi *MODE*, ar to panākot instrumenta aktivizēšanu ultraskaņas režīmam; 2) ekrānā parādās *SETUP*, signalizējot, ka instruments gatavs iestatīšanai, to apstiprinot, nospiež slēdzi *MODE*; 3) ekrānā redzams vārds *METRIC*, nospiežot *MODE*, piekrītam strādāt ar metriskajām mērvienībām, horizontālo attālumu un koka augstumu izsakot metros; 4) atkal ar *MODE* apliecinām, ka leņķi jāmēra grādos; 5) turpinot nospiež *MODE*, ekrānā parādās uzraksts *P.OFFSET 0.3*, kas nozīmē, ka turpmākai lietošanai tiek piedāvāta instrumenta šīs konstantes vērtība 0,3; 6), tam piekrītot, atkārtoti nospiež *MODE*, kamēr ekrānā vizualizējas *TRP. HGT 1.3*, piedāvājot mērējamajam kokam transponderu piestiprināt 1,3 m augstumā (ultraskaņas režīmā šī vērtība vienmēr tiek automātiski pieskaitīta koka augstumam); 7) līdzīgi, strādājot ar *MODE*,

iestāda mērītāja acu augstumu un instrumenta konstanti *M.DIST*. Ar to arī instrumenta iestatīšana koka augstuma mērīšanai ir pabeigta.

Transpondera aktivizēšana. Darbību secība: 1) nospiežot *MODE*, ieslēdz ultraskaņas režīmu; 2) transpondera apaļo lodziņu cieši pietuvina instrumenta ultraskaņas logam (1.34. att.) un nospiež maiņas slēdzi *SHIFT*, divu īsu pīkstienu atskanēšana liecina, ka uz turpmākajām 20 minūtēm transponders ir aktivizēts. Aktivizēšanu var atsaukt, atkārtojot otro punktu.



1.34. att. Transpondera stāvoklis aktivizēšanas laikā

Kalibrēšana. Kā jau norādīts iepriekš, horizontālo attālumu aprēķina pēc ultraskaņas izplatīšanās ātruma. Tas ir atkarīgs no atmosfēras parametriem, galvenokārt temperatūras. Darba dienas gaitā tā var mainīties plašā intervālā, tādējādi iespaidojot rezultātu precizitāti. Lai to novērstu, laiku pa laiku, piemēram, reizi dienā, instruments jākalibrē. Svarīgi neaizmirst, ka pirms kalibrēšanas instruments pēc izsaiņošanas vismaz 15–20 minūtes jāpatur mērīšanas apstākļos. Darbību secība: 1) transpondera aktivizēšana un piestiprināšana kādam kokam; 2) 10 m gara horizontālā attāluma nomērīšana no transpondera; 3) šajā punktā nostājas ar instrumentu, nospiež slēdzi *MODE*, ar *SHIFT* izvēlas piedāvājumu *CALIBRATE*, caur ultraskaņas dioptru vizē uz transponderu un atkal nospiež *MODE*, uz ekrāna parādās 10.00, apliecinot, ka kalibrēšana notikusi sekmīgi; 4) vienlaicīgi nospiežot *SHIFT* un *MODE*, instruments tiek izslēgts.

Augstuma mērīšana. Pati augstuma mērīšana ar vertiksu ir vienkārša. Darbību secība: 1) aktivizēta transpondera piestiprināšana izraudzītajam kokam; 2) slēdža *MODE* nospiešana; 3) ar *SHIFT* izvēlas mērīšanas metodi 2P un to apstiprina, nospiežot *MODE*; 4) caur ultraskaņas dioptru vizē uz transponderu un nospiež *MODE*, pieturot, līdz atskan īss pīkstiens, pēc kura atlaiž *MODE* slēdzi – horizontālais attālums līdz kokam ir izmērīts; 5) vizē uz koka galotni, nospiež un pietur *MODE*, līdz atskan pīkstiens, slēdzi atlaiž. Ekrānā parādās izmērītie rādītāji un to vērtības: SD – slīpais attālums līdz galotnei, HD – horizontālais attālums līdz transponderam, DEG – vizūras leņķis (ja vizēts uz punktu zem *TRP.HGT* līmeņa, leņķis ir ar mīnus zīmi) un augstums, kurā ierēķināta *TRP.HGT* vērtība; 6) ja tam pašam kokam jā mēra vēl kāda punkta augstums (vainaga sākums, pirmā zaļā zara vai stumbra bezzarotās daļas garums u. c. rādītāji), vizē uz to, atkārtojot piektajā punktā sacīto; 7) pēc visu nepieciešamo augstumu izmērīšanas instrumentu izsēdz, vienlaicīgi nospiežot *SHIFT* un *MODE*. Tagad var pāriet pie nākamā koka mērīšanas.

Koka augstuma mērīšanas precizitāte ir atkarīga no tā, cik pareizi tiek izmērīta bāze un ievēroti vizēšanas noteikumi. Vizēšanu var būtiski uzlabot, lietojot statīvu. Ja nav pieejams trijkājis, var izmantot vienkāršu nūju, kas nogriezta turpat audzē. Dažādu augstummēru empīriskas salīdzināšanas rezultāti publicēti samērā maz. G. Kulakova dati (Захаров Б., 1967), kas iegūti, augstummēru rezultātus salīdzinot ar stumbra garumu pēc koka nociršanas, redzami 1.19. tabulā.

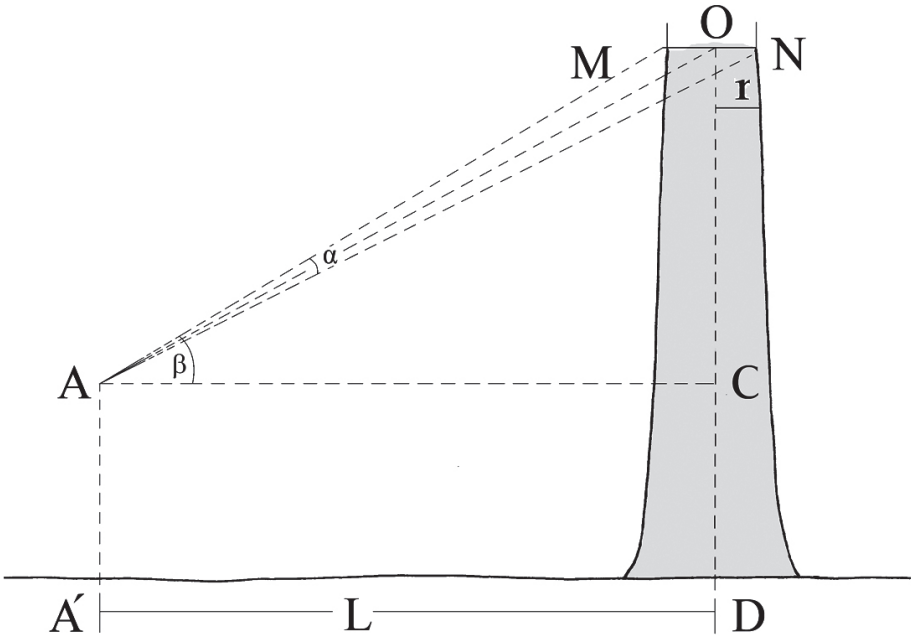
Dažu vienkāršāko augstummēru precizitāte (pēc Захаров B., 1967)

Augstummērs	Mērījumu skaits	Kļūda, %	
		sistemātiskā	vidējā kvadrātiskā
Blūme–Leiss	51	+2,0	3,2
Eklimetrs	72	−1,9	5,4
Dastmērs	51	+4,8	6,4

V. Zahārova pētījumi liecina, ka V. Biterliha spoguļrelaskopa augstummēra noteiktība ir apmēram līdzīga kā *Blume–Leiss* tipa augstummēram. Vispārīgs uzskats ir, ka augoša koka augstumu labākajā gadījumā iespējams izmērīt ar $\pm 3 - 5\%$ kļūdu.

1.3.3. Caurmēra mērīšana

Caurmēra tiešā mērīšana. Sējeņiem, stādiem, paaugas un pameža kokiem, kuru augstums nepārsniedz 1,5 m, caurmēru mēra pie stumbra pamata. Lielākiem kokiem izvēlas kādu citu jeb standarta līmeni. Vairākumā valstu, t. sk. arī Eiropas Savienībā, tas ir 1,3 m attālumā no sakņu kakla. Tas ir parocīgs dastošanai, jo atbilst vidēja auguma cilvēka krūšu augstumam (no tā arī cēlušies termini *krūšaugsstums* un *krūšaugsstuma caurmērs*). Šim augstumam ir arī citas priekšrocības, piemēram, vismaz Mērenās joslas mežos te vairs neizpaužas stumbra resgaļa pāresninājums jeb blīzums. ASV par standarta līmeni pieņemts nedaudz atšķirīgs augstums – 4.5 ft (pēdas), kas, pārrēķinot metriskajā sistēmā, ir 1,37 m. Savukārt Japānā un Korejā tas ir 1,20 m (Laar, Akča, 2007). Stumbru raukuma dēļ saskaņotam caurmēra mērīšanas augstumam ir būtiska informatīva un komerciāla nozīme. Tāpēc koki jādasto, ievērojot vispārpieņemtus nosacījumus: 1) nosusinātās platībās pieņemtajam krūšaugsstumam jāpieskaista augsnes nosēšanās tiesa; 2) uz nogāzes augošs koks jāmēra, stāvot kalna pusē; 3) koki, kas veido kopēju celmu, jādasto atkarībā no stumbru atdalīšanās vietas augstuma – ja tas ir zemāks par krūšaugsstumu, katru stumbru mēra atsevišķi, ja augstāks, tad kā vienu koku; 4) dastojot audzē, kokiem jāpieiet no dažādām pusēm; 5) visus kokus vēlams dastot divos savstarpēji stateniskos virzienos, taču, ja tas nav iespējams, vismaz divos virzienos jāredzami neregulārās formas stumbri; 6) ja stumbram krūšaugsstumā ir zari, puni vai rētas, caurmēru aprēķina kā aritmētisko vidējo no diviem mērījumiem vienādos attālos virs un zem krūšaugsstuma līmeņa.



1.35. att. Netiešās caurmēra mērīšanas princips

Caurmēra netiešā mērīšana. Dažkārt stumbra caurmērs jāmēra tādā augstumā, kas ar tiešo mērīšanu (dastošanu) nav sasniedzams. Savā laikā lietoja speciālos dastmērus, kas bija konstruēti tā, ka tverus varēja pacelt vajadzīgajā augstumā (ne vairāk kā 5–6 m), turklāt kustamo tveri darbinot ar trosīti vai auklu. Speciālie dastmēri bija smagi, neparocīgi un arī neprecīzi. Tāpēc tiem nekad nav bijusi praktiska nozīme.

Kā nākamais solis netiešās caurmēra mērīšanas attīstībā jāmin *dendrometru* izmantošana. Tie ir instrumenti, kas konstruēti tā, lai caurmēru varētu izmērīt arī lielākā augstumā. Dendrometri piemēroti arī augstuma mērīšanai, jo vienmēr ir jānosaka mērāmā caurmēra atrašanās vietas augstums. Pirmās dendrometru konstrukcijas bija neparocīgas un neprecīzas, šodien tām ir vairs tikai muzeja vērtība. Tagad lieto V. Biterliha spoguļrelaskopu vai kādu citu optisko mērierīci, piemēram, Vācijā ražoto lāzerdendrometru *LEDHA-Geo*.

Netiešās caurmēra mērīšanas pamatā ir sekojoši apsvērumi (1.35. att.).

Runa ir par divu vizūras plakņu *AMN* un *AOD* sasaisti. Pirmajā no tām leņķi α veido vizūras uz punktiem *M* un *N*, kas atrodas attālumā *OC* virs acu augstuma, un ir stumbra nosakāmā caurmēra d_h galapunkti. *ON* ir šī augstuma šķērsriezuma rādiuss *r*, kas ir arī vizūras leņķa *OAN* pretkatete. Otrajā vizūras plaknē atrodas trīsstūris *IAOC* ar vizūras leņķi β un tā piekateti *AC* jeb horizontālo attālumu *L* līdz mēramajam kokam. Abām vizūras plaknēm kopējs elements ir slīpais attālums *AO*. Tas arī nodrošina minēto sasaisti. *AO* var izteikt trigonometriski ar *AC* un leņķi β :

$$AO = \frac{AC}{\cos \beta}. \quad (1.118.)$$

Savukārt

$$ON = AO \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (1.119.)$$

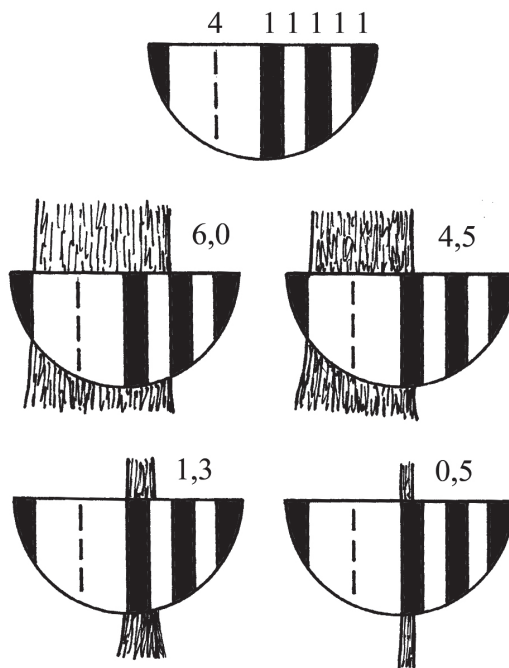
un, *AO* aizvietojot ar tā izteiksmi,

$$MN = 2ON = d_h = 2 \frac{AC}{\cos \beta} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}. \quad (1.120.)$$

Stumbra diametram d_h , salīdzinot ar bāzes attālumu *L*, ir neliela vērtība, kas būtiski ietekmē mērījuma relatīvo kļūdu. Tāpēc leņķu α un β mērījumi jāveic īpaši akurāti. Lielā mērā to var panākt, ja pirms vizēšanas mērinstrumentu nostiprina uz trijkāja.

Relaskopa lietošana. Stumbra caurmēra mērīšanai domātas relaskopa platā (vieninieku) un šaurās joslas (1.32. att., *b*). Platā josla atbilst četrām, katra šaurā josla – vienai relaskopa vienībai (RV). Šeit apskatīsim divas mērīšanas procedūras.

Pirmā no tām satur šādas darbības: 1) krūšaugstuma caurmēra *d* tieša mērīšana; 2) *d* atbilstošo RV skaita noteikšana (1.36. att.), vizējot 1,3 m augstumā virs sakņu kakla; 3) RV vērtības aprēķināšana, *d* vērtību dalot ar RV skaitu; 4) RV skaita noteikšana, vizējot vajadzīgajā augstumā; 5) d_h aprēķināšana, RV skaitu pareizinot ar tā vērtību. Ja, piemēram, koka *d* = 36 cm, ko aizsedz 6 RV, viena RV = 6 cm un d_h , kuram atbilst RV = 4,5, ir 27,0 cm.



1.36. att. RV skaita noteikšanas piemēri

Otrā procedūra paredz redzesleņķa jeb attiecības d/L izmantošanu. Kā redzams, šajā gadījumā ir jāzina precīza mērījuma bāze. Svarīgi, ka katrai joslai ir sava d/L vērtība: vieninieku joslai $d/L = 1/50$ jeb 2%; vienas šaurās joslas $d/L = 1/200$ jeb 0,5%; divu šauro joslu kopējā $d/L = 1/100$ jeb 1% un vienas desmitdaļas $d/L = 1/1000$ jeb 0,1%. Līdz ar to vienas pilnas joslas platums izsaka koka caurmēru, kas atbilst 2%, pusjoslas platums – 1% un vienas desmitdaļas platums – 0,1% no bāzes attāluma L . Mērīšanai var izvēlēties 15 m, 20 m, 25 m un 30 m bāzes attālumus. Piemēram, ja $L = 20$ m, joslas pilns platums nozīmē 40 cm, 0,1 joslas platuma – 4 cm, 1,1 joslas platuma – 44 cm utt. Lai izmērītu koka caurmēru dotajā augstumā, vizē tā, lai šī augstuma stumbra attēla kreisā mala sakristu ar joslas kreiso malu, un pie stumbra attēla labās malas ar precizitāti 0,1 nolasa RV, kuru atbilstoši L izsaka centimetros. Nolases nav jākoriģē, jebkurā mērīšanas punkta augstumā tās ir brīvas no vizūras slīpuma leņķa ietekmes.

1.3.4. Augoša koka tuvinātās stumbra tilpuma formulas

Augoša koka stumbra tilpuma aprēķināšanai var lietot jebkuru nocirsta koka stumbra tilpuma izteiksmi. Vienīgais ierobežojums ir attiecīgās izteiksmes argumentu pieejamība. Galvenokārt tas sakāms par caurmēru dažādā augstumā virs sakņu kakla. Nocirsta un atzarota koka stumbrs mērīšanai ir pieejams jebkurā tā vietā, turpretī augošam kokam – tikai stumbra resgalī vai arī pat pieņemamas saskatāmības un tehniskā nodrošinājuma apstākļos to var atļauties vienīgi izņēruma gadījumos. Tāpēc ikdienas vajadzībām, kur primārā nozīme ir rezultāta ieguves ātrumam, izstrādātas tādas tilpuma formulas, kuru lietošana neprasa ilglaicīgus un grūti īstenojamus koka taksācijas rādītāju mērījumus. Pazīstamas daudzas tuvinātās stumbra tilpuma formulas. Šeit minēsim tikai dažas no tām.

Dencina formula

$$v = \frac{d^2}{1000}, \quad (1.121.)$$

kur d ir stumbra krūšaugstuma caurmērs, izteikts centimetros, un v – stumbra tilpums kubikmetros. Šī sakarība iegūta, pieņemot, ka veidaugstums $hf = 12,74$. Tas izriet no tā, ka, caurmēru mērot centimetros un tilpumu izsakot kubikmetros,

$$v = ghf = \frac{\pi d^2 hf}{4 \cdot 100 \cdot 100},$$

un tāpēc

$$\frac{d^2}{1000} = \frac{\pi d^2 hf}{40000},$$

no kurienes $hf = 40/\pi = 12,74$. Tā kā katrai koku sugai ir atšķirīga stumbra forma, arī nosacījums $hf = 12,74$ katrai sugai īstenojas pie atšķirīgiem koku augstumiem. Tā, piemēram, priedei tas ir spēkā, ja $h = 30$ m, eglei un ozolam, ja $h = 26$ m. Par katru metru, kas pārsniedz minēto augstuma robežu, stumbra tilpums pēc formulas (1.121.) jāpalielina: priedei un eglei par 3%, ozolam par 5%. Līdzīgi par katru iztrūkstošo augstuma metru tilpums jāsamazina: priedei par 3%, eglei par 4% un ozolam par 5%.

F. Fišera formula

$$v = 40d^3, \quad (1.122.)$$

kur d izteikts metros, izvesta, pieņemot, ka $f = 0,5$ un $h = 100d$. Līdz ar to

$$v = \frac{\pi d^2}{4} 100d \cdot 0,5 = 39,27d^3 \approx 40d^3.$$

Ja $h \neq 100d$,

$$v = 40d^3k, \quad (1.123.)$$

kur korekcijas koeficients $k = h/d / 100$.

N. Dementjeva formula

$$v = d^2 \frac{h \pm k}{3}, \quad (1.124.)$$

kur d dots metros, dibinās uz atziņu, ka atbilstoši $q_2 = 0,65$ vidēji $f = 0,425$. Stumbriem ar $q_2 \neq 0,65$ nepieciešama augstuma korekcija k . Par katru 0,05 lielu formas koeficienta novirzi no 0,65 $k = \pm 3$. Korekciju pieskaita, ja $q_2 > 0,65$, un atskaita, ja $q_2 < 0,65$. Tā, ja $q_2 = 0,75$, $k = +6$, ja $q_2 = 0,60$, $k = -3$.

N. Anučina formula

$$v = d^2 (0,31h + a), \quad (1.125.)$$

kur priedei, lapeglei, bērzam, apsei un melnalksnim $\alpha = 1$; eglei, balteglei, ciedram, dižskābardim, ozolam un osim $\alpha = 1,4$. Formulā (1.125.) d izteikts metros, tā pamatojas uz atziņu par sakarības $hf = f(h)$ linearitāti. Pēc N. Anučina,

$$hf = k(h + 3), \quad (1.126.)$$

kur pirmās grupas koku sugām $k = 0,40$, bet otrās grupas sugām $k = 0,42$. Tāpēc pirmajai grupai $hf = 10$, ja $h = 22$ m, bet otrajai grupai $hf = 10,08$, ja $h = 21$ m (šīs h vērtības formulas autors sauc par bāzes augstumiem). Tā kā $v = ghf$, $v = 10\pi d^2 / 4 = 7,85d^2$. Apzīmējot bāzes augstumus ar h_b , iegūst secinājumu, ka, koka augstumam izmainoties par 1 m, tā stumbra tilpums izmainās par $\Delta v = kg(h - h_b)$. Līdz ar to

$$v = 7,85d^2 + \frac{k\pi d^2}{4}(h - h_b) = d^2 \left(7,85 + \frac{k\pi}{4}(h - h_b) \right)$$

jeb pirmās grupas koku sugām

$$v = d^2 (0,31h + 1,0) \quad (1.127.)$$

un otrās grupas sugām

$$v = d^2 (0,33h + 0,93). \quad (1.128.)$$

Kopš īstenojušās iespējas augoša koka stumbra caurmēru izmērīt dažādā augstumā, stumbra tilpuma noteikšanai kļuvušas izmantojamas arī tās formulas, kuras pirms tam varēja lietot vienīgi no-cirsta koka vērtēšanai. Galvenokārt sacītais attiecas uz vienkāršajām formulām, kuru argumentos nav stumbra augšdaļas caurmēri, kas parasti ir aizsegti ar zariem un nav izmērāmi. Atsevišķos gadījumos var lietot pat sekciju formulas. Taču nedrīkst aizmirst, ka ikviens papildmērījums ir saistīts ar kļūdu un darba apjoma palielināšanos. Tāpēc ir jāorientējas uz tām formulām, kas tilpumu izsaka kā divu argumentu – koka augstuma un krūšaugstuma caurmēra funkciju.

1.3.5. Stumbru tilpuma tabulas

Šajās tabulās labi pārskatāmā veidā apkopota informācija par stumbru tilpumu atkarībā no empī-riski nosakāmu koku parametriem (augstums, krūšaugstuma caurmērs) un īpašībām (stumbra forma) jeb tabulu argumentiem. Tabulas sakārtotas argumentu palielināšanās virzienā, tāpēc ir ērtas ātrai atšķirīgu stumbru tilpuma vērtību nolasīšanai. Tieši šī iemesla dēļ jau 1804. gadā Vācijā G. L. Hartigs sastādīja pirmās *stumbru tilpuma tabulas*. Jau ilgāk nekā divus gadsimtus mežsaimniecībā tilpuma tabulas ir bijušas un vēl šodien ir efektīvs darba instruments. Protams, praktiskā vajadzība pēc tabulām samazinās proporcionāli meža likumsakarību izziņāībai, to aprakstīšanai matemātisku modeļu un datorprogrammu veidā. Taču, neskatoties uz to, tabulu informatīvā nozīme joprojām nav zudusi un, domājams, pastāvēs arī turpmāk. Vēl jo vairāk, meža taksācijas tabulu izziņas vērtība saglabāsies arī turpmāk, jo daudzskaitlīgais empīriskais materiāls, kas izmantots to sastādīšanā, ir rūpīgi ievākts, grafiski izlīdzināts un joprojām satur todienu likumsakarības starp tabulu parametriem, kas līdz šodienai varētu būt mainījušās. Tāpēc tabulu izpēte ar modernām metodēm varētu sniegt jaunas atziņas. Pārpratumu novēršanai jāatzīmē, ka ilgu laiku stumbru tilpuma tabulas sauca par *masas tabulām*, kas

šodienas skatījumā skan nepareizi, jo šajās tabulās rezultātu nolasa tilpuma (parasti izteiktu kubikmetros), nevis masas vienībās. Turklāt līdzīgas uzbūves tabulas varētu sastādīt par koku biomasu, kuras patiesi būtu vietā saukt par masas tabulām.

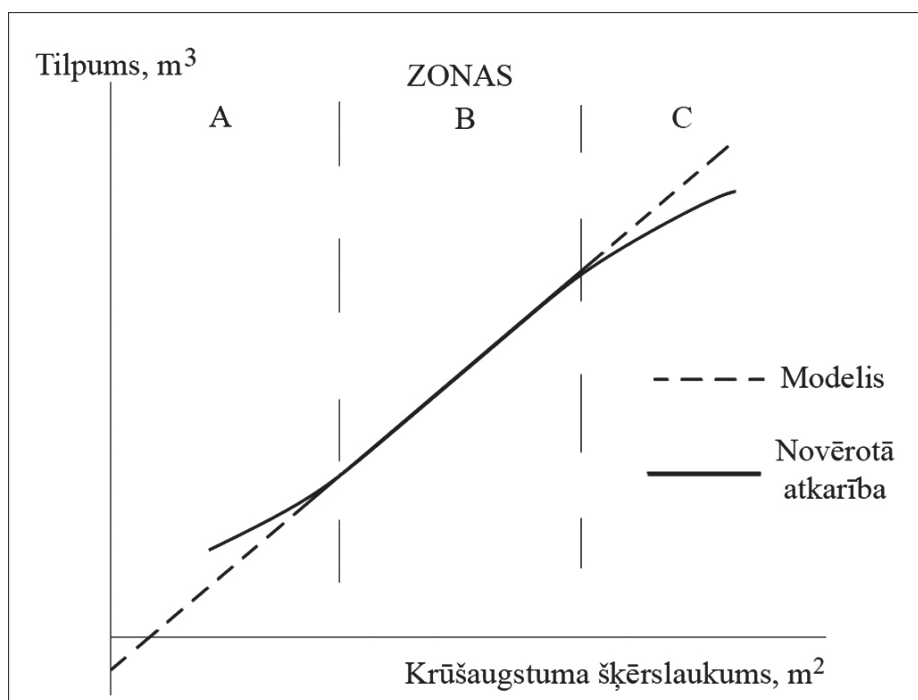
Kopš tilpuma tabulu sastādīšanas pirmsākumiem dažādās valstīs un praktiski visām saimnieciski nozīmīgām koku sugām izdots bagātīgs un daudzveidīgs stumbru tilpuma tabulu klāsts. Tās galvenokārt atšķiras pēc to reģionalitātes, argumentu skaita, sastādīšanas metodikas un uzbūves. Pēc reģionalitātes izšķir *vietējās* jeb *lokālās* un *vispārīgās* stumbru tilpuma tabulas. Pirmās izstrādātas uz kādā noteiktā ģeogrāfiskā reģionā ievāktu datu pamata, un tāpēc tās lietojamas tikai šīs teritorijas robežās. Jāatzīmē, ka ASV ar terminu lokālās tabulas saprot tādas, kurās tilpuma vērtības nolasāmas tikai kā viena argumenta, piemēram, krūšaugstuma, caurmēra funkcija (Husch et al., 2003). Vispārīgās tabulas aptver visu dotās koku sugas areālu vai tā attiecīgās valsts daļu. Tāpēc tās dibinās uz plašāku novērojumu materiālu, kas raksturo sugas īpatnības visā teritorijā. Pēdējo gadu desmitu pētījumi apstiprinājuši, ka pat ļoti lielu reģionu (piemēram, Vācija, Krievijas Eiropas daļa) tabulas uzrāda labu atbilstību, kas liecina par stumbru veidošanās kopējām likumsakarībām.

Argumentu skaits raksturo tabulu diferencētību. Pazīstamas viena, divu un trīs argumentu stumbru tilpuma tabulas. Argumentu skaita palielināšana skaidrojama ar vēlmi padarīt tabulas atbilstošākas un precīzākas. Taču bieži vien tas nav attaisnojies, bet padarījis tabulas neērtākas lietošanai. Vienargumenta tabulās stumbra tilpums visbiežāk izteikts lineāri kā koka krūšaugstuma šķērslaukuma g vai šī caurmēra kvadrāta d^2 funkcija, proti,

$$v = a + bg, \quad (1.129.)$$

$$v = a + bd^2. \quad (1.130.)$$

Abas funkcijas ir ļoti vienkāršas, taču pētījumi liecina, ka mazo un arī lielo izmēru kokiem raksturīga nobīde no linearitātes (1.37. att.), kas nenoliedzami ierobežo šo funkciju lietošanu.



1.37. att. Stumbra tilpums kā krūšaugstuma šķērslaukuma funkcija (pēc Philip, 1994)

Tievajiem kokiem tās stumbru tilpumu uzrāda mazāku un resnajiem kokiem – lielāku, nekā tas ir patiesībā. Kā alternatīvs modelis tiek piedāvāta pakāpes funkcija

$$v = ad^b, \quad (1.131.)$$

kas daudzu autoru darbos atzīta par nevainojamu.

Divu argumentu funkcijās kā neatkarīgos mainīgos visbiežāk izmanto koka augstumu un krūšaugstuma caurmēru, lietojot tos kā patstāvīgus vai arī saliktus, piemēram, d^2h argumentus.

Iecienītākās tilpuma tabulu funkcijas (Husch et al., 2003; Philip, 1994) parasti ir ļoti vienkāršas, elastīgas un risināmas ar mazāko kvadrātu metodi. Atzīmēsim dažas no tām.

$$v = ad^2h, \quad (1.132.)$$

$$v = ad^b h^c, \quad (1.133.)$$

$$v = a + b(d^2h), \quad (1.134.)$$

$$v = \frac{d^2}{a + bh^{-1}}. \quad (1.135.)$$

Pēdējā laikā gan parādās arī krietni sarežģītākas konstrukcijas modeļi, taču nereti to sarežģītības pakāpe nav proporcionāla to spējai aprakstīt tabulās esošās likumsakarības. Tādos gadījumos, protams, prioritāte atvēlams vienkāršākajām matemātiskajām funkcijām.

Trīs argumentu funkcijās to autori centušies ietvert stumbra formas rādītājus. Kā piemērs var kalpot izteiksme:

$$v = a + bd^2 + cq_2. \quad (1.136.)$$

Pēc tilpuma tabulu sastādīšanas metodikas izdala divas grupas. Pie pirmās grupas pieskaita tabulas, kuru vērtības aprēķinātas pēc augošu koku stumbru tilpuma pazīstamākās pamatsakarības (1.43.) un tātad ir saistītas ar veidskaitļu izmantošanu. Otrās grupas tabulas sastādītas, apejot veidskaitļu teoriju, kas pēdējās desmitgadēs tiek kritizēta kā novecojusi un smagnēja. Kritika izriet no tā, ka, pateicoties modernajām informācijas apstrādes iespējām, stumbra tilpumu iespējams izteikt kā veidules noteikto integrāli. Šis metodiskais risinājums ir elastīgāks, jo bez stumbra tilpuma ļauj ātri un ērti izskaitļot stumbra raukumu un sortimentu iznākumu. Pagaidām gan vēl veidules tieša izmantošana tilpuma tabulu sastādīšanā ir mazāk praktizēta, un tāpēc arī otrā tipa tabulas ir retāk sastopamas. Lielākais vairākums tilpuma tabulu pieder pirmajai grupai. Atkarībā no tabulu iekārtojuma izšķir trīs apakšgrupas: *Bavārijas*, *augstumšķiru* un *formas koeficienta* q_2 klašu tabulas. Pirmās divas ir orientētas pēc diviem stumbra parametriem – augstuma un krūšaugstuma caurmēra, bet pēdējās diferencētas arī pēc q_2 . Tilpuma tabulu daudzveidībā sastopamas arī tādas, kas satur papildu orientierus, piemēram, koka vecumu, vainaga garumu u. c. Dažkārt šādās tabulās uzrādītas arī zaru un mizas tilpuma vērtības, kas izteiktas procentos no stumbra tilpuma ar mizu.

Neatkarīgi no tilpuma tabulu piederības iepriekš uzskaitītajām grupām, tās sastāda pēc empīriski iegūtiem datiem. Mērījumu materiāla ievākšanai paraugkokus cērt audzēs speciāli izvēlētos raksturīgās vietās – parauglaukumos – vai arī izmanto cirsmās izstrādātus kokus. Paraugkokus cērtot, stingri ievēro zināmus nosacījumus. Kā pirmo no tiem jāmin celmu augstums h_c , kuru pieņem vienādu ar $1/3d_c$, kur d_c ir celma caurmērs. Pretējā gadījumā tabulas neatbilstu prakses vajadzībām, jo uzrādītu par celma virszemes daļas tiesu palielinātu stumbru tilpumu. Katram paraugkokam ar ruleti izmēra pirmā sausā un zaļā zara, kā arī vainaga sākuma augstumu. Pēc tam koku rūpīgi atzaro, zarus sadala frakcijās un tās frakcijas, kuru tilpumu nav paredzēts noteikt stereometriski, nosver. Tas ir nepieciešams zaru tilpuma aprēķināšanai pēc svēršanas metodes (sakarība (1.85.)). Turpmāk izmēra stumbra garumu un tā caurmērus: krūšaugstumā d , pamatgriezumā d_0 , stumbra garuma vienā ceturtdaļā $d_{1/4}$, pusē $d_{1/2}$ un trīs ceturtdaļās $d_{3/4}$, kas ir vajadzīgi formas koeficientu q_0 , q_1 , q_2 un q_3 aprēķināšanai (formula (1.16.)). Tabulu sastādīšanai katra stumbra tilpumu nosaka ar kādu no saliktajām tilpuma formulām. Tāpēc izmēra arī vajadzīgo sekciju caurmērus. Tā kā parasti lieto salikto viduslaukuma jeb salikto F. Hubera formulu (1.81.), caurmēru mēra tanīs stumbra vietās, kur iekrīt 1 m garu sekciju vidus. Visās vietās caurmēru mēra ar un bez mizas. Pēc datu ieguves aprēķina katra koka stumbra tilpumu ar un bez mizas, kā arī q_0 , q_1 , q_2 un q_3 un f vērtības, rezultātus grupē un matemātiski apstrādā atbilstoši sastādāmās tabulas veidam.

Empīriskā materiāla sadalīšana grupās ir neatņemama tabulu sastādīšanas iezīme. Tāpēc, lai arī cik plašs būtu paraugkoku skaits un lai cik rūpīgi tas būtu apstrādāts, atsevišķa stumbra tilpuma noteikšana pēc tabulām jāuzskata par aptuvenu paņēmieni. Kaut gan precizitāte palielinās līdz ar tabulas diferenciacijas pakāpes paaugstināšanos (diskrētuma samazināšanos), dažkārt noapaļošanas kļūda grupēšanas dēļ var sasniegt ievērojamu vērtību. To, protams, var samazināt interpolācijas rezultātā. Taču tā ir saistīta ar papildu skaitļošanu un tādējādi ir pretrunā ar tabulu galveno priekšrocību – praktiskumu. Šī iemesla dēļ un arī tāpēc, lai vienkāršotu datoru lietošanu, tabulas izsaka formulu jeb analītisko modeļu veidā. Šādi iegūtas I. Liepas (1.78.) un R. Ozoliņa (1.79.) formulas.

Minēto tilpuma tabulu trūkumu var ņemt vērā, ja pēc tām jānosaka stumbru kopu (audzes vai mehāniski izveidojušos stumbru daudzuma) kopējais tilpums. Šajā gadījumā grupēšanas kļūdas pakāpeniski izlīdzinās līdz ar stumbru skaita palielināšanos. Kā atzīmē N. Anučins (Анучин Н., 1977), atsevišķu audžu stumbru tilpuma noteikšanas vidējā kļūda parasti ir mazāka par $\pm 6\%$ un tikai retos gadījumos sasniedz $\pm 10\%$.

1.3.5.1. Bavārijas tipa tabulas

Šī tipa tabulas koku sugas ietvaros orientētas pēc stumbru augstuma un krūšaugstuma caurmēra. Tātad – stumbru tilpums aprēķināts atbilstoši sugas vidējai formai. Kā jau pirmās grupas tabulas, tās sastādītas, izmantojot krūšaugstuma veidskaitli.

Šajā nolūkā pēc F. Hubera vienkāršās viduslaukuma formulas (1.58.) aprēķināts katra paraugkoka stumbra tilpums un pēc izteiksmes (1.23.) – veidskaitlis. Uz tā pamata katrai koku sugai sastādīta veidskaitļa tabula, orientējot to pēc augstuma un krūšaugstuma caurmēra. Šīs tabulas skaitļus pareizinot ar attiecīgo cilindra tilpumu, iegūst stumbra tilpuma tabulas. Tabulu sastādīšanā veidskaitli lieto tāpēc, ka, salīdzinot ar stumbra tilpumu, tā dispersija ir mazāka un līdz ar to mazāks arī cērtamo paraugkoku skaits. Turklāt atkarība $hf = f(h)$ ir lineāra. Tāpēc hf vērtības var analītiski precīzi izlīdzināt, lietojot taisnes vienādojumu

$$hf = a + bh, \quad (1.137.)$$

kur koeficientus a un b aprēķina pēc mazāko kvadrātu metodes.

Bavārijas tipa tabulas lietošanai ir ērtas un tāpēc ļoti plaši izplatītas. Praktiski katrā valstī tās izmanto atsevišķu stumbru un to kopu tilpuma noteikšanai. Šeit apskatīsim dažas pazīstamākās tabulas.

Bavārijas stumbru tilpuma tabulas. Tās izdotas Vācijā 1846. gadā. Sastādītas septiņām koku sugām, izmantojot Bavārijā ievāktus 40 210 paraugkoku datus: 4280 priedes, 21 780 egles, 4500 baltegles, 3700 dižskābarži, 2870 bērzi, 2490 ozoli un 590 lapegles. Izņemot ozolu un bērzu, tabulas diferencētas arī pēc koku vecuma, izdalot divas vecuma kategorijas ar robežu 90 gadi. Priedei un lapkoku sugām tabulās uzrādīts arī par vienu collu (2,54 cm) resnāku zaru tilpums, eglei, balteglei un lapeglei – tikai stumbru tilpums. Kā norāda M. Prodans (Prodan M.), Bavārijas tabulas bija pirmās zinātniski pamatotās stumbru tilpuma tabulas. Tās lietoja ne tikai visā Vācijā, bet arī citās Rietumeiropas zemēs. Krievijā tās ieviesa 1869. gadā, pārstrādāja vecajos krievu mēros un turpināja izmantot līdz 1889. gadam. Latvijas teritorijā tās lietotas līdz pat Pirmajam pasaules karam.

Vispārīgās vācu stumbru tilpuma tabulas. Izdotas 1876. gadā. Sastādītas deviņām koku sugām pēc 71 051 paraugkoka datiem: 17 059 priedes, 22 757 egles, 5640 baltegles, 12 180 dižskābarži, 349 bērzi, 5425 ozoli, 818 lapegles, 445 melnalkšņi un 6378 melnās priedes. Tabulās uzrādīts visa stumbra un stumbra rupjkoknes daļas (caurmērs lielāks par 7 cm) tilpums. Tabulas diferencētas pēc koku sugas, koka augstuma, krūšaugstuma caurmēra un vecuma (līdz 40, 41 – 80 un vairāk par 80 gadiem). Vairākās Eiropas zemēs šīs tabulas – ar nosaukumu Grundnera un A. Švapaha tabulas – lieto vēl joprojām.

A. Krīdenera stumbru tilpuma tabulas. Sastādītas Krievijas mežkopja A. Krīdenera vadībā un izdotas laikā no 1908. gada līdz 1913. gadam. Tabulas satur 20 sējumus. Sastādītas deviņām koku sugām uz 101 600 paraugkoku datu pamata: 41 000 priedes, 26 000 egles, 14 000 bērzi, 6500 apses, 6500 ozoli, 3000 liepas, 1700 skābarži, 1500 kļavas un 1400 oši. Tabulu iedalījums ļoti detalizēts. Tās orientētas pēc septiņiem rādītājiem: koku sugas, augšanas apgabala, meža tipa, stumbru formas tipa, vecuma, stumbru krūšaugstuma caurmēra un augstuma. Kaut gan izdalīti tikai divi augšanas apgabali (Ziemeļkrievija un Dienvidkrievija), meža tipi apvienoti grupās (priedei – 5, eglei un bērzam – 4, pārējām koku sugām šis faktors nav ņemts vērā), paredzētas trīs vecuma grupas (65 – 90, 95 – 120, 125 – 150 gadi) un trīs stumbra formas kategorijas (tilpīgi koki, kas auguši biežās audzēs, vidēji raukti koki un raukti koki, kas auguši retās audzēs), praktiskām vajadzībām tabulu iekārtojums ir pārāk neparocīgs. Jāatzīmē, ka A. Krīdenera tabulas satur arī datus par raukumu un mizas biezumu dažādās stumbra vietās. Tabulas sastādītas vecajos krievu mēros – aršinās (viena aršina = 71,12 cm), versokos (1 versoks = 4,445 cm) un pēdās (1 pēda = 30,48 cm), kas būtiski samazina to praktiskumu. Lielā apjoma, pārāk detalizētā grupējuma un veco mēru dēļ A. Krīdenera tabulas praksē gandrīz nav lietotas.

Bijušās PSRS Bavārijas tipa tabulas. Publicētas 1931. gadā. Sastādītāji: priedei – D. Tovstoļess (paraugkoku skaits $n = 2716$), eglei – V. Zaharovs ($n = 4299$), bērzam un apsei – A. Tjurins (attiecīgi

$n = 998$ un $n = 478$), ozolam B. Šustovs ($n = 5542$). Šīs tabulas sastādītas katrai koku sugai pēc atšķirīgas metodikas.

Latvijas stumbru tilpuma tabulas. E. Ostvalds tās sastādīja 1921. gadā, izmantojot A. Krīdenera tabulu datus. E. Ostvalda tabulas orientētas pēc koku sugas, krūšaugsstuma caurmēra, augstuma un izlietošanas kategorijas (zāģkoki, būvkoki, malkas koki). Šīs tabulas praksē neieviesās neērtā iekārtojuma un zemās precizitātes dēļ.

Laikā no 1937. gada līdz 1940. gadam Latvijas Universitātes Meža taksācijas un ierīcības katedrā R. Markusa vadībā izstrādāja stumbru tilpuma tabulas priedei un eglei. Tās ir ļoti praktiskas, jo sugas ietvaros ir orientētas tikai pēc krūšaugsstuma caurmēra un augstuma (1.20. tab.). Izmantoto paraugkoku skaits – priedei 1581 un eglei 1135. Tabulu rūpīga pārbaude apliecinājusi to augsto atbilstību Latvijas apstākļiem. M. Markusa tabulas joprojām savu nozīmi nav zaudējušas.

Līdzīgas tabulas melnalksnim ($n = 1305$) un baltalksnim ($n = 1012$) sastādījis P. Mūrnieks. Tās publicētas 1950. gadā. Bērzam un apsei Latvijā lieto A. Tjurina, ozolam – B. Šustova un osim – F. Moisejenko stumbru tilpuma tabulas.

Latvijā sastādītas arī sīkstumbru tilpuma tabulas. Priedes un egles tabulu autori – A. Zviedris un V. Gaross tās publicējuši 1963. gadā. Priežu antropogēni atjaunotās audzēs augušu sīkstumbru tilpuma tabulas izstrādājis G. Ģērķis (1977) un egļu – J. Bisenieks (1988).

1.20. tabula

R. Markusa stumbru tilpuma tabula priedei (fragments)

Augstums, m	Krūšaugsstuma caurmērs, cm							
	18	19	20	21	22	23	24	25
20,0	0,242	0,269	0,296	0,329	0,361	0,396	0,431	0,468
20,5	0,247	0,275	0,304	0,337	0,371	0,405	0,440	0,479
21,0	0,252	0,282	0,311	0,346	0,380	0,415	0,449	0,490
21,5	0,257	0,287	0,318	0,352	0,387	0,423	0,459	0,500
22,0	0,262	0,293	0,324	0,359	0,394	0,431	0,468	0,511

1.3.5.2. Formas koeficienta klasēs diferencētas stumbru tilpuma tabulas

Stumbru tilpuma tabulu praktiskuma paaugstināšana ir saistīta ar tabulu diskretuma palielināšanu. Bavārijas tipa tabulās vienai caurmēra pakāpei atbilst līdz pat 30 augstuma gradācijas klasēm, kas apgrūtina to lietošanu. Tāpēc jau 19. gadsimta sākumā radās ideja samazināt lielo tabulu skaitu. Viena no iespējām paredzēja izveidot līdzīgām koku sugām kopīgas tilpuma tabulas, pamatojoties uz vācu mežkopja H. fon Kotta (H. von Cotta) tēzi, ka „koku tilpums ir atkarīgs no caurmēra, augstuma un formas, ja koka tilpums ir noteikts pareizi, tas ir patiens arī citiem kokiem ar tādu pašu caurmēru, augstumu un formu” (cit. Husch et al., 2003:141). Nedaudz vēlāk, tā paša gadsimta astoņdesmitajos gados Krievijā, kur notika apjomīga nocērtamā meža taksēšana, tika īstenota cita doma – grupās apvienot augstuma gradācijas klases vienas koku sugas ietvaros. Tā radās *augstumšķiras*. Katai koku sugai tika izveidots zināms skaits augstumšķiru. Ieguvums izpaudās tādējādi, ka vienas audzes kokiem noteica kopēju augstumšķiru un to stumbru tilpumu nolasīja tikai pēc krūšaugsstuma caurmēra.

Augstumšķiru tilpuma tabulu sastādīšanā izšķir sekojošus posmus: kopējās datu izkliedes zonas un augstumšķiru skaita noteikšana; katras augstumšķiras koku augstuma $h = f(d)$ konkretizēšana; atbilstošo augstuma un caurmēra kombināciju stumbru formas koeficienta q_2 , krūšaugsstuma veidskaitļa un tilpuma aprēķināšana. Kā zināms, atšķirīgā vidē augušu vienāda caurmēra koku augstums ir dažāds, citiem vārdiem, katrai caurmēra pakāpei atbilst noteikts augstuma intervāls. Ja taisnleņķu koordinātu sistēmā, kuras abscisu ass izsaka caurmēru un ordinātu ass – augstumu, atliek caurmēra pakāpju minimālos un maksimālos augstumus un caur iegūtajām punktu kopām izvelk izlīdzinošas līnijas, iegūst datu izkliedes zonu. Pareizai izkliedes zonas platuma noteikšanai ir izšķiroša nozīme. To nosaka empīriski. Pazīstami vairāki paņēmieni. Vienkāršākais no tiem ir Bavārijas tipa tabulu pārveidošana augstumšķiru tabulās. Šajā gadījumā izkliedes zona jau ir ietverta pārstrādājamajās tabulās. Koordinātu sistēmā atliek šo tabulu h un d robežvērtību kombinācijām atbilstošos punktus. Ja izkliedes zonu nosaka patstāvīgi, izmanto paraugkoku datus. Savukārt šeit iespējams dažāds

risinājums. Viens no tiem paredz palielināta skaita tādu paraugkoku izmantošanu, kas auguši galēji sliktos vai pretēji – labos apstākļos. Tāpēc koordinātu sistēmā izveidojas punktu kopa ar sablīvētām malām. Izklīdes zonu iegūst, novelkot punktu kopas augšējo un apakšējo robežu. Šādā veidā konstatēts, ka, piemēram, cērtama vecuma priežu audžu vidējās caurmēra pakāpēs (20 – 28 cm) izklīdes zonas platums ir 20 m un vairāk. Pastāv uzskats, ka šis paņēmieni nenodrošina pareizu izklīdes zonas noteikšanu, jo neiespējami pierādīt, ka izmantotie paraugkoki reprezentē pašus sliktākos un labākos augšanas apstākļus un līdz ar to pašus rauktākos un slaidākos kokus. Arī tas uzskatāms par nopietnu trūkumu, ka tilpuma tabulu sastādīšanā dabā visbiežāk sastopamās h un d kombinācijas pārstāvētas relatīvi mazāk. Tāpēc ieteikts lietot trīs standartnoviržu paņēmieni. Pēc tā atsevišķās caurmēra pakāpēs paraugkokus izvēlas randomizēti, tādējādi panākot, ka to skaita sadalījums pēc augstuma atbilst koku sadalījumam dabā. Katrai caurmēra pakāpei aprēķina vidējo augstumu un standartnovirzi. Vidējos augstumus atliek grafikā un no šiem punktiem uz augšu un leju atliek nogriežņus, kas vienādi ar trīskāršotu dotās caurmēra pakāpes standartnovirzi. Caur šo nogriežņu galapunktiem izvelk izlīdzinošas līknes, kuras pieņem par izklīdes zonas robežām. Izklīdes zonu sadalot vienāda platuma joslās, kuru skaits sakrīt ar sastādāmo tabulu augstumšķiru skaitu, iegūst augstumšķiru robežas un starp tām – attiecīgās augstumšķiras joslu. Atzīmēsim, ka labākiem augšanas apstākļiem atbilst augstāka augstumšķira. Augšanas apstākļu pasliktināšanās virzienā augstumšķiras sarindojas šādi: I, II, III, IV, V. Ja augstumšķiru skaits ir lielāks, piemēram, priedei, lieto attiecīgi I^b, I^a un V^a apzīmējumus.

Augstumšķiru skaitu nosaka, vadoties pēc izklīdes zonas platuma un praktiska apsvēruma, lai augstumšķiru difference (augstuma starpība starp augstumšķirām dotajā caurmēra pakāpē) būtu pietiekoši liela augstumšķiru identificēšanai dabā. Parasti šo diferenci pieņem vienādu ar $0,1 h$ vidējās caurmēra pakāpēs, praktiski tas ir 2 – 3 m. Tāpēc relatīvā kļūda, kas rodas konkrētā koka augstuma un tuvākās augstumšķiras augstuma nesakritības dēļ, nepārsniedz $\pm 5\%$. Izdalot izklīdes zonas platumu ar augstumšķiru diferenci, iegūst augstumšķiru skaitu. Šādi, piemēram, D. Tovstoļess priedei izdalījis astoņas, bet A. Tjurins apsei – piecas augstumšķiras.

Katrai augstumšķiras joslai izvelkot viduslīniju, iegūst attiecīgās augstumšķiras atkarības $h = f(d)$ grafisko attēlu. To sauc par *augstumlīkni* un izmanto koku augstuma nolasīšanai atkarībā no caurmēra. Augstumlīkni vēlam izteikt analītiski. Pazīstams liels skaits dažādu ieteikumu, kas atšķiras gan ar atbilstības spēju, gan analītiskās izteiksmes sarežģītību. Šeit apskatīsim dažas vienkāršas un biežāk lietotas formulas:

otrās pakāpes parabolas vienādojums

$$h = a + bd + cd^2, \quad (1.138.)$$

logaritmiskā funkcija

$$h = a + b \log d, \quad (1.139.)$$

pakāpes funkcija

$$h = a + bd^c, \quad (1.140.)$$

hiperbolu vienādojumi

$$h = a + \frac{b}{d^c}, \quad (1.141.)$$

$$h = \frac{b}{d} + \frac{c}{d^2}, \quad (1.142.)$$

$$h = a + \frac{d}{bd + c}. \quad (1.143.)$$

Formulās (1.138.) – (1.143.) koeficientus a , b un c aprēķina atbilstoši katras augstumšķiras augstumlīknei.

Tālākā augstumšķiru tilpuma tabulu sastādīšana katras augstumšķiras ietvaros notiek pēc A. Šifela metodikas, kas aprakstīta iepriekšējā apakšnodaļā.

Krievu pagaidu tilpuma tabulas. Tās tiek uzskatītas par vecākajām augstumšķiru tilpuma tabulām. Izdotas 1886. gadā un lietotas Krievijā līdz 1928. gadam. Šajās tabulās ozolam izdalītas četras, pārējām koku sugām – trīs augstumšķiras. Tās papildinātas arī ar stumbru raukuma datiem. Tabulas

izmantoja audžu stumbru kopējā tilpuma jeb krājas noteikšanai. Tās raksturotas kā vāji atbilstošas. Piemēram, labos apstākļos augušām audzēm šīs tabulas uzrādīja līdz 30% samazinātu krāju, ko izskaidro ar pārāk lielo diskrētuma pakāpi (mazo augstumšķiru skaitu) un nepareizi noteiktām augstumšķiru augstumlīknēm.

Sojuzlesproma vispārīgās tilpuma tabulas. Izdotas 1931. gadā un tiek lietotas arī tagad. Tabulas sastādījusi autoru grupa: priedei – D. Tovstoļess, eglei – V. Zaharovs, ozolam – B. Šustovs, bērzam un apsei – A. Tjurins. Augstumšķiru skaits: priedei – 8, eglei un ozolam – 7, bērzam – 6 un apsei – 5. Izņemot apsi, tabulas sastādītas trim formas klasēm: rauktiem, vidēji slaidiem un slaidiem stumbriem. Attiecīgās q_2 vērtības: priedei – 0,59; 0,65; 0,71; eglei – 0,60; 0,70; 0,80; ozolam – 0,58; 0,68; 0,78; bērzam – 0,57; 0,66; 0,75 un apsei – 0,70. Tabulu sastādīšanai izmantots šāds paraugkoku daudzums: priedei – 2716, eglei – 4299, ozolam – 5542, bērzam – 998 un apsei – 478. Tabulu iekārtojums redzams 1.21. tabulā.

1.21. tabula

Apses augstumšķiru stumbra tilpuma tabula (fragments)

d, cm	Augstumšķira									
	I ^a		I		II		III		IV	
	<i>h</i>	<i>v</i>	<i>h</i>	<i>v</i>	<i>h</i>	<i>v</i>	<i>h</i>	<i>v</i>	<i>h</i>	<i>v</i>
8	15	0,04	14	0,04	13	0,03	12	0,03	10	0,03
12	20	0,11	18	0,10	17	0,10	15	0,08	13	0,07
16	24	0,23	21	0,20	19	0,19	17	0,17	15	0,15
20	26	0,39	24	0,36	22	0,33	19	0,29	17	0,26

Piezīmes: *h* – augstumšķiras vidējais augstums, m; *v* – stumbra tilpums, m³.

Izvērstākā izdevumā šajās tabulās uzrādīts stumbru tilpums bez mizas, mizas procents, zaru procents un dati par stumbru raukumu ik pēc 2 m garām sekcijām. Praktiskai lietošanai tabulas ir ļoti ērtas. Atkārtotās pārbaudēs konstatēts, ka audžu krājas aprēķināšanā kļūda nepārsniedz ±10%. Atsevišķu stumbru vērtēšanā pēc augstumšķiru tabulām iespējama daudz lielāka kļūda, un tāpēc no to lietošanas jāatturas.

Pēc Otrā pasaules kara arī citās valstīs, piemēram, Vācijā (E. Vīdemans), Čehijā (M. Prodans) un Slovēnijā (J. Halajs) tika sastādītas šī tipa stumbru tilpuma tabulas.

Neatkarīgi no stumbru tilpuma tabulu tipa pēc to sastādīšanas jāpārliciecinās, vai darbā nav pieļautas rupjas kļūdas. Ērti to īstenot grafiski. Koordinātu sistēmā uz abscisu ass atliek caurmēra pakāpju šķērslaukumus, bet uz ordinātu ass – atbilstošās tilpuma vērtības. Katram augstumam (augstumšķirai) iegūst vienu punktu rindu, ko sauc par *tilpuma taisni*. Ja visi punkti atrodas uz attiecīgajām taisnēm un šo taisņu izvietojums ir simetrisks, tas liecina, ka tabulu izstrādāšanā rupjas kļūdas nav pieļautas.

1.3.6. Stumbru raukuma tabulas

Raukuma tabulas ir stumbru tilpuma tabulas, kas papildinātas ar raukuma rādītājiem. Vajadzība pēc šādām tabulām izriet no tā, ka mežsaimniecības praksē svarīgi apzināt ne tikai stumbru tilpumu, bet arī to potenciālo *sortimentu iznākumu (sortimentu struktūru)*. Vienīgi zinot stumbru raukumu, iespējams iepriekš izkalkulēt, ko no stumbra var iegūt, kā to visizdevīgāk sagarināt un kādas būs nogriežņu dimensijas un tilpums. Šādā skatījumā raukuma tabulas ir tilpuma tabulu kvalitatīvi augstāks turpinājums. Abu veidu tabulas sastāda pēc vienu un to pašu paraugkoku datiem. Tāpēc tilpuma tabulas var uzskatīt kā raukuma tabulu konspektu, kas paredzēts atsevišķam lietošanas veidam – stumbru tilpuma nolasīšanai. Piebildīsim, ka abu veidu tabulu klasifikācija arī ir līdzīga. Sastādot raukuma tabulas, ļoti krasi izpaužas tā metodiskā risinājuma priekšrocības, kas dibinās uz stumbra veidules vienādojuma izmantošanu. Šis risinājums pieļauj ērti un ātri izskaitļot ne tikai stumbra un tā dažāda garuma nogriežņu tilpumu, bet arī sortimentu optimālo iznākumu atbilstoši pasūtījumam.

Latvijā izstrādātajās priedes un egles raukuma tabulās (1.22. tab.) katram koku augstumam (augstuma difference 1 m) sastādīta atsevišķa tabula, kurā caurmērs krūšaugstumā grupēts 2 cm pakāpēs.

Ikvienā caurmēra pakāpē nolasāmas četras skaitļu rindas, kas apzīmētas ar D , $\frac{V}{v}$ un σ , kur D ir stumbra caurmērs ar mizu, σ – mizas caurmērs jeb mizas dubultbiezums. D un σ izteikti centimetros un uzdoti ir pa augstuma 1 m. D uzrādīts arī 0,15 m jeb celma augstumā. V un v attiecīgi ir stumbra tilpums ar un bez mizas kubikmetros, skaitot no resgaļa griezuma līdz dotajam augstumam (celma tilpums jau ieskaitīts). Piemērs. Dots 9 m augsts egles stubrs ar krūšaugstuma caurmēru 12 cm. Šāda stumbra caurmērs 4 m augstumā no zemes $D = 9,4$ cm, mizas dubultbiezums $\sigma = 0,8$ cm, tilpums ar mizu no celma griezuma līdz 4 m augstumam $V = 0,039$ m³ un attiecīgais tilpums bez mizas $v = 0,033$ m³. Stumbra daļas garums ar tievgaļa caurmēru $d \geq 7$ cm ir 6,16 m – 0,15 m = 6,01 m (interpolācija).

1.22. tabula

R. Markusa egles raukuma tabula, h = 9 m

Augstums no zemes, m	Krūšaugstuma caurmērs, cm								
	10			12			14		
	D	$\frac{V}{v}$	σ	D	$\frac{V}{v}$	σ	D	$\frac{V}{v}$	σ
0,15	12,1			15,0			17,9		
0	12,5		1,1	15,9		1,2	19,3		1,3
1	10,5		0,9	12,6		1,0	14,6		1,1
2	9,2	<u>0,015</u> 0,013	0,8	11,2	<u>0,022</u> 0,019	0,9	13,1	<u>0,029</u> 0,026	1,0
3	8,6		0,7	10,3		0,8	12,1		0,9
4	7,8	<u>0,027</u> 0,023	0,7	9,4	<u>0,039</u> 0,033	0,8	11,0	<u>0,052</u> 0,046	0,9
5	7,0		0,6	8,4		0,7	9,7		0,8
6	6,0	<u>0,035</u> 0,029	0,6	7,1	<u>0,050</u> 0,042	0,6	8,2	<u>0,067</u>	0,7
7	4,6		0,5	5,5		0,5	6,3		0,6
8	2,6	<u>0,038</u> 0,032	0,4	3,2	<u>0,055</u> 0,046	0,4	3,8	<u>0,073</u> 0,063	0,4
9		<u>0,038</u> 0,032			<u>0,055</u> 0,046			<u>0,073</u> 0,063	

Latvijā lietotās raukuma tabulas veidotas pa augstumšķirām. Salīdzinājumā ar R. Markusa tabulām arī to sakārtojums ir citāds (1.23. tab.). Šeit uzrādīts visa stumbra un atsevišķu sekciju tilpums ar un bez mizas, caurmērs ar un bez mizas, kā arī mizas un zaru tilpums procentos no stumbra tilpuma ar mizu.

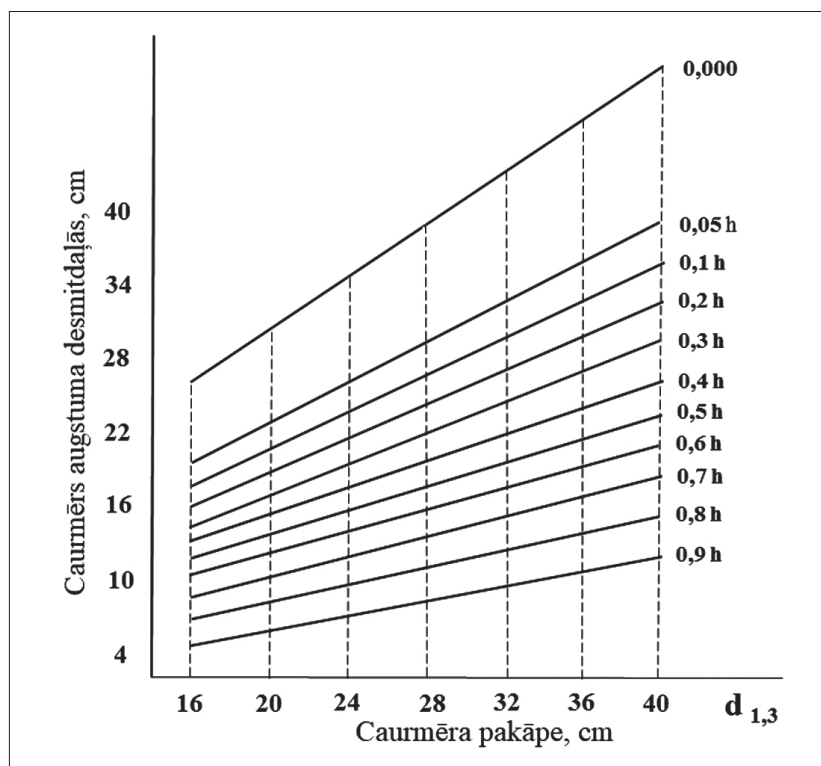
1.23. tabula

D. Tovstoļesa priedes V augstumšķiras vidējās formas raukuma tabula
(fragments, $g_2 = 0,65$)

D, cm	H, m	Tilpums ar un bez mizas, m ³	Sekciju caurmērs (cm) un tilpums (m ³) augstumā (m) no zemes					Mizas tilpums, %	Zaru tilpums, %
			Apzīmes	1	3	5	7		
			d	8,2	6,5	5,1	1,3		
8	7	0,022	v	0,011	0,007	0,004	0,0003	17	30
			d _{b,m}	7,4	6,1	4,7	0,9		
		0,018	v _{b,m}	0,009	0,006	0,003	0,0001		
			d	10,2	8,4	7,0	4,9		
10	9	0,039	v	0,016	0,011	0,008	0,004	15	26
			d _{b,m}	9,3	7,9	6,6	4,5		
			v _{b,m}	0,013	0,010	0,007	0,003		

Attīstot tālāk V. Hohenadla ideju par relatīvo raukumu, kas aprēķināts stumbra punktos, kuri atbilst augstuma desmitdaļām, V. Zaharovs izstrādājis atšķirīgu raukuma tabulu sastādīšanas metodiku. Pēc tās visu paraugoku caurmēru mēra 10 minētajās stumbra vietās un izsaka procentos no caurmēra $0,1 h$ augstumā. Tā kā šādi izteikts relatīvais raukums nav atkarīgs no koka augstuma, krūšaugstuma caurmēra un augšanas apstākļiem, pietiek, ja katrā caurmēra pakāpē apstrādā 8 – 12 paraugokus. Tas nozīmē, ka visu attiecīgās koku sugas raukuma tabulu sastādīšanai nepieciešami tikai 150 paraugokoki.

Paraugoku relatīvo raukumu izlīdzina grafiski, 4 cm caurmēra pakāpēs sagrupētajiem stumbriem aprēķina vidējo krūšaugstuma caurmēru un atliek to uz koordinātu sistēmas abscisu ass. Uz ordinātu ass atliek caurmēru minētajos 10 augstumos, kurus izskaitļo, izmantojot $d_{0,1}$ un attiecīgo izlīdzinātā relatīvā augstuma procentu (1.38.att.).



1.38. att. Stumbru raukums atkarībā no caurmēra pakāpes un relatīvā augstuma (pēc Захаров Б., 1967)

Tādējādi tiek iegūtas absolūtā raukuma izlīdzinošās taisnes atbilstoši augstuma desmitdaļām. Šo taisņu datus izmanto *raukuma līknes* zīmēšanai. Raukuma līknes zīmē katrā caurmēra pakāpē un augstumšķirai. Tās iegūst un izmanto līdzīgi kā pēc tradicionālās raukuma tabulu sastādīšanas metodikas.

2. KOKMATERIĀLU TAKSĀCIJA

2.1. Kokmateriāli

Mežu apsaimniekojot, iegūst mežmateriālus – no koka iegūstamas izejvielas. Tās ir *apaļie kokmateriāli, celmi, zari, zalenis, miza, lūki, sveķi, sulas, eglītes, meijas* u. c. dekoratīvie materiāli. Pirms to ieguves mežmateriāli ir *meža resursi*, pēc ieguves – *meža produkcija*. Mežmateriālus vērtē tilpuma vai masas vienībās. Saimnieciski nozīmīgākie ir dažādi *kokmateriāli*. Tie ir izejmateriāls turpmākai apstrādei, tādējādi nodrošinot meža produkcijas vispusīgu izmantošanu. Tilpuma vai masas noteikšanas aspektā kokmateriālus iedala: apaļie, mehāniski apstrādātie un šķeldotie kokmateriāli. Katra no šīm grupām ietver kokmateriālu veidu, izmēru un kvalitātes dažādību. Turklāt ir arī tādi, kurus var ieskaitīt vismaz divās grupās.

2.2. Apaļie kokmateriāli

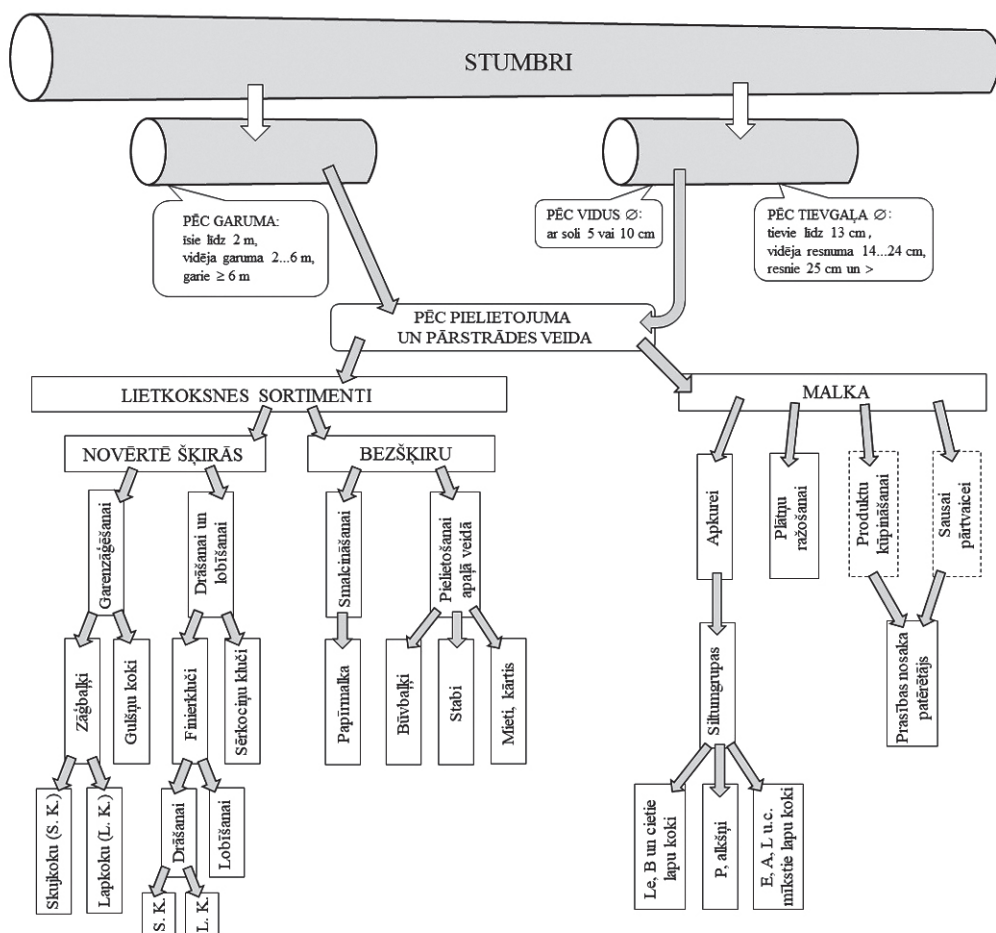
Atbilstoši likumam *Par koku un apaļo kokmateriālu uzskaiti darījumos* apaļie kokmateriāli ir mizoti vai nemizoti koka stumbra nogriežņi, kuru garums pārsniedz vienu metru un tievgaļa caurmērs – trīs centimetrus. Apaļie kokmateriāli kā pēc to daudzveidības, tā arī pēc sagatavošanas apjoma ir lielākā kokmateriālu grupa. Tos izmanto gan neapstrādātā veidā (*būvbalķi, stabi*), gan arī kā izejmateriālu mehāniski apstrādāto sortimentu izgatavošanai un celulozes ražošanai. Meža taksācijas attīstības gaitā centrālā uzmanība vienmēr bijusi piesaistīta apaļo kokmateriālu vērtēšanai.

Šīs nodaļas kontekstā stumbrs ir nozāģēts un atzarots koks bez galotnes daļas, kas tievāka par 3 cm. Šī galotnes daļa aiziet ciršanas atliekās, pārējā tiek izmantota tautsaimniecībā. Stumbra daļu ar tievgaļa caurmēru $d_t \geq 6$ cm bez mizas sauc par *lietkoksnī*, un tā tiek sagarumota, lai iegūtu apaļo kokmateriālu *sortimentus*. Savukārt stumbra fragments caurmēra intervālā $3 \leq d_t < 6$ cm atvēlēts malkas sagatavošanai. Stumbra lietkoksnies daļu var sagarināt dažādi. Arī tā, kā aprakstīts iepriekšējā nodaļā, kur galvenais vadmotīvs ir griezuma vietu tāds savstarpējais attālums, kas nodrošina stumbra tilpuma iespējami precīzāku aprēķināšanu atbilstoši tilpuma formulu specifikai. Savukārt stumbra sagarināšanai sortimentu iegūšanai ir cits virsuzdevums – griezuma vietas izvēle tā, lai sortimentu iznākums no stumbra būtu iespējami vērtīgāks. Sortimenti ir konkrētai izmantošanai sagatavoti stumbra nogriežņi ar atbilstošu koku sugu, izmēriem un kvalitātes prasībām.

Stumbra lietkoksnies daļu izmanto ļoti plaši un dažādi atbilstoši koksnes izmantošanas tehnoloģiskajām prasībām, kas nosaka sagatavojamo sortimentu dimensijas (caurmēru un garumu) un kvalitāti (koksnes vainu veidu klātbūtni un izteiktību). Lai saskaņotu apaļo kokmateriālu gatavotāju un to pārstrādātāju iespējami kvalitatīvāku darbu, katrā valstī izstrādāti un ieviesti *nacionālie standarti*. Latvijā kopš 1997. gada apaļo kokmateriālu standarts ir pieskaņots Eiropas Savienības normām. Latvijas spēkā esošais standarts LSV 82: 2003 *Apaļo kokmateriālu uzmērīšana* ir pieņemts 29.04.2003. un kopš šīs dienas nosaka apaļo kokmateriālu sortimentu sagatavošanas prasības un novērtēšanas nosacījumus.

Apaļo kokmateriālu sortimentus var klasificēt pēc dažādām pazīmēm: koku sugas, caurmēra, garuma, koksnes kvalitātes un turpmākās pārstrādes. Tas prasa kompleksu daudzparametru risinājumu. Pastāv dažādas klasifikācijas, taču vairums no tām akcentē tikai kādas atsevišķas pazīmes. Šeit pieturēsimies apaļo kokmateriālu iedalījumam, ko ieteicis L. Līpiņš (1999) un kas pārskatāmi atsedz ne tikai sortimentu sadalījumu, bet arī klasifikācijas pazīmju savstarpējo atkarību (2.1. att.).

Tā kā apaļie kokmateriāli ir stumbra fragmenti, to tilpuma noteikšanai varētu lietot jebkuru pietiekošas precizitātes formulu, kas izstrādātas nocirsta koka stumbra daļas taksēšanai. Taču šeit nav runa tikai par tilpuma aprēķināšanas precizitāti. Ļoti nozīmīgi šajā procedūrā ir nodrošināt atbilstību standarta prasībām, tādējādi mazinot atšķirības starp dažādu uzmērītāju darba rezultātiem un līdz ar to arī nesapratni apaļo kokmateriālu aprītē. To iespējams panākt, saskaņoti īstenojot sortimentu parametru uzmērīšanu un tilpuma aprēķinus.



2.1. att. Apaļo kokmateriālu klasifikācijas shēma (pēc Līpiņš L., 1999)

Ja nestandardizētam stumbra fragmentam nākas noteikt divu veidu tilpuma vērtības – tilpumu ar un bez mizas –, tad sortimentiem dažkārt jānosaka vēl trešā vērtība – tievgaļa cilindra tilpums. Ar to saprot tāda cilindra tilpumu, kura caurmērs ir vienāds ar tievgaļa mazāko caurmēru un garums, protams, ir vienāds ar sortimenta standarta garumu. Tievgaļa cilindra tilpuma noteikšanu pieprasa tiem sortimentiem, kas paredzēti lobīšanai. Pašsaprotami, ka šī cilindra tilpums ir atkarīgs no sortimenta garuma un raukuma, tas samazinās līdz ar abu minēto argumentu palielināšanos un, salīdzinot ar pilnu tilpumu ar mizu, var būt par 15 – 25% mazāks (Līpiņš L., 1999). Lietkoksnes sortimentiem tilpumu nosaka bez mizas, savukārt ar mizu – tikai malkai.

Apaļo kokmateriālu tilpumu var noteikt trejādi – uzmērot katru kokmateriālu (vienību) atsevišķi (individuālā metode), nosakot pēc kraujmēra (grupveida metode, kur uzmērīšanas vienība – *krautne*) un atsevišķos gadījumos – kokmateriālus nosverot (masas metode).

Individuālā metode. Strādājot ar šo metodi, jāuzmēra apaļā kokmateriāla garums un caurmērs. Atkarībā no tā, kur caurmēru mēra – tievgalī, vidū vai tievgalī un resgalī –, izšķir šīs metodes variantus. Situācija ir līdzīga kā nocirsta koka stumbra daļu novērtēšanā. Principiālā atšķirība ir tā, ka sortimenta garuma un izraudzītā caurmēra mērīšanā jāievēro standarta prasības.

Garuma uzmērīšanas specifika. Tā ir saistīta ar apaļā kokmateriāla garuma jēdziena izpratni un mērījuma noapaļošanu. Izšķir uzmērīto un tilpuma aprēķināšanas (nominālo) garumu, kā arī garuma virsmēru, novirzi un garuma gradāciju jeb sortimenta garuma soli. *Uzmērītais garums* ir attālums starp apaļā kokmateriāla gala plaknēm, kas katra ietver pilnu šķērsriezumu un ir paralēla kokmateriāla garenasij. Mērījuma precizitāte – 1 cm. Ja kokmateriāla gali ir mehāniski bojāti, piemēram, resgalī aizzāģējums vai sakņu aptēsums, tā garumu mēra no slīpā griezuma vidus. Šis nosacījums nav spēkā attiecībā uz malku un papīrmalku. Tilpuma aprēķināšanai uzmērītais garums ir jānoapaļo, to darot uz leju. Tādējādi tiek iegūts standartā norādītais *nominālais garums*. Starpība starp divām blakus nominālvērtībām ir *garuma gradācijas solis*. Dažādiem sortimentu veidiem tas ir atšķirīgs. Skujkoku

un mīksto lapkoku zāģbaļķiem nominālo garumu nosaka ar 0,3 m soli, cieto lapkoku zāģbaļķiem un finierklučiem – ar 0,1 m, sākot no sortimentam paredzētā minimālā garuma līdz maksimālajam. Savukārt *virsmērs* ir starpība starp uzmērīto un nominālo garumu. Tas ir paredzēts tiem sortimentiem, kuru turpmākajā apstrādē jāievēro noteikts garums (zāģbaļķi, finierkluči, sērkociņu, gulšņu un taras kluči). Virsmērs ir domāts, lai kompensētu kokmateriāla galu bojājumus vai arī sazāģēšanas zudumus. Atkarībā no sortimenta veida virsmērs ir noteikts robežās no 3 līdz 9 cm. Tilpuma aprēķināšanā virsmēru neņem vērā, bet tas ir obligāts nosacījums sortimentu sagatavošanā. Jāatzīmē, ka papīrmalkai un malkai virsmēru aizstāj ar *garuma novirzi*. Ja virsmērs vienmēr ir ar pozitīvu vērtību, garuma novirze pieļaujama arī kā iztrūkums. Sagatavojot sortimentus, obligāti jāievēro garuma gradācija un virsmērs. Gadījumā, ja kokmateriāla garums neatbilst kādai no nominālvērtībām plus minimālais virsmērs, tad tā tilpumu nosaka pēc tuvākā zemākā nominālgaruma.

Caurmēra uzmērīšanas specifika. Apaļo kokmateriālu caurmēru mērot, jāņem vērā nosacījumi, kas ir spēkā, mērot nocirsta koka stumbra un it īpaši tā daļu caurmēru. Izraudzītajā kokmateriāla vietā caurmēru mēra vienā vai divos savstarpēji stateniskos virzienos. Pirmo variantu izvēlas, ja apaļajiem kokmateriāliem, spriežot pēc acumēra, ir regulāra forma, mērīšanas virzienu ieturot 45° leņķī pret horizontālu virsmu. Ja forma ir ovāla, izvēlas otro variantu, vienā no virzieniem iekļaujot lielāko caurmēru. Katru mērījumu jānoapaļo atbilstoši standarta prasībām. Viena mērījuma gadījumā to samazina par mizas dubulto biezumu, noapaļo uz leju un izsaka veselos centimetros. Ja veikti divi mērījumi, šādu procedūru piemēro katram no tiem un aprēķina aritmētisko vidējo, kuru vēlreiz noapaļo uz leju. Lai kompensētu vairākkārtēju vienvirziena noapaļošanu, noapaļoto caurmēru palielina par 0,5 cm. Piemērs: mizas biezums 0,4 cm; caurmērs ar mizu 28,7 cm pēc noapaļošanas ir 27 cm ($28,7 \text{ cm} - 2 \cdot 0,4 \text{ cm} = 27,9 \text{ cm} \approx 27 \text{ cm}$); tilpuma caurmērs ir 27,5 cm ($27 \text{ cm} + 0,5 \text{ cm} = 27,5 \text{ cm}$).

Tilpuma aprēķināšanas specifika. Katram apaļajam kokmateriālam caurmēru nākas mērīt trīs raksturīgās vietās – abos tā galos, vidū un tievgalī. Kokmateriāla galos caurmēru mēra 5 – 10 cm intervālā, skaitot no gala griezumā. Izņēmums ir stumbra pirmais sortiments, kur sakņu blīvuma dēļ caurmēra mērīšanas vieta ir noteikta 0,5 m attālumā no resgaļa griezumā. Caurmēra mērīšanas vietas izvēle reizē ir arī apaļā kokmateriāla tilpuma aprēķināšanas metodes izvēle. Līdz ar to izšķir trīs apaļā kokmateriāla tilpuma noteikšanas metodes. Neatkarīgi no metodes izvēles standarts paredz, ka apaļajiem kokmateriāliem tilpumu nosaka kubikmetros, rezultātu noapaļojot ar trīs zīmēm aiz komata.

1. Kokmateriāla caurmēru mēra abos tā galos. Tas noved pie H. Smaliana jeb gala laukumu formulas (1.56.) lietošanas jeb, uzrakstot to kokmateriālu vērtēšanā ierastajā formā, iegūstam:

$$V_r = \frac{\pi(d_t^2 + d_r^2)l}{4 \times 2 \times 10000}, \quad (2.1.)$$

kur V_r – ar gala laukumu metodi aprēķināts tilpums, m³;

d_t – tievgaļa noapaļotais caurmērs, kuram pieskaitīti 0,5 cm, cm;

d_r – resgaļa caurmērs, kas palielināts par 0,5 cm, cm;

l – apaļā kokmateriāla garums, m;

$\pi = 3,1416$.

Pastāv uzskats, ka ar šo metodi iespējams iegūt patiesībai vistuvākos rezultātus. Zināmas neērtības sagādā gan tas, ka katram apaļajam kokmateriālam caurmērs jāmēra divās vietās.

2. Kokmateriāla caurmēru mēra tikai tā vidū. Tas nozīmē, ka jāizmanto F. Hubera formula (1.58.) jeb

$$V_v = \frac{\pi d_v^2 l}{4 \times 10000}, \quad (2.2.)$$

kur V_v – ar viduslaukuma metodi aprēķināts tilpums, m³;

d_v – viduslaukuma caurmērs, kas palielināts par 0,5 cm, cm;

π un l – kā izteiksmē (2.1.).

Praktiskai lietošanai, izmantojot sakarību (2.2.), sastādīta apaļo kokmateriālu tilpuma tabula (Līpiņš L., Liepa I., 2007) argumentu robežās $2 \leq l \leq 6,9 \text{ m}$ un $5 \leq d_v \leq 60 \text{ cm}$.

3. Kokmateriāla caurmēru mēra tikai tā tievgaļī. Līdzīgi kā abās iepriekšējās metodēs jāizmēra arī garums. Neērtības sagādā tas, ka papildus jānosaka kokmateriāla raukums, kas šinī gadījuma izsaka caurmēra palielināšanos resgaļa virzienā. Tilpuma formula:

$$V_i = \frac{\pi[d_i^2 + (d_i + sl)^2]l}{4 \times 2 \times 10000}, \quad (2.3.)$$

kur V_i – pēc tievgaļa caurmēra metodes aprēķināts tilpums, m^3 ;

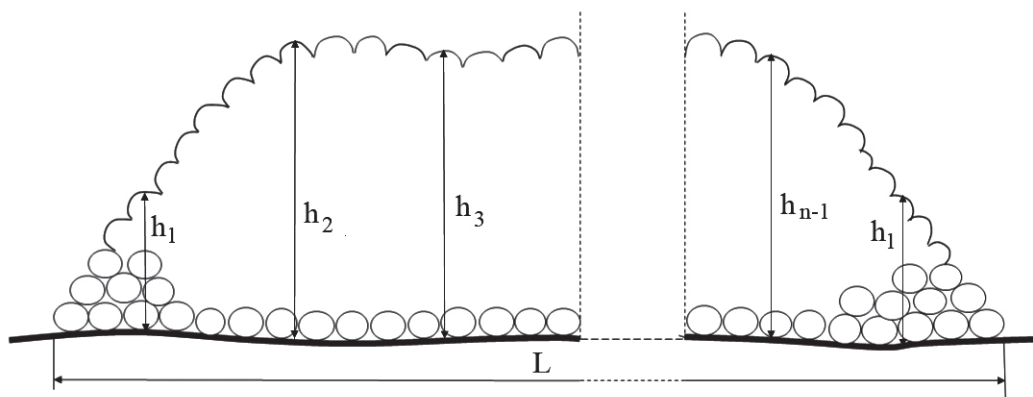
s – kokmateriāla raukums, $cm\ m^{-1}$;

pārējie apzīmējumi – kā formulā (2.1.).

Sakarā ar raukuma noteikšanas grūtībām tievgaļa caurmēra metode tiek uzskatīta kā neprecīzākā aprakstīto trīs metožu starpā. Koku sugas ietvaros raukums ir būtiski atkarīgs no stumbra daļas (resgalis, vidusdaļa, tievgaļis). Šī iemesla dēļ apaļo kokmateriālu raukumu nevar pielīdzināt koku sugas stumbru raukuma vidējām vērtībām. Tāpēc tas katrā konkrētā situācijā jānosaka atsevišķi. Latvijas apstākļiem izstrādāts vienādojums (1.15.) atkarībā no apaļā kokmateriāla garuma, piederības koku sugai, stumbra daļas un tievgaļa caurmēra. Pēc šīs sakarības aprēķināto raukumu ievietojot izteiksmē (2.3.), iegūst attiecīgā kokmateriāla tilpumu. Atbilstoši tam sastādītas apaļo kokmateriālu tilpuma tabulas, kas orientētas pēc tā garuma un tievgaļa caurmēra (Līpiņš L., Liepa I., 2007).

Neskatoties uz sacīto, tievgaļa metode līdz šim ir Latvijā visplašāk izmantotais paņēmieni apaļo kokmateriālu tilpuma individuālajā uzmērīšanā (Līpiņš L., 1999). Tam par cēloni ir vairākas šīs metodes priekšrocības. Pirmkārt, daudziem sortimentiem pielietojumu nosaka to tievgaļa caurmērs. Otrkārt, labi redzama griezuma forma, kas nav blīzuma sagrozīta, bet gluži otrādi, salīdzinot ar resgali, tās pietuvinājums aplim ir lielāks. Treškārt, caurmērs ir ērti un ātri izmērāms kā ar, tā arī bez mizas, turklāt tas izmantojams sortimenta marķēšanai. Ceturtkārt, caurmēra mērīšana tievgaļī īstenojama arī krautnētiem apaļajiem kokmateriāliem.

Krautņu uzmērīšana. Krautne ir grēdā nokrautu apaļo kokmateriālu kopa. Parasti grēdās nokrauj malku un tievos lietkoksnis sortimentus, kuru individuālā vērtēšana būtu ļoti darbietilpīga. Katrai krautnei izšķir trīs parametrus – garumu, platumu un augstumu (2.2. att.). Visus krautnes parametrus mēra ar 1 cm precizitāti un izsaka metros. Krautnes garums L ir attālums starp krautnes malējiem sortimentiem vai nostiprinājumiem. Garumu mēra krautnes pamatnē. Krautnes platums P vienmēr ir kokmateriālu vidējais garums. To nosaka kā aritmētisko vidējo pēc vismaz 25 nejauši izvēlētu kokmateriālu mērījumiem. Arī augstumu H aprēķina kā aritmētisko vidējo. Šajā nolūkā krautni sadala iedomātās 1 – 3 m platās sekcijās un katras pilnās sekcijas vidū izmēra tās augstumu.



2.2. att. Apaļo kokmateriālu krautnes augstuma h_i un garuma L mērīšanas shēma
(pēc Līpiņš L., Liepa I., 2007)

Krautnes tilpumu var izteikt divējādi – *kraujmēra* vai *ciešmēra* tilpuma vienībās, respektīvi, *steros* vai *kubikmetros* (*ciešmetros*). Kraujmēru, izteiktu ar trīs zīmēm aiz komata, rēķina pēc izteiksmes (2.4.):

$$V_{kr} = L \times P \times H, \quad (2.4.)$$

kur V_{kr} – kraujmērs, m³ (steri);
 L – krautnes garums, m;
 P – krautnes platums, m;
 H – krautnes augstums, m.

Kraujmērs ir krautnes lineāro parametru reizinājums. Tas var saturēt kokmateriālu, dažādu piemaisījumu (cirsmu atliekas, augsni, sniegu) un spraugu tilpumu starp kokmateriāliem. Lai iegūtu paša kokmateriāla tilpumu, kraujmērs ir jāpārreķina ciešmetros, noapaļojot to ar divām zīmēm aiz komata. Pārreķinu īsteno, kraujmēru steris V_{kr} pareizinot ar tilpīguma koeficientu k :

$$V = V_{kr} \times k. \quad (2.5.)$$

No sacītā seko, ka $V < V_{kr}$. Cik lielā mērā, to nosaka *tilpīguma koeficienta* k vērtība, kas ir atkarīga no koku sugas, kokmateriāla veida, garuma, caurmēra, līkumainības, atzarošanas un krāvuma kvalitātes, kā arī no piemaisījumu daudzuma. Apaļo kokmateriālu aprītē tilpīguma koeficientam ir ļoti nozīmīga loma.

Matemātiski tilpīguma koeficientu k izsaka attiecība starp ciešmetru un steru. Pazīstamas vairākas šī rādītāja noteikšanas un izmantošanas metodes.

Vidējo vērtību metode. Šajā gadījumā uz statistiski pietiekama mērījumu pamata atkarībā no apaļo kokmateriālu veida, koku sugas un garuma tiek aprēķinātas šī koeficienta vērtības, izlīdzinātas un tabulētas (2.1. tab.). Nereti šie uzskaitītie argumenti tiek papildināti vēl ar citiem rādītājiem, piemēram, nokrauto kokmateriālu vidējo caurmēru, krāvuma kvalitāti u. c., tādējādi tabulas diferencējot, taču to izmantošanu padarot neparocīgāku. Tabulārās vērtības iegūst zinātniskos pētījumos. Nereti dara tā, ka vispirms nosaka sastrādājamo stumbru tilpumu, pēc tam tos sazāģē attiecīgajos sortimentos, kurus nokrauj atbilstoši pētnieciskajam uzdevumam un nosaka dažādu krāvumu tilpīguma koeficientus.

2.1. tabula

Vidējie tilpīguma koeficienti
(fragments) (pēc Līpiņš L., Liepa I., 2007)

Kokmateriāla veids	Koku suga	Garums, m	Tilpīguma koeficients
Sērkociņu kluči	Apse	2, 3, 4	0,67
		5, 6	0,60
Papīrmalka	Bērzs, apse	3	0,45 – 0,48
	Egle, priede	3	0,52 – 0,56
Malka	Visas	3	0,50 – 0,55
		2	0,60 – 0,65
		1	0,68 – 0,72

Šai metodei piemīt visi tie trūkumi, kas ir raksturīgi vairumam tabulu izmantošanas metožu, proti, tabulas ir vispārinājuma rezultāts un tāpēc ignorē katra konkrētā gadījuma specifiku.

Lineārā metode. Dažkārt kokmateriālu krāvums ir tik nekvalitatīvs, ka neatbilst tilpīguma tabulu lietošanas nosacījumiem. Šādās situācijās tilpīguma koeficients jānosaka pēc mērījumiem uz vietas. Lineārajai metodei zināmas vairākas īstenošanas iespējas. Visbiežāk to dara, krautnes vienā pusē uz vienas vai abām diagonālēm izvēloties divus pēc iespējas attālinātus punktus un starp tiem nostiepjot mērlenti. Uz mērlentes akumulējoši nolasot tās šķērsoto gala griezumu summāro garumu un šo lielumu izdalot ar attālumu starp punktiem, iegūst konkrētās krautnes tilpīguma koeficientu. Protams, nav jācenšas par katru cenu mērīšanas virzienus saskaņot ar krautnes diagonālēm, taču mērīto kokmateriālu gala griezumu skaitam jābūt vismaz robežās 25 – 30. Šis ir parocīgs, pietiekoši precīzs un katram pieejams paņēmieni.

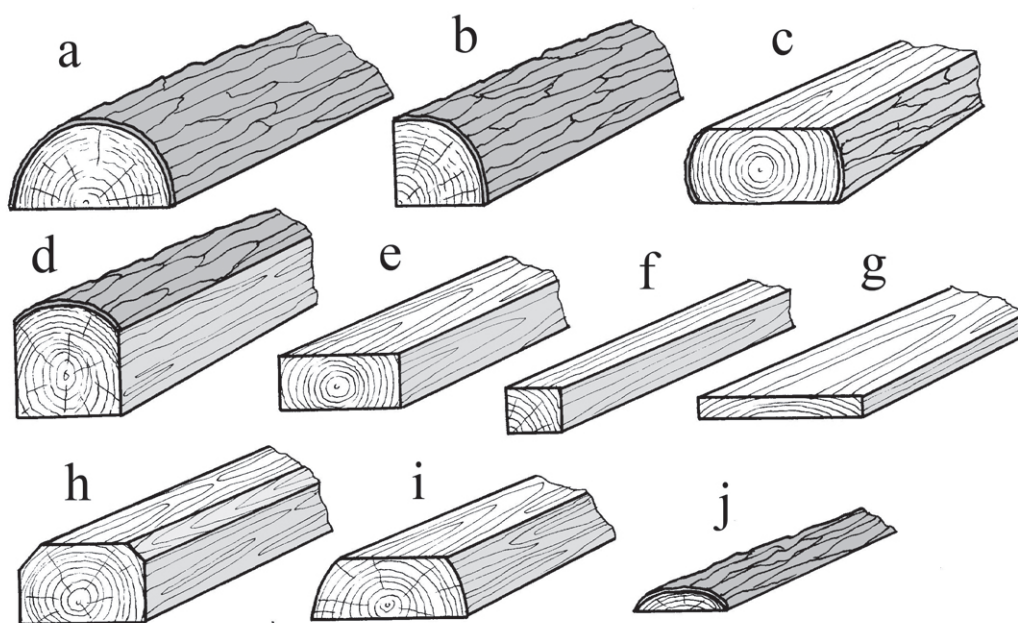
Fotoattēlu izmantošanas metode. Apaļo kokmateriālu griezumu mērīšanu var veikt arī uz attiecīgās krautnes fotoattēla. Arī šeit iespējamas variācijas. Viena no tām kopē iepriekš aprakstīto metodiku.

Otra paredz lineāla vietā lietot punktu paleti. Paleti uzliek uz krautnes sāna attēla un saskaita punktu skaitu, kas atrodas uz kokmateriālu griezumiem vai arī iekrīt tukšumos starp tiem. Griezumu kopējo punktu skaita attiecība ar punktu skaitu, kas nosedz krautnes sāna attēlu, izsaka tilpīguma koeficientu.

2.3. Zāgmateriāli

Atkarībā no mehāniskās apstrādes veida mehāniski apstrādātos kokmateriālus iedala *zāgmateriālos, tēstos, skaldītos, drāztos un lobītos sortimentos*. Šo sortimentu raksturīga īpatnība ir tā, ka apstrādes procesā tie iegūst vairāk vai mazāk regulāru formu. Tāpēc to tilpuma aprēķināšanai var lietot stereometrijas sakarības, galvenokārt vienkāršo viduslaukuma un vienkāršo galalaukumu formulas. It īpaši tas sakāms par zāgmateriāliem, kas veido plašāko un tautsaimnieciski nozīmīgāko sortimentu grupu. Jāatzīmē, ka apaļo kokmateriālu tēšanu un skaldīšanu praktiski aizstāj ar zāgēšanu. Turklāt šajos mehāniskās apstrādes veidos iegūto sortimentu forma un līdz ar to arī to taksēšana ir līdzīga. Tāpēc šeit atsevišķi apskatīta tikai zāgmateriālu uzmērīšana un vērtēšana. Atšķirīga ir dažādu sortimentu veidu šķērslaukuma noteikšana. Šķērslaukuma dimensijas mēra kokmateriālu vidū vai abos galos, pēdējā gadījumā turpmākajos aprēķinos izmantojot abu mērījumu pussummas. Pieļautais virsmērs tilpuma aprēķināšanā nav jāņem vērā.

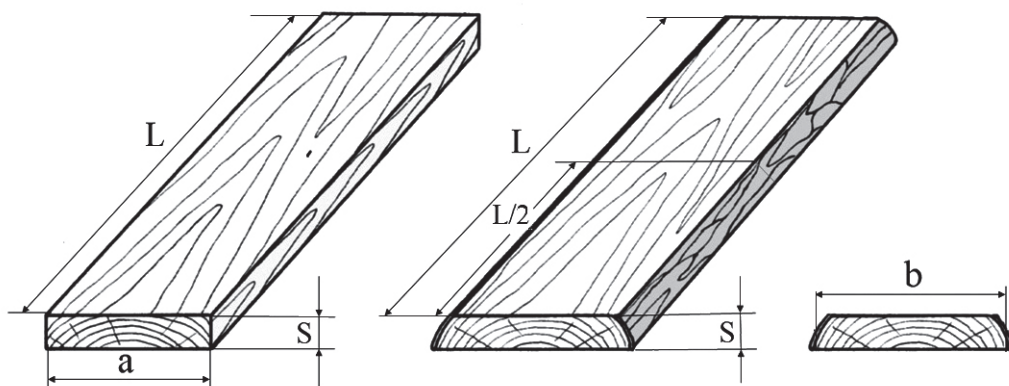
Zāgmateriāli ir kokmateriāli, ko iegūst, sazāgējot zāgbaļķus paralēli to garenasij. Zāgmateriālus iedala *neapmalotos* un *apmalotos*. Zāgmateriālu sauc par apmalotu, ja tam ir apzāģētas vai nofrēzētas visas četras skaldnes tā, ka neviena no tām nesatur pilnu *lokmalī*. No četrām pusēm apmalotu zāgmateriālu sauc par asšķautņainu materiālu. Pārējos gadījumos ir runa par neapmalotiem zāgmateriāliem. Atkarībā no apstrādāto skaldņu skaita un novietojuma pret zāgbaļķa garenasi izdala zāgmateriālu veidus (2.3. att.).



2.3. att. Zāgmateriālu veidi: *a* – pusbaļķis, *b* – ceturtdaļbaļķis, *c* – divskaldņu brusa, *d* – trīsskaldņu brusa, *e* – četrskaldņu brusa (šķautnis), *f* – brusiņa, *g* – dēlis, *h, i* – dzelzceļa gulšņi, *j* – nomalis (pēc Kozuliņš V., 2001)

Katra zāgmateriāla vērtību raksturo tā atbilstība kvalitātes prasībām un dimensijas – garums *L*, platums *a* vai *b* un biezums *S* (2.4. att.). Zāgmateriāla garumu mēra ar 5 mm precizitāti un izsaka metros, platumu mēra ar 1 mm un biezumu – ar 0,1 mm precizitāti, izsakot milimetros. Apmalotiem zāgmateriāliem platumu un biezumu mēra vismaz trīs vietās, atzīmējot tikai vismazāko vērtību. Pirmā no tām ir zāgmateriāla vidū, abas pārējās – ne tuvāk par 150 mm no katra sortimenta gala. Savukārt

neapmalotiem zāgmateriāliem platumu mēra garuma vidū, nosakot atstatumu starp bezmizas lokmaļu viduspunktiem (2.4 att., *b*), bet biezumu nosaka katrā zāgmateriāla galā vienu reizi, turpmākiem aprēķiniem izvēloties mazāko lielumu. Arī zāgmateriāliem izšķir nominālos un faktiskos izmērus. Pirmos nosaka valsts standarts, un to vērtības aprēķinātas atbilstoši koksnes mitrumam $W = 20\%$. Faktiskie izmēri attiecas uz koksnes mitrumu, kāds tas ir uzmērīšanas laikā. Starpība starp nominālajiem un faktiskajiem izmēriem izsaka iežušanas virsmēru.

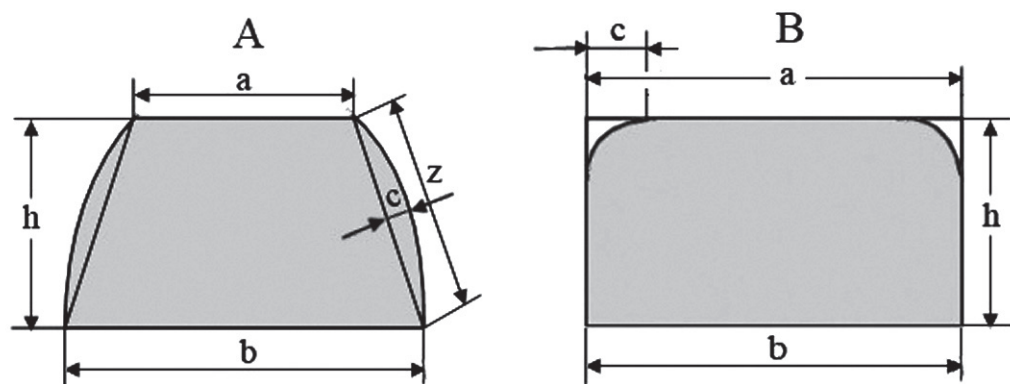


2.4. att. Zāgmateriālu izmēri: L – garums, a – apmalota zāgmateriāla platums, b – neapmalota zāgmateriāla platums, S – biezums (pēc Kozuliņš V., 2014)

Pusbalķi (2.3. att., *a*) iegūst, zāģbalķi pārzāģējot gareniski divās simetriskās daļās. Pusbalķim ir tikai viena apzāģēta skaldne. Tās tievgalī arī mēra pusbalķa caurmēru. Pusbalķa tilpumu aprēķina, attiecīgā zāģbalķa tilpumu dalot ar divi.

Ceturtdaļbalķis (2.3. att., *b*) ir pusbalķa simetriska puse ar divām savstarpēji pieguļošām apzāģētām skaldnēm. Ceturtdaļbalķa caurmērs ir puse no pusbalķa caurmēra un tilpums – zāģbalķa ceturtdaļa.

Brusas (2.3. att., *c, d, e*) ir zāgmateriāli, kuru platums un biezums ir vienāds vai lielāks par 100 mm. Brusām ir apzāģētas vai nofrēzētas divas, trīs vai četras skaldnes. Atkarībā no skaldņu skaita tās iedala divskaldņu, trīsskaldņu un četrskaldņu brusās. Brusas iedala arī pēc to galu šķērslaukuma formas, piemēram, kvadrātiskas vai dažādu izmēru taisnstūrveidīgas brusas. Tilpuma aprēķināšanas kopējā kārtula nosaka – tilpums ir vienāds ar šķērslaukuma un garuma reizinājumu. Divskaldņu brusu augšējo un apakšējo skaldņu a un b platuma attiecība var būt dažāda (2.5. att.).



2.5. att. Šķērslaukuma shēmas. A. Divskaldņu brūsi; B. apmalotam dzelzceļa gulsnim: a un b – attiecīgi brūsi augšējās un apakšējās skaldnes platums, h – biezums, t un c – attiecīgi brūsi segmenta platums un augstums (pēc Захаров B., 1967)

Tās tilpumu aprēķina pēc formulas, kurā brusas garums l reizināts ar šķērsgrīzumu, kas izteikts kā trapeces un divu segmentu laukumu summa:

$$v = l \left(\frac{a+b}{2} h + \frac{4}{3} tc \right). \quad (2.6.)$$

Trīsskaldņu brusas (2.3. att., *d*) šķērslaukumu var pielīdzināt divu trapeču laukumu summai. Tāpēc

$$v = lh \left(\frac{a+b}{2} \right). \quad (2.7.)$$

Tā kā apmaloto četrskaldņu zāgmateriāliem šķērslaukums ir kvadrāts vai taisnstūris, to tilpums

$$v = lab. \quad (2.8.)$$

Šādu zāgmateriālu tilpuma noteikšanai sastādītas tabulas. Tās pazīstamas divos veidos. Vienas ir orientētas pēc sortimenta garuma, platuma un biezuma. Šīm tabulām piemīt aditīva īpašība. Ja nosakāmā sortimenta garums neatbilst tabulās paredzētajai vērtībai, to izsaka ar tabulu vērtību summu vai starpību, attiecīgās tilpuma nolases saskaitot vai atņemot. Tabulas ir apjomīgas un tāpēc neparocīgas. Otra veida tabulas, kas ir orientētas tikai pēc platuma un biezuma, uzrāda 1 m gara sortimenta tilpumu. Savukārt te ir tā neērtība, ka tabulu nolase jāreizina ar dotā sortimenta garumu.

Brusiņas (2.3. att., *f*) – apmaloti līdz 100 mm biezi zāgmateriāli, kuru platums nav lielāks par divkāršu biezumu. Uzmērīšana un vērtēšana līdzīga kā četrskaldņu brusām.

Dēļi (2.3. att., *g*) – zāgmateriāli, kuru biezums ir mazāks par 50 mm un platums lielāks par divkāršu biezumu. Sazāģējot zāģbaļķi, iegūst vienu serdes, divus centrālos, vairākus sānu dēļus un divus nomaļus. Serdes dēlis satur *serdi*. No tā simetriski uz abām pusēm seko centrālie un sānu dēļi, bet vēl tālāk – *nomaļi*. Serdes un centrālajiem dēļiem abas skaldnes praktiski ir vienādi platas, sānu dēļiem atšķirīgas. Atkarībā no apzāģēšanas pakāpes pilnīgi un daļēji apmaloti. Pirmie dēļi lokmalas nesatur un to šķērslaukums ir taisnstūris, otrajiem raksturīga lielāka vai mazāka lokmala. Neapmalotu vai daļēji apmalotu dēļu platumu mēra sortimenta vidū vai abos galos, ņemot abu mērījumu pussummu. Turklāt platumu jāmēra katrai skaldnei atsevišķi un tilpuma tabulu nolasīšanai jāaprēķina to vidējā vērtība. Par atsevišķu biezo dēļu veidu var uzskatīt *plankas* – zāgmateriālu, kura biezums ir 50–100 mm, platums lielāks par divkāršu biezumu.

Zāgmateriālus nereti sakrauļ pakās, ja vien iespējams tā, lai *paka* sastāvētu no attiecīgā veida, vienāda garuma, platuma un biezuma sortimentiem. Šādu apmaloto zāgmateriālu paku tilpumu nosaka, viena atsevišķa zāgmateriāla tilpumu kubikmetros, izteiktu ar četrām zīmēm aiz komata, sareizinot ar gabalu skaitu pakā. Ja pakā sakrauti dažāda garuma zāgmateriāli, tad katram no tiem garumu izmēra atsevišķi un nosaka visu pakā esošo zāgmateriālu garumu. Ja paka satur zāgmateriālus ar vienādu biezumu, bet dažādu garumu un platumu, tad katram zāgmateriālam atsevišķi izmēra tā platumu un nosaka pakas zāgmateriālu kopējo platumu. Katram atsevišķam garumam tilpumu aprēķina, kopējo platumu reizīn ar biezumu un platumu.

Valsts standarts paredz, ka pakās sakrautiem neapmalotiem zāgmateriāliem tilpums jānosaka individuāli, uzmērot katru zāgmateriālu. Latvijā pakās sakrautu neapmalotu zāgmateriālu tilpuma noteikšanai praktizē arī nestandardizēto grupveida uzmērīšanas metodi, citiem vārdiem, nosakot tilpumu visai pakai (Kozuliņš V., 2001). Šajā gadījumā jāievēro vairāki nosacījumi: 1) ir jābūt pakas pircēja piekrišanai; 2) pakā jānokrauļ vienāda biezuma un garuma grupas dēļi; 3) pakai jābūt rūpīgi nokrautai; 4) pakā jābūt divām vai trim starplikām, kuru kopējais biezums jāatskaita no pakas augstuma. Sareizinot pakas garumu, augstumu un platumu, aprēķina tās kraujmēru jeb *gabarītilpumu*. Savukārt pēdējo sareizinot ar pakas tilpīguma koeficientu, iegūst pakā iekrauto neapmaloto dēļu tilpumu. Tilpīguma koeficienta vērtību nosaka pēc neapmaloto dēļu koku sugas, garuma, biezuma un mitruma (2.2. tab.).

2.2. tabula

Skujkoku neapmalotu dēļu paku tilpīguma koeficienta vērtības (pēc Kozuliņš V., 2001)

Dēļu garums, m	Dēļu biezums, mm									
	16	19	22	25	32	40	45	50	60	70–100
Zāgmateriālu mitrums $W > 20\%$										
2,0–6,50	0,59	0,60	0,60	0,61	0,63	0,65	0,66	0,67	0,70	0,75
1,0–1,75	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
Zāgmateriālu mitrums $W < 20\%$										
2,0–6,50	0,64	0,65	0,65	0,66	0,68	0,71	0,72	0,73	0,75	0,79
1,0–1,75	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73

Dzelzceļa gulšņi (2.3 att., *h, i*) – atbilstošu izmēru un formas zāģmateriāli dzelzceļa sliežu balstīšanai. Pēc to apstrādes un formas dzelzceļa gulšņus iedala neapmalotos un apmalotos. Pirmajiem ir divskaldņu brūsas šķērsgriezuma forma, tāpēc to tilpumu nosaka atbilstoši formulai (2.6.). Neapmalotā gulšņa šķērslaukuma forma ir nedaudz sarežģītāka. Šeit no griezuma taisnstūra laukuma ab jāatskaita divu iztrūkstošo taisnleņķa trīsstūru laukumu summa (2.5. att., *b*) Tāpēc

$$v = l(ab - 0,5c^2), \tag{2.8.}$$

kur *c* ir šo trīsstūru hipotenūza.
Jāatzīmē, ka gulšņus nereti vērtē arī pēc skaita.

Nomaļi (2.3. att., *j*) – balņa malējie dēļi. Nomaļa viena puse ir zāģētā skaldne, otra – lokmala, bet šķērslaukums pielīdzināms segmentam. Nomaļa platumu un biezumu mēra tā garuma vienā ceturtdaļā, skaitot no biezākā gala. Tilpumu izsaka formula (2.9.)

$$v = \frac{2}{3}lab, \tag{2.9.}$$

kur *l* – nomaļa garums,
a – platums un *b* – biezums.

Ir iespējams lietot nomaļu tilpuma tabulas, kurās tilpums izteikts *m³*, bet platums un biezums – *mm*. Lielāku nomaļu daudzumu taksē pēc to kraujmēra. Krautnes nokrauj, iespēju robežās nomaļus šķirojot pēc to garuma un biezuma un vienmērīgi mainot resgaļu un tievgaļu krāvuma virzienu. Krautņu tilpīguma koeficients ir atkarīgs galvenokārt no nomaļu garuma un biezuma (2.3. tab.).

2.3. tabula

Nomaļu krautņu tilpīguma koeficienta vērtības, *m³*

Garums, m	Biezums, mm		
	15	20	25
0,9 – 1,2	0,48	0,53	0,57
1,5	0,50	0,61	0,65
1,8 – 2,2	–	0,69	0,72
2,5 – 2,7	–	0,73	0,74

Parasti nomaļus uzskata par kokapstrādes atlikumiem (atliekām), kurus kopā ar citiem zāģmateriālu ražošanas *gabalatlikumiem* (lokmalas, bojāto vietu izgriezumi) galvenokārt pārstrādā tehnoloģiskajās un kurināmās šķeldās. Gabalatlikumi kopā sastāda 20 – 25% un zāģskaidas – 10 – 20% no zāģbalņu sākotnējā tilpuma.

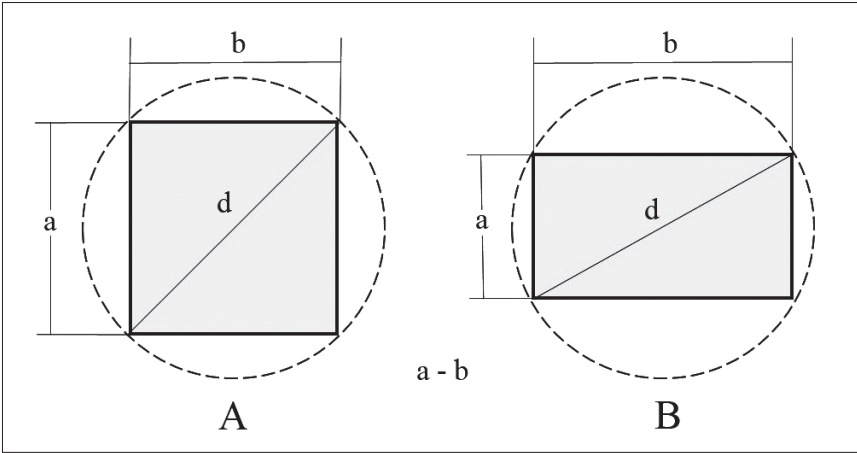
Šķeldas, zāģskaidas un mizas uzskaita bermetros, ciešmetros vai arī masas mērvienībās. *Bermetrs* ir sasmalcinātas produkcijas tilpuma mērvienība. Lai noteiktu šādas produkcijas tilpumu, tā jāieber tilpnē ar zināmu vai izmērāmu tilpumu (automašīnas kravas kaste, vagoni, konteineri), kas arī izsaka beramās kravas tilpumu bermetros. Pāreja uz ciešmetriem ir ierasta – bermetra *m³* jā sareizina ar tilpīguma koeficientu *k*. Tā kā beramajai produkcijai ir īpašība laika gaitā, it īpaši pārvadājot, sablīvēties, beramās kravas *k* vērtību nosaka atkarībā no beramās produkcijas veida, transportēšanas veida un attāluma. V. Kozuliņš (2001) norāda, ka svaigi bērtu zāģskaidu *k* = 0,28; nostāvējušos zāģskaidu *k* = 0,33; līdz 50 km attālumam transportētu zāģskaidu *k* = 0,34; tālāk par 50 km vestu zāģskaidu *k* = 0,36. Savukārt mizai šie skaitļi ir mazāk svārstīgi – atrodas robežās 0,28 – 0,30. Šķeldām nozīmīgs ir arī to iekraušanas paņēmieni (2.4.tab.).

2.4. tabula

Šķeldu tilpīguma koeficienta vērtības (pēc Kozuliņš V., 2001)

Šķeldu iekraušanas paņēmieni	<i>k</i> pēc iekraušanas	<i>k</i> pēc pārvadāšanas				
		Pa dzelzceļu attālumā, km			Ar autotransportu, km	
		<200	201–650	>650	<50	>50
Mehāniskais	0,36	0,38	0,39	0,41	0,40	0,42
Pneimatiskais	0,41	0,41	0,43	0,43	–	–

Noteiktu izmēru zāģmateriāla izzāģēšanai nepieciešams vajadzīgo izmēru apaļais kokmateriāls. Svarīgi, lai tas būtu minimālā caurmēra sortiments, tādējādi samazinot kokapstrādes atlikumu daudzumu. Sevišķi nozīmīgi tas ir lielizmēru brusu ražošanā. Kā zināms, pēc šķērslaukuma izšķir asšķautņainās brusas ar kvadrāta vai taisnstūra šķērs griezumumu. Tas arī nosaka zāģbaļķa minimālā tievgaļa caurmēra izvēli (2.6. att.).



2.6. att. Asšķautņaino brusu izstrādāšanai nepieciešamā apaļā kokmateriāla tievgaļa caurmēra noteikšanas shēma: A – ar kvadrāta šķērs griezumumu, B – ar taisnstūra šķērs griezumumu (pēc Sarma P., 1948)

Jā brusas šķērs griezumums ir kvadrāts, tad taisnleņķa trīsstūra diagonāle (2.6. att., A)

$$\begin{aligned} d^2 &= 2a^2, \\ d &= a\sqrt{2} = 1,41a. \end{aligned} \tag{2.10.}$$

Jā brusas šķērs griezumums ir taisnstūris (2.6. att., B),

$$\begin{aligned} d^2 &= a^2 + b^2, \\ d &= \sqrt{a^2 + b^2}. \end{aligned} \tag{2.11.}$$

Jāatzīmē, ka aprēķinātajām *d* vērtībām jāpieskaita virsmērs.

Zāģēšanas procesā veidojas relatīvi liela daļa atlikumu. Zāģmateriālu iznākums ir atkarīgs no racionālas apaļkoku sastrādāšanas, to caurmēra, sortimentu veida un dimensijām, kā arī citiem faktoriem. Šo sakarību var izteikt vienādojuma veidā. Taču prakses vajadzībām lieto pieredzē bāzētas tabulas. Kā plaši pazīstamu piemēru var minēt Krievijā iegūtus pilnīgi apzāģētu dēļu iznākumu datus, kas dēļu iznākumu izsaka procentos atkarībā no zāģbaļķa tievgaļa caurmēra (2.5. tab.). P. Sarma (1948) norāda, ka sastādītas ļoti dažādas orientācijas un niansējuma zāģmateriālu iznākuma tabulas, piemēram, tādas, kas iznākumu uzrāda kā dēļu skaitu atkarībā no to biezuma un zāģbaļķa tievgaļa caurmēra.

2.5. tabula

Apzāģētu dēļu iznākums, % (pēc Захаров Б., 1967)

Tievgaļa caurmērs, cm	Iznākums, %	Tievgaļa caurmērs, cm	Iznākums, %
14	53,1	32	61,5
16	54,8	36	62,3
20	57,6	40	63,1
24	59,4	44	63,9
28	60,6		

Jāuzsver zāģmateriālu iznākuma izcilā nozīme valsts meža resursu vērtēšanas, plānošanas un kontroles jomās. Nav apstrīdami, ka zāģmateriāli tiek uzskaitīti rūpīgāk un precīzāk nekā augoša meža krāja vai apaļie kokmateriāli. Tāpēc, zinot dažādu zāģmateriālu iznākumu, iespējams kontrolēt to ražošanas izejmateriālu uzskaiti.

3. AUDZES TAKSĀCIJA

3.1. Audzes komponenti un frakcijas

Mežs ir ekoloģiska sistēma, kuras galvenais producents ir *kokaudze*. Mežs sastāv no atšķirīgām apakšsistēmām, kuras mežsaimniecības ikdienā sauc par *mežaudzēm* jeb saīsināti – par *audzēm*. Katra audze aizņem zināmu platību ar relatīvi viendabīgu eksistences apstākļu un dzīvo organismu sabiedrību. Audzes robežas dabā identificē pēc *taksācijas pazīmēm* jeb *taksācijas rādītājiem*, kas noteikti valsts *meža inventarizācijas* noteikumos (Latvijā no 29.06.2016. – MK noteikumi Nr. 384 *Meža inventarizācijas un Meža valsts reģistra informācijas aprites noteikumi*). Savukārt kartogrāfiskajos materiālos audžu robežas veido kontūru tīklu. Katru tādu kontūru sauc par *taksācijas nogabalu*, kas ir meža inventarizācijas pamatvienība. Nogabalam nosaka aktuālo meža vērtējumu un projektē vienotu meža apsaimniekošanu. Nereti sastopamas audzes, kuru platība ir tik niecīga, ka būtiski apgrūtina saimniecisko darbību mežā. Šādos gadījumos audzes apvieno vienā taksācijas nogabalā. Tā minimālo platību un izdalīšanas nosacījumus reglamentē attiecīgās valsts meža inventarizācijas noteikumi. Kopēja tendence ir taksācijas nogabala robežas saskaņot ar audzes robežām. Tāpēc dažkārt kā identiskus traktē arī audzes un taksācijas nogabala jēdzienus.

Katra mežaudze sastāv no vairākiem komponentiem, kas raksturo augu horizontālo un vertikālo izvietojumu un nosaka to ekoloģisko prasību apmierināšanas īpatnības.

Kokaudze ir mežaudzes nozīmīgākais komponents – dotās mežaudzes platībā esošie koki, kas nosaka tās piederību *veģetācijas tipam*. Kokaudze veido eksistences apstākļus pārējiem mežaudzes komponentiem. Kokaudze ir arī saimnieciski vērtīgākais mežaudzes komponents un tāpēc ir meža taksācijas centrālais objekts. Nereti arī kokaudzi sauc vienkārši par audzi. Minēto iemeslu dēļ meža taksācijā kokaudzes un audzes jēdzienus lieto kā sinonīmus. Arī mēs turpmāk pieturēsimies šim uzskatam. Mežā kokaudzes var būt ļoti dažādas. Tās var atšķirties pēc izcelšanās, veida, sastāva, vecuma, biežības u. c. taksācijas pazīmēm. Tā kā kokaudze veido mežaudzes vainagu klāju, tā nosaka zem tās augošos komponentus visās to izpausmēs.

Paauga ir jauno kociņu kopums, kuri atrodas zem meža vainagu klāja vai izcirtumā un var izveidot saimnieciski nozīmīgu kokaudzi. Paauga ir saimnieciskais jēdziens, kas ieviests, lai raksturotu audzes dabiskās atjaunošanās spēju. Mežaudzes telpiskā strukturējuma kontekstā tā pieder *krūmu stāvam*, kurā izvietojas ēncietīgas kokaugu sugas, kas ir spējīgas piemēroties ierobežotajam apgaismojumam zem *vainagu klāja*. Paaugu veido tie koki, kuri ir zemāki par pieņemtu paaugas maksimālo robežu. Tās vērtība nav starptautiski noteikta. Arī laika gaitā tā mainās. Latvijā kopš 2016. gada tā ir 0.5 no kokaudzes *vidējā augstuma* (MK Noteikumi Nr.384, 2016).

Latvijas apstākļos izteiktākā paaugu veidotāja suga ir egļe, kas zem saulmīļu sugu kokaudzēm, piemēram, priedes un bērza, veido spēcīgu un dzīvotspējīgu jauno egļu kopumu. Egles paauga var veidoties arī zem ēncietīgu sugu kokaudzes, piemēram, egļu mežaudzēs. Šādos apstākļos gan paauga cieš no pienācīga gaismas trūkuma, par ko liecina paaugas egļu nomāktības pazīmes – reducēts augstuma pieaugums, nesimetrisks vainags, izteikti tievi un nevienāda garuma sānu zari. Bieži vien šāda paauga ir sakņu infekcijas skarta un nav perspektīva atstāšanai pēc *mātes audzes* nociršanas. Visumā paauga ir jaunāka par kokaudzi. Taču ir sastopami izņēmumi, jo īpaši nīkuļojošas paaugas gadījumā.

Pamežs ir krūmi un koki, kas aizņem to pašu telpu, ko paauga, bet dotajos apstākļos nevar izveidot saimnieciski nozīmīgu kokaudzi. Pamežam raksturīgas ēncietīgas sugas, kuras apmierina krūmu stāva ierobežotais apgaismojums. Audzēs ar blīvu vainagu klāju vai mazauglīgās augsnēs pamežs var arī nebūt, bet skrajākās audzēs un auglīgos augšanas apstākļos tas veidojas ļoti biezs. Ar savām nobīrām pamežs bagātina augsnes organisko daļu, paātrinot vielu apriti meža ekosistēmā. Vienlaikus tas rada labvēlīgus dzīves apstākļus meža faunai, it īpaši dažādu sugu putniem. Pamežam raksturīgākās kokaugu sugas: krūklis, pīlādzis, dažādi kārklī, ieva, lazda, kadiķis u. c. Dažkārt rodas grūtības kādas koku sugas pieskaitīšanai paaugai vai pamežam. Šādos gadījumos jāvadās no sugas atbilstības

augšanas apstākļiem. Piemēram, slapjo minerālaugšņu un kūdras augšņu platībās pūkainais jeb purva bērzs pieskaitāms paaugai, silā un mētrājā – pamežam.

Zemsedze jeb dzīvā zemsega ir lakstaugu, sīkkrūmu, sūnu un ķērpju kopums, kas sedz meža augsni. Izšķir divus zemsedzes stāvus. Pirmajā stāvā aug lakstaugi un sīkkrūmi, otrajā – sūnas un ķērpji. Zemsedzē sastopami daudzi *indikatoraugi*, kuru klātbūtne liecina par dotās vietas kādu vai kādām īpašām īpatnībām, piemēram, par paaugstinātu mitruma daudzumu vai kāda ķīmiskā elementa palielinātu koncentrāciju augsnē. Tādu mitrumu mīlošo augu kā zilenes, vaivariņa, spilvu, dzegužlinu jeb lāčsūnu, sfagnu u. c. atgriešanās susinātās platībās ir pārlicinošs pierādījums tam, ka grāvju tīkls ir aizdambējies un platībā atsākusies pārpurvošanās. Savukārt lielā nātre norāda uz palielinātu slāpekļa esamību augsnē, bet podagras gārša – uz auglīgu augsni vispār. Tādu piemēru ir bezgala daudz – katra suga norāda uz kādu augšanas vietas īpatnību, kas ērti izmantojama augšanas apstākļu klasifikācijā. Zemsedzē aug liels skaits tādu sugu, kas jau sen pazīstamas kā ārstniecības augi.

Zemsega ir augsnes virsējā kārtā (detrīta slānis), kas ir *koku nobiras* (skujas, lapas, mizas, sīkie zari, čiekuri u. c.) un zemsedzes nesadalījušās vai vāji sadalījušās atliekas. Baktēriju un sēņu ietekmē zemsega pakāpeniski sadalās, veidojot *humusu* un atbrīvojot augu minerālās barošanās vielas, citiem vārdiem, kalpo kā barības vielu rezerve. Zemsegas uzkrāšanās un īpašības ir atkarīgas no daudziem faktoriem: augšanas apstākļu tipa, augsnes un audzes īpašībām, koku sugas, vecuma, koku skaita platības vienībā, nobiru ķīmiskā sastāva utt. Skujkoku nobirām ir skāba reakcija, šeit galvenie sadalītāji ir sēnes. Tā kā to darbība ir relatīvi lēna, paaugstināta mitruma apstākļos veidojas *rupjais humuss* un notiek zemsegas uzkrāšanās, tās slānim kļūstot arvien biezākam, kas palēnina vielu apriti audzē. Lapkoku un normāla mitruma mežā veidojas *mīkstsais humuss* un vielu aprīte ir ātra, nodrošinot kokaudžu augstu produktivitāti. Šīs nianse ir tik nozīmīgas, ka tiek ņemtas vērā meža tipoloģijā un meža apsaimniekošanā.

Meža augsne pieder meža ekosistēmas komponentiem. Katrai mežaudzei ir atšķirīga augsne, kas veidojusies klimata, cilmieža, dzīvo organismu, reljefa, ūdens režīma, antropogēno u. c. faktoru ietekmē (Mežals H., 2003; Nikodemus et al., 2008). Augsne nosaka meža veģetācijas sastāvu, struktūru, produktivitāti un saimniecisko režīmu. *Meža tipoloģijā* augsnei ir izšķiroša loma.

Atkarībā no mitruma režīma augšņu dažādību iedala trīs klasēs – *automorfās*, *pushidromorfās* un *hidromorfās* augsnes. Automorfās augsnes radušās normālos mitruma apstākļos, tās izplatītas pacēlumos vai līdzenumos ar labu noteci un dziļu gruntsūdeni. Augsnes mitruma avots – nokrišņi. Meža tipoloģijā šīs augsnes sauc par minerālajām augsnēm un mežaudzes uz tām – par *sausieņiem*, kas pieder intensīvas darbības meža ekosistēmām. Organiskās atliekas te neuzkrājas, tāpēc detrīta slānis nav biezāks par 5 cm.

Pushidromorfās augsnes veidojušās uz ūdeni vāji caurlaidīgiem cilmiežiem ar pastāvīgu vai periodisku lieka mitruma klātbūtni. Augsnes mitruma avots – nokrišņi un sekli gruntsūdeni. Šīs augsnes sauc arī par slapjajām minerālaugsnēm un mežaudzes uz tām – par *slapjajiem*, kas pieskaitāmi vidēji intensīvām meža ekosistēmām. Ar nokrišņiem bagātos gados pārsvaru ņem pārpurvošanās un detrīta slānis kļūst biezāks, turpretī sausajos gados notiek pretējais. Mežaudžu produktivitātes uzlabošanai vēlams nosusināšana. Slapjajiem detrīta slānis nav dziļāks par 30 cm.

Hidromorfās jeb purva augsnes veidojušās reljefa pazeminājumos uz ūdeni necaurlaidīgiem blīva māla cilmiežiem. Visu gadu jaušama seklā gruntsūdens klātbūtne. Šīs augsnes sauc arī par slapjajām kūdras augsnēm un mežaudzes uz tām – par *purvajiem*. Vēlams nosusināšana. Detrīta slāņa biezums pārsniedz 30 cm.

Nosusinātās augsnes radušās pēc liekā virsūdens aizvadīšanas. Apmēram ceturtajā daļā Latvijas mežu ir veikta hidrotehniskā meliorācija, tādējādi izveidojoties *āreņiem* (detrīta slāņa biezums līdz 20 cm) un *kūdreņiem* (biezāks nekā 20 cm).

Taksējot mežaudzes, neiztrūkstoši jāidentificē to piederība meža tipoloģijas vienībām. Augsnes īpašības ir neaizstājams šī uzdevuma risināšanas līdzeklis.

Līdzīgi kā atsevišķam kokam arī mežaudzes līmenī katram audzes komponentam izšķir vairākas *frakcijas*. Kokaudzei, piemēram, ir stumbru, vainagu, zaru, mizas, celmu, sakņu u. c. sastāvdaļas jeb frakcijas. Frakciju vērtības nosaka visi tie paši faktori, kas ir būtiski audzes komponentu vērtēšanā.

Dažādu meža ekosistēmu kokaudzes var atšķirties pēc sugu sastāva, koku izvietojuma platībā, to dimensijām, vecuma u. c. taksācijas rādītājiem, kas kalpo pareizai audžu (taksācijas nogabalu) izdalīšanai un novērtēšanai. Tāpēc prasmei noteikt šo rādītāju vērtības meža taksācijā ir izšķiroša nozīme. Audžu līmenī šie rādītāji ir kokaudzes izcelšanās, veids, sastāvs, vecums, augstums, caurmērs,

šķērslaukums, krāja, augstuma, caurmēra un krājas pieaugumi, bonitāte, sortimentu iznākums, augšanas apstākļu un meža tipi u. c. meža ekosistēmas parametri. Turpmāk pievērsīsimies minēto rādītāju jēgas, kopsakarību un noteikšanas paņēmieni iztīrījumam.

3.2. Audzes izcelšanās

Pēc izcelšanās izšķir *dižmeža* un *atvasāja* audzes. Dižmeža audzes atjaunojušās ģeneratīvi, atvasāja audzes – veģetatīvi. Atšķirībā no dižmeža atvasāja koki aug puduros, nereti to stumbri apakšdaļā ir izliekti. Tas izskaidrojams ar koku augšanas īpatnībām. Kā zināms, atvasājā koki atjaunojas ar *celmu* un *sakņu atvasēm*. Tāpēc katra iepriekšējās paaudzes koka celma tuvumā izveidojas blīvs koku puduris. Pateicoties celmu spēcīgajai un aktīvajai sakņu sistēmai, atvases sākumā ir bagātīgi apgādātas ar ūdeni un minerālvielām, bet netaudz vēlāk – ar barības vielām, kas rodas celmu sadalīšanās rezultātā. Lielā mērā šo īpatnību dēļ jaunībā atvasājs aug ievērojami ātrāk nekā dižmežs. Parasti šajā laikā atvasājā auglīgos augšanas apstākļos jauno koku augstums katru gadu palielinās par metru un vairāk, kamēr dižmežā tas ir skaitāms centimetros. Atvasājā ir izteiktāka konkurences cīņa, kas izpaužas kā intensīvāka koku diferencēšanās un atmiršana. Šīs cīņas rezultātā izveidojas raksturīgie stumbru izliekumi, samazinās audzes rezistences spējas un produktivitāte. Salīdzinājumā ar dižmežu atvasāja koki biežāk slimo ar trupi, piemēram, apšu atvasajos ap trupējušiem celmiem lielākā daļa sakņu atvašu ir inficētas ar šo slimību. Atvasāju koku koksne ir tehniski mazvērtīgāka, pieaugušu audžu krāja un sortimentu iznākums mazāks, koku degradācija vecuma dēļ iestājas agrāk. Tā kā dižmeža un atvasāja audzēs nepieciešama atšķirīga saimniekošana, tās jātaksē atsevišķi. Dažkārt, piemēram, ozolu audzēs, vienā un tajā pašā platībā sastopami kā ģeneratīvi, tā veģetatīvi atjaunojušie koki. Šādu audzi sauc par *vidulāju*. Vidulāju taksējot, jānosaka abu komponentu taksācijas parametru vērtības.

Pēc izcelšanās rakstura izšķir *dabiskas* un *antropogēnas* (meža kultūras) izcelsmes audzes. Meža kultūrām raksturīgs regulārs koku izvietojums (saskatāmas koku rindas), atsevišķu koku vecums audzē praktiski vienāds, audzes struktūra viendabīgāka, augšanas gaita jaunībā intensīvāka un produktīvāka nekā dabiski atjaunojušās audzēs. Laika gaitā šīs atšķirības izlīdzinās un galvenās izmantošanas vecumā pārākas ir dabiskās izcelsmes audzes. Novērtējot antropogēnās izcelsmes audzes, ne tikai jānosaka to taksācijas rādītāji, bet jāraksturo arī to ierīkošanas un sanitārā stāvokļa īpatnības. Piemēram, jāatzīmē, vai audze ir sēta vai stādīta, tās *sākotnējais biežums* (stādvieta skaits) un izvietojums, kaitēkļu un citu riska faktoru apdraudējums.

3.3. Audzes veids

Audzis veids raksturo kokaudzis *vertikālo struktūru*. Kā struktūras vienību izmanto *audzis stāvu*. Ar šo jēdzienu saprot koku vainagu izvietojuma līmeni. Atkarībā no stāvu skaita izšķir *vienkāršas* un *saliktas audzis*. Vienkāršās audzēs koku vainagi atrodas relatīvi vienādā augstumā un veido vienu slāni jeb *vainagu klāju*. Šādas audzis sauc par *vienstāva audzēm*. Saliktās audzēs ir divi vai vairāk stāvu. Latvijas apstākļos sastopamas *divstāvu audzis*, visbiežāk ar priedi, egli, bērzu vai apsi pirmajā un egli otrajā stāvā.

Audzis stāvainums izsaka dažādu koku sugu ekoloģisko prasību atšķirību. Parasti *pirmo stāvu* aizņem saulmīļi, bet *otro stāvu* – ēncietīgas sugas. Tādā gadījumā katrs stāvs pārstāvēts ar dažādām koku sugām. Sastopamas audzis arī ar vienu un to pašu koku sugu abos stāvos. Mūsu apstākļos tas sakāms par egli. Šāda situācija veidojas tad, ja pirmā stāva vainagu klājs ir tik skrajš, ka tam cauri izplūdušais gaiss daudzums apmierina egles fotosintēzes prasības. Atzīmēsim, ka šajā gadījumā abu stāvu koku vecums ir krasi atšķirīgs.

Koka piederību stāvam nosaka tā augstums. Robeža nav bioloģiski noteikta, bet ir cilvēku vienošanās rezultāts. Par to liecina tas, ka dažādās valstīs tai ir piešķirtas atšķirīgas vērtības. Latvijā mežaudzis pirmo stāvu definē kā koku kopu, kuras koku augstumu atšķirības no koku vidējā augstuma nepārsniedz 20 %. Meža inventarizācijā otro stāvu izdala, ja tā koku vidējais augstums ir vismaz par 21 % mazāks nekā pirmā stāva koku vidējais augstums, bet nav mazāks par tā zemāko robežu – šiem metriem. Taču ne visi uzskata, ka tas ir pareizi. Vairākums zinātnieku uzskata, ka otrā stāva zemākā robeža ir 0,5 H (H ir audzis vidējais augstums) un ka koki, kas zemāki par pieņemto robežu, pieskaitāmi paaugai. Jāatzīmē, ka iepriekšējais normatīvais materiāls par otrā stāva zemāko robežu

paredzēja 0,25H, norādot arī tās absolūto vērtību – 4 m. Prakses vajadzībām otro stāvu izdala tikai tad, ja tam ir saimnieciska nozīme. Atpazīšanas kritēriji nav stingri noteikti. Parasti pieņem, ka otrā stāva krājai jābūt vismaz 30 m³ha⁻¹ un biežībai vismaz 0,3.

Stāvu, kuram ir lielākā krāja vai saimnieciskā vērtība, sauc par *galveno stāvu*. Nereti tā taksācijas aprakstu uzskata par visas audzes raksturojumu. Parasti galvenais ir pirmais stāvs, taču sastopami arī izņēmumi. Kā piemēru var minēt vējgāžu saplosītās audzes, kuru reto pirmo stāvu veido stihiju pārcietušie vecie skujkoki, bet otro stāvu – spēcīgi augošas un veselīgas jaunās egles un lapkoki. Šeit galvenais ir otrais stāvs un tāpēc saimnieciskie pasākumi jāplāno tā, lai veicinātu otrā stāva augšanu.

Saliktās audzēs katru stāvu jātaksē atsevišķi, nosakot tā sastāvu, vidējo augstumu, caurmēru, vecumu, biežību un krāju.

3.4. Audzes sastāvs

Vienā audzes stāvā var augt viena vai vairākas sugas. Bagātīgos augšanas apstākļos pirmo stāvu dažkārt veido trīs vai četras koku sugas. Audzes koku sugu līdzdalības raksturošanai ieviests sastāva jēdziens. Sastāvu nosaka katram stāvam atsevišķi un izsaka ar *sastāva formulu*. Tā satur stāva koku sugu simbolus (ģints nosaukuma vienu vai divus pirmos burtus) un *mistrojuma* jeb *sastāva koeficientus*. Koeficientu vērtības, kuras aprēķina proporcionāli stāvā pārstāvēto koku sugu krājai, iespējamās robežās 1 – 10. Ja stāvu veido tikai viena suga, koeficienta vērtība ir maksimāla. Piemēram, formula 10P izsaka, ka dotās audzes vienīgajā stāvā aug tikai priedes. Turpretī sastāva formula 5P3E1B1A norāda, ka šīs audzes vienīgā stāva krāja sastāv no 5 daļām priedes, 3 daļām egles un pa vienai daļai bērza un apses krājas. Saliktu audžu sastāva formulu raksta daļas veidā, ar skaitītāju raksturojot pirmo, ar saucēju – otro stāvu. Piemēram, 5P5B/10E nozīmē, ka divstāvu audzes pirmo stāvu vienādās attiecībās veido priede un bērzs, bet otro – tikai egle. Sastāva formulā koku sugu simboli un atbilstošie mistrojuma koeficienti jāraksta krītošā secībā un koeficientu summai jābūt vienādai ar 10. Ja sugas līdzdalība stāva krājā ir robežās no 2 – 5%, tās simbolu raksta aiz plus zīmes, piemēram, 10E+B. Ja sugas piemistrojums ir mazāks par 2%, plus zīmes vietā raksta *ats*, piemēram, 8E2atsP.

Sugu, kurai ir lielākais mistrojuma koeficients, sauc par stāva *valdošo* jeb *dominanto sugu*. Ja divas vai vairākas sugas ir pārstāvētas vienādi, tās sauc par kodominantiem. Par audzes *galveno sugu* sauc to, kura dotajos augšanas apstākļos vislabāk atbilst saimniecības mērķiem un mistrojuma koeficients nav mazāks par četri. Vairākumā gadījumu valdošā ir arī galvenā suga. Tā tas ir visos augšminētajos piemēros. Turpretī audzē 4E6A/10E jāplāno kopšanas cirte nolūkā atbrīvot egli. Tāpēc šajos apstākļos par galveno jāuzskata saimnieciski vērtīgākā suga – egle. Sastāva formulā galvenā suga jāraksta pirmā.

Atkarībā no pirmā stāva sastāva audzes iedala *tīraudzēs* un *mistraudzēs*. Tīraudzes jēdzienu izpratne nav viennozīmīga. Daļa autoru uzskata, ka audzi var uzskatīt par tīraudzi, ja citu koku sugu piemistrojums tās pirmajā stāvā nav lielāks par 5% no stāva krājas. Praksē par tīraudzēm uzskata tādas audzes, kurās citu koku sugu piemistrojums nepārsniedz 20% no krājas. Tas nozīmē, ka visas tās audzes, kuru pirmā stāva sastāva formulā ir divi vai vairāk mistrojuma koeficienti, ir mistraudzes. Jaukto mežu biomā mistraudzes pilnīgāk izmanto un uztur augsnes auglību, ir noturīgākas pret abiotiskajiem un biotiskajiem riska faktoriem un satur lielāku dzīvo organismu sugu un īpatņu skaitu, kas ir cēlonis saspringtām starpsugu attiecībām. Turklāt katras koku sugas taksēšanā jāievēro noteikta specifika. Tāpēc, salīdzinot ar tīraudzēm, mistraudzes taksēt ir sarežģītāk, arī darba precizitāti ievērot ir grūtāk. Sevišķi mistraudžu specifika izpaužas *salikto mistraudžu* gadījumos.

Šo iemeslu dēļ krievu zinātnieks N. Tretjakovs 20. gs. 20. gados meža taksācijā ieviesa *meža elementa* jēdzienu. Ar to viņš saprata struktūras pamatvienību, līdz kurai var sadalīt audzi. Tādējādi meža elements ir audzes dotā stāva vienas sugas un paaudzes koku kopa ar vienādu izcelšanos. No tā izriet, ka vienkārša tīraudze vienlaicīgi ir arī meža elements, vienkārša mistraudze, piemēram, 7P3E sastāv no diviem meža elementiem, bet salikta mistraudze, piemēram, 6E4B/10E – no trīs meža elementiem. Galvenā suga veido *galveno*, pārējās – *pakārtotos meža elementus*. Katru meža elementu jātaksē atsevišķi, nosakot tā vecumu, caurmēru, augstumu, šķērslaukumu, krāju u. c. rādītājus.

3.5. Audzes vecums

Vecums ir jebkuras bioloģiskas sistēmas universāls arguments, kas nosaka visus dzīvības procesus. Mežaudze nav izņēmums. Vecums ir viens no informatīvākajiem rādītājiem gan audzes vispusīgai raksturošanai, gan arī dažādu saimniecisko pasākumu plānošanai. Tāpēc šis rādītājs jānosaka katrai audzei. Par salikto audžu vecumu pieņem galvenā stāva, par mistraudžu un salikto mistraudžu – galvenā meža elementa vecumu. Katram meža elementam vecumu nosaka atsevišķi. Ikvienu meža elementu veido dažāda vecuma koki. Pat antropogēni atjaunotās audzēs sakarā ar to papildināšanu atsevišķu koku starpība sasniedz 3 – 4 gadus, bet dabiski atjaunojušās audzēs tā ir krietni lielāka. Izšķir *valdošo* un *vidējo vecumu*. Par valdošo uzskata meža elementā pārsvarā esošo koku vecumu. Ar vidējo vecumu A saprot tā vidējo svērtu vērtību, kur kā svarus izmanto n atsevišķu vienāda vecuma koku grupu krāju V_i vai šķērslaukumu G_i :

$$A = \frac{\sum_i A_i \cdot V_i}{\sum_i V_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (3.1.)$$

$$A = \frac{\sum_i A_i \cdot G_i}{\sum_i G_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (3.2.)$$

Jāatzīmē, ka A nosaka kā zināma koku skaita vecuma aritmētisko vidējo vērtību. Precīzu audzes vecumu uzrāda vienīgi antropogēni atjaunotām audzēm, pārējos gadījumos to noapaļo ar 5 (ja $A \leq 100$) vai 10 ($A > 100$) gadu precizitāti.

Prakses vajadzībām audzes vecumu izsaka *vecumklasēs* – noteikta lieluma vecuma intervālos. Skujkokiem un cieto lapkoku sēklaudžiem par vecumklases intervālu pieņemts 20 gadu, mīkstajiem lapkokiem un cieto lapkoku atvasājiem – 10 gadu un īpaši ātraudzīgajām lapkoku sugām (baltalksnis, blīgzna, papele, vītols) – 5 gadu intervāls. Pirmo piecu vecumklašu robežas redzamas 3.1. tabulā. Vecumklases intervāla lielums ir vienošanās jautājums. Ir ne mazums valstu, kur arī skujkokiem un cieto lapkoku sēklaudžiem piemēro 10 gadu intervālu. Vecumklases pieņemts apzīmēt ar romiešu cipariem.

3.1. tabula

Vecumklašu robežas

Vecumklase	Vecumklases intervāls, gadi		
	20	10	5
I	1–20	1–10	1–5
II	21–40	11–20	6–10
III	41–60	21–30	11–15
IV	61–80	31–40	16–20
V	81–100	41–50	21–25

No 3.1. tabulas seko, ka, piemēram, 45 gadus veca priežu audze atbilst III un tikpat veca bērzu audze – V vecumklasei.

Par vecumklasi lielāka audzes vecuma gradācijas vienība ir *vecumgrupa*. Vecumgrupu izdalīšanā vadās pēc *ciršanas vecuma*, kurā audze sasniedz *galvenās izmantošanas* gatavumu. Latvijā ciršanas vecums noteikts likumdošanas kārtībā (Meža likums) atkarībā no koku sugas un augšanas apstākļiem (bonitātes) (3.2. tab.). Šeit jāuzsver, ka Latvijā ciršanas vecums nav vienīgais galvenās cirtes gatavuma kritērijs. Meža likums kā otru kritēriju pieļauj *galvenās cirtes caurmēru*, definējot to kā mežaudzes valdošās koku sugas pirmā stāva koku vidējo caurmēru 1,3 metru augstumā, kas jāsasniedz, lai mežaudzi varētu cirst *galvenajā cirtē* pirms galvenās cirtes vecuma sasniegšanas. Ar šī kritērija normatīvajām vērtībām iepazīsimies apakšnodaļā par audzes caurmēru.

Ar vecumklasi saistīts kāds cits ikdienā bieži lietots jēdziens – *cirtmets*. Vairākums autoru ar to saprot vecumklasi, kuras zemākā robeža ir ciršanas vecums. Cirtmetu izmanto vecumgrupu izdalīšanai. Izšķir piecas vecumgrupas: *jaunaudzes*, *vidēja vecuma audzes*, *briestaudzes*, *pieaugušas audzes* un *pāraugušas audzes*. Audzi iedala kādā no šīm vecumgrupām, vadoties no valdošās sugas vecuma:

pieaugušām audzēm atbilst cirtmeta un vienas nākamās vecumklases audzes; pāraugušām audzēm – visas tās, kas ir vecākas par pieaugušajām; briestaudzēm – tās, kas par vienu vecumklasi jaunākas nekā cirtmeta vecumklase; jaunaudzēm pieskaita I un II vecumklases, bet vidēja vecuma audzēm tās, kas ir vecākas par II vecumklasi, bet nav sasniegušas briestaudzes vecumu. Audžu sadalījums vecumgrupās atvieglo saskaņotu starptautisku meža fonda uzskaiti un salīdzināšanu. Vecumklašu un vecumgrupu intervālu sadalījumu pa koku sugām atkarībā no to cirtmeta izsaka 3.3. tabula.

3.2. tabula

Ciršanas vecums (Meža likums, 24.02.2000.)

Valdošā koku suga	Galvenās cirtes vecums atkarībā no bonitātes, gados		
	I un augstāka	II – III	IV un zemāka
Ozols	101	121	121
Priede un lapegle	101	101	121
Egle, osis, liepa, goba, vīksna un kļava	81	81	81
Bērzs	71	71	51
Melnalksnis	71	71	71
Apse	41	41	41

3.3. tabula

Audzū vecumklases un vecumgrupas

Koku suga	Bonitātes klase	Vecumklases, intervāls, gadi	Vecumgrupas un vecumgrupu intervāli				
			jaunaudze	vidēja vecuma audze	briestaudze	pieauguša audze	pārauguša audze
Ozols	I ^a , I	20	I – II 1 – 40	III – IV 41 – 80	V 81 – 100	VI – VII 101 – 140	VIII+ 141+
	II, III, IV, V, VI	20	I – II 1 – 40	III – V 41 – 100	VI 101 – 120	VII – VIII 121 – 160	IX+ 161+
Priede, Lapegle	I ^a , I, II, III	20	I – II 1 – 40	III – IV 41 – 80	V 81 – 100	VI – VII 101 – 140	VIII+ 141+
	IV, V, VI	20	I – II 1 – 40	III – V 41 – 100	VI 101 – 120	VII – VIII 121 – 160	IX+ 161+
Egle, Osis	I ^a , I, II, III, IV, V, VI	20	I – II 1 – 40	III 41 – 60	IV 61 – 80	V – VI 81 – 120	VII+ 121+
Bērzs	I ^a , I, II, III	10	I – II 1 – 20	III – VI 21 – 60	VII 61 – 70	VIII – IX 71 – 90	X+ 91+
	IV, V, VI		I – II 1 – 20	III – IV 21 – 40	V 41 – 50	VI – VII 51 – 70	VIII+ 71+
Melnalksnis	I ^a , I, II, III, IV, V, VI	10	I – II 1 – 20	III – VI 21 – 60	VII 61 – 70	VII – IX 71 – 90	X+ 91+
Apse	I ^a , I, II, III, IV, V, VI	10	I – II 1 – 20	III 21 – 30	IV 31 – 40	V – VI 41 – 60	VII+ 61+

Atkarībā no galvenā meža elementa vecuma struktūras izšķir *vienvecuma* un *dažādvecuma* audzes. Vienvecuma audzēs galvenā meža elementa atsevišķu koku vecums nepārsniedz, bet dažādvecuma pārsniedz vienas vecumklases robežas. Dažādvecuma audžu veidošanās raksturīga ēnciešu sugām – eglei un balteglei. Šādu audžu vidējo vecumu aprēķina pēc formulām (3.1.) un (3.2.). Ja kādas sugas koki, kas veido vienu stāvu, atšķiras vairāk nekā par divām vecumklasēm un turklāt atšķirīga vecuma koku grupu krāja nav mazāka par 20% no stāva krājas, bet to vidējo caurmēru starpība ir ne mazāka par 4 cm, izdala *paaudzēs*. Katru paaudzi uzskata par atsevišķu meža elementu un taksē šķirti.

Taksācijas aprakstā audzes sastāva un vecuma struktūru raksturo ar kopīgu – *taksācijas formulu*. Pēc būtības tā ir sastāva formula, kas papildināta ar informāciju par vecumu. Piemēram, $7P_{95}3E_{85}$ vai vienkāršotā pierakstā 7P953E85 norāda, ka priedes vidējais vecums ir 95 un egles – 85 gadi. Cits

piemērs – $10P_{65} + P_{140}$ liecina, ka 65 gadus vecā priežu tīraudzē sastopamas atsevišķas priedes, kuru vidējais vecums ir 140 gadu. Atzīmēsim, ka pēdējā pierakstā priedes simbols atkārtojas. Tas ir pieļaujami, ja abas priežu grupas pieder atšķirīgiem meža elementiem.

Meža elementa un audzes vecuma noteikšana pamatojas uz prasmi noteikt atsevišķa koka vecumu. Izšķir *bioloģisko* un *saimniecisko* vecumu. Bioloģiskais vecums ir laiks kopš dīgsta rašanās. Stādītam kokam tas ietver arī stādmateriāla vecumu, sētam kokam – laiku kopš sēšanas vai iesēšanas. Saimniecisko vecumu var izteikt atšķirīgi, piemēram, stādītam kokam kā laiku kopš stādīšanas.

Visprecīzāk koka vecumu var noteikt, saskaitot *gadskārtu skaitu* stumbra sakņu kakla šķērsgriezumā. Kā zināms, mūsu klimatiskajos apstākļos katru gadu koks uzaudzē gadskārtu, tādējādi pieaugot resnumā. Veģetācijas sezonas laikā tas nenotiek vienmērīgi. Pavasara pusē augšanas procesi norisinās ātrāk, koksnes (*agrīnā koksne*) šūnu izmēri ir lielāki un tādēļ koksnes blīvums ir mazāks nekā koksnei (*vēlīnā koksne*), kas veidojas veģetācijas perioda rudens pusē. Vēlīnā koksne ir tumšāka. Tāpēc stumbra šķērsgriezumā gadskārtējais koksnes pieaugums saskatāms *gadskārtas* veidā. Saskaitot gadskārtu skaitu uz celma (sakņu kaklā), iegūst koka vecumu. Ja celma augstums ar sakņu kaklu nesakrīt, nozāgē 2–3 cm biezas ripas. Augošam kokam ar M. Preslera *svārpstu* izurbj *pieauguma serdeni*. Gadskārtu saskatāmība ir atkarīga galvenokārt no koku sugas un parauga svaiguma. Skujkokiem, ozolam un osim gadskārtas saredzamas labi, turpretī bērzam, apsei un melnalksnim tās izteiktas vāji. Gadskārtu saskatāmības uzlabošanai griezuma virsma jānogludina. Stacionāros apstākļos lieto ēveli vai frēzi, mežā to veic ar asu nazi. Ja paraugs nav svaigs, to saslapina ar ūdeni. Vēl labākus rezultātus gūst, ja griezuma vietu iekrāso. Pazīstami daudzi un dažādi ieteikumi, piemēram, anilīna krāsas vai atšķaidīts dzelzs hlorīda šķīdums. Pēdējo ieteicis Latvijas koksnes zinātnieks A. Rozēns. Viņš noskaidrojis, ka, dzelzs hlorīdam reaģējot ar miecvielām, koksne iekrāsojas zaļi melnā krāsā, turklāt vēlīnajā koksne tas notiek intensīvāk un arī dziļāk. Nogriežot parauga virsējo tumšo kārtu, agrīnā koksne atgūst iepriekšējo gaišo izskatu, tādējādi uzlabojoties gadskārtu saskatāmībai. Ne mazākas neērtības rada ļoti šauro gadskārtu saskaitīšana. Šajā gadījumā mežā lieto pietiekoša palielinājuma lupu.

Atkarībā no koku augšanas apstākļiem iespējamas gadskārtu anomālijas – *šķietamās*, *divkārsās* un *nepilnās gadskārtas* (Schweingruber, 1996). Šķietamās gadskārtas izraisa koksnes trupēšana. No īstajām tās var atšķirt pēc iekrāsojuma, izteikta viļņojuma un ekscentriskas formas. Divkārsās gadskārtas veidojas, ja veģetācijas periodā krasi mainās klimatiskie vai sanitārie apstākļi. Tiem pasliktinoties, koka pieaugums resnumā samazinās, bet pēc tam, apstākļiem uzlabojoties, – atkal palielinās. Tā tas var būt pēc vēlajām pavasara salnām, ilgstoša sausuma perioda, kaitēkļu vai vājas skrejuguns bojājumiem. Par nepilnām gadskārtām sauc tādas, kas neveido nepārtrauktu joslu. Tās saskatāmas tikai kā atsevišķi fragmenti vienā vai vairākos šķērsgriezuma sektoros. Šī anomālija raksturīga nomāktiem, augšanā atpalikušiem kokiem ar ekscentriskiem stumbriem. Ļoti nelabvēlīgos apstākļos atsevišķos gados gadskārtas vispār neveidojas. Šajā laikā, kas var ilgt vienu vai vairākus gadus pēc kārtas, koki visu primāro produkciju izlieto dzīvības procesu uzturēšanai un *koksnes pieaugumu* neveido. Ja nelabvēlīgo faktoru ietekme turpinās, pārtraukumi augšanā kļūst aizvien ilgāki un atkārtojas biežāk. Minēto anomāliju dēļ meža elementa vecuma noteikšanai uz viena koka datiem nevar paļauties. Jāizvēlas vismaz 3–5 vidējo dimensiju koki. Katram no tiem ripas vai urbumu gadskārtas jāskaita vismaz divos – garākā un īsākā – caurmēra virzienos. Atšķirīgs gadskārtu skaits liecina par anomāliju esamību.

Parasti vecuma noteikšanai izmanto ripas, kas izzāgētas celma augstumā vai visbiežāk gadskārtas skaita tieši uz celma. Šajā gadījumā skaitīšanas rezultātām jāpieskaita 2–5 gadi, kas nepieciešami, lai koks sasniegtu celma augstumu. Saulmīļu sugām labos augšanas apstākļos pieskaita 2, ēnciešu sugām sliktos augšanas apstākļos – 5 gadus. Šeit jāatzīmē šo skaitļu nosacītais raksturs. Īpaši tas sakāms par egli, kas jaunībā spējīga pārciest ilgstošu nomāktības periodu. Kā liecina I. Spalviņas pētījumi, dažkārt paaugā sastopamas 30–140 gadu vecas eglītes. Šādās audzēs celma augstuma eglīšu vecums krietni pārsniedz 5 gadus. Turklāt, ja celms nav vairs svaigs, piemēram, izcirtumā, jāpieskaita arī celma vecums, kura noteikšana saistīta ar papildu grūtībām. Sacītais apliecina to, ka šķietami vienkāršā meža elementa vecuma noteikšana nav nemaz tik vienkārša un prasa apdomātu rīcību atbilstoši konkrētajiem apstākļiem.

Augoša koka vecumu visprecīzāk var noteikt, gadskārtu skaitīšanai izmantojot M. Preslera pieauguma serdenus. To iegūšanai M. Preslers konstruējis speciālu urbi, ko pazīst arī kā *pieauguma svārpstu* (1.21. att., c). Vecuma noteikšanai urbšanas vietu izvēlas sakņu kaklā un urbj serdes virzienā. Kad ieurbts pietiekoši dziļi, starp svārpsta iekšējo malu un serdeni iebīda *silīti*. Silīte jāaizbīda līdz galam, darot to ļoti uzmanīgi, lai nesalauztu silīti vai nebojātu koksnes serdeni. Pēc tam svārpstu pagriež urbšanai pretējā virzienā par 90°–180° un izvelk silīti, kurā atrodas cilindrisks serdenis. Uz

tā saskatāmas gadskārtas, jo īpaši tad, ja serdeni pielīdzina ar nazi un paceļ pret gaismu. Vecuma noteikšanai serdenis ir derīgs tad, ja uz tā redzama koka serde. Pēc gadskārtu saskaitīšanas serdeni vēlams atbāzt atpakaļ, tādējādi veicinot koka bojājuma aizaugšanu.

Izņemot lapegli, skujkoki katru gadu veido labi izteiktu zaru *mieturi*. Šo īpašību izmanto koka vecuma noteikšanai. Taču jāpārbauda, ka mieturu skaitīšana ir ierobežota – iespējama vienīgi līdz 30 – 40 gadu vecās audzēs, jo vecākiem kokiem un sevišķi eglēm augšējie mieturi vairs nav saskatāmi. Turklāt šajā vecumā izzūd arī apakšējo mieturu pēdas.

Visērtākais, bet arī visaptuvēnākais vecuma noteikšanas paņēmiens ir acumērs. Šinī gadījumā jāvadās pēc augšanas apstākļiem, koka dimensijām, atzarošanās pakāpes, mizas krāsas un krevojuma, vainaga formas u. c. pazīmēm. Pieredzējuši taksatori pēc acumēra audzes vecumu nosaka ar 5 – 10 gadu precizitāti. Ilggadīgā pieredzē secināts, ka, ja audzes ir vecākas par 100 gadiem, vērojama sistemātiska pozitīva kļūda. Tas liecina par vispārīgu tendenci tādām audzēm piedēvēt vecumu, kas lielāks par patieso.

Pēc platību nosusināšanas un ēnciešu sugām arī pēc kokaudzes izretināšanas koku augšanas apstākļi krasi uzlabojas. Veidojas audzes, kuru *augšanas gaita* vairs neatbilst to patiesajam vecumam. Tā ir līdzīga jaunāku audžu augšanas gaitai. Līdz ar to bioloģiskais vecums nevar būt par pieturas punktu saimniecisko pasākumu plānošanā. Tāpēc izmanto *saimniecisko* jeb *ekonomisko vecumu*. Šajā gadījumā ar saimniecisko vecumu saprot laika posmu, kāds būtu bijis nepieciešams audzes esošo dimensiju sasniegšanai uzlabotajos augšanas apstākļos. Saimniecisko vecumu A_s aprēķina pēc caurmēra vai augstuma starpībām. Vienkāršākajā veidā izmanto lineāro interpolāciju jeb trīsskaitļu uzdevumu. Piemērs. Nosusināšanas laikā priežu audzes vidējais augstums $H' = 8,5$ m un vecums $A' = 90$ gadi. Pēc 30 gadiem attiecīgi $H = 17,5$ m un $A = 120$ gadi. Pēdējos 30 gados vidējais augstums palielinājies par $H - H' = 17,5 - 8,5 = 9,0$ m. Tāpēc

$$A_s = \frac{30 \times 17,5}{9,0} = 58 \text{ (gadi)}.$$

Vispārīgā veidā

$$A_s = \frac{(A - A')H}{H - H'}. \quad (3.3.)$$

Aprēķina rezultāts nozīmē, ka bez augšanas aizkavēšanās laikā pirms nosusināšanas patreizējo augstumu $H = 17,5$ m audze būtu sasniegusi jau 58 gadu vecumā, kas arī ir audzes saimnieciskais vecums. K. Bušs trīsskaitļu uzdevuma risinājumu uzskata par aptuvenu. Viņš iesaka formulu

$$A_s = A - A_0, \quad (3.4.)$$

kur korekciju A_0 aprēķina pēc transformētiem (logaritmētiem) datiem:

$$\lg A_0 = \lg A' - H' \frac{\lg A - \lg A'}{H - H'}. \quad (3.5.)$$

Mūsu piemērā

$$\lg A_0 = \lg 90 - 8,5 \frac{\lg 120 - \lg 90}{17,5 - 8,5} = 1,8361,$$

no kurienes $A_0 = 69$ un $A_s = 120 - 69 = 51$. Starpība $58 - 51 = 7$ (gadi) jeb 13,7%. Kaut arī saimnieciskā vecuma aprēķināšanas kļūdu 5 – 10 gadu robežās uzskata par pieļaujamu, A_s jācenšas noteikt pēc formulas (3.4.).

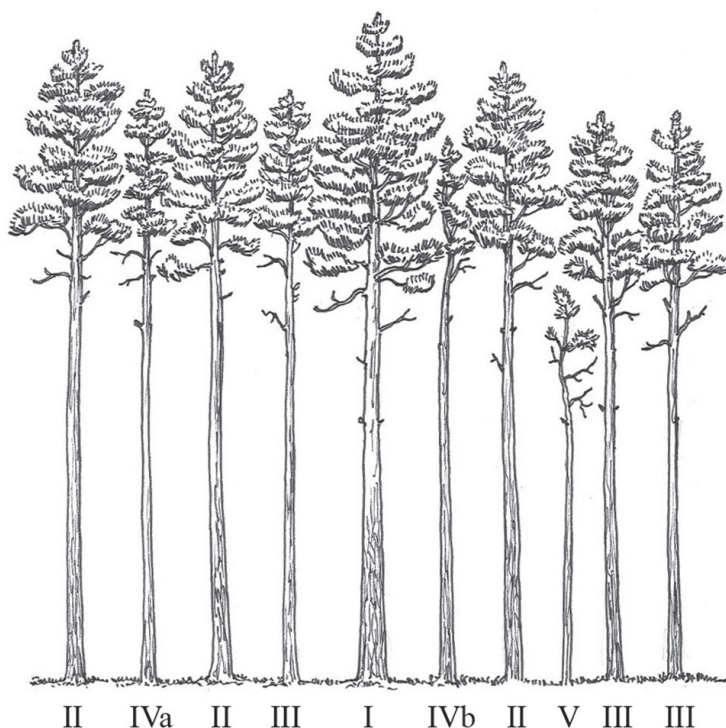
Pēdējā laikā aizvien plašāk izmanto *krūšaugstuma vecumu*. To iegūst, saskaitot gadskārtas 1,3 m augstumā virs sakņu kakla. Nereti paaugas egles līdz šim augstumam atrodas ilgas depresijas stāvoklī. Ja no šādas paaugas izveidojas audze, tad, salīdzinot ar bioloģisko vecumu, krūšaugstuma vecums labāk korelē ar pārējiem taksācijas rādītājiem un adekvātāk raksturo audzes augšanas gaitu. Nolie dzama priekšrocība ir arī tā, ka M. Preslera serdeni, ko iegūst krūšaugstumā, ir vienlaicīgi izmantojami arī caurmēra, šķērslaukuma un krājas pieauguma noteikšanai.

3.6. Koku sociālais stāvoklis

Agrā jaunībā koku skaits uz 1 ha var sniegties desmitus tūkstošu. Līdz ar vecumu, palielinoties koku dimensijām un prasībām pēc ekoloģisko faktoru nodrošinājuma, īpatņu starpā saasinās cīņa par izdzīvošanu, kas ārēji izpaužas kā *koku diferencēšanās* audzē. Šajā procesā atkarībā no iedzimtajām īpašībām un vides nevienādīguma viena daļa koku aug strauji, tie ir spēcīgi un nomāc tuvākos kaimiņus. Savukārt cita daļa augšanā atpaliek, nīkuļo un nokalst. Katrā audzē atrodas dažādā savstarpējās ietekmes pakāpē esoši koki. Vislabāk tos saskatīt vienvecuma vienkāršās tīraudzēs. Koku diferencēšanās procesa izpētei ir ne tikai teorētiska, bet arī praktiska nozīme, jo koku nomāktības pakāpe (fitocenotiskais jeb sociālais stāvoklis) ir viena no pamatpazīmēm koku izvēlei kopšanas, sanitārajām, pakāpeniskajām un izlases cirtēm.

Pamatojoties uz koku fitocenotisko jeb sociālo stāvokli audzē, izstrādāts ievērojams skaits *koku klasifikāciju*, iedalot tos *augšanas klasēs*. Pazīstamākā ir vācu zinātnieka G. Krafta (Kraft G.) klasifikācija, kas ieteikta 1884. gadā. Sākotnēji tā tika izstrādāta vienkāršu tīraudžu koku savstarpējā sociālā stāvokļa raksturošanai. Pateicoties tās vienkāršībai un uzskatāmībai, dažādu valstu mežkopji to ieviesa un izmantoja arī mistraudzēs un saliktās audzēs. Šādos nepiemērotos apstākļos G.Krafta klasifikācija izrādījās mazāk piemērota. Tāpēc arī tika asi kritizēta un dažādi modificēta. Taču jāatzīst, ka šie mēģinājumi uzlabot koku savstarpējo attiecību izpausmes ir izrādījušies nesekmīgi un tādēļ vēl joprojām G. Krafta klasifikācija tiek atzīta un lietota kā labākā un parocīgākā mežsaimniecības prakses vajadzībām. Atšķirīgi ir arī šī populārā risinājuma rezultātu nosaukumi – *G. Krafta klases*, *vainagu klases*, *koku augšanas klases* u. c.

G. Krafts vadījās pēc koku garuma un vainagu izskata. Viņš izdalīja piecas ērti atpazīstamas klases – virsvaldu, valdošo, līdzvaldu, nomākto, kalstošo un nokaltušo koku klases, apzīmējot tās ar romiešu cipariem (3.1. att.).



3.1. att. G. Krafta koku klasifikācijas shēma (pēc Анучин Н., 1977)

I – virsvaldu koki telpiski izceļas virs pirmā stāva vainagu klāja, parasti tie ir arī resnākie koki ar simetriskiem un kupliem vainagiem, kuru galotnes daļa saņem pilnu apgaismojumu, pārējā daļa – ierobežotu, taču fotosintēzei pietiekošu gaismas daudzumu. Skaitliski virsvaldu koki sastāda relatīvi nelielu grupu, piemēram, priežu tīraudzēs apmēram 10 – 12% no stāva kopējā koku skaita. Salīdzinot ar pārējām klasēm, I klase ir noturīgākā koku kopa. Virsvaldu koki maz pāriet uz II klasi, arī pretējais process noris ļoti ierobežoti.

II – valdošie koki ir galvenie vainagu klāja veidotāji, to stumbri un vainagi spēcīgi attīstīti. Vainagi saņem nedaudz ierobežotu augšējo un sānu apgaismojumu. Priežu tīraudzēs klase pārstāvēta ar 25 – 45%. Ar vecumu šīs klases koku skaits samazinās – pāreja uz III klasi ir izteiktāka nekā papildināšanās no I un III klases kokiem. Vairākumā gadījumu II klasē atrodas meža elementa vidējo dimensiju koks.

III – līdzvaldu koki veido galvenokārt vainagu klāja apakšējo daļu. Vainagu apgaismojums ir vēl mazāks. Daļai koku vainagi attīstīti normāli, daļai – it kā no sāniem saspiesti. Pārstāvētība priežu tīraudzēs – 25 – 35%. Notiek intensīva koku pāreja uz IV klasi, bet papildināšanās ar II klases kokiem norisinās vāji.

IV – nomāktie koki galvenokārt ierobežotā apgaismojuma dēļ ir augšanā atpalikuši, ar sīkiem stumbriem un vāji izveidotiem vainagiem. Priežu tīraudzēs klase pārstāvēta ar 12 – 15%. Tagad šo klasi sadala a un b apakšklasēs. Pirmajai no tām pieskaita kokus ar asimetriskiem vainagiem, kuru augšējā daļa iesniedzas kopējā vainagu klājā. Otrās apakšklases koku vainagi ir vienpusīgi, ar izteiktām kalšanas pazīmēm, to galotnes tikko sasniedz vainagu klāju. Notiek ļoti intensīva koku pāreja uz V klasi, savukārt pāreja uz III klasi praktiski nav vairs iespējama.

V – pilnīgi nomāktie koki vainagi nesniedzas līdz audzes vainagu klājam. Arī šajā klasē izdala a un b apakšklases. Pirmajā no tām ieskaita nokaltušos kokus, otrajā – tādus, kuros vēl saglabājušās vājas dzīvības pazīmes – atsevišķas zaļas skujuas. Priežu tīraudzēs V klase sastāda 7–8%, kas visi uzskatāmi kā audzes *atmirums*.

Atsevišķās valstīs saimnieciskām vajadzībām izdala audzes galveno daļu un starpaudzi. *Galvenajā audzē* ietilpst I, II un III, *starpaudzē* – IV un V klases koki. Pēdējā izcērtama kopšanas ciršu kārtībā.

3.7. Audzes bonitāte

Koku sugu ekoloģiskās prasības nav vienādas. Tas izpaužas tādējādi, ka līdzīgos augšanas apstākļos dažādas sugas veido atšķirīgas produktivitātes audzes. Savukārt dažādos augšanas apstākļos viena un tā pati koku suga veido kā augstas, tā zemas ražības audzes. Šī fakta kvantitatīvai raksturošanai ieviests bonitātes jēdziens. *Bonitāte* ir augšanas vietas kvalitātes rādītājs, kas raksturo dotās audzes potenciālās iespējas izmantot konkrētos augšanas apstākļus. Bonitātei jāatbilst neatkarības un ontoģenētiskās pastāvības principam. Pēdējais nosaka, ka bonitāti ietekmē vienīgi koku sugas īpatnības un to augšanas apstākļi, kuru pastāvības gadījumā bonitāte laikā nemainās. Ja audzes dzīves laikā notiek pāreja no bonitāšu sistēmas jeb skalas vienas pakāpes uz otru, tas liecina par dotās bonitāšu sistēmas nepiemērotību uzdevumam, kuram tā izstrādāta.

Uzsverot edafisko faktoru vadošo lomu augšanas apstākļu kompleksā, pirmās bonitāšu skalas tika izstrādātas, vadoties no augsnes īpašībām. Šeit minama H. Kotta skala, kas publicēta Vācijā jau 19. gs. pirmajā pusē. Šajā laikā arī Krievijā A. Vargas de Bedemars izstrādāja līdzīgu skalu, arī izmantojot augsnes parametrus. Šī risinājuma neatbilstība tika ātri saskatīta. Tas ir saprotami, jo ne mazums ir tādu gadījumu, kur augsnēs ar praktiski līdzīgām īpašībām aug atšķirīgas produktivitātes audzes un otrādi – dažādās augsnēs augošām audzēm ir vienāda ražība.

Nedaudz veiksmīgāks izrādījās ieteikums audzes un vides attiecības vērtēt pēc krājas vai tās pieauguma platības vienībā. Loģiski pieņemt, ka, ja labākos augšanas apstākļos minēto rādītāju vērtības ir lielākas, tad krāja vai tās pieaugums var kalpot kā audžu ražības klasifikācijas kritērijs. Tomēr vēlākie pētījumi parādīja, ka tas iespējams tikai tad, ja vainagu slēgums un koku skaits platības vienībā ir tuvi dotās koku sugas maksimālajām vērtībām. Kā zināms, lielākais vairums audžu neatbilst šīm prasībām un to krāja un tās pieaugums ir atkarīgi ne tikai no augšanas apstākļu piemērotības sugai, bet arī no koku daudzuma. Tāpēc arī šie rādītāji nav piemēroti audžu bonitēšanas uzdevumam.

19. gs. otrajā pusē Vācijā F. Bauris ieteica izmantot audzes vidējo augstumu. Pēc viņa pētījumiem, konkrēta vecuma audzes vidējais augstums vislabāk atbilst bonitēšanas principam, jo koku suga un audzes dabiskā izretināšanās relatīvi maz iespaido tā vērtību (Тюпин А., 1938). Šo atziņu atbalstījuši lielākā daļa tā laika ievērojamāko taksatoru. Tai pievienojās arī izcilais krievu mežkopis M. Orlovs (Орлов М., 1929). Viņš precizēja, ka bonitāšu skalas izstrādājamās atkarībā no audžu izcelšanās, jo dižmeža un atvasāja audžu augšanas gaita ir krasi atšķirīga un vienā un tai pašā vecumā tās sasniedz dažādu augstumu arī tad, ja aug līdzīgos augšanas apstākļos. M. Orlovs arī norādīja, ka vidējais augstums ir piemērotākais rādītājs tikai tādās audzēs, kurās nav veiktas kopšanas cirtes. Tas tāpēc, ka, izcērtot starpaudzi, vidējais augstums palielinās mehāniski un līdz ar to iespējama bonitātes formāla paaugstināšanās, edafiskajiem apstākļiem praktiski paliekot iepriekšējiem, kas ir pretrunā ar

bonitēšanas principu. Izejai no situācijas ir divas iespējas – vai nu atteikties no audzes vidējā augstuma izmantošanas, vai arī izstrādāt vairākas bonitāšu skalas atkarībā no mežu apsaimniekošanas režīma. Meža taksācijas praksē īstenotas kā viena, tā otra.

Bonitāšu skala ir korelācijas lauka mākslīgs sadalījums noteikta skaita un platuma joslās. Taisnleņķa koordinātu sistēmā korelācijas lauka ordinātu ass atbilst audžu augstumam, abscisu ass – vecumam, bet šo lauku sadalošās līknes izsaka audžu augstuma dinamiku (augšanas gaitu) dažādos augšanas apstākļos. M. Orlovs 1911. gadā piedāvāja divas bonitāšu skalas (precizētas 1931. g.), kas ir kopīgas visām koku sugām, bet diferencētas pēc audzes izcelšanās (dižmeža bonitāšu skalas fragments – 3.4. tab.). Bonitāšu skala ietver 7 *bonitāšu klases*, kas augšanas apstākļu pasliktināšanās virzienā apzīmētas šādā secībā: Ia, I, II, III, IV, V, Va. Nepieciešamības gadījumā bonitāšu skalu iespējams ekstrapolēt uz abām pusēm, I un V bonitātes klašu apzīmējumus papildinot ar b un c. Skala orientēta pēc audzes vidējā augstuma un vecuma. Tās lietošana ļoti vienkārša. Piemēram, ja 90 gadu vecas audzes vidējais augstums $H = 28$ m, šī audze atbilst I, ja $H = 20$ m, tad III bonitātes klasei.

3.4. tabula

M. Orlova bonitāšu skala (fragments) (pēc Лесотаксационный справочник, 1980)

Vecums, gadi	Vidējais augstums, m						
	Ia	I	II	III	IV	V	Va
10	6 – 5	5 – 4	4 – 3	3 – 2	2 – 1	–	–
20	12 – 10	9 – 8	7 – 6	6 – 5	4 – 3	2	1
30	16 – 14	13 – 12	11 – 10	9 – 8	7 – 6	5 – 4	3 – 2
40	20 – 18	17 – 15	14 – 13	12 – 10	9 – 8	7 – 5	4 – 3
50	24 – 21	20 – 18	17 – 15	14 – 12	11 – 9	8 – 6	5 – 4
60	28 – 24	23 – 20	19 – 17	16 – 14	13 – 11	10 – 8	7 – 5
70	30 – 26	25 – 22	21 – 19	18 – 16	15 – 12	11 – 9	8 – 6
80	32 – 28	27 – 24	23 – 21	20 – 17	16 – 14	13 – 12	10 – 7
90	34 – 30	29 – 26	25 – 23	22 – 19	18 – 15	14 – 12	11 – 8
100	35 – 31	30 – 27	26 – 24	23 – 20	19 – 16	15 – 13	12 – 9

J. Bisenieks 3.4. tabulu izteicis analītiski (Нормативы для..., 1988).

$$B = \frac{H - a}{b}, \tag{3.6.}$$

$$a = a_1 + a_2 \ln A + a_3 \ln^2 A + a_4 \ln^3 A, \tag{3.7.}$$

$$b = b_1 + b_2 \ln A + b_3 \ln^2 A + b_4 \ln^3 A, \tag{3.8.}$$

kur B – bonitātes klase;
H – audzes vidējais augstums, m;
A – audzes vecums, gadi;
 a_i ; b_i – regresijas koeficienti (3.5. tabula).

Vecuma A ierobežojumi: dižmeža audzēs $21 \leq A \leq 160$; atvasāja audzēs $11 \leq A \leq 100$.

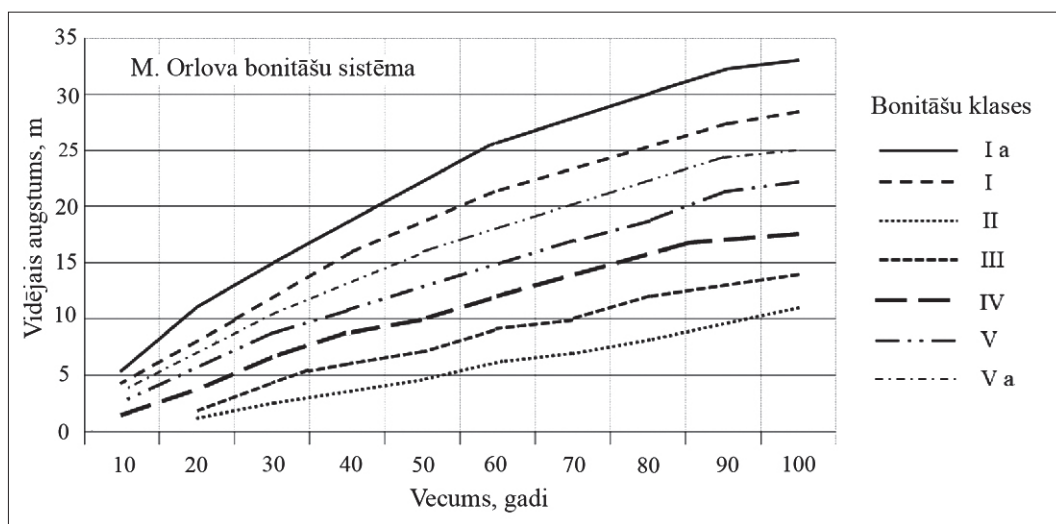
3.5. tabula

Formulu (3.6.) – (3.8.) koeficientu vērtības

Koeficienti	a_1	a_2	a_3	a_4	b_1	b_2	b_3	b_4
Dižmežs	70,64	–66,567	20,659	–1,7359	–2,020	2,294	–0,995	0,0897
Atvasājs	29,38	–33,380	13,138	–1,2396	–5,264	5,855	–2,263	0,2310

M. Orlova bonitāšu skalas izstrādātas pēc F. Baura metodes (Свалов Н., 1979). Datu apstrāde ir līdzīga kā augstumšķiru skalas sastādīšanā. Empīriskais materiāls tiek ievākts, vienu reizi uzmērot dažāda vecuma audzes, kas aug atšķirīgos augšanas apstākļos. Īpašu uzmanību veltī tam, lai kopējais parauglaukumu skaits nebūtu mazāks par 100 un iespējami vairāk būtu pārstāvēti galēji labi un slikti

augšanas apstākļi. Koordinātu sistēmā, kuras abscisu ass reprezentē audzes vecumu un ordinātu ass – vidējo augstumu, empīrisku punktu kopu ierobežo ar divām bāzes līnijām (3.2.att.).



3.2. att. M. Orlova dižmeža bonitāšu skala

Vienu no tām izvelk caur kopas augšējās malas, otru caur apakšējās malas punktiem. Tādējādi ir iegūta bonitāšu klašu kopējās izkliedes zona, kas izsaka dažādos augšanas apstākļos augu audžu vidējo augstumu atkarībā no vecuma. Šo zonu sadala vairākās vienāda platuma joslās – bonitāšu klasēs. Klašu skaitu izvēlas ar tādu apsvērumu, lai difference starp blakus klasēm būtu pietiekoši ērta praktiskām vajadzībām. M. Orlovs par diferenci pieņēma 4 m 100 gadu vecumā. Šo vecumu A_b sauc par *bāzes vecumu*. $A_b = 100$ M. Orlovs izvēlējās tāpēc, ka šinī vecumā vidējā augstuma pieaugums ir relatīvi neliels. Jāatzīmē, ka 4 m diferenci par piemērotāko atzinuši vairākums Eiropas valstu dažādu bonitāšu skalu autori. Novirzes no šīs atziņas 3.2. attēlā skaidrojamas ar datu noapaļošanu. ASV biežāk izvēlas $A_b = 50$, bet diferenci – 10 pēdas (apmēram 3 m) (Husch et al., 2003).

M. Orlova skala daudzkārt kritizēta un mēģināta uzlabot. Izteikts viedoklis, ka šī skala neraksturo to dižmeža audžu patieso augšanas gaitu, kas vecākas par 130 gadiem. Skalas sastādīšanā pieņemts, ka tik vecu audžu bonitēšana nav atkarīga no vecuma, kas neatbilst realitātei. Pēc N. Treťakova domām, audžu bonitēšanas skala jāizstrādā diferencēti pa koku sugu grupām. Viņš 1937. gadā ieteica izdalīt trīs tādas grupas – ar vidēju, paātrinātu un palēninātu augšanas gaitu. Ir sastādītas bonitāšu skalas katrai koku sugai atsevišķi. Risinājuma loģiskais pamatojums bāzējas atziņā, ka dotajā audzē dažādas koku sugas uzrāda atšķirīgu augšanas gaitu (Husch et al., 2003).

Kritizēts arī F. Baura materiāla ievākšanas un datu apstrādes metodiskais risinājums. G. Razins, N. Svalovs u. c. (Свалов Н., 1979) M. Orlova skalu sauc par statisku. Tas izriet no tā, ka empīriskie dati tās izveidošanai ievākti *īslaicīgajos parauglaukumos* dažāda vecuma audzēs un grafiski izlīdzināti, iepriekš nepierādot to atbilstību attiecīgajām *dinamiskajām* jeb *augšanas rindām* ar līdźīgu augšanas gaitu. Iebildumus izraisa arī bāzes līkņu izvēle, jo trūkst garantijas, ka ievāktais materiāls patiesi pārstāv vislabākos un vissliktākos augšanas apstākļus.

Šī trūkuma novēršanai ieteikts empīrisku informāciju ievākt randomizēti un datus apstrādāt statistiski. Šinī gadījumā bāzes līniju veido līkne, kuras ordinātas izsaka dotā vecuma parauglaukumu augstumu vidējās vērtības. Savukārt izkliedes zonas augšējo un apakšējo robežu iegūst, bāzes līnijai pieskaitot vai atņemot trīskāršu attiecīgo standartnoviržu vērtības un caur iegūtajiem punktiem izvelkot izlīdzinošas līknes. Nenoliedzami, ka šis risinājums ir pareizāks un it īpaši tad, ja punktu kopas izlīdzina analītiski.

M. Orlova bonitāšu skala veidota pēc anamorfā principa. Šis princips pieņem, ka skalas visu bonitāšu līkņu veids (forma) ir vienāds, kas nozīmē pieņēmumu, ka viena un tā pati koku suga atšķirīgā vecumā un dažādos augšanas apstākļos uzvedas vienādi. Dzīves īstenība liecina par ko citu. Tāpēc atbilstošāks realitātei būtu polimorfais princips, kas pieļauj, ka bonitāšu līkņu forma katrā bonitātes klasē var būt atšķirīga un pat tādā mērā, ka atsevišķas bonitāšu līknes var krustoties. Tas, protams, būtiski apgrūtinā bonitēšanas problemātikas risināšanu. Tāpēc vairumā gadījumu priekšroka ir dota amorfā principa skalām.

Bonitāšu likņu analītiskai izlīdzināšanai ieteikts ļoti daudz dažādu formulu. Plašu pārskatu par tām sniedz V. Pešels (Peschel V., 1938) un A. Kiviste (Кивисте А., 1988). Šeit minēsim dažas pazīstamākās (Свалов Н., 1979).

J. Hosfelda funkcija (1822)

$$y = \frac{kx^2}{x^2 + 2px + q}, \quad (3.9.)$$

kur, tāpat kā formulās (3.9.) – (3.11.), ar y apzīmēts audzes vidējais augstums, ar x – vecums, ar e – naturālo logaritmu bāze, ar pārējiem burtiem – empīriski koeficienti.

G. Mitčerliha funkcija (1919)

$$y = y_{\max} (1 - e^{-cx}). \quad (3.10.)$$

F. Korsuna funkcija (1935)

$$y = ae^{b \ln x + c \ln^2 x}. \quad (3.11.)$$

V. Korfa funkcija

$$y = ae^{k/(1-n)x^{n-1}}. \quad (3.12.)$$

V. Drakina–D. Vujevskā funkcija (1940)

$$y = a(1 - e^{-kx})^m. \quad (3.13.)$$

F. Ričarda–H. Čapmana funkcija

$$y = a(1 - e^{-bx})^c. \quad (3.14.)$$

Ar formulām (3.10.) – (3.14.) var aprakstīt katras atsevišķas bonitātes līkni. Tas ir pietiekoši empīrisku datu izlīdzināšanai, bet nepietiekoši visas bonitāšu sistēmas (skalas) aprakstīšanai. Šeit jārisina divi uzdevumi – pēc dotās audzes vidējā augstuma un vecuma jāaprēķina šīs audzes vidējais augstums bāzes vecumā, nosakot tās piederību konkrētai bonitātei, un pēc bonitātes jāaprēķina tās vidējais augstums dotajā vecumā. Pēc V. Kuzmičova (Кузьмичев В., 1977) M. Orlova bonitāšu skalu apraksta formulas:

$$H_{100} = 12,68e^{-0,018A} + 0,67H_A + \frac{30,8H_A}{A} - 1, \quad (3.15.)$$

$$H_A = \frac{(H_A + 1 - 12,68e^{-0,018A})A}{0,67A + 30,8}, \quad (3.16.)$$

kur H_A un H_{100} ir audzes vidējais augstums attiecīgi A un 100 gadu vecumā.

Latvijā ilgu laiku audžu bonitāti noteica pēc 1924. gada *pagaidu augšanas gaitas tabulām* (PAGT), kas orientētas pēc audzes valdošā meža elementa valdošās koku sugas vidējā augstuma un vecuma. Šīs tabulas sastādītas kompilatīvi, ir vairakkārt pārstrādātas un papildinātas. Pastāv viedoklis, ka tās vāji atbilst Latvijas audžu augšanas gaitai. Te jāatzīmē, ka neatbilstības atziņa radusies ne tikai tabulu kompilācijas dēļ. Iespējams, ka galvenais iemesls ir nevērīgas pārbaudes rezultāts. Kā zināms, PAGT ir interpolācija starp Krievijas ziemeļrietumu daļai sastādītajām A. Vargasa de Bedemara un Vācijas ziemeļaustrumu reģionam paredzētajām A. Švapaha augšanas gaitas tabulām. Abu šo bāzes tabulu izveidošanai izmantots ļoti bagātīgs empīriskais materiāls. Tas ievākti dabiskas izcelsmes un cilvēka maz vai arī praktiski netraucētās audzēs. It kā būtu pašsaprotami, ka PAGT atbilstība būtu pārbaudāma pēc datiem, kas ievākti līdzīgos nosacījumos. Taču vairumā gadījumu tas nav ņemts vērā, vērtējot antropogēni atjaunoto un kopto audžu augšanas gaitu un salīdzinot to ar PAGT. Turklāt nav mazsvarīgs fakts, ka pēdējo 50 gadu laikā novērota meža augšanas intensificēšanās.

Minētās kritikas iespaidā 1986. gadā PAGT vietā Latvijā pārgāja uz M. Orlova bonitāšu skalas lietošanu. Sākot ar 2014. gada 1. janvāri, tika ieviesta it kā vietējiem nosacījumiem atbilstoša bonitāšu skala. Taču arī tā ir nomainīta un kopš 2016. gada 29. jūnija spēkā ir cita (Ministru kabineta noteikumi Nr. 384 *Meža inventarizācijas un Meža valsts reģistra informācijas aprites noteikumi*). Šajā variantā bonitāšu skala ir orientēta pēc koku sugas grupas, bioloģiskā vecuma un koku vidējā augstuma. Koku sugas iedalītas trīs grupās: pirmajā grupā ieskaitītas – priede, egle vai citi skujskoki, ozols, osis, vīksna, goba, kļava, dižskābardis un skābardis; otrajā grupā – bērzs, liepa, apse, melnalksnis, vītols, papele un blīgzna; trešajā grupā – baltalksnis un pīlādzis. Lielākās izmaiņas ieviestas saistībā ar valdošās sugas vecumu. Pēdējo paredzēts noteikt ar viena gada precizitāti jebkura vecuma audzē. Tas ir lieki. Pirmkārt, tāpēc, ka dabiskas izcelsmes dažāda vecuma audzē tāda precizitāte ir šķietamība, otrkārt – audzes bonitāte, ja arī mainās, tad ne jau pa gadiem. Trešais jauno bonitāšu skalas komponents – vidējais augstums atstāts bez izmaiņām. Nelielu ieskatu sniedz (3.6. tabula).

3.6. tabula

Mežaudzes pirmās grupas koku sugu bonitāšu skala (fragments)
(pēc Ministru Kabineta noteikumiem Nr. 384)

Vecums, gadi	Bonitāte						
	I ^a	I	II	III	IV	V	V ^a
21	10	9–8	7	6–5	4–3	2–1	0
22	11	10–9	8–7	6–5	4–3	2	1
23	11	10–9	8–7	6	5–4	3–2	1
24	12	11–10	9–8	7–6	5–4	3–2	1
25	12	11–10	9–8	7–6	5–4	3–2	1
26	13	12–11	10–9	8–7	6–4	3–2	1
27	13	12–11	10–9	8–7	6–5	4–3	2
28	13	12–11	10–9	8–7	6–5	4–3	2
29	14	13–12	11–10	9–7	6–5	4–3	2
30	14	13–12	11–10	9–8	7–6	5–3	2
utt.	...	...	...	...	...	...	...
160	36	35–32	31–28	27–24	23–19	18–15	14

Sakarā ar iespējamo bonitātes mehānisko mainīšanos, kas izpaužas, mainoties koku vidējam augstumam kopšanas ciršu dēļ, daudzās valstīs tika izstrādātas bonitēšanas skalas, kas orientētas pēc vecuma un audzes lielāko koku augstuma, nosaucot to par *virsaugstumu* un visbiežāk apzīmējot ar H_{dom} . Ideja nav jauna. Tā radās līdz ar kopšanas ciršu pirmsākumiem, kad tika konstatēta vidējā augstuma augšminētā īpatnība. Lielāko koku augstums audzes izretināšanas vai izretināšanās dēļ praktiski mainās ļoti maz. Tāpēc bonitēšanas vajadzībām tas ir piemērotāks rādītājs nekā vidējais augstums (Laar, Akça, 2007). Taču, neskatoties uz to, ka šīs atziņas vēsture ir apmēra 200 gadu veca, vēl šodien nav vienprātības par to, kādus kokus iekļaut „lielāko koku” skaitā.

Jau 19. gs. otrajā pusē V. Veize ierosināja par virsaugstumu uzskatīt 20% audzes resnāko koku vidējo vērtību un nosauca to par valdaugstumu. Apmēram tanī laikā Zviedrijā radās doma H_{dom} aprēķināt kā to koku augstuma vidējo lielumu, kuri ir vienādi vai pārsniedz $D+3_s$, kur D ir audzes vidējais caurmērs un s – standartnovirze. ASV par H_{dom} uzskata virsvaldu un valdošo koku augstumu vidējo aritmētisko. Anglijā 20. gs. piecdesmitajos gados F. Hammels (Hummel F.) un J. Kristi (Christie J.) H_{dom} aprēķināja kā 1 ha 100 resnāko koku vidējo aritmētisko. Šo ideju pārņēmuši arī citu valstu mežkopji: E. Asmans un F. Francs (Franz F.) Vācijā, J. Halajs (Halaj J.) Slovākijā, H. Eriksons (Eriksson H.) Zviedrijā, V. Gualdi (Gualdi V.) Itālijā, J. Tauriņš un J. Matuzānis Latvijā, N. Svalovs (Свалов H., 1979) Krievijā u. c. Virsaugstuma bonitāšu skalu daudzveidība ir liela un turpina pieaugt. Taču līdzšinējos risinājumus vēl nevar uzskatīt par optimāliem. H_{dom} vienotas izpratnes trūkuma dēļ nav arī vienotas lauka metodikas, kas noved pie tā, ka katrs taksators iegūst atšķirīgus rezultātus. Šādu situāciju meža taksācija vienmēr centusies nepieļaut. Zināmas grūtības rada arī nepieciešamība pāriet no H uz H_{dom} otrādi, jo audzes taksācijas rādītāju, to skaitā krājas un tās pieauguma noteikšanā vidējā augstuma priekšrocības nav apšaubāmas (Laar, Akça, 2007).

Pēdējā laikā virsaugstuma bonitātes cenšas noteikt, audzes bioloģisko vecumu aizstājot ar krūšaugstuma vecumu $A_{1,3}$. Kā liecina nosaukums, tas ir vecums, kādā koks sasniedzis 1,3 m augstumu. Vairākums autoru atzīst, ka šis risinājums ir atbilstošāks audzes augšanas vietas (augtenes) kvalitātes raksturošanai. It īpaši sacītais attiecas uz ēncietīgajām koku sugām egli un baltegli. Šo sugu paauga vairākus gadu desmitus var atrast intensīvā noēnojumā, šajā laikā ļoti vāji attīstot augstuma pieaugumu. Saņemot pilnvērtīgu apgaismojumu, šāda paauga veido augsnes auglībai atbilstošu audzi. Bonitēšanai izmantojot krūšaugstuma vecumu, nīkuļošanas posma ietekme agrīnajā jaunībā tiek apietā. Pozitīva loma piedien arī $A_{1,3}$ noteikšanas ērtībām un saiknei ar audzes caurmēra, šķērslaukuma un krājas pieauguma aprēķināšanu.

Latvijā virsaugstuma bonitāšu skalu bērzam 1968. g. izstrādājis J. Tauriņš (Тауриныйш, 1969), eglei 1970. g. un priedei 1973. g. – J. Matuzānis un J. Tauriņš un apsei 1979. g. – T. Rubenis (Нормативы для..., 1988). Bērza un apses skalu bāzes vecums $A_{1,3} = 50$, egles un priedes – $A_{1,3} = 100$ gadi. Visās skalās izmantots krūšaugstuma vecums un H_{dom} . Virsaugstuma bonitāte izteikta ar virsaugstuma vērtību bāzes vecumā. Piemēram, pieraksts $H_{50} = 24$ norāda, ka dotajos augšanas apstākļos bērzu audzes virsaugstums vecumā $A_{1,3} = 50$ ir (ir bijis vai būs) 24 m.

Katras konkrētas audzes virsaugstuma bonitāti jeb virsaugstuma vērtību $A_{1,3}$ gadu krūšaugstuma vecumā aprēķina:

~ priedei

$$H_{100} = \frac{2,6 - 1,3 \lg A_{1,3} - 1,17 H_{dom}}{0,83 - \lg A_{1,3}}, \quad (3.17.)$$

bet dotās audzes virsaugstumu šajā vecumā

$$H_{dom} = \frac{2,6 - 1,3 \lg A_{1,3} - H_{100} (0,83 - \lg A_{1,3})}{1,17}; \quad (3.18.)$$

~ eglei

$$H_{100} = \frac{2,6 - 1,3 \lg A_{1,3} - 1,14 H_{dom}}{0,86 - \lg A_{1,3}} \quad (3.19.)$$

un

$$H_{dom} = \frac{2,6 - 1,3 \lg A_{1,3} - H_{100} (0,86 - \lg A_{1,3})}{1,14}; \quad (3.20.)$$

~ bērzam

$$H_{50} = \frac{2,209 - 1,3 \lg A_{1,3} - 0,899 H_{dom}}{0,80 - \lg A_{1,3}} \quad (3.21.)$$

un

$$H_{dom} = \frac{2,209 - 1,3 \lg A_{1,3} - H_{50} (0,80 - \lg A_{1,3})}{0,899}; \quad (3.22.)$$

~ apsei

$$H_{50} = 1,3 + \frac{0,947 H_{dom} - 1,231}{\arctg [0,028 (A_{1,3} - 0,348)]} \quad (3.23.)$$

un

$$H_{dom} = 1,3 + \frac{H_{50} - 1,3}{0,947} \arctg [0,02765 (A_{1,3} - 0,34805)], \quad (3.24.)$$

kur $\arctg$ izteikts radiānos.

Virsaugstuma bonitāšu skalas piemēru skat. 3.7. tabulā.

Bērza virsaugstuma bonitātes (pēc Нормативы для ...,1988)

Krūšaugstuma vecums, gadi	Virsaugstuma bonitāte H_{50}				
	20	22	24	26	28
	Virsaugstums, m				
10	5,5	5,9	6,4	6,8	7,2
20	11,7	12,8	14,0	15,1	16,2
30	15,4	16,9	18,4	19,9	21,4
40	18,0	19,8	21,6	23,3	25,1
50	20,0	22,0	24,0	26,0	28,0
60	21,7	23,8	26,0	28,2	30,4
70	23,0	25,4	27,7	30,0	32,4
80	24,2	26,7	29,2	31,6	34,3
90	25,3	27,9	30,4	33,0	35,6

Bonitēšana pēc audzes bioloģiskā vecuma un vidējā augstuma vai virsaugstuma nav piemērojama audzēm ar krasu lūzumu augšanas gaitā, kā tas notiek, piemēram, pēc meža platības nosusināšanas. Šajā gadījumā audzes augšanas gaita sastāv no divām daļām – līdz nosusināšanai un pēc tās. Līdz nosusināšanai koki aug lēni, veidojot niecīgus ikgadējos augstuma pieaugumus, pēc nosusināšanas šis process notiek daudz straujāk, ar to norādot uz būtisku augšanas apstākļu uzlabošanos (Zālītis P., 2006). Visā dzīves ciklā uzkrātais kopējais augstums izlīdzina abu daļu augšanas tempu, tādējādi sagrozīti atsedzot kā vienu, tā otru. Tāpēc tas nespēj raksturot uzlabotos augšanas apstākļus un būt par bonitēšanas rādītāju.

Ierosināti dažādi nosusinātu audžu bonitēšanas priekšlikumi, piemēram, pēc krājas tekošā pieauguma, pēc vidējā augstuma un saimnieciskā vecuma, pēc vidējā augstuma un tā tekošā pieauguma, pēc vidējā augstuma pirms un pēc nosusināšanas un laika posma ilguma pēc nosusināšanas u. c. Speciālistu lielāko ievēribu ieguvusi bonitēšana pēc vidējā augstuma un tā tekošā pieauguma laikā pēc nosusināšanas. Šo ideju 1928. g. ieteica un īstenoja igauņu mežkopis A. Matīsens (Mathiesen A.), izstrādājot atbilstošu bonitāšu skalu. Šādas bonitātes sauc par *tekošajām* jeb *dinamiskajām bonitātēm*. Ilggadīga prakse apliecinājusi tekošās bonitātes atbilstību. Latvijā tekošās bonitātes tabulas sastādītas priecī, eglei, bērzam un melnalksnim (Нормативы...,1988).

Tekošās bonitātes lietošanā būtiskus ierobežojumus rada augstuma tekošā pieauguma noteikšana. Aprūtinātas saskatāmības dēļ izmērīt to var tikai skujkokiem, kuru augstums nepārsniedz 13 – 15 m. Un pat šajā gadījumā jāņem vērā vismaz pēdējo 5–10 gadu summārais pieaugums. To nosaka augstummēru noteiktība, kuras dēļ iespējamās mērīšanas kļūdas var pārsniegt atsevišķa gada augstuma pieaugumu. Minētās neērtības daļēji novērš un augstuma pieauguma noteikšanas precizitāti palielina dažādi augstuma pieauguma modeļi. Šeit ieteikta I. Liepas formula (Лиена И., 1980):

$$Z_H = \frac{2iH(aD+b)}{cD+100}, \quad (3.25.)$$

kur Z_H – audzes vidējā augstuma pieaugums, m;

H – vidējais augstums, m;

D – vidējais caurmērs, cm;

i – gadskārtas vidējais platums, mm;

a, b, c – koeficienti (1.11. tab.).

Atzīmēsim, ka tad, ja i reprezentē atsevišķa gada gadskārtas platumu, Z_H izsaka šī gada augstuma *tekošo pieaugumu*, bet, ja i ir kāda laika posma vidējais gadskārtas platums, tad Z_H ir šī posma *vidējais periodiskais augstuma pieaugums*. Lietojot formulu (3.25.), tekošo bonitāti var ērti noteikt arī vecākām skujkoku un lapkoku audzēm, kas būtiski paplašina šīs bonitātes lietošanas iespējas.

3.8. Audzes biežība, biezums un slēgums

Dažādu dabisku un saimniecisku faktoru ietekmē katra audze augšanas telpu izmanto atšķirīgi. Mežā sastopamas audzes, kurās koki aug tuvu viens otram, citiem vārdiem, tie izvietojušies blīvi un vienmērīgi, to vainagi saskaras vai pat daļēji pārsedzas, vainagu klājā ir maz brīvu laukumu, un to platība nepārsniedz 1–2 koku vainagu izmērus. Pretēji tam ir audzes, kurās koki savstarpēji atrodas tādā attālumā, ka viens otru neietekmē un par audzi var runāt tikai nosacīti. Šādas audzes vāji izmanto augšanas telpas potenciālu, to krāja ir neliela un tāpēc tās ir saimnieciski mazvērtīgas. Lai raksturotu koku izvietotā blīvumu audzē, ieviesti *biežības*, *biezuma* un *slēguma* jēdzieni.

Biezība klasiskā izpratnē ir konkrētās un *normālās* jeb *pilnbiezības* audzes šķērslaukumu attiecība:

$$b = \frac{G}{G_n}. \quad (3.26.)$$

Formulu (3.26.) skaitītāju nosaka mērījumu un aprēķinu ceļā. Katrai audzei tas ir atšķirīgs lielums, kas atkarīgs no audzes izcelšanās veida, mistrojuma, vecuma, bonitātes, koku dimensijām, saimnieciskā režīma u.c. faktoriem. Lai pasvītrotu G nozīmi biežības raksturošanā, pēc N. Tretjakova ieteikuma to sauc arī par audzes *absolūto biežību* un pārpratumu novēršanai b – par *relatīvo biežību*.

Normālās audzes G_n nosaka pēc formulām vai tabulām. Šajā gadījumā par normālu sauc tādas pašas izcelšanās, veida, sastāva un vecuma audzi, kas dotajos vides apstākļos augšanas telpu izmanto pilnīgi. Šeit iespējamas vairākas interpretācijas. Pēc M. Orlova ieskatiem, šādām audzēm ir arī lielākais šķērslaukums un krāja, kādu dotajos apstākļos iespējams sasniegt. Kā izriet no formulas (3.26.), G_n ir bāze, no kuras izvēles atkarīga attiecīgās audzes biežības skaitliskā vērtība. Tāpēc izšķiroša nozīme ir pareizai G_n noteikšanai. Empīriski noskaidrots, ka G_n ir atkarīga no audzes izcelšanās, veida, vecuma, bonitātes un sastāva, bet tīraudzēs – tikai no audzes vecuma un bonitātes. Taču, neraugoties uz to, G_n noteikšana tabulu sastādīšanai ir sarežģīts uzdevums. Tā risināšanai ieteiktas vairākas metodes.

Klasiskā metode. Parauglaukumus ierīko attiecīgās izcelsmes, veida un sastāva, bet dažādu vecumkļu un bonitāšu maksimālās biežības audzēs. Aprēķinātās šķērslaukuma vērtības atliek koordinātu sistēmā, kuras abscisu ass reprezentē audžu vecumu. Tādējādi katrai bonitātei iegūst punktu rindu, caur kuru izvelk izlīdzinošu līkni un no tās nolasa G_n vērtības un sastāda normālās audzes šķērslaukuma tabulas. Šīs tabulas, kas orientētas pēc koku sugas, bonitātes un vecuma, izmanto praktiskajā audžu taksācijā. Parasti tās kā atsevišķu ailīti pievieno augšanas gaitas tabulām.

Šķērslaukuma G_n precizitāte uzlabojas, ja empīrisko punktu rindu grafisko izlīdzināšanu aizstāj ar analītisko. Šim nolūkam F. Korsuņs ieteicis formulu

$$y = ax^{b+c \lg x}, \quad (3.27.)$$

kur y – šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$;

x – vecums, gadi;

a, b, c – izlīdzināšanas koeficienti.

Klasiskās metodes galvenais trūkums – nav garantijas, ka empīriskais materiāls ievākts patiesi maksimālās biežības audzēs.

Statistiskā metode. Materiāla ievākšanai audzes izvēlas randomizēti. Bonitātes ietvaros aprēķina katras vecumklases šķērslaukuma vidējo aritmētisko $\bar{G}_i$, standartnovirzi S_i un intervāla $\bar{G}_i + t_{\alpha, v} S_i$ vērtības, kur $t_{\alpha, v}$ ir Stjudenta kritērija teorētiskā vērtība, kas atbilst būtiskuma līmenim α un brīvības pakāpju skaitam $v = n_i - 1$ (n_i ir i -tās vecumklases novērojumu skaits). Parametra α izvēle ir atkarīga no uzdevuma nosacījumiem. Parasti $\alpha = 0,01$. Intervāla vērtības atliek minētajā koordinātu tīklā, izlīdzina, nolasa G_n un ieraksta tabulā. Salīdzinot ar klasisko, šīs metodes īstenošanai nepieciešams lielāks parauglaukumu skaits un tāpēc tā ir darbietilpīgāka. Turklāt randomizācijas dēļ ievāktais materiāls pārstāv arī audzes, kuru biežība veidojusies kopšanas ciršu ietekmē. Līdz ar to aprēķinātās G_n vērtības neizsaka maksimālo šķērslaukumu. Negatīvu iespaidu atstāj arī tas, ka dažādu vecumkļu audžu kopšanas ciršu intensitāte ir atšķirīga.

Fitocenotiskā metode. Tās pamatā ir audžu vertikālās un horizontālās struktūras likumsakarības. Par maksimāli izmantotu augšanas telpu uzskata tad, ja vainaga klājā nav brīvu laukumu, kuros varētu izvietoties viena vai vairāku koku vainagi; ja nenovēršamā vainagu neaizņemtā daļa ir minimāla; ja

vainagu savstarpējā pārsedze ir optimāla. Šī metode ir ļoti darbietilpīga un prasa rūpīgus un ilgstošus pētījumus. Turklāt ne vienmēr minēto nosacījumu izpilde atbilst arī maksimālajam šķērslaukumam.

No sacītā izriet, ka G_n tabulu sastādīšana nav viegls uzdevums. Bez tam to būtiski sarežģī audžu veida un sastāva bagātīgā daudzveidība. Tāpēc vairumā gadījumu G_n tabulas sastāda dižmeža un atvasāja vienvecuma tīraudzēm. To lietošana saliktās dažādvecuma mistraudzēs ir saistīta ar taksēšanas kļūdu palielināšanos. Tāpēc ir izveidotas arī mistraudžu G_n tabulas, piemēram, Lietuvā. Taču to sarežģītības dēļ meža inventarizācijā priekšroku dod tīraudžu G_n tabulām.

Kā jau atzīmēts iepriekš, normālas audzes interpretācija var būt dažāda. E. Asmans un F. Francs uzskata, ka audzes vislabāk augšanas telpu izmanto tad, ja audzes krājas tekošais pieaugums ir vislielākais (Свалов Н., 1979). Šādu audžu šķērslaukumu G_o augšminētie vācu autori nosauca par optimālu. Vairumā gadījumu tas ir mazāks par maksimālo G_n . Arī tad, ja šķērslaukums ir mazāks par optimālo, audze nepilnīgi izmanto augšanas telpu. Atbilstoši šai koncepcijai formulēti trīs biežības līmeņi – maksimālais, optimālais un kritiskais (pēdējais atbilst šķērslaukumam $0,95G_n$). Ir sastādītas biežības tabulas, kurās kā G_n izmantots kāds no šiem līmeņiem. Tāpēc atkarībā no tā pēc formulas (3.26.) vienai un tai pašai audzei var iegūt atšķirīgas biežības vērtības. Tas iespējams arī tāpēc, ka minētās līmeņu vērtības mainās atkarībā no audžu ģeogrāfiskā izvietojuma. Vispārinot jāsecina – ja lietotas dažādas G_n tabulas, relatīvās biežības nav salīdzināmas. Krievijā šī atziņa kļuva aktuāla jau 20. gs. trīsdesmitajos gados.

Lai šo trūkumu novērstu, 1937. g. N. Tretjakova vadībā tika izstrādāta visai toreizējās Padomju Savienības teritorijai vienota normālo audžu šķērslaukuma un krājas *standarttabula*. Tā pamatojas uz F. Eihhorna (Eichhorn F.) atziņu, ka sugas robežās normālo audžu šķērslaukums un krāja ir atkarīgi vienīgi no audžu vidējā augstuma. Standarttabula izstrādāta, izmantojot lielu skaitu augšanas gaitas tabulu. Tāpēc biežības dati, kas aprēķināti pēc šīm tabulām, ir salīdzināmi.

Standarttabulu (3.8. tab.) lieto arī Latvijas mežsaimniecībā (MK noteikumi Nr. 384 no 21. 06. 2016.).

3.8. tabula

**Mežaudzes normālais šķērslaukums atkarībā no valdošās koku sugas
koku vidējā augstuma, m²ha⁻¹**

Koku vidējais augstums, m	Valdošā koku suga					
	priede	egle un citi skujkoki	bērzs, liepa	apse, meln- alksnis, baltalksnis, pīlādzis u. c. lapkoki	ozols, vīksna, goba, kļava, dižskābardis, skābardis	osis
10	27	22	16	19	18	13
11	28	23	17	20	19	15
12	29	25	18	21	20	16
13	30	26	19	23	21	18
14	31	27	20	24	22	19
15	32	28	21	25	23	20
16	32	29	22	26	24	21
17	33	30	23	27	25	22
18	33	31	24	28	26	23
19	34	32	25	29	27	24
20	34	33	26	30	28	24
21	35	34	27	31	29	25
22	35	35	28	32	30	25
23	36	36	28	34	31	26
24	36	37	29	35	32	26
25	36	38	30	36	33	27
26	37	39	31	37	34	27
27	37	40	32	38	35	28
28	37	41	32	39	35	28
29	38	41	33	40	36	2

Koku vidējais augstums, m	Valdošā koku suga					
	priede	egle un citi skujkoki	bērzs, liepa	apse, meln- alksnis, baltalksnis, pīlādzis u. c. lapkoki	ozols, vīksna, goba, kļava, dižskābardis, skābardis	osis
30	38	42	34	41	37	29
31	38	43	35	42	38	–
32	38	44	35	42	38	–
33	38	45	36	43	39	–
34	39	46	37	44	39	–
35	39	47	38	45	40	–

Standarttabulu labi apraksta F. Korsuņa formula (3.27.), kur šajā gadījumā y ir šķērslaukums m^2ha^{-1} un x – audzes vidējais augstums, m. Mūsu aprēķinātās koeficientu vērtības redzamas (3.9.) tabulā.

3.9. tabula

Formulas (3.27.) koeficientu vērtības

Koku suga	Koeficienti		
	a	b	c
Priede, lapegle	6,74	0,8099	-0,2058
Egle, baltegle, ciedrs	7,15	0,4156	0,0725
Bērzs	3,17	0,7266	-0,0203
Apse, melnalksnis	5,71	0,4333	0,0956
Ozols, goba, vīksna, kļava	2,75	0,9346	-0,1188
Liepa	6,33	0,3561	0,1825

Biezības noteikšana pēc standarttabulas ir ļoti vienkārša – jāpazīst koku suga, jānosaka tās koku vidējais augstums un šķērslaukums audzē un pēc šiem argumentiem jānolasa G_n . Piemērs. Priežu tīraudzes $H = 28,0$ m un $G = 19,8\text{ m}^2ha^{-1}$. No 3.8. tabulas vai formulas (3.27.) seko $G_n = 37\text{ m}^2ha^{-1}$ un $b = 19,8/37 = 0,53$.

Ir bijuši daudzkārtīgi mēģinājumi uzlabot standarttabulu. Piemēram, V. Zagrējevs un A. Vagins noskaidrojuši, ka pie nemainīga augstuma normālo audžu šķērslaukums samazinās līdz ar bonitātes pasliktināšanos un ka visā koku sugas areālā to nosaka abi šie audzes parametri. Uz šīs atziņas pamata abi minētie autori sastādījuši G_n tabulas, kas orientētas pēc H un bonitātes. Savukārt N. Svalovs piedāvājis G_n tabulas, kur H vietā lietots audzes virsaugstums H_{dom} .

Katram kokaudzes stāvam un meža elementam biežību (*parciālo biežību*) nosaka atsevišķi. Stāva kopējo biežību aprēķina kā parciālo biežību summu. Atkarībā no darba uzdevuma biežību noapaļo ar vienu vai divām decimālzīmēm. Pēc definīcijas biežības robežas ir $-0 < b \leq 1$. Atsevišķos gadījumos biežību izsaka veselos skaitļos $-0 < b \leq 10$. Pēc biežības audzes dažkārt iedala: *retainēs* ar $b \leq 0,3$, izņemot jaunaudzes, kur $b \leq 0,4$; *zemas biežības* – ar $b \leq 0,4$ $b \leq 0,5$; *vidējas biežības* ar $0,6 \leq b \leq 0,7$ un *lielas biežības* ar $b \leq 0,8$ un, ja $b = 1,0$ – *pilnas biežības audzēs*. Gadījumos, kad uzmērīšanas datus parādās $b > 1,0$, jāpārbauda darba kvalitāte – pastāv liela varbūtība, ka pieļautas rupjas mērīšanas kļūdas vai lietotas neatbilstošas G_n tabulas.

Biezums ir otrs audzes augšanas telpas izmantošanas rādītājs. Izšķir *absolūto* un *relatīvo biežumu*. Pirmais izsaka koku skaitu $N\text{ ha}^{-1}$, otrs – tā attiecību pret *normālas audzes biežumu* N_n . Latvijā spēkā esošās N_n vērtības redzamas 3.10. tabulā. Vērtējot audzes augšanas telpas izmantošanas intensitāti, audzēm līdz $H \leq 12$ m priekšroka dodama biežumam, $H > 12$ m – biežībai.

Mežaudzes koku normālais skaits atkarībā no valdošās koku sugas
koku vidējā augstuma, gab.ha⁻¹ (MK noteikumi Nr. 384 no 21.06.2016.)

Koku vidējais augstums, m	Valdošā koku suga				
	priede	egle un citi skujkoki	bērzs, liepa	apse, melnalk- snis, baltalksnis, pīlādzis	ozols, vīksna, goba, kļava, dižskābardis, skābardis
Līdz 6	4000	3200	3200	3200	2000
7	3800	3200	3200	3000	2000
8	3600	3000	3000	2800	1800
9	3400	3000	3000	2600	1800
10	3000	3000	3000	2400	1600
11	2800	2800	2600	2200	1600
12	2600	2800	2400	2000	1600

Arī biezumu nosaka katram meža elementam un kokaudzes stāvam atsevišķi. Stāva kopējais biezums ir vienāds ar stāva meža elementu parciālo biezumu summu. Absolūto biezumu var noteikt empīriski vai aprēķinot kā citu taksācijas rādītāju atkarīgo mainīgo.

Empīriskā metode paredz *N* iegūt, parauglaukumos saskaitot kokus un datus pārrēķinot uz 1 ha. Ieteicams izmantot aplveida parauglaukumus, to robežas nosakot ar ruleti vai vecākās audzēs ar optiskajiem mērinstrumentiem. Sevišķi parocīgs šajā jomā ir *Vertex* instruments. Katra parauglaukuma robežu fiksē kā attālumu no tā centra. Uzskaita kokus apļa iekšpusē un pusi to koku, kuru stumbru vertikālā ass atrodas uz parauglaukuma robežas. Uzskaitē jāveic vairākās audzes vietās – mērījumu punktos (stāvpunktos), izvēloties tos randomizēti vai vienmērīgi visā audzes platībā. Mērījumu punktu skaits ir atkarīgs no sagaidāmās rezultātu precizitātes. Ja nav paaugstinātu prasību, izvēlas to minimālo mērījumu punktu skaitu, kas norādīts MK 2012. g. 18. decembra noteikumos Nr. 935 *Noteikumi par koku ciršanu mežā* (3.11. tab.). Par audzes koku skaitu *N* pieņem mērījumu punktos iegūto datu aritmētisko vidējo.

Minimālais parauglaukumu (PL) skaits

Nogabala platība ,ha	PL skaits	Nogabala platība ,ha	PL skaits
≤ 1,0	4	6,1–7,0	13
1,1–2,0	6	7,1–8,0	14
2,1–3,0	7	8,1–10,0	15
3,1–4,0	9	10,1–15,0	16
4,1–5,0	11	> 15,0	17
5,1–6,0	12		

Neatkarīgi no parauglaukumu skaita uzskaites precizitāti būtiski ietekmē parauglaukumu pla-
tība. Secināts, ka tā ir atkarīga no koku vidējā augstuma. Parauglaukuma platības saistību ar koku
vidējo augstumu nosaka MK noteikumi Nr. 935 (3.12. tab.).

Parauglaukuma rādiuss, platība un koeficients (K)
koku skaita aprēķināšanai

Koku vidējais augstums, m	Parauglaukuma rādiuss, m	Parauglaukuma platība, m ²	Koeficients K koku skaita aprēķināšanai
līdz 3,0	2,82	25	400
3,1–6,0	3,99	50	200
6,1–11,9	5,64	100	100

Formulas pazīstamas daudzas. Šeit iepazīsimies ar dažām no tām. Formula (3.28.) pamatojas uz atziņu, ka koki platībā ir izvietoti vienmērīgi un ka katra koka aizņemtais laukums ir kvadrāts. Tāpēc 1 ha koku skaitu N aprēķina kā

$$N = \frac{10\,000}{l^2}, \tag{3.28.}$$

kur l ir mērīts un aprēķināts metros kā vidējais aritmētiskais attālums starp audzes kokiem.
E. Bauersahs (Bauersach E.) ieteicis sakarību

$$N = \frac{8500}{l_2^2}. \tag{3.29.}$$

Formulā (3.29.) l_2 ir vidējais attālums līdz otram tuvākajam kokam, kas izteikts metros. Savukārt A. Priesols (Priesol A.) paredz izmantot vidējo attālumu līdz trešajam tuvākajam kokam

$$N = 11332l_3^{-1,38}. \tag{3.30.}$$

Izmantojot fitocenotisko metodi, L. Kairiūkštis un A. Jodvaļķis izstrādājuši audzes optimālā biezuma formulu

$$N_o = \frac{Q_m}{S_o \left(1 - \frac{P_o}{100}\right)}, \tag{3.31.}$$

kur Q_m – maksimāli iespējamais vainagu klāja laukums, m²ha⁻¹;
 S_o – viena koka vainaga optimālais lielums, m²;
 P_o – vainaga optimālā pārsedze, %.

Pēc V. Didkovska

$$N = \alpha e^{-kH}. \tag{3.32.}$$

Latvijas apstākļiem J. Donis ar līdzstrādniekiem 2014. g. izstrādājuši modeli maksimālā koku skaita noteikšanai pēc krūšaugstuma vidējā caurmēra d centimetros un tam atbilstošā augstuma metros. Koeficienti a_1, a_2, a_3 noteikti empīriski (3.13. tab.).

$$N_{\max} = a_1 d^{a_2} h^{a_3}. \tag{3.33.}$$

3.13. tabula

Meža elementa maksimālā koku skaita modeļa empīriskie koeficienti

Koeficienti	Koku suga					
	priede	egle	bērzs	melnalksnis	apse	baltalksnis
a_1	100829	142097	208871	280802	280802	280802
a_2	-1,353	-1,359	-1,354	-1,314	-1,314	-1,314
a_3	-0,092	-0,177	-0,374	-0,397	-0,397	-0,397

Nosakot konkrēto un normālo audžu absolūto biezību un biezumu, jāatceras, ka šos jēdzienus saista funkcionāla atkarība. Tā pamatojas uz to, ka $G = \underset{g}{N}$ un $g = 0,7854 D^2$, kur g ir audzes vidējā koka šķērslaukums, m² un D – tā krūšaugstuma caurmērs, m. Tāpēc

$$N = \frac{G}{0,7854 D^2}. \tag{3.34.}$$

Līdz ar to pietiek, ja nosaka G un N vai D . Šo saikni ērti izmantot lauka darbu izpildes pārbaudīšanai – empīriskajām vērtībām pieļaujamās kļūdas robežās ir jāsakrīt ar formulas (3.34.) rezultātu.

Slēgums raksturo to, kā audzes koku vainagi izmanto augšanas telpu. Slēgumu nosaka pēc *vainagu horizontālās projekcijas*. Par viena koka vainaga projekciju aprakstīts 1.2.7. apakšnodaļā. Visu

audzes koku vainagu projekciju summa, izteikta m^2 , ir vainagu absolūtais slēgums S_v un vainagu relatīvais slēgums –

$$b_v = \frac{S_v}{S}, \quad (3.35.)$$

kur S ir audzes platība, m^2 .

Bez vainagu slēguma izšķir vainagu klāja slēgumu. Tā absolūto vērtību b_k izsaka vainagu klāja projekcija, bet relatīvo vērtību b_r – tās attiecība pret audzes platību. Skatoties audzē uz augšu, novērotājs redz klāja projekciju. Vidējas un it īpaši lielas biežības audzēs klāja projekcija ir mazāka par vainagu projekciju. Tas tāpēc, ka koku vainagi pārsedzas. *Vainagu pārsedzes* dēļ pat vienkāršās tīraudzēs pastāv augsta varbūtība, ka $b_v \geq 1.0$. Turpretī vienmēr $b_r < 1.0$, jo pat vislielākā blīvuma audzēs spraugas starp vainagiem ir neizbēgamas. Attiecību b_v / b_k sauc par pārsedzes koeficientu. Slēguma b_v un b_k vērtības saulmīļu koku sugu audzēs ir mazākas nekā līdzīgos apstākļos ēnciešu sugām. Atkarībā no koku sugas pilnas biežības audzēs spraugas starp vainagiem aizņem 15 – 30%. Ar vecumu, kā arī ar augšanas apstākļu pasliktināšanos b_v un b_k samazinās. Pēc audzes izretināšanas kopšanas cirtēs koku vainagi dažu gadu laikā atkal aizņem atbrīvoto telpu, norādot, ka audzes slēgums atjaunojas ātrāk nekā biežība un biežums. Šajā laikā starp audzes blīvuma rādītājiem izveidojas citas korelatīvās attiecības. Tas jāņem vērā audžu inventarizācijā, ja biežības noteikšanā vadās pēc klāja slēguma. Koptās audzēs šis metodiski nepareizais, taču atzinību guvušais risinājums var izraisīt lielas kļūdas. Sacītā dēļ arī veikto kopšanas ciršu intensitāte, kā kritēriju izmantojot klāja slēgumu, jāvērtē ļoti piesardzīgi.

Acumēra taksācijā nosaka b_k . Detalizētākos pētījumos, kā arī b_v aprēķināšanai, lieto lineāro vai projekciju plāna uzmērīšanas metodes.

Lineārā metode. Parauglaurumā iezīmē diagonāles, novelkot ruleti vai auklu. Uz diagonāles projicē tās klāja vai vainagu daļas, kas atrodas virs diagonāles. Šo projekciju summas attiecība pret abu diagonāļu kopējo garumu ir attiecīgi audzes b_v vai b_k . Ja atsevišķo projekciju nogriežņus summē pa sugām, stāviem vai meža elementiem, iegūst šo kategoriju b_v un b_k parciālās vērtības. Lineārā metode ir vienkārša un praktiski ļoti ērta. Turklāt to iespējams lietot bez parauglaurumu ierīkošanas, jo diagonāļu vietā var izvēlēties citas bāzes līnijas, kas brīvi izraudzītas audzē. Metodes precizitāte atkarīga no bāzes garuma.

Projekciju plāna metode. Parauglauruma plānā iezīmē visu koku projekcijas, atsevišķi izdalot vainagu pārsedzes. Ar planimetru, kvadrātu, līniju vai punktu paleti nosaka to platību. Projekciju summas un parauglauruma platības dalījums ir b_v vai b_k atkarībā no tā, vai mērītas vainagu vai klāja projekcijas. Mistrotās, saliktās un dažādvecuma audzēs nosaka meža elementu parciālās b_v un b_k . Salīdzinot ar lineāro, šī metode ir darbietilpīgāka. Atsevišķās pārbaudēs secināts, ka iespējama $\pm 10 - 20\%$ liela kļūda.

3.9. Paauga un pamežs

Paauga aug zem audzes pirmā un otrā stāva. Tā kā šeit apgaismojuma apstākļi ir ierobežoti, atskaitot retaines un zemas biežības audzes, paaugā sastopamas ēncietīgas koku sugas. Paaugai pieskaita to jauno koku kopumu, kas veidojies zem vainagu klāja un pēc kokaudzē nociršanas dotajos augšanas apstākļos var izveidot saimnieciski nozīmīgu audzi. Paauga ir jaunāka par kokaudzē otro stāvu. Taču noteicošais rādītājs, kas nosaka robežu starp šiem diviem audzes vertikālās struktūras komponentiem, ir augstums. Robežvērtība ir pieņēmuma rezultāts. Visbiežāk tā ir $h < 0,25 H$ vai 6,0 m, kur H ir pirmā stāva vidējais augstums un h – pārbaudāmā koka augstums. Piemēram, ja $H = 20,0$ m, paaugai atbilst visi tie minētās kategorijas koki, kuru $h < 5,0$ m, bet, ja $H = 28,0$ m, $h < 6,0$ m. Dažkārt šo ierobežojumu neattiecinā uz audzēm, kuru $H < 16$ m, par paaugas augstāko robežu pieņemot 4,0 m.

Paaugas svarīgākie taksācijas rādītāji ir tās koku sugu sastāvs, koku skaits, to izvietojšanās raksturs platībā (vienmērīgs vai grupās) un piemērotība atstāšanai pēc audzes nociršanas. Katrai paaugas sugai jāuzrāda koku vecuma svārstību amplitūda, vidējais augstums, biežums vai slēgums. Detalizētos pētījumos šos datus ievāc parauglaurumā. Ja paauga ir ļoti blīva, parauglaurumu var sadalīt vairākās daļās un parametru vērtības noteikt vienā no tām.

Ļoti nozīmīga ir izšķiršanās par paaugas saglabāšanu kā dabiskās atjaunošanās pamatu. Šeit jāizvērtē vismaz trīs nosacījumi – paaugas koku skaits, izvietojums un sanitārais stāvoklis. Koku skaitam jābūt vismaz tādām, kas Latvijā atbilstu prasībām par minimāli nepieciešamo kopējo ieaugušo koku

skaitu (MK noteikumi Nr. 308 *Meža atjaunošanas, meža ieaudzēšanas un plantāciju meža noteikumi*, kas pieņemti 02.05.2012.), piemēram, egles paaugai – ne mazāk kā 2000 gab. ha⁻¹ ar nosacījumu, ka tie ir dzīvotspējīgi un platībā izvietoti vienmērīgi. Dzīvotspējīgiem paaugas kokiem ir labi izveidojušies simetriski vainagi ar zaru leņķi, mazāku par 90°, un vienmērīgs augstuma pieaugums. Tāda paauga uzskatāma par perspektīvu, un tā izdzīvos pēc mātes audzes nociršanas. Turpretī paaugas eglītes ar nesimetriskiem vainagiem, ar izteikti tieviem, uz sāniem izstūdzējušiem, horizontāliem zariem un augstuma pieaugumu, kas tiecas uz nulli, ieskaitāmas neperspektīvo kategorijā. Vairumā gadījumu neperspektīva paauga izveidojas lielas biezības ($b \geq 0,8$) audzēs ar egles otro stāvu un tās piemistrojumu pirmajā stāvā. Vēl jo vairāk, nereti šādos apstākļos paaugas eglītes jau ir sakņu trupes inficētas. Pēc mātes audzes nociršanas, krasi mainoties ekoloģiskajai videi, vairumam šādu eglīšu skujas nodzeltē un nobirst.

Pamežu veido krūmu un to koku sugas, kas nevar veidot saimnieciski vērtīgu audzi. Dažkārt ir grūti izšķirties par labu paaugai vai pamežam. Piemēram, egle un sils. Aiz godbijības pret mūsu mežu otro skujkoku sugu ierasti egli pieskaita paaugai. Taču sila augšanas apstākļi pārliecinoši nav piemēroti egles audzēšanai, tādēļ atsevišķas jaunās eglītes, kas iemaldījušās priežu silā, ieskaitāmas pamežā.

Paauga un pamežs ir saimnieciska rakstura kategorijas. Mežaudzes vertikālās struktūras kontekstā tās abas pieder krūmu stāvam un pilda līdzīgas ekoloģiskās funkcijas – radot piemērotus dzīves apstākļus visdažādākajiem dzīvajiem organismiem, nodrošinot bioloģisko daudzveidību un sekmējot enerģijas un vielu apriti, kas kopumā rezultējas kā meža ekosistēmas produktivitātes un stabilitātes noturība.

3.10. Zemsedze un zemsega

Zemsedze ir augu kopums, kas veido audzes apakšējo stāvu. Zemsedzei izšķir I un II stāvu. Pirmajā stāvā aug lakstaugi un puskrūmi, otrajā stāvā – sūnas un ķērpji. Zemsedzes stāvu izteiktību nosaka augsnes īpašības un augstākie audzes stāvi. Katrs zemsegas stāvs jāraksturo atsevišķi, nosakot tā floristisko sastāvu, sugu daudzumu, sastopamību, projektīvo segumu, vitalitāti un *fenofāzi* audzes aprakstīšanas laikā. Floristisko sastāvu vērtē, izstaigājot visu dotās audzes platību un sastādot *sugu sarakstu*. Atsevišķo sugu daudzumu izsaka ar īpatņu skaitu vienā m². Zemsedzes detālākai aprakstīšanai var lietot acumēra, laukumiņu, lineāro un punktu (adatu) metodes.

Acumēra metode. Izmanto speciālas skalas, kurās sugu daudzuma pakāpes raksturotas ar vārdiem, nelietojot skaitlisku vērtējumu. Pazīstamākā ir vācu botāniķa O. Drudes (Drude O.) skala, kas sākotnējā veidā publicēta jau 1890. gadā. Laika gaitā šī skala tika papildināta, tanī skaitā arī ar projektīvā seguma vērtējumu, izteiktu procentos (skalas aprakstā – iekavās). Šīs skalas sugu daudzuma pakāpēm ir šāds skaidrojums un apzīmējumi:

- ~ *soc* (*socialis*) – suga veido fonu, augu virszemes daļas saskaras (vairāk par 90%);
- ~ *cop* (*coptosal*) – suga pārstāvēta bagātīgi, augu virszemes daļas nesaskaras (30 – 90%); krievu ģeobotāniķis V. Aļohins šo pakāpi sadalījis sīkāk:
 - ~ *cop*³ – suga pārstāvēta ļoti bagātīgi (70 – 90%);
 - ~ *cop*² – suga pārstāvēta ar daudz īpatņiem (50 – 70%);
 - ~ *cop*¹ – suga pārstāvēta mēreni (30 – 50%);
- ~ *sp* (*sporsal*) – suga pārstāvēta vāji, atsevišķi īpatņi izklaidus sastopami visā audzes platībā (10 – 30%);
- ~ *sol* (*solitarie*) – sugas īpatņi audzē sastopami reti (līdz 10%);
- ~ *un* (*unicum*) – suga pārstāvēta ar vienu eksemplāru.

Pēdējo 60–70 gadu laikā īpaši augstu atzinību iemantojusi šveices augu sociologa Ž. Braun–Blankē (Braun–Blanquet) skala, nereti saukta par metodi. Tā jau no ieteikuma sākuma saturēja procentu vērtības, lai izdalītu sugas pārstāvētības pakāpes:

- ~ + – suga pārstāvēta mazāk par 1%;
- ~ 1 – sugas dalība projektīvajā segumā 1 – 5%;
- ~ 2 – sugas daudzums 5 – 25%;
- ~ 3 – sugas īpatsvars projektīvajā segumā 25 – 50%;
- ~ 4 – sugas klātbūtne 50 – 75%;
- ~ 5 – sugas dominance 75 – 100%.

Procentuālā vērtējuma noteikšanai izmanto kādu no kvantitatīvās uzskaites metodēm.

Laukumiņu metode. Risinājumi var būt ļoti dažādi. Uzskaites laukumiņus var izvietot randomizēti vai uz transektām, piemēram, audzes diagonālēm vai līnijām, kas ir paralēlas audzes garākajai malai. Uzskaites laukumiņu skaitu var izvēlēties, vadoties pēc 3.11. tabulas datiem. Botāniskajā literatūrā sastopamas norādes par 15 – 20 uzskaites laukumiņu nepieciešamību. Zemsedzes veģetācijas analīzei atkarībā no dominējošo augu lieluma parasti izvēlas 0,25 – 1,0 m² lielus apļa vai četrstūra formas laukumiņus. Katrā uzskaites laukumiņā nosaka ikvienas sugas projektīvā seguma procentu un no visu laukumiņu datiem aprēķina sugu aritmētiskās vidējās vērtības. Laukumiņu metodes trūkums ir tas, ka dotajā audzē pārstāvētās sugas var netikt uzskaitītas. Tāpēc sugu saraksts, kas iegūts pēc laukumiņu metodes, jāpapildina ar iztrūkstošajām sugām, atzīmējot, ka tās konstatētas ārpus uzskaites laukumiņiem. Uzskaites laukumiņu dati raksturo katras sugas sastopamību. Kā vienkāršāko kvantitatīvo rādītāju var lietot K. Raunkiera (Raunkiaer K.) sastopamības koeficientu R , izteiktu procentos:

$$R = \frac{a}{n} 100, \quad (3.36.)$$

kur a – uzskaites laukumiņu skaits, kuros attiecīgā suga reģistrēta;
 n – kopējais uzskaites laukumiņu skaits.

Zemsedzes augu projektīvo segumu interpretē līdzīgi kā kokaudzes vainagu vai vainagu klāja slēgumu – kā dotās sugas īpatņu horizontālo projekciju summas attiecību pret audzes platību. Precīzākai sugu projektīvā seguma parciālo vērtību noteikšanai uzskaites laukumiņus var sadalīt nelielos kvadrātiņos, kuros novērtē un izsaka procentos katras sugas aizņemto platību. Vidējās vērtības aprēķina pēc visu uzskaites laukumiņu datiem.

Lineārā metode. Lieto līdzīgi kā kokaudzes slēguma noteikšanā (3.8. apakšnodaļa). Katrā uzskaites laukumiņā uz tā diagonālēm vai randomizēti izraudzītās audzes vietās nostiepj ruleti, izmēra un sasummē katras zemsedzes sugas horizontālās projekcijas garumu. Šīs summas attiecinot pret bāzes līnijas garumu un izsakot procentos, iegūst katras sugas projektīvo segumu.

Punktu metode. Projektīvo segumu nosaka, brīvi izvēlētā virzienā metot metāla iesmu tā, lai tas pēc iespējas vertikāli iedurtos augsnē. Pēc tam noskaidro, kādu sugu augi iesmam pieskaras. Nepieciešamais metienu skaits – 100 – 150. Dotās sugas summāro pieskārienu skaitu dalot ar kopējo metienu skaitu, aprēķina šīs sugas projektīvo segumu. Ar šo metodi iespējams noteikt arī *stratificētos segumus*. Ar stratificēto segumu saprot noteikta augstuma līmeņa horizontālo projekciju, skaitot pieskārienu skaitu tikai šī līmeņa augstumā. Šo rādītāju mēra zemsedzes veģetācijas vertikālās struktūras raksturošanai.

Zemsedzes sugu spēju dzīvot un attīstīties dotās audzes apstākļos raksturo tās *vitalitāte* jeb dzīvīgums. Lieto acumēra metodi. No daudzajām un dažādajām skalām plašāk pazīstama ir Ž. Braun-Blankē ieteiktā augu vitalitātes gradācija, pēc kuras audzes visas sugas iedala četrās kategorijās:

- 1 – sugas augu attīstības cikls ir normāls, suga atjaunojas kā veģetatīvi, tā ģeneratīvi;
- 2 – augu attīstības cikls ir nepilnīgs, pilnīgi attīstās tikai augu veģetatīvās daļas, vairošanās notiek veģetatīvi;
- 3 – augu attīstības cikls traucēts, vāji attīstās pat veģetatīvās augu daļas, noris tikai daļēja veģetatīvā atjaunošanās;
- 4 – augi tikko veģetē, retumis notiek atjaunošanās, turklāt vairums jauno augu aiziet bojā.

Ziedaugu sugas fenoloģisko stāvokli raksturo ar šādām fenofāzēm:

- ~ veģetatīvā fāze pirms ziedēšanas;
- ~ ziedpumpuru veidošanās fāze;
- ~ ziedēšanas fāze;
- ~ augļu ražošanas fāze;
- ~ veģetatīvā fāze pēc augļu nokrišanas.

Apraksot zemsedzi, sevišķi rūpīgi jāraksturo aizsargājamo, reto, ārstniecības, medus, pārtikā, medījamo dzīvnieku barībā izmantojamās sugas un *indikatorsugas*. Šī informācija var būt noderīga audzes turpmākās apsaimniekošanas plānošanā un īstenošanā.

Zemsega ir nedzīvo organisko atlieku kopums, kas veido augsnes virsējo kārtu. Zemsegā vienlaicīgi norisinās divi savstarpēji pretēji procesi. Pirmkārt, tā papildinās ar koku un krūmu nobirām (nolūzuši zari, skuju, lapas, mizas plēksnes, čiekuri) un zemsedzes augu atliekām, veicinot zemsegas

atjaunošanos. Otrkārt, zemsega ir mājvieta neskaitāmiem dzīvajiem organismiem, kas nemitīgi to sadala un mineralizē. Sevišķi aktīvi šo funkciju veic baktērijas un sēnes (pārsvarā skābā vidē, skujkoku mežos). Šajā procesā atbrīvojas augu barošanās vielas, tādējādi uzturot augsnes auglību. Nelabvēlīgos apstākļos, piemēram, augsnē ilgāku laiku uzkrājoties liekam virsūdenim, sadalīšanās process pavājinās, kas noved pie zemsegas pakāpeniskas uzkrāšanās – zemsegas slānis (*detrīta slānis*) kļūst biezāks. Šo īpatnību izmanto meža tipoloģijā un kā meža ekosistēmas darbības intensitātes vērtēšanas kritēriju. Izšķir trīs intensitātes kategorijas:

- ~ *intensīvas darbības meža ekosistēmas* – detrīts neuzkrājas, tā papildināšanās un sadalīšanās procesi norisinās līdzsvaroti, detrīta slāņa biezums nepalielinās, pieder sausieņu un normāli uzturētie nosusinātie meži;
- ~ *labilas darbības meža ekosistēmas* – detrīta uzkrāšanās atkarīga no nokrišņu daudzuma, sausās vasarās sadalīšanās intensificējas, mitrās vasarās – uzbiezinās, pieder slapjajiem mežiem;
- ~ *ekstensīvas darbības meža ekosistēmas* – neatkarīgi no laika apstākļiem detrīta slāņa biezums palielinās, pieder purvainiem mežiem.

Praktiskajā meža inventarizācijā jāuzrāda detrīta slāņa biezums audzē, augsnē iedurot spieķīti un izmērot dūriena dziļumu 5 – 6 brīvi izvēlētās vietās. Šis ļoti vienkārši nosakāmais rādītājs satur vērtīgu kontroles informāciju, piemēram, par meža tipoloģijas vienību korektu noteikšanu.

3.11. Šķērslaukums

Audzes šķērslaukums G ir visu audzes koku krūšaugstuma šķērslaukumu summa. Uzskatāmākai salīdzināšanai G izsaka m^2ha^{-1} . G ir pieskaitāms informatīvākajiem audzes taksācijas rādītājiem (Erteld, 1957). Audzes šķērslaukuma noteikšanai lieto klasisko vai V. Biterliha metodi. Kā vienai, tā otrai izstrādātas dažādas variācijas.

Klasiskā metode. Tās pamatā ir visu koku vienlaidus dastošana, atsevišķo koku šķērslaukuma aprēķināšana un to summēšana. Atbilstoši darba uzdevumam kokus dasto visā audzes platībā vai arī kādā tās daļā – vienā vai vairākos parauglaukumos. Ja tie ir vairāki, aprēķina vidējo svērto G , kā svarus lietojot parauglaukumu platības. Ja audze dastota ar pašnoapaļotāju dastmēru, svēršanas paņēmieni izmanto arī atsevišķa parauglaukuma G aprēķināšanai.

$$G = \frac{\pi \sum_i n_i d_i^2}{4 \times 10000}, \quad i=1,2,...,k, \tag{3.37.}$$

- kur G – parauglaukuma šķērslaukums, m^2 ;
- d_i – i -tās caurmēra pakāpes vidējā vērtība;
- n_i – i -tās caurmēra pakāpes koku skaits;
- k – caurmēra pakāpju skaits;
- $\pi = 3,1416$.

Piemērs. Egļu damakšņa 80 gadu vecā vienkāršā tīraudzē, kuras platība ir 2,76 ha, ierīkots 0,25 ha liels parauglaukums. Koki dastoti 2 cm caurmēra pakāpēs, minimālā caurmēra pakāpe ir 16 cm, maksimālā – 38 cm, caurmēra pakāpju skaits – 12 (3.14. tab.).

3.14. tabula

Audzes šķērslaukuma noteikšana pēc klasiskās parauglaukumu metodes

Caurmēra pakāpes		Koku skaits pa sugām			Caurmēra pakāpes	
d_p , cm	g , m^2	egle	u. c.	u. c.	n_i	G_p , m^2
16	0,0201	4			4	0,0804
18	0,0254	6			6	0,1527
20	0,0314	7			7	0,2199
22	0,0380	12			12	0,4562
24	0,0452	24			24	1,0857
26	0,0531	30			30	1,5928

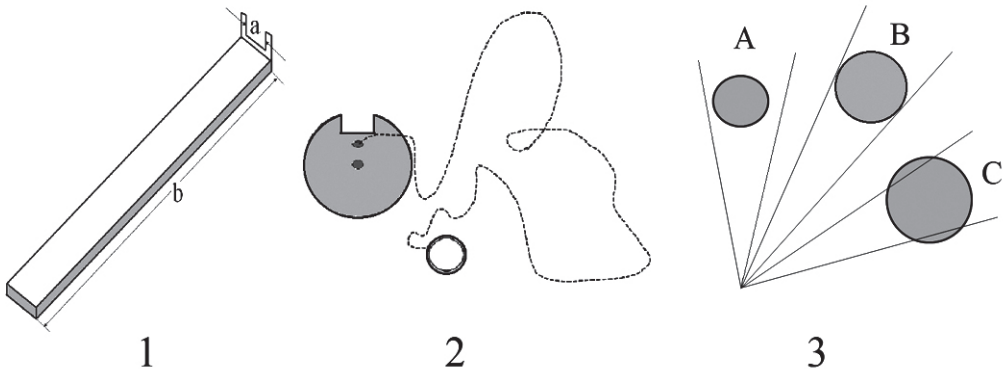
Caurmēra pakāpes		Koku skaits pa sugām			Caurmēra pakāpes	
28	0,0616	26	u. c.	u. c.	26	1,6010
30	0,0707	19			19	1,3430
32	0,0804	8			8	0,6434
34	0,0908	3			3	0,2724
36	0,1018	2			2	0,2036
38	0,1134	1			1	0,1134
Kopā		142			142	7,7645

Piemēra rezultāti: egļu un šajā gadījumā arī kopējais koku skaits parauglaukumā – 142 un šķērslaukums – 7,7645 m², kas, pārrēķinot uz 1 ha, attiecīgi sastāda 568 egles un 31,0579 m² ha⁻¹ šķērslaukuma.

Audzes šķērslaukumu izmanto citu taksācijas rādītāju (biezība, krāja) aprēķināšanai un mežsaimniecisko pasākumu (*kritiskais šķērslaukums* un *minimālais šķērslaukums*) plānošanai un kontrolei.

V. Biterliha metode. Pazīstama arī kā virzienleņķu metode. Izstrādāta 1947. gadā Austrijā. Šobrīd pastāv vairāki metodes varianti un šķērslaukuma netiešās mērīšanas rīki. Metode ir ļoti parocīga, jo neprasa ne parauglaukumu ierīkošanu un taksēšanu, un pat ne koku caurmēru mērīšanu. Datu ievākšana notiek vairākās mērīšanas vietās jeb stāvpunktos. Stāvpunktu skaitu audzē nosaka, vadoties pēc audzes platības (3.11. tab.), bet to izvietojumu platībā izvēlas randomizēti vai vienmērīgos attālos uz paralēlām transektām. Audzes kopējo šķērslaukumu aprēķina kā atsevišķo mērījumu aritmētisko vidējo. Katrs stāvpunkts kalpo kā aplveida parauglaukuma centrs, kurā nostājas mērītājs un vizē uz visiem apkārtējiem kokiem 1,3 m augstumā virs sakņu kakla, veicot pilnu apgriezieni ap savu vertikālo asi. Vizēšanai var lietot dažādus rīkus –V. Biterliha *mērķekli* (*lineālu*), *taksatora prizmu* vai *relaskopu*, tādējādi īstenojot kādu no V. Biterliha metodes modifikācijām (paņēmieniem). Šeit aplūkosim darbības ar katru no tiem.

V. Biterliha mērķeklis, saukts arī par V. Biterliha lineālu vai virzienleņķu šablonu (3.3. att.), sastāv no divām daļām – spilgti krāsota vizēšanas rāmīša un rīka bāzes. Nav svarīgi, no kāda materiāla un kādā formā veidoti abi mērķekļa komponenti. Obligāta ir tikai viena prasība – rāmīša izgriezuma platuma *a* un bāzes garuma *b* attiecībai jābūt precīzai, proti, *a*:*b* = 1:50. Šī noteikuma pamatojumu paskaidrosim apakšnodaļas noslēgumā.



3.3. att. V. Biterliha mērķeklis: 1 – mērķeklis–lineāls (*a* – vizēšanas rāmītis, *b* –mērķekļa bāze); 2 – mērķeklis ar aukliņu; 3 – koku uzskaitē (*A* – neuzskaita, *B* – 0,5 m²ha⁻¹, *C* – 1 m²ha⁻¹)

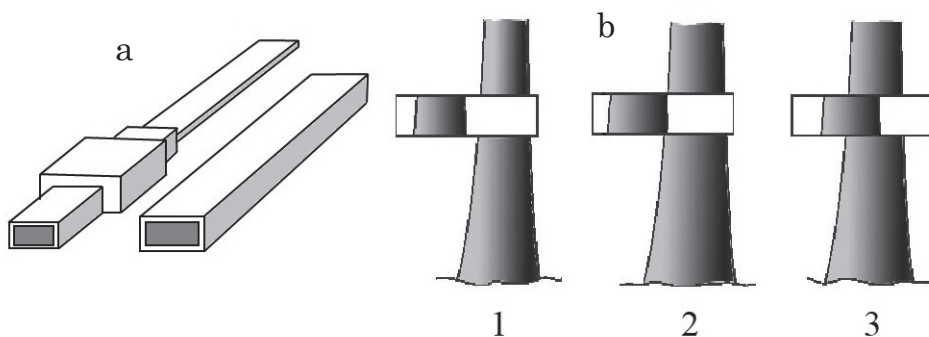
Ar mērķekli strādā šādi. Pēc mērītāja nostāšanās parauglaukuma centrā lineāla vai aukliņas brīvo galu pieliek pie acs un caur rāmīša izgriezumu, kas atrodas precīzā bāzes attālumā no acs, vizē uz katru pārbaudāmo koku. Iespējami trīs gadījumi. Ja pārbaudāmā koka caurmērs krūšaugstumā ir mazāks par rāmīša izgriezuma projekciju uz stumbra šajā augstumā (tā attēls pilnīgi iekļaujas izgriezumā), šādu koku neuzskaita un pāriet pie nākamā koka atbilstības pārbaudes. Ja turpretī pārbaudāmais koks ir resnāks par izgriezuma projekciju uz tā, koku uzskaita, vērtējot kā 1 m²ha⁻¹. Trešajā gadījumā, kad izgriezuma projekcija precīzi sakrīt ar koka caurmēru, to uzskaita kā 0,5 m²ha⁻¹. Uzskaitīto vērtību summa ir audzes šķērslaukums, spriežot pēc šī parauglaukuma koku izvietojuma un caurmēra.

Ja rodas šaubas par kāda koka pārbaudes pareizību, tās ir novēršamas, ar mērlenti izmērot attālumu no parauglaukuma centra līdz dotā koka stumbra asij. Ja šis attālums, izteikts metros, ir mazāks par pusi no koka caurmēra, izteikta centimetros, tad šis koks ir uzskaitāms kā $1\text{ m}^2\text{ha}^{-1}$. Ja izmērītais attālums ir vienāds ar koka caurmēra pusi, tad to uzskaita kā $0,5\text{ m}^2\text{ha}^{-1}$, bet, ja attālums ir lielāks par caurmēra pusi, koku neuzskaita.

Lai darbā nepieļautu rupjas kļūdas, vienmēr jāievēro sekojoši nosacījumi:

- ~ vizēšanas laikā mērītāja acij jāatrodas virs parauglaukuma centra;
- ~ jāpārbauda, vai vizūras līnijā neatrodas vairāki koki, šajā gadījumā pirmais koks aizsedz pārējos un tie nav saskatāmi, citiem vārdiem, netiek pārbaudīta to piederība;
- ~ parauglaukumam no parauglaukuma un no audzes malas jāatrodas tālāk par attālumu (metros), kas vienāds ar resnākā koka krūšaugstuma caurmēra (centimetros) pusi. Piemēram, ja nogabala nepietiekamās platības dēļ koku uzskaitē jāveic parauglaukuma vienā pusē. Tas nozīmē, ka parauglaukuma centru izvēlas uz nogabala robežas, un kokus uzskaita tikai 180° sektorā, iegūto šķērslaukuma vērtību dubultojot. Šādā gadījumā, protams, stāvpunktu skaits audzē attiecīgi jāpalielina;
- ~ audzes šķērslaukumu nosaka katram kokaudzes stāvam atsevišķi, taču nereti un it īpaši audzēs ar egles piemistrojumu pirmajā stāvā un izteiktu otro stāvu koku sadalījumā pa stāviem ieviešas kļūdas.

Taksatora prizma, pazīstama arī kā N. Anučina prizma (3.4. att.), ir izgatavota no caurspīdīga materiāla ķīļa veidā. Tās skaldnes veido zināmu leņķi, lai gaismas stars, kas plūst caur prizmu, tiktu noliekts no sākotnējā virziena. Tāpēc arī pārbaudāmā koka attēls redzams nobīdīts. Nobīdes lielums ir atkarīgs no prizmas skaldņu leņķa. Taksatora prizmai tas izvēlēts $137,4'$, kas nodrošina, lai nobīdes lielums un koka attālums no parauglaukuma centra veidotu attiecību 1:50. Mērīšanas laikā prizmu tur acu augstumā tā, lai tās platākās skaldnes būtu stateniskas vizūras līnijai, kas, iedama caur prizmas gala šķautni, krūšaugstumā šķērso pārbaudāmā koka stumbru. Līdz ar to iespējamās trīs nobīdes pozīcijas, kas norāda uz attiecīgā koka atbilstību uzskaitēi (3.4. att.).



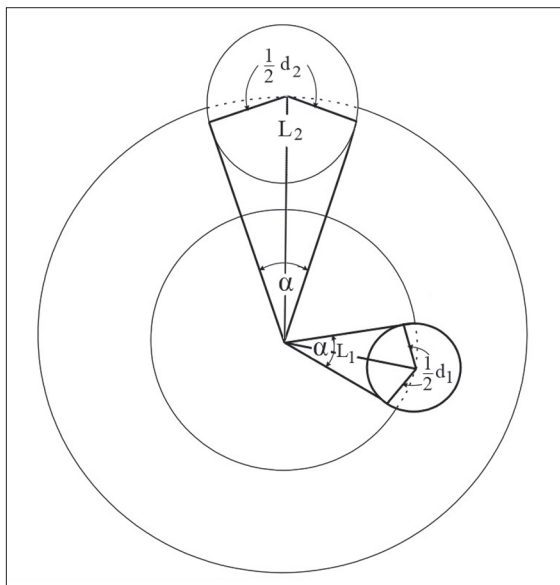
3.4. att. Taksatora prizma: *a* – prizma, *b* – koku uzskaitē (*1* – koks nav uzskaitāms, *2* – koks uzskaitāms kā $0,5\text{ m}^2\text{ha}^{-1}$, *3* – koks uzskaitāms kā $1\text{ m}^2\text{ha}^{-1}$)

Uzskaitīto vērtību summa ir audzes šķērslaukums, spriežot pēc šī parauglaukuma situācijas.

Relaskopu (1.32., att. *a*) izmantojot audzes šķērslaukuma mērīšanai, lieto kādu no šķērslaukuma skalām. Visparocīgākā un tādēļ parasti lietotā ir vieninieku skala. Tas tāpēc, ka pēc šīs skalas noteiktais rezultāts jau ir audzes šķērslaukums, kas izteikts m^2ha^{-1} . Pārējo skalu gadījumā uzskaitītais rezultāts vēl jāreizinā ar skalas koeficientu (vieninieku skalas koeficients ir 1, divnieku skalas – 2). Vizēšana un pārbaudāmā koka atbilstības noteikšana ir līdzīga, kā strādājot ar V. Biterliha mērķekli. Svarīgi attēroties, ka darbā ar relaskopu nogāzes slīpuma korekcija īstenojas automātiski, to panākot ar atbilstoši izmainītu skalu platumu.

Aprakstīto V. Biterliha metodes audzes šķērslaukuma noteikšanas paņēmieni teorētiskais pamatojums ir kopīgs, saukts par *V. Biterliha teoriju*. Šī teorija ir laikmeta *Notikums* meža taksācijā, kas radikāli izmainījis tās turpmāko attīstību. Šobrīd pazīstami dažādi šīs teorijas izklāsta veidi, kas daudzu pētnieku izstrādāti un ieteikti kā labākie (Philip, 1994). Paša teorijas autora skatījumā tās matemātiskais skaidrojums ir vienkāršs un saprotams (Анучин Н., 1977; Багинский В., 2011).

No aplūveida parauglaukuma centra skatoties caur V. Biterliha mērķēkļa vizēšanas rāmīša izgriezuma malām, veidojas vizēšanas leņķis α . Ne velti pats metodes autors savu metodi nosauca par *Winkelzählprobe*. Ikvienā stāvpunktā veidojas nosacītu aplūveida parauglaukumu kopa. Visai kopai ir kopējs vizūras leņķis α un centrs dotajā stāvpunktā (3.5. att.).



3.5. att. Pārbaudāmo koku krūšaugstuma caurmēra d_i un attāluma L_i atkarība (pēc Husch et al., 2003)

Tā kā α ir nemainīgs, katram kokam ir atšķirīgs nosacītā parauglaukuma rādiuss L_i (attālums no i -tā koka vertikālās ass līdz stāvpunktam). L_i vērtība ir atkarīga no attiecīgā koka caurmēra d_i . Visu šo koku attiecība d_i/L_i ir konstanta. No attēla izriet, ka

$$\frac{d_i}{L_i} = 2 \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (3.38.)$$

Sakarība (3.38.) ir spēkā arī šķērslaukumu līmenī:

$$\frac{g_i}{G_i} = \frac{\pi \left(\frac{d_i}{2} \right)^2}{\pi (100L_i)^2} = 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}. \quad (3.39.)$$

Pēc formulas (3.39.) var secināt, ka 1 m² aplūveida parauglaukuma platībai ($L_i = 1$ m un $d_i = 2$ cm)

$$\frac{g_i}{G_i} = \frac{1}{10000},$$

no kurienes parauglaukuma viena koka šķērslaukums, attiecināts uz 1 ha,

$$g_i = \frac{G_i}{10000} = \frac{10000}{10000} = 1 \text{ m}^2. \quad (3.40.)$$

Ja tādu koku parauglaukumā ir N , to kopējais šķērslaukums ir $N \text{ m}^2$. Līdz ar to var rakstīt

$$10000 \frac{\pi \left(\frac{d_i}{2} \right)^2}{\pi (100L_i)^2} = 10000 \cdot 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} \quad (3.41.)$$

un

$$G = \sum G_i = 10^4 \sin^2 \frac{\alpha}{2} N. \quad (3.42.)$$

Ja pieņem, ka

$$10^4 \sin^2 \frac{\alpha}{2} = k,$$

$$G = kN. \quad (3.43.)$$

Sakarība (3.42.) V. Biterliha teorijā ieņem centrālo vietu. Sakarības sastāvdaļa $10^4 \sin^2 \frac{\alpha}{2}$ ir reizinātājs, kura vērtība ir atkarīga no V. Biterliha mērķēkļa parametru α un b brīvas izvēles (3.3. att.). Tas nozīmē, ka šos parametrus un sekojoši arī vizēšanas leņķi α var izraudzīties tāds, lai minētais reizinātājs būtu vesels skaitlis, vislabāk 1. Ja $k = 1$, tad audzes šķērslaukums $G \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$ sakrīt ar uzskaitāmo koku skaitu stāvpunktā (3.43.). Piemēram, ja izvēlas $\alpha = 2^\circ$ un $b = 100 \text{ cm}$, vizēšanas leņķis $\alpha = 1^\circ 10'$ jeb $\alpha/2 = 35'$ ar $\sin 35' = 0,01018$ un $\sin^2 35' = 0,00010$. Tāpēc formulas (3.42.) reizinātājs $10^4 \sin^2 \frac{\alpha}{2} = 1$, kas atbilst V. Biterliha mērķēkļa pamatprasībai $a/b = 1:50$ (3.3. att.).

Praktisko ērtību dēļ katrs taksators var izvēlēties sev ērtākos mērķēkļa parametrus. Vairākumā gadījumu tie ir $\alpha = 1^\circ$ un $b = 50 \text{ cm}$, sevišķi parocīgi tas ir tad, ja lieto mērķekli ar aukliņu. Daudzi autori neskaitāmos pētījumos empīriski pārliecinājušies par V. Biterliha teorijas patiesumu, variējot ar parametru α un b vērtībām atkarībā no audzes biežības, vidējā caurmēra, vecuma, pārskatāmības apstākļiem pameža un paaugas dēļ u. c. mērīšanas nosacījumiem. Iegūta daudzpusīga pieredze un bagātīga informācija (Repšys J., 1994). Minēsim dažas atziņas. Ar dioptra koeficientu $k = 1$ ir ļoti parocīgi strādāt. Taču meža apstākļos dažkārt sastopami izņēmumi. Piemēram, paaugas, pameža vai jaunākās audzēs lielā biežuma dēļ ir ierobežota redzamība, L_i ir jāsamazina. Turpretī vecās un retās audzēs tas ir jāpalielina, jo citādi parauglaukumā var atrasties tikai nedaudzi uzskaites koki. Regulējumu var panākt, attiecīgi izmainot attiecību $a:b$ (3.3. att.). Empīriski noskaidrotas šādas k optimālās vērtības: $k = 0,5$, ja audzes vidējais caurmērs $D = 8 - 16 \text{ cm}$; $k = 1,0$, ja $D = 17 - 30 \text{ cm}$; $k = 2,0$, ja $D > 30 \text{ cm}$. Vispārīga atziņa ir, ka piemērotākā ir tā attiecība, ar kuru vienā apgriezienā var saskaitīt 20–30 uzskaites kokus.

Ar V. Biterliha metodi jāstrādā ļoti akurāti. To nosaka mērījumu izteiktais diskretums. Kļūdīties par vienu uzskaites koku nozīmē kļūdīties par $1 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$ šķērslaukuma, kas atbilst, piemēram, 32 kokiem ar 20 cm krūšaugstuma caurmēru.

Audzės šķērslaukuma datus dažādu valstu mežsaimniecībā izmanto plaši un daudzveidīgi. Latvijā nozīmīgākie virzieni ir saistīti ar krājas un tās pieauguma noteikšanu un analīzi, kā arī izšķiršanos par audzes ciršanu galvenās izmantošanas, kopšanas vai sanitāro ciršu kārtībā. Par izvēles kritēriju kalpo konkrētās audzes *kritiskais šķērslaukums* G_{krit} vai *minimālais šķērslaukums* G_{min} .

Meža likums nosaka, ka kritiskais šķērslaukums ir mežaudzes šķērslaukuma robežvērtība, par kuru mazākas vērtības gadījumā nav iespējama mežaudzes apmierinoša attīstība un mežaudze ir atjaunojama. Tas nozīmē – ja audzes šķērslaukums G kļūst mazāks par G_{krit} , šī audze ir jānocērt. Savukārt minimālais šķērslaukums ir mazākais mežaudzes šķērslaukums, kāds nepieciešams, lai būtu iespējama turpmāka produktīva mežaudzes attīstība. Tas nosaka zemāko robežu, līdz kurai drīkst samazināt audzes G kopšanas cirtēs. Ja tomēr šādu rīcību prasa audzes sliktais sanitārais stāvoklis, tad ir runa par *sanitāro cirti*. Ja konkrētās audzes vidējais augstums $H \geq 12 \text{ m}$, G_{min} un $G_{krit} \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$ nosaka MK noteikumi Nr. 935 „Noteikumi par koku ciršanu mežā” (3.15. tab.). Ja $H < 12 \text{ m}$, šķērslaukuma vietā lieto koku skaitu.

Mežaudzes pirmajā stāvā augošo koku minimālais šķērslaukums (G_{min}) un kritiskais šķērslaukums (G_{krit}) atkarībā no valdošās koku sugas un koku vidējā augstuma (m^2/ha)

Vid. augst. H, m	Valdošā koku suga											
	priede		egle u. c. skujkoki		bērzs, liepa		apse, melnalk., baltalk., u. c. lapkoki		ozols, vīksna, goba, kļava, dižskāb., skābardis		osis	
	G_{min}	G_{krit}	G_{min}	G_{krit}	G_{min}	G_{krit}	G_{min}	G_{krit}	G_{min}	G_{krit}	G_{min}	G_{krit}
12	13	7	11	6	8	4	10	5	9	5	7	4
13	14	8	12	6	9	5	10	6	10	5	8	4
14	14	8	12	7	10	5	11	6	10	6	8	5
15	16	8	14	7	10	5	11	6	11	6	9	5
16	17	8	15	7	11	6	12	6	12	6	10	5
17	18	8	16	8	11	6	12	7	12	6	10	6
18	19	8	17	8	12	6	13	7	14	7	11	6
19	19	8	17	8	12	6	13	7	15	7	13	6
20	20	9	20	8	13	6	14	8	16	7	13	6
21	21	9	22	8	14	7	15	8	17	7	14	6
22	21	9	23	9	14	7	16	8	17	8	14	6
23	21	9	24	9	16	7	16	8	18	8	14	6
24	21	9	24	9	16	7	18	9	18	8	14	7
25	22	9	26	10	17	8	19	9	19	8	15	7
26	22	9	26	10	17	8	19	9	20	8	15	7
27	22	9	27	10	17	8	20	10	20	9	15	7
28	22	9	28	10	18	8	21	10	21	9	16	7
29	22	9	28	10	18	8	22	10	21	9	16	7
30	22	9	29	10	19	8	22	10	22	9	16	7
31	23	9	30	11	19	8	23	10	22	9	–	–
32	23	9	30	11	20	9	23	10	22	9	–	–
33	23	10	31	11	20	9	24	11	23	10	–	–
34	23	10	31	11	21	9	24	11	23	10	–	–
35<	23	10	32	11	21	9	24	11	23	10	–	–

3.12. Vidējais caurmērs

Koku vidējo caurmēru nosaka katram meža elementam atsevišķi. Atkarībā no aprēķināšanas veida izšķir *vidējo kvadrātisko* jeb vidējā šķērslaukuma koka caurmēru D un *aritmētisko vidējo caurmēru* $\bar{D}$. Dažkārt, lai izvairītos no iespējamām pārpratumiem, vidējo kvadrātisko caurmēru apzīmē ar D_g . Visos gadījumos $D_g > \bar{D}$, ko izsaka sakarība:

$$D_g = \sqrt{\bar{D}^2 + s^2} \text{ ,} \tag{3.44.}$$

kur S ir mērīto caurmēru standartnovirze. $\bar{D}$ vairāk lieto teorētiska rakstura pētījumos, piemēram, audzes struktūras likumsakarību skaidrošanā. Savukārt D_g izmanto audzes šķērslaukuma un krājas noteikšanā un analizē. Mežsaimniecības praksē parasti par audzes vidējo caurmēru pieņem D_g . Tāpēc arī šajā grāmatā turpmāk to sauksim par vidējo caurmēru un apzīmēsīm ar D .

Vidējo caurmēru aprēķina pēc audzes dastošanas datiem, ņemot vērā, ka audzes vidējā koka šķērslaukums

$$g = \frac{G}{N} \text{ ,} \tag{3.45.}$$

kur N ir uzmērīto koku skaits. Tā kā

$$g = \frac{\pi D^2}{4},$$

$$D = 200 \sqrt{\frac{g}{\pi}}, \quad (3.46.)$$

kur kā ierasti g ir izteikts kvadrātmētros un D – centimetros.

Mūsu piemēra (3.14. tab.) parauglaukuma $G = 7,7645 \text{ m}^2$ un $N = 142$. Tāpēc $g = 0,05468 \text{ m}^2$ un $D = 26,4 \text{ cm}$.

Aritmētiskais vidējais caurmērs

$$\bar{D} = \frac{\sum_i n_i \bar{d}_i}{N}, \quad (3.47.)$$

kur n_i ir koku skaits un $\bar{d}_i$ – vidējā vērtība i -tajā caurmēra pakāpē.

Mūsu piemērā (3.14. tab.)

$$\bar{D} = \frac{4 \cdot 16 + 6 \cdot 18 + 7 \cdot 20 + 12 \cdot 22 + 24 \cdot 24 + 30 \cdot 26 + 26 \cdot 28 + 19 \cdot 30 + 8 \cdot 32 + 3 \cdot 34 + 2 \cdot 36 + 38}{142} =$$

26,0 cm. Šajā piemērā $D = 26,4 > \bar{D} = 26,0 \text{ cm}$, kas saskan ar iepriekš minēto teorētisko atziņu, starpībai veidojot 1,5%.

Nenoliedzama $\bar{D}$ priekšrocība ir tā, ka to var noteikt atbilstoši precizitātei, kas norādīta pirms darbu uzsākšanas. To var panākt, uzmērot nepieciešamo koku skaitu N . Pēdējo aprēķina ar matemātiskās statistikas formulu (3.48.).

$$N = \frac{t_{\alpha;\infty}^2 \cdot s\%^2}{p\%^2}, \quad (3.48.)$$

kur $s\%$ ir koku caurmēru variācijas koeficients, $p\%$ – maksimāli pieļaujamā kļūda, $t_{\alpha;\infty}$ – Stjūdenta kritērija teorētiskā vērtība atbilstoši rezultātu būtiskuma līmenim α . Vidēji kokaudžu caurmēra variācijas koeficients ir robežās $s\% = 25 - 35\%$. Pieņemot, ka prakses vajadzības apmierina $\alpha = 0,10$ ($t_{0,10;\infty} = 1,64$) un $p\% = 10\%$, iegūstam dastojamo koku nepieciešamo skaitu

$$N = \frac{1,64^2 \cdot 25^2}{10^2} = 24,2 \approx 25.$$

Koku skaitu var samazināt, ja dasto tikai centrālo caurmēra pakāpju kokus, kur variācijas koeficients ir mazāks nekā visā audzē. Dastojamo koku izvēlei visos gadījumos jābūt randomizētai.

Tuvinātu D vērtību var noteikt pēc acumēra. Pēc zināmas ievingrināšanās nav grūti panākt, lai *acumēra novērtējums* iekļautos intervālā $D \pm 2 \text{ cm}$.

Audzes vidējais caurmērs, kā arī rinda citu taksācijas rādītāju, ir atkarīgi no *koku skaita sadalījuma* pa caurmēra pakāpēm. Jau 1880. gadā V. Veize norādīja, ka vienkāršās tīraudzēs, kuras nav stihijas vai intensīvu kopšanas ciršu izretinātas, vidējais caurmērs koku ranžētā rindā ieņem stabilu vietu. Ja rinda ir sakārtota augošā secībā, D to sadala divās daļās. Koki, kas tievāki par D , sastāda 58%, bet koki, kas resnāki par D – 42 % no kopējā audzes koku skaita. Dažādās audzēs D novirzes no šī punkta ir niecīgas – tikai $\pm 2-3 \%$.

Desmit gadu vēlāk K. Vimmenauers un pēc tam daudzi citi mežkopji apstiprināja šo likumsakarību. Mūsu piemērā (3.14. tab.) $N = 142$ un 58 % atbilst 83. koks. Summējot no rindas sākuma, iegūstam, ka šis koks atrodas caurmēra pakāpē ar vidējo vērtību 26,0 cm. Šī piemēra $D = 26,4 \text{ cm}$, tāpat piemērs seko V. Veizes likumsakarībai.

Lai niansētāk varētu noskaidrot audzes struktūras likumsakarības, A. Tjurins koku skaitu sadalīja pa caurmēra pakāpēm, kas aprēķinātas kā vidējā caurmēra daļas. Viņš tās nosauca par *dabiskajām caurmēra pakāpēm* un koku pārstāvītību tajās izteica procentos no audzes kopējā koku skaita. Izpētījis

lielu daudzumu vienkāršu tīraudžu, viņš secināja, ka koku skaita relatīvais sadalījums pa dabiskajām caurmēra pakāpēm nav atkarīgs no koku sugas, bonitātes un biežības, ka nedaudz to ietekmē audzes vecums, bet ļoti stipri – kopšanas ciršu veids un intensitāte. A. Tjurins aprēķināja arī citu audzes taksācijas rādītāju relatīvās vērtības (3.16. tab.).

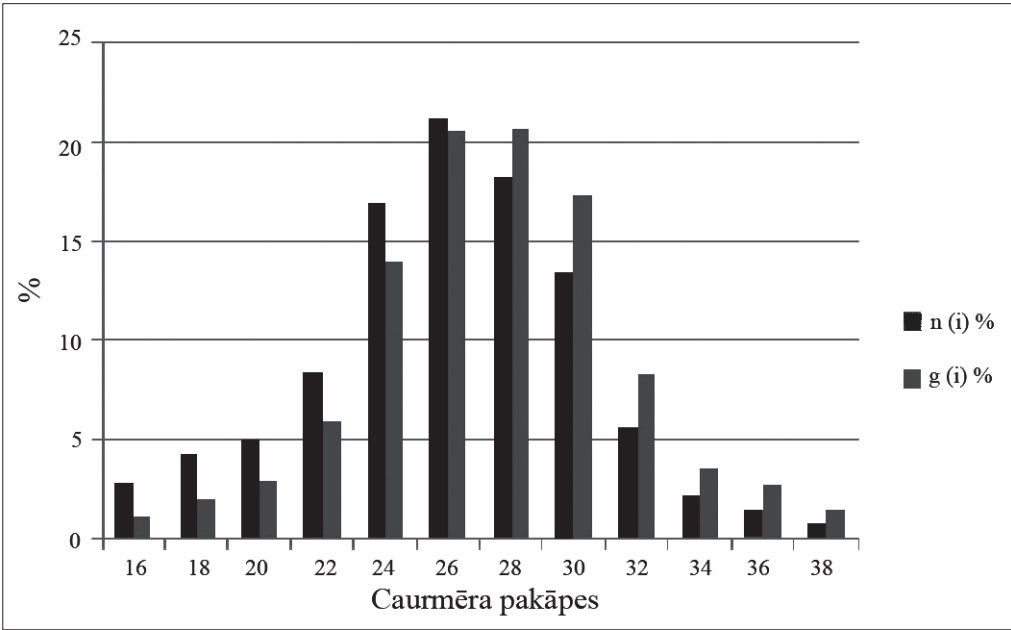
3.16. tabula

Dabisko caurmēra pakāpju dažu taksācijas rādītāju vispārinātās vērtības, %

Taks. rād.	Dabiskās caurmēra pakāpes													
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	
<i>N</i>	0,7	3,5	9,5	16,1	18,4	18,1	13,1	8,9	6,3	3,3	1,5	0,5	0,1	
<i>G</i>	0,2	1,3	4,6	10,3	14,9	18,1	15,8	12,8	10,6	6,4	3,4	1,3	0,3	
v	0,1	1,2	4,4	10,0	14,8	18,1	16,0	13,1	10,8	6,5	3,4	1,3	0,3	

Taksācijas rādītāju izteikšanai dabiskajās caurmēra pakāpēs ir tā priekšrocība, ka dažādu audžu struktūru iespējams salīdzināt neatkarīgi no koku sugas, vecuma, vidējā caurmēra, bonitātes u. c. īpašībām. Sevišķi ērti un uzskatāmi tas ir tad, ja salīdzināšanu veic grafiski.

Mūsu piemērā (3.14. tab.) koku skaita relatīvais sadalījums parastajās caurmēra pakāpēs (3.6. att.) ir nedaudz asimetrisks un ekscesīvs. Arī salīdzinājumā ar A. Tjurina vispārināto koku skaita sadalījumu centrālajās caurmēra pakāpēs vērojamas par dažiem procentiem lielākas frekvenču vērtības. Tas izskaidrojams ar piemēra audzes konkrētajām īpatnībām, kas atsevišķos gadījumos atkarībā no saimnieciskā režīma var būt vēl izteiktākas. Šķērslaukuma sadalījumam ir līdzīga forma, taču ir nedaudz nobīdīts pa labi.



3.6. att. Koku skaita n(i)% un šķērslaukuma g(i)% relatīvais sadalījums parastajās caurmēra pakāpēs

Koku skaita sadalījums pa caurmēra pakāpēm (parastajām un dabīgajām) ir atkarīgs no audžu apsaimniekošanas režīma. M. Prodans atzīst, ka vienvirsotņu vairāk vai mazāk asimetriski un ekscesīvi sadalījumi ir raksturīgi nepārretinātām vienkāršām tīraudzēm un atsevišķiem meža elementiem, ja to koku skaits ir pietiekoši liels. Turklāt jaunākās audzēs ir izteikta labās puses asimetrija, kas ar audzes vecumu pakāpeniski pāriet kreisajā asimetrijā. Izlases mežā visvairāk koku ir jaunākajās caurmēra pakāpēs un, vecumam palielinoties, to skaits hiperboliski samazinās. Ja vienkopus dastoti divi vai vairāki meža elementi, iegūtajam sadalījumam var būt divas vai vairākas virsotnes. Audzes struktūras kopējās likumsakarības jūtami transformējas katras audzes specifiskas ietekmē.

Koku skaita sadalījumam pa caurmēra pakāpēm nav tikai teorētiska nozīme vien. Tas būtiski ietekmē krāju un biomasu, to pieaugumu, sortimentu iznākumu, meža ekoloģiskās funkcijas un meža apsaimniekošanas praksi. Tas viss izskaidro pētnieku pieaugošo interesi par koku skaita sadalījumu matemātisku izpēti jeb modelēšanu.

Šī doma nav tikai pēdējo gadu desmitu auklējums. Pirmie darbi pazīstami jau kopš 1898. gada, kad Francijā dažādvecuma audzēs notika mēģinājumi formalizēt koku skaita sadalījumu pēc to caurmēra (Husch et al., 2003). Sadalījuma formas un tās matemātiskā apraksta meklējumos jāņem vērā, ka visos gadījumos līdz ar vecuma palielināšanos samazinās kopējais koku skaits audzē, turpinās to diferencēšanās un līdz ar to pakāpeniski mainās arī šī sadalījuma forma. Tas uzliek papildu nosacījumus formulai, kas izraugāma likumsakarības aprakstam. Katrā gadījumā tai jāatbilst divām galvenajām prasībām – tai jābūt elastīgai un vienkāršai. Pirmais nosacījums nozīmē formulas spēju precīzi aprakstīt visas iespējamās sadalījuma līknes formas, kādas veidojas audzēs ar būtiski atšķirīgu raksturojumu. Savukārt formulas vienkāršība sekmē aprakstāmās likumsakarības izpratni un analītisko izpēti. Kā viena no vienkāršākajām tiek minēta negatīvā eksponentfunkcija

$$n_i = ke^{-aX_i}, \quad (3.49.)$$

kur n_i – koku skaits i -tajā caurmēra pakāpē;
 X_i – i -tās caurmēra pakāpes vidējā vērtība;
 e – naturālo logaritmu bāze ($e = 2,71828$);
 a, k – empīriski koeficienti.

Šodienas meža taksācijas zinātniskā literatūra sniedz bagātīgu varbūtību sadalījuma diferenciālo (blīvuma) funkciju klāstu, kas pārbaudītas koku skaita sadalījuma modelēšanai. Vairākums autoru uzsver beta funkcijas (3.50.) un V. Veibula (Weibull W.) funkcijas (4.51.) augsto atbilstību abiem nosacījumiem.

$$y = k((x-a)^\alpha (b-x)^\beta), \quad (3.50.)$$

kur y – koku skaits, kas atbilst caurmēra x vērtībai;
 k – mēroga faktors;
 a – sadalījuma zemākā robeža (tievēkā koka caurmērs);
 b – sadalījuma augstākā robeža (resnākā koka caurmērs);
 α, β – empīriski koeficienti, kas raksturo sadalījuma formu.

Salīdzinājumā ar normālā sadalījuma blīvuma funkciju, kuru nereti izmanto koku skaita sadalījuma aprakstīšanai, beta funkcijai vienmēr ir zināmas robežvērtības a un b , kas vienkāršo koeficientu α un β aprēķināšanu.

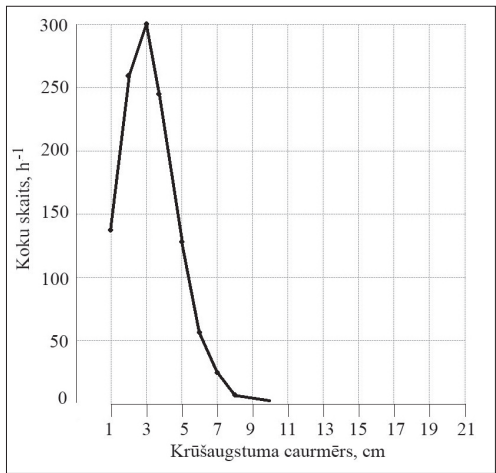
Zviedru matemātiķis V. Veibuls ieteica šādu izteiksmi:

$$f(d) = \frac{c}{b} \left(\frac{d-a}{b} \right)^{\frac{1}{c}} e^{-[(d-a)/b]^c}, \quad (3.51.)$$

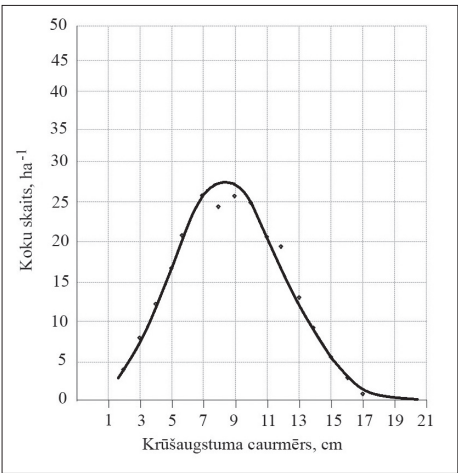
kur $f(d)$ – sadalījuma varbūtības blīvuma funkcija;
 a – vietas parametrs;
 b – mēroga parametrs;
 α, β – formas parametrs;
 d – krūšaugsstuma caurmērs.

Sakarību (3.51.) sauc par V. Veibula *trīs parametru funkciju*, jo tā satur visus trīs nosakāmos parametrus – α, β un c . Jāatzīmē, ka šīs funkcijas parametru noteikšana pārsniedz tradicionālās mazāko kvadrātu metodes lietošanas ietvarus. Tāpēc izlīdzas ar speciālu datorprogrammu vai arī viena vai pat divu parametru vērtības pieņem, vadoties pēc loģiskiem apsvērumiem. Parametru saturu un funkcijas izcilo elastīgumu raksturo 3.7. att. (Husch et al., 2003).

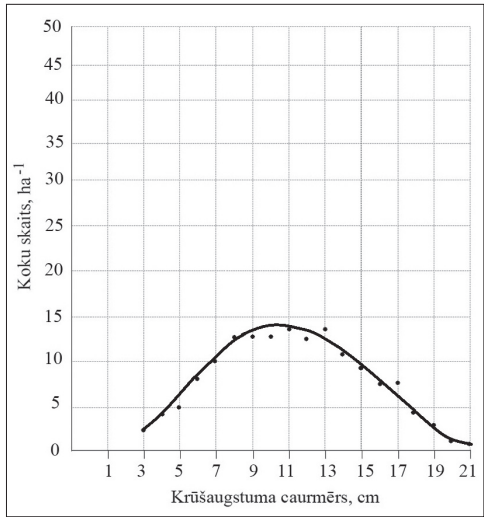
Parametrs a nosaka sadalījuma atrašanās vietu uz abscisu ass. Audzes dastošanas datu gadījumā tas ir vai nu tievēkā koka caurmērs, vai arī mazākās caurmēra pakāpes zemākā robeža. Šīs vērtības atpazīs jebkurš mežkopis arī bez datora starpniecības. Līdz ar to var runāt par *divu parametru funkciju*, kurai nosakāmas b un c vērtības.



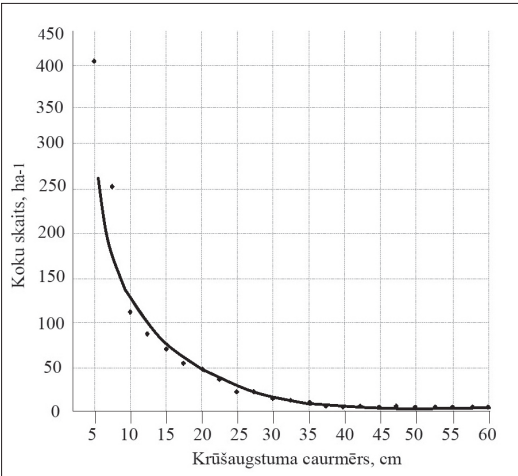
A



B



C



D

3.7. att. V. Veibula funkcijas atbilstība dažādiem nosacījumiem: A – 20 g. veca audze, B – 60 g. veca audze, C – 100 g. veca audze, D – dažādvecuma audze (pēc Husch et al., 2003)

Parametrs c raksturo sadalījuma formu, kas iespējama ļoti daudzveidīga: inversajai J-veida līknei $c < 1,0$; eksponenciāli dilstošai – $c = 1$; pozitīvi asimetriskai – $1 < c < 3,6$; simetriskai – $c = 3,6$ un negatīvi asimetriskai līknei $c > 3,6$. Šos norādījumus var uzskatīt kā pieturas un kontroles punktus. Parametram b šādi atpazīšanas norādījumi nav, un tas jāaprēķina tikai pēc dastošanas datiem. Katrā gadījumā ieteicams iegādāties kādu no daudzajām datorprogrammām. Parametru ietekmi raksturo 3.7. attēls.

Latvijā vidējam caurmēram ierādīta īpaši nozīmīga vieta – tam piešķirts *galvenās cirtes kritērija* statuss, kas pieļauj koku ciršanu galvenajā cirtē pirms *galvenās cirtes vecuma* sasniegšanas, ja valdošās koku sugas pirmā stāva koku vidējais caurmērs 1,3 metru augstumā virs sakņu kakla ir vienāds vai lielāks par normatīvajām vērtībām (3.17.tab.).

3.17. tabula

Galvenās cirtes caurmērs pēc valdošās koku sugas un bonitātes
(LR Ministru Kabineta noteikumi Nr. 935, 18.12.2012)

Valdošā koku suga	Bonitātes klase			
	Ia	I	II	III
	Valdaudzes vidējais caurmērs, cm			
Priede	39	35	31	27
Egle	31	29	29	27
Bērzs	31	27	25	22

3.13. Vidējais augstums

Audzes vidējais augstums ir audzes vidējā caurmēra koka augstums. Katram meža elementam izšķir vidējo aritmētisko, vidējo svērto un šķērslaukuma vidējā koka augstumu, sauktu arī par vidējā kvadrātiskā caurmēra augstumu.

Vidējo aritmētisko augstumu

$$\bar{H} = \frac{\sum_i h_i}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.52.)$$

aprēķina pēc n randomizēti izraudzītu koku mērījumu datiem. To skaitu nosaka pēc formulas (3.48.). Meža elementa koku augstuma variācijas koeficients $s\%$ ir atkarīgs no audzes vecuma, vidējā diametra u. c. faktoriem. Vidēji vienvecuma audzēs $s\% = 10\text{--}15\%$. Tāpēc, ja pieļaujamā kļūda $p = 5\%$ un rezultātu būtiskuma līmenis $\alpha = 0,10$, $n = 11\text{--}25$. A. Kozļenko noskaidrojis, ka centrālajās caurmēra pakāpēs ($D \pm 2$ cm) $s\%$ ir divreiz mazāks nekā visā audzē. Tāpēc, mērījumus koncentrējot minētajā intervālā, attiecīgi $n = 3\text{--}7$.

Mūsu piemēru (3.14. tab.) turpinot, papildinām to ar augstuma mērīšanas datiem: caurmēru vektors $d_i = \{16; 18; 18; 20; 22; 24; 26; 28; 30; 32; 34; 38\}$ un atbilstošais augstumu vektors $h_i = \{20,0; 21,0; 22,0; 22,5; 23,5; 25,0; 26,5; 26,0; 27,0; 27,5; 28,5; 29,0\}$. Vidējais aritmētiskais augstums

$$\bar{H} = \frac{20,0 + 21,0 + \dots + 28,5 + 29,0}{12} = 24,9 \text{ (m)}.$$

Aritmētiskais vidējais $\bar{H}$ ir piemērotākais audzes augstuma statistiskās analīzes rādītājs, tāpēc to parasti papildina ar svarīgāko izkliedes rādītāju aprēķināšanu:

~ standartnovirze

$$s = \sqrt{\frac{\sum_i (h_i - \bar{H})^2}{n - 1}}, \quad (3.53.)$$

~ variācijas koeficients

$$s_H \% = \frac{s_H}{\bar{H}} 100, \quad (3.54.)$$

~ standartkļūda

$$s_{\bar{H}} = \frac{s}{\sqrt{n}}. \quad (3.55.)$$

Mūsu piemērā: $s = 1,76$ m; $s_H \% = 7,1\%$; $\bar{H} \pm s_{\bar{H}} = 24,9 \pm 0,15$ m.

Vidējais aritmētiskais augstums ir atkarīgs ne vien no mērīto koku skaita un to dimensiju dažādības, bet tā aprēķināšanā netiek ņemts vērā fakts, ka dažāda resnuma koki atšķirīgi ietekmē audzes krāju. Tāpēc jau 19. gs. septiņdesmitajos gados T. Lorejs (Lorey T.) ieteica lietot *vidējo svērto augstumu* H_L , kā svarus izmantojot mērīto koku šķērslaukumus g_i :

$$H_L = \frac{\sum_i g_i h_i}{\sum_i g_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (3.56.)$$

Tā kā $g_i = \pi d_i^2 / 4$,

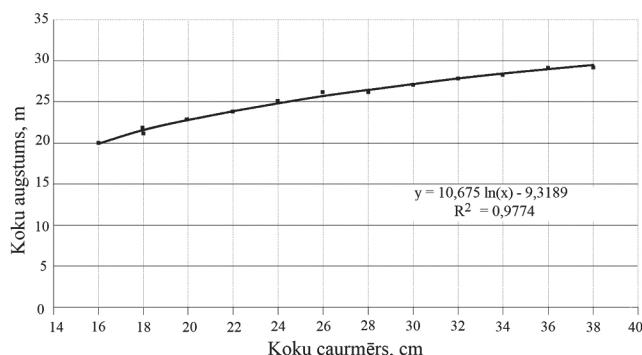
$$H_L = \frac{\frac{\pi}{4} \sum_i d_i^2 h_i}{\frac{\pi}{4} \sum_i d_i^2} = \frac{\sum_i d_i^2 h_i}{\sum_i d_i^2}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (3.57.)$$

Mūsu piemērā

$$H_L = \frac{0,16^2 \times 20,0 + 0,18^2 \times 21,0 + \dots + 0,34^2 \times 28,5 + 0,38^2 \times 29,0}{0,0256 + 0,0324 + \dots + 0,1156 + 0,1444} = 26,3 \text{ m.}$$

Arī T. Loreja augstumu samērā spēcīgi ietekmē mērīto koku atlase. Tāpēc meža elementa vidējo augstumu parasti aprēķina kā *šķērslaukuma vidējā koka augstumu* H_g (turpmāk *vidējais augstums* H). Vidējo augstumu H var noteikt grafiski vai analītiski.

H grafiskai noteikšanai jākonstruē *augstumlīkne* (3.8. att.).



3.8. att. Augstumlīkne

Šajā nolūkā koordinātu sistēmā uz abscisu ass atliek mērīto koku caurmēru un uz ordinātu ass – koku augstumu. Mērīšanai vēlams izvēlēties visu caurmēra pakāpju kokus, relatīvi vairāk izraugoties vidējās un resnākās caurmēra pakāpes, jo šādu koku audzē ir vairāk vai arī to īpatsvars krājas veidošanā ir lielāks. Minimālais mērāmo koku skaits $n = 10 - 15$. Provizorisks augstumlīkni ieteicams konstruēt reizē ar koku uzmērīšanu. Tas palīdz ne tikai izslēgt rupjas kļūdas, bet arī dod iespēju samazināt mērījumu skaitu. Ja, piemēram, koordinātu sistēmā punkti izvietojas šaurā joslā, mērījumu skaits var būt mazāks – un otrādi. Cauri punktu joslai izvelk izlīdzinošu līniju. Iespēju robežās tai jāatbilst mazāko kvadrātu principam. Tas nozīmē, ka visu punktu noviržu kvadrātu summai no līknes jābūt minimālai. Šādi novilktu izlīdzinošo līniju sauc par *augstumlīkni*. Nedaudz ieperaktizējoties, to var novilkt pietiekami precīzi. Ja pieredze ir mazāka, var izlīdzināties, visus punktus secīgi savienojot ar laužlīniju un augstumlīkni izvilkst tā, lai trīsstūri virs un zem tās būtu apmēram vienādi.

Augstumlīknes forma ir atkarīga no koku sugas, koku vecuma, augšanas apstākļiem, apsaimniekošanas režīma u. c. faktoriem. Jaunākām audzēm un labākos augšanas apstākļos tā ir stāvāka un vairāk izliekta, vecākām un vājākas bonitātes audzēm tā ir lēzenāka. K. Ņikitins min kādu pieaugušu lapegļu tīraudzi (Никитин К., 1966), kur augstumlīkne praktiski bijusi taisne, kas paralēla abscisu asij. Pēc daudzu autoru datiem, atkarībai $h = f(d)$ raksturīga cieša korelācija (korelācijas koeficients $r = 0,70 - 0,85$; korelācijas attiecība $\eta = 0,80 - 0,95$). Pēc augstumlīknes konstruēšanas no tās iespējams nolasīt audzes vidējo augstumu – uz abscisu ass atliek vidējo caurmēru D un nolasa tam atbilstošo ordinātu H . Mūsu piemērā (3.8. att.) $H = 25,6$ m. Ir vispāratzīts, ka koku kopas augstumu vislabāk izsaka H – vidējā šķērslaukuma koka augstums. Pastāv sakarība, ka $\bar{H} < H < H_L$. Tai atbilst arī mūsu piemērs: $\bar{H} = 24,9 \text{ m} < H = 25,6 \text{ m} < H_L = 26,3 \text{ m}$. Augstumlīknes galvenā priekšrocība ir tā, ka pēc augstumlīknes iespējams nolasīt katras caurmēra pakāpes d_i vidējo augstumu h_i , kas ir nepieciešami caurmēra pakāpju krājas aprēķināšanā.

Analītiskai augstumlīknes aprakstīšanai lietotas ļoti daudzas formulas. Šeit minēsim tikai nedaudzas, kurās ar h apzīmēts augstums metros, ar d – caurmērs centimetros, ar a, b, c – koeficienti.

V. Hohenadls un K. Krens (Krenn K.) ieteica lietot otrās pakāpes, K. Ņikitins – trešās pakāpes parabolu

$$h = a + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d^3, \quad (3.58.)$$

J. Hakslijs (Huxley J.) – vienkāršās alometrijas (pakāpes) funkciju

$$h = ad^b, \quad (3.59.)$$

E. Gērhardts (Gehrhardts E.) un R. Kopeckis –

$$h = a + bd^{-2}, \tag{3.60.}$$

V. Kuzmičovs –

$$h = 1,3 + bd^c. \tag{3.61.}$$

F. Korsuņš piedāvājis divas izteiksmes:

$$h = ad^{b+c \lg d} \tag{3.62.}$$

un

$$h = \frac{d^2}{a + b_1d + b_2d^2} + 1,3. \tag{3.63.}$$

Par vienkāršām un plastiskām uzskatāmas I. Liepas

$$h = \frac{ad + b}{cd + 100} \tag{3.64.}$$

un R. Ozoliņa formulas

$$h = 1,3 + \frac{d}{ad + b}. \tag{3.65.}$$

Elastīga un praksei parocīga izrādījiesies logaritmiskā funkcija

$$h_i = a \ln d_i + b, \tag{3.66.}$$

kas iekļauta MS Excel programmu standartā funkcijās un nodrošina kā koeficientu a un b , tā arī visu caurmēra pakāpju augstumu aprēķināšanu.

Mūsu piemērā vidējais augstums $H = 10,67 \cdot \ln(26,4) - 9,32 = 25,6$ m. Šeit jāuzsver, ka a un b vērtības aprēķina pēc katras atsevišķas audzes mērījumiem, kas palielina to atbilstības līmeni.

Paralēli atsevišķu konkrēto audžu augstumlīknes atbilstošākās formulas pārbaudēm notiek *vispārinātās augstumlīknes* meklējumi. Ar to saprot tādu augstumlīkni, kas sugas robežās būtu piemērota jebkurai audzei, citiem vārdiem, koku augstums audzē nebūtu jāmēra, to atbilstoši caurmēra pakāpei aprēķinātu pēc vispārinātās augstumlīknes (Gadov von, Hui, 1999; Laar van A., Akça A., 2007). Latvijā dažādu vispārināto augstumlīkņu analīzi veicis J. Donis ar līdzautoriem (Donis J. u. c., 2012). Autoru kolektīvs par labāko atzinuši Gafreja (Gaffrey) vienādojumu

$$h_i = 1,3 + (H_g - 1,3) e^{\left[a_1 \left(1 - \frac{D_g}{d_i} \right) + a_2 \left(\frac{1}{D_g} - \frac{1}{d_i} \right) \right]}, \tag{3.67.}$$

kur h_i – koka augstums, m;

d_i – koka caurmērs, cm;

H_g – audzes vidējā kvadrātiskā koka augstums, m;

D_g – audzes vidējā kvadrātiskā koka caurmērs, cm;

a_1, a_2 – no koku sugas atkarīgi koeficienti (3.18. tab.).

3.18. tabula

Formulas (3.67.) koeficientu vērtības

Koeficienti	Koku suga					
	priede	egle	bērzs	melnalksnis	apse	baltalksnis
a_1	0,13778	0,19929	0,14961	0,11317	0,10399	0,11741
a_2	4,75678	5,48339	4,31061	3,50564	4,10508	3,52344

Pētījuma autori uzsver, ka visām koku sugām starp uzmērīto un aprēķināto augstumu pastāv cieša korelācija ($R > 0,8$), taču aprēķinātie koku augstumi ir sistemātiski mazāki nekā uzmērītie augstumi. Atkarībā no koku sugas vidējā novirze atrodas robežās $+0,3$ m līdz $+0,7$ m, tomēr par 5% paliekot mazākai par uzmērīto koku augstumu. Ja šādi darba uzdevuma nosacījumi ir pieļaujami, vispārinātās augstumlīknes lietošanai ir acīmredzamas priekšrocības, ja nē – jāizmanto katras atsevišķas audzes augstumlīkne.

Virsaugstuma noteikšanu un līdz ar to arī izmantošanu praktiskajā mežsaimniecībā būtiski apgrūtina šī jēdziena neviennozīmīgā izpratne (par šo problēmu rakstīts 3.7. apakšnodaļā). Tāpēc tiek izstrādāti vienādojumi, kas savstarpēji saista virsaugstumu un audzes vidējo augstumu. Latvijā šo problemātiku 20. gs. astoņdesmitajos gados pētījis J. Matuzānis (1983) un pēdējos gados – J. Donis ar līdzautoriem (Donis et al., 2015).

Ja jānosaka vairāku meža elementu, piemēram, atsevišķu stāvu kopējais augstums, izmanto vidējā svērtā metodi, kā svarus lietojot sastāva koeficientus α_i :

$$H = \frac{\sum_i \alpha_i H_i}{\sum_i \alpha_i}, i = 1, 2, \dots, k, \quad (3.68.)$$

kur H_i ir i -tā meža elementa vidējais augstums un k – meža elementu skaits.

3.14. Krāja

Ar terminu *krāja* apzīmē koku stumbru tilpumu summu dotajā platības vienībā. Labākas uzskatāmības dēļ to izsaka m^3ha^{-1} un aprēķina katram meža elementam atsevišķi. Krāja ir saimnieciski nozīmīgākais audzes taksācijas rādītājs. Tās noteikšanai izstrādāts liels skaits dažādu metožu, kas atšķiras gan pēc rezultātu precizitātes, gan pēc darbietilpīguma. Arī šeit izpaužas vispārīgā likumsakarība – metodes precizitātei paaugstinoties, palielinās arī tās darbietilpība. Protams, izņēmums var iestāties tad, ja notiek metodes algoritma uzlabošana. Sakarā ar to metodes izvēli katrā konkrētā gadījumā nosaka darba uzdevums. Tāpēc taksatoram ir labi jāpārvalda dažādu krājas noteikšanas metožu īpatnības. Tās iedala vienlaidus dastošanas, parauglaukumu, vizūrleņķu, paraugkoku un vizuālās jeb acumēra metodēs.

3.14.1. Vienlaidus dastošanas metode

Pēc šīs metodes dasto visus audzes kokus. Ja darbam izmanto pašnoapaļotāju dastmēru, dastošanas rezultātā iegūst audzes koku skaita sadalījumu pa caurmēra pakāpēm. Krājas aprēķināšanai lieto stumbru tilpuma tabulas vai arī kādu no precizitātē pielīdzināmām stumbru tilpuma formulām. No tabulu tipa ir atkarīga ne tikai krājas aprēķināšanas gaita un precizitāte, bet arī koku augstuma mērīšana. Ja lieto Bavārijas tipa tabulas vai formulas, kas ir orientētas pēc stumbru caurmēra un garuma, jānosaka katras caurmēra pakāpes koku vidējais augstums h_i . Visērtāk šo prasību īstenot, konstruējot augstumlīkni. Krājas aprēķināšanas gaitu, izmantojot R. Markusa stumbru tilpuma tabulas, ilustrē sekojošs piemērs. Vienlaidus izdastota 90 g. veca vienkārša egļu tīraudze, kuras platība $S = 2,76$ ha. Dastošana veikta 2 cm caurmēra pakāpēs. To skaits $k = 15$. Kopējo koku skaita N sadalījumu pa caurmēra pakāpēm izsaka 3.19. tabulas 2. aile. Augstumlīkne konstruēta pēc 12 koku augstuma mērījumiem (3.8. att.). Šo datu aprakstīšanai no MS Excel piedāvājuma izraudzīta logaritmiskā funkcija, iegūstot konkrēto vienādojumu

$$h_i = 10,67 \ln(d_i) - 9,318, \quad (3.69.)$$

pēc kura ar 0,5 m precizitāti (tabulu ērtākas nolasīšanas dēļ) izlīdzinātie augstumi h_i ierakstīti 4. ailē. Katras caurmēra pakāpes vidējā koka tilpums v_i ierakstīts 5. ailē, bet tās visu koku tilpums – 6. ailē. Visu caurmēra pakāpju koku tilpuma summa ir audzes kopējā krāja $\sum_i V_i = 1058,3 \text{ m}^3$.

Audzes krājas aprēķināšana pēc Bavārijas tipa tabulām

Caurmēra pakāpe, cm	Koku skaits n_i	Koku augstums, m	Augstumlīknes h_i , m	Viena koka stumbra v_i , m ³	Caurmēra pakāpes V_i , m ³
1.	2.	3.	4.	5.	6.
14	10		18,8	0,156	1,6
16	42	20	20,3	0,216	9,1
18	86	21; 22	21,5	0,284	24,4
20	175	22,5	23,6	0,362	63,4
22	182	23,5	23,7	0,449	81,7
24	191	25	24,6	0,567	108,3
26	243	26,5	25,4	0,686	166,7
28	202	26	26,2	0,798	161,2
30	168	27	27,0	0,936	157,2
32	136	27,5	27,7	1,075	146,2
34	53	28,5	28,3	1,240	65,7
36	26		28,9	1,397	36,3
38	12	29	29,5	1,558	18,7
40	7		30,0	1,729	12,1
42	3		30,6	1,911	5,7
Kopā	1536				1058,3

Viena hektāra krāja $V = \sum V_i / S = 1058,3/2,76 = 383,4 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$. Aprēķinu precizitāti var nedaudz paaugstināt, ja caurmēra pakāpju augstumu no augstumlīknes nolasa bez noapaļošanas uz 0,5 m³, kā tas ir darīts šajā piemērā, lai tabulās stumbru tilpumu varētu nolasīt bez interpolēšanas. Cita precizitātes paaugstināšanas iespēja ir, ja Bavārijas tipa tabulu vietā lieto formas koeficienta q_i klasēs diferencētās stumbru tilpumu tabulas. Pēc dažādu autoru datiem, ar vienlaidus dastošanas metodi, lietojot minētā tipa tabulas, audzes krāju iespējams noteikt ar $\pm 3 - 5 \%$ kļūdu.

Daudzviet mežsaimniecības praksē vienlaidus dastošanas rezultātu apstrādei lieto augstumšķiru tabulas. Tādējādi gan samazinās atsevišķas audzes krājas noteikšanas precizitāte, taču vienkāršākas tehnoloģijas dēļ tiek iegūts laika ietaupījuma ziņā. Meža elementa augstumšķiru nosaka pēc trīs centrālo caurmēra pakāpju koku vidējā augstuma un caurmēra attiecībām. Katrā caurmēra pakāpē mēra trīs vidēju dimensiju un formas koku augstumu, aprēķina to vidējo vērtību un pēc dotās koku sugas tabulas nolasa augstumšķiru. Ja visu trīs caurmēra pakāpju augstumšķiras ir vienādas, to pieņem arī par meža elementa augstumšķiru. Ja vērojama dažādība, par meža elementa augstumšķiru pieņem svērto vidējo, kā svarus lietojot caurmēra pakāpju koku skaitu, kas iegūts, audzi vienlaidus dastojot. Pēc augstumšķiras noteikšanas attiecīgā stumbru tilpuma tabulā nolasa visu caurmēra pakāpju vidējā koka tilpumu v_i , kuru sareizinot ar atbilstošo koku skaitu n_i iegūst caurmēra pakāpju koku stumbru tilpumu V_i . Meža elementa krāja ir $\sum_i V_i$ un viena hektāra krāja $-V = \sum V_i / S$. Īsi sakot, aprēķinu gaita ir līdzīga kā Bavārijas tipa tabulu lietošanas gadījumā. Vispārpieņemts, ka ar vienlaidus dastošanas metodi kombinējumā ar augstumšķiru tabulām iespējams strādāt, nepārsniedzot $\pm 5 - 7\%$ kļūdu.

3.14.2. Parauglaukumu metode

Audzes vienlaidus dastošanas metode gan ietver visus audzes kokus, taču tā ir ļoti darbietilpīga. Empīriski noskaidrots, ka darba grupa taksatora un divu palīgu sastāvā vidēji stundas laikā var izdastot 700 koku. Tāpēc nereti lieto parauglaukumu metodi, kas paredz tikai noteiktas audzes daļas koku dastošanu – veselā aizstāšanu ar tā daļu. *Prauglaukums* ir audzes daļa, kas reprezentatīvi raksturo audzes nosakāmās īpašības. Protams, parauglaukumu lietošana ir saistīta ar vērtēšanas rezultātu precizitātes samazināšanos, taču laika ieguvums ir neapšaubāms. Turklāt ne vienmēr, un it īpaši pētnieciskajā darbā, ir jānosaka visas audzes krāja. Bieži vien pietiek ar audzes taksācijas rādītāju raksturojumu,

kas attiecināts uz 1 ha. Šādos gadījumos atkrīt visas audzes vienlaidus dastošana. Ir pilnīgi pietiekoši, ja audzes raksturojums iekļaujas norādītās precizitātes robežās. To nodrošina parauglaukumu metode. Ļoti nozīmīgi ir izšķirties par parauglaukumu lielumu, formu un skaitu.

Parauglaukuma lielums ir atkarīgs no koku izvietošanās un taksācijas rādītāju variēšanas audzē. Ja audzē ierīko vienu parauglaukumu, sakarā ar koku nevienmērīgo izvietojumu tā platība nedrīkst būt mazāka par audzes *noteikšanas platību* jeb *elementārlaukumu* – minimālo audzes daļu, kas adekvāti reprezentē tās komponentu un vides savstarpējās attiecības telpā un laikā. Ja parauglaukums neatbilst šai prasībai, to iespējams ierīkot atsevišķā koku biogrupā vai starp biogrupām. Abos gadījumos vērtēšanas rezultāti būs krasi atšķirīgi un ļoti tāli no audzes vidējā raksturojuma. Līdz ar to taksēšanas rezultāti būs atkarīgi galvenokārt no parauglaukuma vietas izvēles. Jāpiezīmē, ka šis faktors daļēji saglabā nozīmi arī tad, ja parauglaukuma platība ir vienāda vai pat lielāka par audzes elementārlaukumu. Lai samazinātu šo ietekmi, parauglaukumu izvēlas audzes raksturīgākajā vietā vai arī – vairāku parauglaukumu ierīkošanas gadījumā – to objektīvi (parasti pēc noteiktas shēmas vai randomizēti) izvieto audzes dažādās daļās. Šobrīd jautājumā par audzes elementārlaukumu pastāv daudz neskaidrību. Tāpēc parauglaukuma platības noteikšanā vadās pēc audzes taksācijas rādītāju variēšanas intensitātes, kas daļēji izsaka arī koku nevienmērīgās izvietošanās ietekmi. Variēšanas intensitāti nosaka audzes veids, izcelšanās, mistrojums, vecums, bonitāte, biezība, augšanas apstākļu tips un citi faktori. Izmanto formulu (3.48.) un aprēķina koku skaitu n , kas nepieciešams, lai dotās kļūdas robežās iegūtu meža elementa vidējo caurmēru D . Tā kā vidēji D variācijas koeficients $s\% = 25 - 35\%$ un pieņemot $p = 4\%$, tad atbilstoši $\alpha = 0,05$ ($t_\alpha = 1,96$) $n = 216$. Jau kopš taksācijas pirmsākumiem skaitli 200 uzskata par pietiekamu arī pārējo taksācijas rādītāju noteikšanai.

Parauglaukuma platību S , kurai atbilst dotais koku skaits n , aprēķina, pieņemot, ka koku izvietojums ir vienmērīgs un ka katrs koks atrodas kvadrāta centrā ar malas garumu l . Tāpēc

$$S = nl^2. \quad (3.70.)$$

Konkrētas audzes vidējo l var noteikt pēc 40 – 50 koku savstarpējo attālumu mērījumiem vietā, kur paredzēts iekārtot parauglaukumu. Piemēram, attālumu summa starp 45 kokiem ir 217,5 m, tātad $l = 217,5/45 = 4,83$ m un $S = 200 \cdot 4,83^2 = 4666 \text{ m}^2 \approx 0,5$ ha.

Ja iepriekš ir zināms 1 ha koku skaits N un tā kā $1 \text{ ha} = 10000 \text{ m}^2$, no formulas (3.70.) izriet, ka

$$l = \frac{100}{\sqrt{N}}. \quad (3.71.)$$

Praktiski jaunākās un biežākās audzēs ierīko 0,20 – 0,25 ha, vecākās un retākās audzēs – 0,5–1,0 ha parauglaukumus. Vienmēr vēlams ierīkot vairākus parauglaukumus.

Atkarībā no ierīkošanas mērķa izšķir *pastāvīgos* un *īslaicīgos* parauglaukumus. Pirmos izmanto zinātniskajā darbā, piemēram, audzes augšanas gaitas pētījumos. To uzmērīšanu periodiski (ik pēc 5 – 10 gadiem) atkārto. Šis apstāklis nosaka sevišķu rūpību un zināmu specifiku visu darbu izpildē. Nevienam pastāvīgā parauglaukuma punktam no audzes malām, ceļiem, stigām, strautiem u. c. līdzīgiem objektiem nevajadzētu atrasties tuvāk par 30 m. Ap pastāvīgo parauglaukumu jāparedz 10–20 m plata aizsargjosla, kurā pieļaujama vienīgi atsevišķu paraugkoku ciršana.

Audzēs izraudzītajā vietā parauglaukumu jācenšas izvietot tā, lai uz tā malām neaugtu koki, citiem vārdiem, lai pēc malu vizuāliniju iztīrīšanas no katra tā stūra varētu saskatīt blakus stūros iespraustās maikstis. Ja tas nav iespējams, šādus kokus īpaši iezīmē ar noturīgu krāsu. Katru pastāvīgo parauglaukumu iestabo, nosaka tā koordinātas, iezīmē daļplānā un reģistrē parauglaukumu datu bāzē.

Katru pastāvīgā parauglaukuma koku numurē, izmēra tā taksācijas rādītājus un sastāda vainagu horizontālo projekciju plānu. Kokus dasto tā, lai mērītāja mugura būtu vērsta uz parauglaukuma centru. Vietā, kur nolases brīdī dastmēra lineāls pieskaras stumbram, jāiekrāso svītra, lai nākamajā uzmērīšanā nodrošinātu līdzīgu dastmēra stāvokli. Kokus dastojot, tos grupē pa meža elementiem, tehniskā derīguma kategorijām, G. Krafra klasēm u. c. pazīmēm. Pastāv daudzi un dažādi norādījumi, tos visus šeit uzskaitīt nav iespējams. Visos gadījumos galvenais ir ievērot pētījuma programmas specifiku. Parauglaukuma krājas aprēķinu tabula ir identiska tai, kādu lieto audzes vienlaidus dastošanas metodē (3.19. tab.). Parauglaukuma krāju dalot ar tā platību, iegūst krāju, kas izteikta m^3ha^{-1} .

Īslaicīgos parauglaukumus taksē vienu reizi. Tāpēc šeit veic tikai tos darbus, kas tieši saistīti ar konkrēto pētījumu. Atšķirībā no pastāvīgajiem parauglaukumiem, kuriem parasti ir četrstūra forma,

šeit izšķir četrstūra, lentveida un aplveida parauglaukumus. Pēdējos divus lieto lielāku meža masīvu taksācijā. Abos gadījumos taksējamā platībā nosprauž gājiena vizūrlīnijas, kurām piesaista īslaicīgos parauglaukumus. Datu apstrādē iespējams lietot matemātiskās statistikas metodes. Tāpēc dotās platības pēc patikas detalizētu raksturojumu var iegūt ar iepriekš norādītu precizitāti.

Lentveida parauglaukumu platums ir 5 – 10 m. Tos izvieto vienā vai abās gājiena vizūrlīnijas pusēs. Koku piederību parauglaukumam nosaka, nospraužot papildvizūras, kas ir paralēlas gājiena vizūrlīnijai un atrodas 5 m atstatumā no tās. Lentveida parauglaukumu garumu, skaitu un attālumu starp tiem nosaka, vadoties pēc konkrētiem apstākļiem un formulas (3.48.). A. Moškaļevs iesaka šādu darba apjomu: ja audzes platība $S = 2 - 3$ ha, ar šī veida parauglaukumiem jānosedz 10%; ja $S = 4 - 7$ ha, – 6%; ja $S = 8$ ha, – 4% no audzes platības. Pēc viņa domām, tas nodrošina $\pm 8 - 10\%$ vidējo kvadrātisko kļūdu.

Aplveida parauglaukumu centrus izvieto uz gājiena vizūrlīnijas. To skaitu, attālumu un lielumu aprēķina kā lentveida parauglaukumu gadījumā. Koku piederību parauglaukumam nosaka ar *Vertex Laser* instrumentu, kuru novieto parauglaukuma centrā. Ja šāds instruments nav pie rokas, var izlīdzēties ar ruleti vai attiecīga garuma auklu. Aplveida parauglaukumu metode plaši pielietota visā pasaulē (Kangas A., Maltamo M., 2006; West P., 2004). Parauglaukumu platība visbiežāk noteikta atkarībā no taksējamās audzes vidējā diametra D (3.20. tab.).

3.20. tabula

Aplveida parauglaukumu parametri

Vidējais caurmērs, cm	Pauglaukuma	
	platība, m ²	rādiuss, m
$D < 10$	12,6	2,00
	25	2,82
10,0 – 25,0	100	5,64
$D > 25,0$	500	12,62
	1000,0	17,84

Lietuvas zinātnieki aplveida parauglaukumu lieluma izvēlē iesaka vadīties vienlaicīgi pēc vidējā caurmēra D un audzes biežības (3.21. tab.).

3.21. tabula

Aplveida parauglaukumu platība, m² (pēc Repšys J., 1994)

Audzes biežība	Vidējais caurmērs D , cm				
	8,0 – 12,0	12,1 – 20,0	20,1 – 28,0	28,1 – 40,0	40,1 un <
0,3 – 0,5	200	300	500	800	1000
0,6 – 0,8	100	200	300	500	800
0,9 – 1,0	50	100	200	300	500

Latvijā meža resursu monitoringa ietvaros lieto koncentriskos aplveida parauglaukumus. Dažāda lieluma rādiusa apliem ir kopīgs centrs. Savukārt rādiusa garumu nosaka katrā aplī uzmērāmo koku dimensijas. Lielākajā parauglaukumā (platība 500 m², rādiuss $R = 12,62$ m) uzmēra kokus, kuru caurmērs $d_i \geq 14,1$ cm. Otrajā lielākajā parauglaukumā (platība 100 m², rādiuss $R = 5,64$ m) uzmēra kokus ar $d_i \geq 6,1$ cm. Šī parauglaukuma ziemeļaustrumu sektors kalpo par trešā līmeņa parauglaukumu (platība 25 m²), kurā uzmēra kokus ar $d_i \geq 2,1$ cm. Šajā shēmā fiksētas platības aplveida parauglaukumi vienādos nosacījumos raksturo vērtējamo audzi, dažādu centru platībām esot atkarībā no koku vērtības.

Nemainīga lieluma aplveida parauglaukumu datu apstrāde ir līdzīga kā audzes vienlaidus dastotšanas gadījumā (3.19. tab.).

3.14.3. Vizūrleņķu metode

Metodes pamatā ir vizūrleņķu jeb V. Biterliha parauglaukumu taksācija. Visierastākā metodes realizācija ir saistīta ar V. Biterliha mērķēkļa vai taksatora prizmas lietošanu. Uzmērīšanas darbus veic divi darbinieki. Taksators ar kādu no minētajiem instrumentiem nosaka koku piederību *vizūrleņķu parauglaukumam* un taksatora palīgs izdasto *uzskaites kokus*. Tādējādi līdz ar audzes šķērslaukumu G , izteiktu m^2ha^{-1} , dotajā stāvpunktā iegūst G_i – šķērslaukuma sadalījumu pa caurmēra pakāpēm. Katrā stāvpunktā izmēra 2–3 vidēja resnuma koku augstumu. Krāju aprēķina pēc Bavārijas tipa vai augstumšķiru stumbru tilpuma tabulām. Stāvpunktu skaitu audzē nosaka līdzīgi kā fiksēta lieluma apļveida parauglaukumu skaitu. Audzes vidējo krāju aprēķina kā stāvpunktu krājas vidējo vērtību. Metode ir ļoti ērta, darbs sokas ātri un rezultātu precizitāte ir līdzīga kā fiksēta lieluma apļveida parauglaukumu gadījumā.

Darbs būtiski vienkāršojas, ja nav jāaprēķina krājas sadalījums pa caurmēra pakāpēm. Šeit atkrīt koku dastošana un otra vērtētāja līdzdalība. Krāju nosaka, kopējo G pareizinot ar stāvpunkta vidējam augstumam H atbilstošo veidaugstumu HF , ko nolasa veidaugstumu tabulā, vai krāju aprēķina pēc kādas no krājas formulām. Ļoti vienkārša un precīza ir I. Liepas formula

$$V = kG (+ 4), \quad (3.72.)$$

kur V – krāja, m^3ha^{-1} ;

D – šķērslaukums, m^2ha^{-1} ;

H – vidējais augstums, m;

k – no koku sugas atkarīgs stumbru tilpīguma koeficients (3.22. tab.).

Formula (3.72.) iegūta, skaidrojot veidaugstuma HF atkarību no augstuma H . Praktiski tā ir lineāra, ja atkarībā no koku sugas $H \geq 6 - 14$ m, proti,

$$HF = a + kH \quad (3.73.)$$

Koeficientu a un k vērtības (3.22. tab.) noteiktas pēc 3527 paraugkoku (priede – 1242, egles – 1001, bērzs – 530, apse – 282, melnalksnis – 286, baltalksnis – 186) datiem.

3.22. tabula

Formulas (3.73.) koeficientu vērtības (pēc Liepa I., 1996)

Koku suga	Koeficienti		Ierobežojumi
	a	k	
Priede	1,56	0,390	$8 \leq H \leq 35$
Egle	1,66	0,415	$10 \leq H \leq 35$
Bērzs	1,54	0,385	$15 \leq H \leq 35$
Apse	1,62	0,405	$15 \leq H \leq 35$
Melnalksnis	1,60	0,400	$10 \leq H \leq 30$
Baltalksnis	1,52	0,380	$6 \leq H \leq 25$

Kā zināms,

$$V = GHF \quad (3.74.)$$

jeb, ievērojot sakarību (3.73.),

$$V = G(a + kH) = kG\left(H + \frac{a}{k}\right),$$

kur koeficientu attiecība $a/k = 4$.

Krājas formulas (3.72.) atbilstība pārbaudīta pēc 443 dažāda veida, mistrojuma, vecuma, bonitātes un biežības audzēs ierīkotu parauglaukumu krājas datiem, kas aprēķināti pēc Bavārijas tipa tabulām. Līdzīga pārbaude veikta pēc Baltijas, Baltkrievijas, Krievijas un Ukrainas meža taksācijas literatūras avotu analīzes (3.23. tab.).

Formulas (3.72.) atbilstības rādītāji

Koku suga	Autora dati			Literatūras dati		
	PL skaits	sist. kļūda, %	vid. kvadr. kļūda,%	PL skaits	sist. kļūda, %	vid. kvadr. kļūda,%
Priede	84	-0,8±0,4	4,0±0,3	153	-0,6±0,4	4,2±0,3
Egle	76	0,4±0,3	2,8±0,2	65	-0,2±0,6	4,8±0,4
Bērzs	76	-0,9±0,5	4,6±0,4	21	0,0±0,7	3,0±0,5
Apse	57	-0,8±0,6	4,3±0,4	13	-3,0±0,6	1,5±0,4
Melnalksnis	68	-0,6±0,4	3,4±0,3	7	1,6±1,2	2,9±0,8
Baltalksnis	82	0,2±0,3	3,1±0,2	-	-	-

Mūsu piemēra audzes (3.14.1. apakšnodaļa) $V = 383,4 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$, $G = 31,06 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$ un $H = 25,6 \text{ m}$. Pēc formulas (3.72.) $V = 0,415 \cdot 31,06(25,6+4) = 381,5 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$, kas salīdzinājumā ar audzes krāju, kura aprēķināta pēc R. Markusa tabulām, sastāda starpību $\Delta V = 381,5 - 383,4 = -1,9 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ jeb -0,5 %.

A. Fedosimovs ieteicis vizūrleņķu principu izmantot arī lentveida parauglaukumu taksēšanā. Taksators pārvietojas pa gājiena vizūrlīniju un ar mērķekli vai prizmu šīs līnijas vienā pusē nosaka uzskaites kokus. Viņa palīgs tos izdasto. Parauglaukuma garumu var izvēlēties brīvi, bet platumu, kā jau tas vizūrleņķu principam raksturīgi, ierobežo uzskaites koku caurmērs. Tāpēc tievākie koki tiek uzskaitīti mazākā, resnākie koki – lielākā platībā. Šī iemesla dēļ dastošanā iegūtais koku skaita sadalījums neatbilst patiesajam. Ieteikuma autors ievēdis korekcijas koeficientu C , ar kuru jāpareizina uzmērītais sadalījums. Koeficienta vērtība ir atkarīga no caurmēra pakāpes. Koriģēto sadalījumu izdalot ar parauglaukuma garumu, iegūst 1 ha koku skaita sadalījumu pa caurmēra pakāpēm. Metode nav praktiska un neuzlabo tradicionālo lentveida parauglaukumu taksēšanu.

3.14.4. Paraugkoku metodes

Paraugkoks ir koks, kas reprezentatīvi raksturo dotās koku kopas nosakāmās īpašības. Atšķirībā no uzskaites kokiem paraugkokus nocērt, sadala frakcijās un stumbrus uzmēra sekcijās. Tāpēc katra atsevišķa paraugkoka īpašību taksēšanas precizitāte ir augsta. Salīdzinot ar visu koku kopu, piemēram, audzi vai meža elementu, paraugkoku skaits ir neliels un līdz ar to darbs, kas jāiegulda to sastrādāšanā, uzmērīšanā un taksācijas rādītāju aprēķināšanā, ir ievērojami mazāks nekā visas audzes vai meža elementa koku gadījumā. Ne mazāk svarīgi ir tas, ka pārējie koki netiek sadalīti sekcijās un nezaudē saimniecisko vērtību. Šo iemeslu dēļ paraugkoku metodes parasti lieto, ja nepieciešama augsta rezultātu precizitāte, piemēram, zinātniskajā darbā, skaidrojot audžu pieaugumu, augšanas gaitu, dabisko un antropogēno faktoru ietekmi, pārbaudot jaunu metožu un normatīvu (stumbru tilpuma, sortimentu, augšanas gaitas u. c. tabulu) atbilstību. Pārstāvējamās koku kopas vērtēšanas precizitāte ir atkarīga no paraugkoku reprezentativitātes. Tāpēc ļoti svarīgi, lai dotā koku kopa būtu iespējami viendabīga. Pirms paraugkoku atlases mežā vispirms aprēķina to dimensijas, atbilstoši kurām izvēlas reālos paraugkokus audzē. Audžu taksācijā lielākā homogēno koku kopa ir meža elements. Sīkāku vienību izdalīšana (resnuma klases, caurmēra pakāpes) samazina taksēšanas kļūdas. *Reālo un teorētisko paraugkoku* sakritība ir atkarīga tikai no darba rūpības. Pastāv uzskats, ka paraugkoka caurmērs no aprēķinātā drīkst atšķirties ne vairāk par pusi no taksēšanai pieņemtās caurmēra pakāpes soļa un augstums – ne vairāk par 5%. Turklāt, audzē meklējot reālos paraugkokus, koku caurmērs jāmēra divos savstarpēji stateniskos virzienos, ņemot to vidējo vērtību. Pazīstami arī citi ieteikumi – zinātniskajā darbā maksimāli pieļaujamā atšķirība – caurmērā 3 – 5 mm, augstumā – 3%. Paraugkoks nedrīkst būt bojāts vai saturēt kādas redzamas *koksnes vainas*. Celma augstumam jābūt zemākam par 1/3 krūšaugstuma caurmēra. Paraugkoka stumbra tilpumu aprēķina pēc F. Hubera saliktās viduslaukumu formulas (1.81.). Paraugkoku metožu precizitāti empīriski parbauda, to rezultātus salīdzinot ar krāju, kas aprēķināta, visus parauglaukuma kokus uzmērot pa sekcijām un stumbru tilpumu nosakot pēc F. Hubera formulas (1.81.).

Taksēšanas kopējo kļūdu iespējams samazināt, palielinot paraugkoku skaitu. Taču tāds risinājums ir pretrunā ar paraugkoku izmantošanas ideju. Atkarībā no paraugkoku skaita un tā sadalījuma pa mazākām meža elementa koku kopām izšķir vairākas paraugkoku metodes.

F. Hubera jeb vidējā paraugkoka metode. Šo metodi F. Hubers izstrādāja 1824. gadā. Tās pamatā ir atziņa, ka paraugkoka caurmērs d , augstums h un veidskaitlis f sakrīt ar visu parauglaukuma koku šo taksācijas rādītāju vidējām vērtībām. Pēc parauglaukuma datiem aprēķina tā vidējo caurmēru D un pēc augstumlīknes nosaka vidējo augstumu H . Parauglaukumā vai pastāvīgā parauglaukuma gadījumā tā aizsargjoslā vidējās bieztības apstākļos izvēlas koku, kura d un h atbilst aprēķinātajām D un H vērtībām un kura stumbra vainaga forma, zarojums, atzarošanās intensitāte un sanitārais stāvoklis, vizuāli vērtējot, atbilst meža elementa vidējām vērtībām. Pēc paraugkoka izvēles to nocērt un atbilstoši saliktās viduslaukumu formulas (1.81.) prasībām sažīmē sekcijās un sekciju vidū pēc iespējas precīzāk izmēra caurmēru ar un bez mizas (ja paraugkoka izmantošana nav saistīta ar gadskārtu platuma mērīšanu, nav obligāta stumbra sažāģēšana sekcijās). Stumbra garumu izmēra ar 0,1 m precizitāti. Atbilstoši darba uzdevumam nožāģē un sagrupē zarus frakcijās, lai noteiktu to masu un tilpumu. Pēc formulas (1.81.) aprēķina paraugkoka stumbra tilpumu v kubikmetros. Meža elementa krāja, izteikta m^3ha^{-1} ,

$$V = v \frac{G}{g}, \quad (3.75.)$$

kur G ir parauglaukuma šķērslaukums, m^2ha^{-1} , un g – paraugkoka šķērslaukums, m^2 . Formulā (3.75.) parauglaukuma koku skaita vietā ņemta šķērslaukumu attiecība G/g , lai daļēji kompensētu reālā paraugkoka dimensiju novirzi no aprēķinātām.

Ja nocirsti m paraugkoki

$$V = \sum_i v_i \frac{G}{\sum_i g_i}, i = 1, 2, \dots, m. \quad (3.76.)$$

Mūsu piemērā $D = 26,4$ cm, $H = 25,6$ m, $G = 31,06$ m^2ha^{-1} , $d = 26,5$ cm, $h = 26,0$ m. Sadalot 2 m sekcijās, pēc formulas (1.81.) aprēķināts, ka $v = 0,6989$. Attiecīgi

$$V = 0,6989 \frac{31,06}{0,05515} = 393,6 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}.$$

A. Tjurins norāda, ka, rūpīgi strādājot ar šo metodi, krāju var noteikt, nepārsniedzot $\pm 3\%$ kļūdu. Mūsu piemērā audzes krāja, kas aprēķināta pēc vienlaidus dastošanas datiem, $V = 383,4$ m^3ha^{-1} un $\Delta V = 393,6 - 383,4 = 10,2$ m^3ha^{-1} jeb 2,7%.

V. Hohenadla metode. Tā pazīstama arī kā divu statistisko paraugkoku metode, izstrādāta 20. gs. divdesmito gadu sākumā. Pēc dastošanas aprēķina aritmētisko vidējo caurmēru $\bar{D}$, standartnovirzi S_d un abu paraugkoku caurmērus $d_- = \bar{D} - s_d$ un $d_+ = \bar{D} + s_d$. Attiecīgos augstumus h_- un h_+ nosaka pēc augstumlīknes. Audzē atrod atbilstošos paraugkokus, nocērt un pēc formulas (1.81.) aprēķina katra stumbra tilpumu. To aritmētisko vidējo vērtību $\bar{v}$ pareizinot ar koku skaitu N , iegūst meža elementa krāju

$$V = \bar{v}N. \quad (3.77.)$$

Metodes noteiktība ir atkarīga ne tikai no reālo paraugkoku atbilstības aprēķinātajām dimensijām, bet arī no koku skaita sadalījuma pa caurmēra pakāpēm. Ja tas ir tuvāks normālajam, kļūda ir mazāka.

Mūsu piemērā $N = 568$, $\bar{D} = 26,0$ cm, $S_d = 4,2$ cm. Tāpēc $d_- = 21,8$ cm un $d_+ = 30,2$ cm. Pēc augstumlīknes formulas (3.66.) $h_- = 23,6$ m un $h_+ = 27,0$ m. Reālo paraugkoku dimensijas: $d_- = 21,5$ cm, $h_- = 23,4$ m, $d_+ = 30,0$ cm un $h_+ = 27,1$ m. Uzmērot 2 m garas sekcijas un lietojot formulu (1.81.), iegūts: $\bar{v}_- = 0,4302$ m^3 , $\bar{v}_+ = 0,9511$ m^3 un $\bar{v} = 0,6906$ m^3 . Līdz ar to $V = 0,6906 \cdot 568 = 392,3$ m^3ha^{-1} . Aprēķina kļūda $\Delta V = 392,3 - 383,4 = 8,9$ m^3ha^{-1} jeb 2,3%.

Caurmēra pakāpju paraugkoku metode. Izšķir divas modifikācijas – ar vienādu un proporcionālu paraugkoku skaita sadali pa caurmēra pakāpēm. Pirmajā gadījumā katrā caurmēra pakāpē izvēlas vienu vai vairākus vidējos paraugkokus un novērtē pēc vidējā paraugkoka metodes. Audzes krāja

$$V = \sum_i \frac{v_i G_i}{g_i}, i = 1, 2, \dots, k, \quad (3.78.)$$

kur G_i – i -tās caurmēra pakāpes šķērslaukums, m^2ha^{-1} ;

g_i – i -tās caurmēra pakāpes paraugkoku šķērslaukums, m^2 ;

v_i – i -tās caurmēra pakāpes paraugkoku tilpums, m^3 ;

k – caurmēra pakāpju skaits.

Salīdzinot ar iepriekšējām paraugkoku metodēm, ar šo var sasniegt augstāku precizitāti. Taču galvenā tās priekšrocība ir tā, ka ar to iespējams novērtēt paraugkoku un līdz ar to arī paraugkoku

pārstāvētās koku kopas *sortimentu iznākumu*. Kā metodes trūkums jāatzīmē lielais paraugkoku skaits un tātad arī darbietilpība. Mūsu piemērā $k = 12$ un, katrā caurmēra pakāpē ņemot tikai vienu paraugkoku, arī to skaits $m = 12$. Turklāt audzē caurmēra pakāpes ir pārstāvētas ar dažādu koku skaitu n_i . Tāpēc, visās caurmēra pakāpēs ņemot vienādu paraugkoku skaitu, gan vidējās pakāpes, kuru koku skaits ir ievērojami lielāks, gan resnākās pakāpes, kuru nozīme audzes krājas un tās saimnieciskās vērtības veidošanā ir augstāka, ir pārstāvētas vienādi ar tievajām pakāpēm. Izveidojas situācija – mazākā un saimnieciski nenozīmīgākā audzes daļa tiek taksēta ar lielāku precizitāti.

Mūsu piemērā kopējais paraugkoku skaits $m = 12$ jeb 12% no parauglaukuma visu koku skaita $N = 142$ (3.14.tab.). Tā ir augsta pārstāvētība. Taču pa caurmēra pakāpēm tā sadalās ļoti nevienmērīgi (3.14. tab.).

Pēc caurmēra pakāpju paraugkoku otrās modifikācijas (Korf V., 1953), ko 1857. gadā ieteicis A. Draudts (Draudt A.), visās caurmēra pakāpēs ņem vienādu paraugkoku skaita procentu p . Līdz ar to kopējais paraugkoku skaits m sadalās proporcionāli parauglaukuma koku skaitam caurmēra pakāpēs. Ja mūsu piemērā pieņem $p = 5\%$, $m = 0,05 \cdot 142 = 7,1 \approx 7$. Paraugkoku skaita sadalīšanu un tālāko aprēķināšanas gaitu ilustrē 3.24. tabula. Krāja

$$V = \frac{G}{\sum_i g_i} \sum_i v_i, i = 1, 2, \dots, m, \tag{3.79.}$$

kur G – audzes vai meža elementa šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$;
 $\sum_i g_i$ – visu paraugkoku šķērslaukumu summa, m^2 ;
 $\sum_i v_i$ – visu paraugkoku stumbru tilpumu summa, m^3 .

3.24. tabula

A. Draudta metode

Caurmēra pakāpe	Koku skaits	Šķērsl., m^2	PK skaits, m_i		Nocirsto PK			
			aprēķ.	noapaļ.	d_p , cm	h_p , m	g_p , m^2	v_p , m^3
16	4	0,080	0,2					
18	6	0,153	0,3					
20	7	0,220	0,4					
22	12	0,456	0,6	1	21,8	23,5	0,0373	0,4262
24	24	1,086	1,2	1	24,3	24,7	0,0464	0,5726
26	30	1,593	1,5	2	25,7 26,0	25,3 25,4	0,0519 0,0531	0,6423 0,6836
28	26	1,601	1,3	1	27,9	26,2	0,0611	0,7599
30	19	1,343	0,9	1	30,2	27,0	0,0716	0,9482
32	8	0,643	0,4	1	32,0	27,7	0,0804	1,0818
34	3	0,272	0,2					
36	2	0,204	0,1					
38	1	0,113	0,0					
Kopā	142	7,764	7,1	7			0,4018	5,1146

Viena ha meža elementa šķērslaukums $G = 7,764/0,25 = 31,06 m^2 ha^{-1}$ un krāja pēc formulas (3.79.)

$$V = \frac{31,06 \cdot 5,1146}{0,4018} = 395,4 m^3 ha^{-1}.$$

Kļūda $\Delta V = 395,4 - 383,4 = 12,0 m^3 ha^{-1}$ jeb 3,1%.

Klašu paraugkoku metode. Metode izstrādāta, lai samazinātu paraugkoku skaitu un novērstu A. Draudta modifikācijas trūkumu, kas izpaužas tā, ka tievākās un resnākās caurmēra pakāpēs to nelielā koku skaita dēļ paraugkoki netiek ņemti. Pēc šīs metodes parauglaukuma koku skaitu sadala 3–5 klasēs. Katru klasi uzskata kā atsevišķu koku kopu, kuras krāju aprēķina pēc viena vai vairākiem paraugkokiem. Summējot klašu krājas, iegūst meža elementa kopējo krāju. Atkarībā no klašu izveidošanas paņēmiena izšķir vairākas šīs metodes modifikācijas.

Vienkāršākā no tām ir ļoti līdzīga caurmēra pakāpju paraugkoku metodes pirmajai modifikācijai. Arī šeit katru klasi pārstāv vienāds vidējo paraugkoku skaits un meža elementa krāju aprēķina pēc formulas (3.78.), ar k šajā formulā saprotot klašu skaitu. Līdzīgi ir arī abu modifikāciju trūkumi. Taču

klašu paraugkoku metode samazina paraugkoku skaitu. Turklāt klases var formēt ne tikai pēc koku resnuma, bet arī pēc citām pazīmēm. Tāpēc šim risinājumam ir zināmas priekšrocības.

P. Urihs (Urich P.) 1860. gadā ieteica izveidot resnuma klases ar vienādu koku skaitu n_i (Korf V., 1953). Sakarā ar to arī paraugkoku skaits m_i visās klasēs ir vienāds un turklāt var uzskatīt, ka to skaita sadalīšanā ir ievērots proporcionālītātes princips. Krāju aprēķina pēc formulas (3.79.).

Mūsu piemēra risinājumu ar P. Uriha metodi ilustrē 3.25. tabula. Atgādināsim, ka parauglaukuma koku skaits $N = 142$, $k = 5$, $m = 10$, $n_i = N/k = 142/5 = 28,4 \approx 28$, $m_i = 10/5 = 2$. Līdzīgi kā iepriekšējos gadījumos, aprēķināto paraugkoku augstumi, kas nepieciešami reālo paraugkoku meklēšanai audzē, noteikti pēc piemēra augstumlīknes $hi = 10,671n(di) - 9,32$.

3.25. tabula

P. Uriha metode

Klašu						Nocirsto paraugkoku				
Caurm. pakāpe, cm	Koku skaits n_i	Šķērsl. G_p , m ²	Vidējā koka			Skaits m_i	d_p , cm	g_p , m ²	h_p , m	v_p , m ³
			g_p , m ²	d_p , cm	h_p , m					
16	4	0,080								
18	6	0,153								
20	7	0,220								
22	12	0,456					20,3	0,0324	22,5	0,3737
	29	0,909	0,0313	20,0	22,6	2	19,8	0,0308	22,4	0,3561
24	24	1,086								
26	4	0,212					24,5	0,0471	25,1	0,5848
	281	1,298	0,0464	24,3	24,7	2	24,0	0,0452	25,0	0,5780
26	26	1,381								
28	2	0,123					26,0	0,0531	26,0	0,6980
	28	1,504	0,0537	26,2	25,5	2	26,1	0,0535	25,8	0,6980
28	24	1,478								
30	4	0,283					28,5	0,0638	26,7	0,8240
	28	1,761	0,0629	28,3	26,3	2	28,2	0,0625	26,5	0,8236
30	15	1,060								
32	8	0,643								
34	3	0,272								
36	2	0,204								
38	1	0,113					31,9	0,0799	27,5	1,0688
	29	2,292	0,0790	31,7	27,6	2	31,6	0,0784	27,8	1,0450
Kopā	142	7,764				10		0,5467		7,0500

Viena hektāra meža elementa šķērslaukums $G = 7,764/0,25 = 31,06 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$ un $V = 31,06/0,5467 \cdot 7,05 = 400,5 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$. Kļūda $\Delta V = 400,5 - 383,4 = 17,1 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ jeb 4,5%.

P. Uriha metodē nav ievērots tas, ka resnāko koku klašu līdzdalība krājas veidošanā ir lielāka. Tāpēc teorētiski pareizāk ir klases veidot nevis ar vienādu koku skaitu, bet vienādu krāju. Pamatojoties uz šo atziņu, 20. gs. divdesmitajos gados V. Tišendorfs (Tischendorf V.) piedāvāja atbilstošu metodi. Taču pārāk lielā darbietilpīguma dēļ tā taksācijas praksē neieviesās, jo klašu izveidošanai jau iepriekš bija jāzina visu caurmēra pakāpju krāja. Metodes autors to ieteica aprēķināt pēc Bavārijas tipa tabulām. Tādējādi krāja ar šo metodi jāaprēķina atkārtoti. Turklāt šīs metodes precizitāte nav augstāka par R. Hartiga metodi, kas pazīstama jau kopš 1868. gada. Pēc R. Hartiga metodes, klases veido ar līdzīgu šķērslaukumu, kas praktiski ir ievērojami vienkāršāk un ātrāk, turklāt metode neparedz, lai jau iepriekš būtu sastādītas stumbru tilpuma tabulas. Arī pēc šīs metodes visās k klasēs ir vienāds nocirsto paraugkoku skaits m_p , taču koku skaits klasēs n_i ir dažāds un tāpēc krāja V_i jāaprēķina katrā klasē atsevišķi, kas ir R. Hartiga metodes trūkums. Meža elementa krāja V ir visu klašu krāju M_i summa:

$$V = \sum_i M_i, i = 1, 2, \dots, k \tag{3.80.}$$

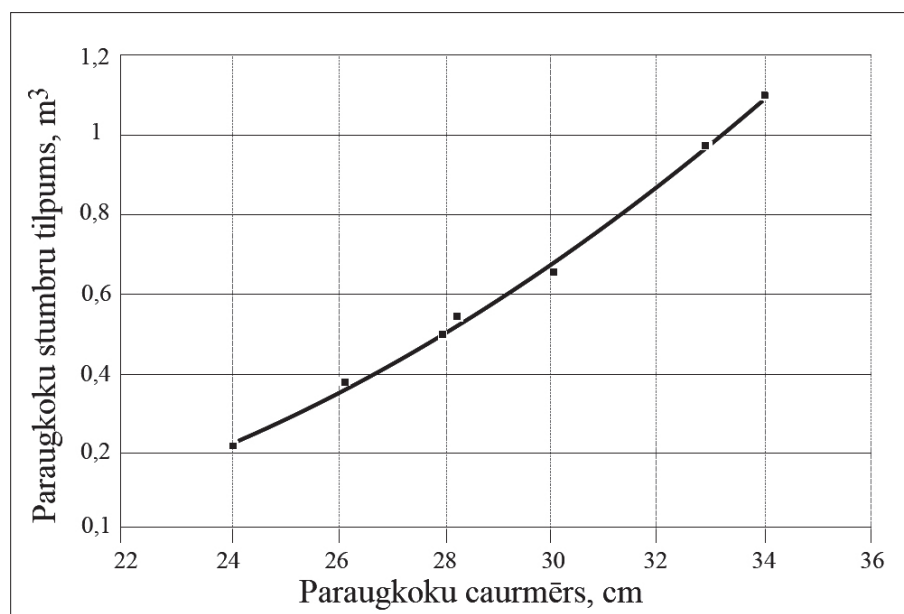
un

$$V_i = n_i \bar{v}_i, \tag{3.81.}$$

kur $\bar{v}_i$ ir i -tās klases paraugkoku vidējā vērtība. Risināšanas gaita ir līdzīga kā P. Uriha metodē (3.25. tab.).

Brīvās izvēles paraugkoku metode. Metodes raksturīgākā iezīme ir tā, ka paraugkoku dimensijas iepriekš neaprēķina un to izvēli neierobežo tik stingri nosacījumi kā iepriekš aprakstītajās metodēs. Tāpēc visu paraugkoku metožu nozīmīgākais posms – paraugkoku atrašana mežā – ir ievērojami vienkāršāks, kas, būtiski nesamazinot rezultātu precizitāti, samazina laika un darbaspēka patēriņu. Pēc parauglaukuma dastošanas un augstumlīknes koku izmērīšanas tālākā datu apstrāde ir saistīta ar grafika zīmēšanu, kas, cita starpā, nodrošina labu uzskatāmību un rupju kļūdu savlaicīgu novēršanu. Šīs metodes algoritma īpašības dēļ to parasti sauc par grafisko metodi. Metodei ir izstrādātas divas – *krājas līknes* un *krājas taisnes* – modifikācijas.

Krājas līknes risinājumu 19. gs. astoņdesmito gadu beigās izstrādāja G. Špeidels. Šajā gadījumā katrā vai, mazākais, divās blakus caurmēra pakāpēs izvēlas vismaz vienu paraugkoku. Ja vien ir iespējams, vēlams, lai vidējās caurmēra pakāpēs, kur koku skaits un krāja ir lielāka, būtu arī vairāk paraugkoku. Paraugkoku stumbru tilpumu aprēķina pēc F. Hubera saliktās viduslaukumu formulas (1.81.) un atliek koordinātu sistēmā, kurā abscisu asi veido paraugkoku diametri d_p , izteikti cm, un ordinātu asi – to stumbru tilpumi v_p , m³ (3.9. att.). Empīrisko punktu kopu izlīdzinot, iegūst krājas līkni. Mūsu piemērā izmantoti 3.24. tabulas paraugkoki.



3.9. att. Krājas līkne

Dažkārt līknes galos tās raksturs ir neskaidrs. Lai nebūtu jāvērtē papildus paraugkoki, līknes virziena precizēšanai lieto stumbru tilpuma tabulas. No tabulām nolasa grafikā pārstāvēto $v = f(d, h)$, tās atliek koordinātu sistēmā un izlīdzina. Pēc šīs līnijas koriģē paraugkoku krājas līkni.

Krājas līknes analītiskai aprakstīšanai lietotas dažādas funkcijas, biežāk otrās vai trešās pakāpes parabolas un pakāpes vienādojumi. Mūsu piemērā izmantota pakāpes funkcija

$$v_i = ad_i^b, \quad (3.82.)$$

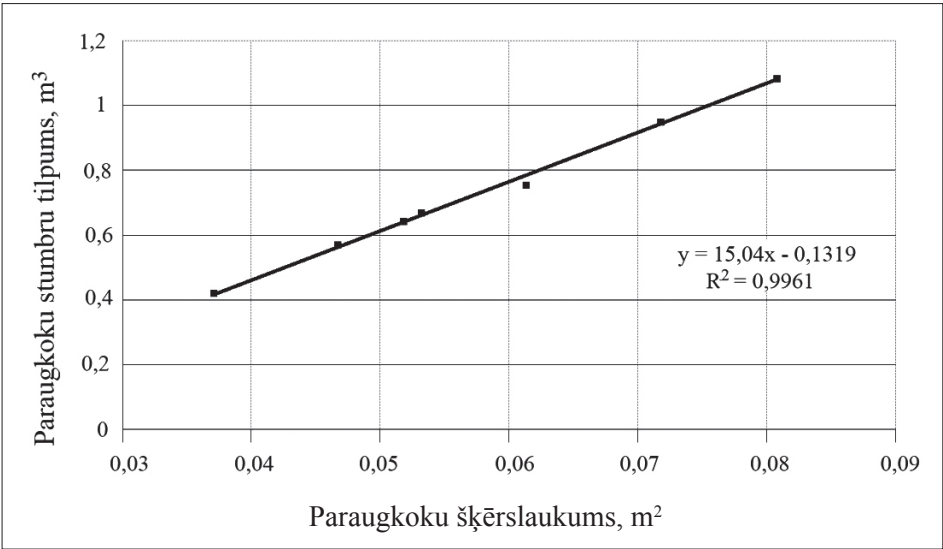
kur $a = 2,8$, $b = 2,3848$ un determinācijas koeficients $R^2 = 0,995$. Tālākā aprēķinu gaitā pēc krājas līknes katrai caurmēra pakāpei nolasa vai izskaitļo viena koka tilpumu v_p , kura reizinājums ar koku skaitu n_i ir dotās caurmēra pakāpes krāja V_i (3.26. tab.). Meža elementa krāja ir visu caurmēra pakāpju krājas summa.

Brīvās izvēles paraugkoku metode

Caurmēra pakāpe, cm	Koku skaits n_i	Pēc krājas līknes		Pēc krājas taisnes	
		viena koka v_p, m^3	caurm. pak. V_p, m^3	viena koka v_p, m^3	caurm. pak. V_p, m^3
16	4	0,2083	0,833	0,1710	0,684
18	6	0,2759	1,655	0,2512	1,507
20	7	0,3547	2,483	0,3409	2,386
22	12	0,4452	5,343	0,4400	5,280
24	24	0,5479	13,149	0,5485	13,164
26	30	0,6631	19,893	0,6665	19,994
28	26	0,7913	20,574	0,7939	20,640
30	19	0,9328	17,724	0,9307	17,683
32	8	1,0880	8,704	1,0770	8,616
34	3	1,2573	3,772	1,2327	3,698
36	2	1,4409	2,882	1,3979	2,796
38	1	1,6392	1,639	1,5724	1,572
Kopā	142		98,651		98,020

Mūsu piemērā $V = 98,651/0,25 = 394,6 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ un kļūda $\Delta V = 394,6 - 383,4 = 11,2 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ jeb 2,9%.

Krājas taisnes modifikāciju dažus gadus vēlāk piedāvāja R. Kopeckis un E. Gērhardts. Tās pamatā ir atziņa, ka stumbra tilpuma v atkarība no šķērslaukuma g vai caurmēra kvadrāta d^2 ir lineāra. Tāpēc koordinātu sistēmā uz abscisu attiek paraugkoku šķērslaukumu vai caurmēra kvadrātus. Abi argumenti ir līdzvērtīgi, jo $g = \pi d^2/4$. Empīrisku punktu kopu izlīdzinot, iegūst krājas taisni (3.10. att.).



3.10. att. Krājas taisne

Šāds risinājums vienkāršo metodes algoritmu, jo iespējams samazināt paraugkoku skaitu m . Teorētiski minimālais $m = 2$. Tomēr sakarā ar uzdevuma stohastisko raksturu nosacījumu $m = 2$ apmierina tikai tad, ja par paraugkokiem ņemti V. Hohenadla statistiskie koki ar caurmēru d_- un d_+ . Pārējos gadījumos nepieciešamais skaits $m > 2$, kas gan pieļaujams mazāks nekā krājas līknes veidošanā. Turklāt atkrīt prasība, lai punkti būtu vienmērīgi izvietoti visā argumentu intervālā. Tāpēc ir pieļaujama to koncentrācija divās grupās. Ieteicams, lai viena no tām atrastos pa kreisi, otra – pa labi no meža elementa vidējā caurmēra un lai attālums starp grupām nebūtu mazāks par 5 – 6 caurmēra pakāpēm. Katrā grupā, kas aptver 1 – 2 caurmēra pakāpes, ņem 2 – 3 paraugkokus, to stumbru tilpumu, kas aprēķināts pēc formulas (1.81.), attiek koordinātu sistēmā, aprēķina iegūto punktu vidējās koordinātas un

caur šiem grupu centru punktiem izvelk krājas taisni. Kontroles nolūkos vēlams aprēķināt abu grupu kopējā centra koordinātas. Krājas taisnei vienmēr jāiet caur kopējā centra punktu.

Mūsu piemērā krājas taisne (3.10. att.) izlīdzināta pēc visiem septiņiem paraugkokiem, lietojot mazāko kvadrātu principu un MS Excel piedāvāto risinājumu. Tālākā krājas aprēķināšanas gaita ilustrēta 3.26. tabulā. $V = 98,020/0,25 = 392,1 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ un kļūda $\Delta V = 8,6 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ jeb 2,2%.

Empīriski noskaidrots, ka R. Kopecka un E. Gērhardta krājas taisnes metodi var lietot, ja $d_i \geq 12 \text{ cm}$. Ja $d_i < 12 \text{ cm}$, $v_i = f(g_i)$ vai $v_i = f(d_i^2)$ nav lineāra.

Vairākums autoru uzskata, ka, salīdzinot ar pārējām metodēm, paraugkoku metodes ir visprecīzākās. Vidējā kvadrātiskā kļūda ir atkarīga no audzes viendabīguma, reālo paraugkoku atbilstības aprēķinātajām dimensijām un paraugkoku skaita m . N. Anučins aprēķinājis, ka, ja parauglaukumā koku skaits $N \geq 200$, meža elementa krājas noteikšanas vidējā kvadrātiskā kļūda s ir: ja $m = 1$, $s = \pm 12,7\%$; ja $m = 5$, $s = \pm 5,7\%$; ja $m = 10$, $s = \pm 4,0\%$; ja $m = 15$, $s = \pm 3,4\%$. Kā liecina šie aprēķini un ilggadīga meža taksācijas pieredze, ar jebkuru no paraugkoku metodēm iespējams sasniegt augstvērtīgus rezultātus. Tāpēc konkrētas paraugkoku metodes izvēli galvenokārt nosaka darba uzdevums un metodes darbietilpīgums. Piemēram, ja bez krājas aprēķināšanas ir jānosaka arī citi taksācijas rādītāji, teiksim, sortimentu iznākums audzē, jāizvēlas tāda metode, kas vienlaicīgi ar kopējo krājas daudzumu dod iespēju lēst arī par tās sadalījumu pa caurmēra pakāpēm.

3.14.5. Acumēra metode

Acumēra jeb vizuālā metode ir visneprecīzākā, bet praktiski visparocīgākā audzes krājas noteikšanā. Tāpēc tā vienmēr ļoti plaši lietota meža inventarizācijā, kur jāaprēķina ne tikai atsevišķu audžu, bet arī apjomīgu dažādu audžu kopu krāja. Kā zināms, kopu taksēšanas kļūda ir apgriezti proporcionāla kvadrātsaknei no kopas elementu skaita. Tāpēc, ja arī atsevišķās audzēs krājas vērtēšanas kļūda var sasniegt $\pm 10 - 15\%$ un dažkārt pat vairāk, tad audžu kopās tā izlīdzinās un ir niecīga. Šāds risinājums apmierina prakses prasības daudzās valstīs, tāpēc acumēra metode vēl ilgi saglabās savu nozīmi.

Tīrā veidā šī metode pamatojas vienīgi uz acumēru. Tāpēc tās lietošanas gadījumā sevišķi lielu lomu spēlē taksatora kvalifikācija. Pieredzējis speciālists, kas gadu gaitā noslīpējis acumēru, apziņā izveidojis priekšstatu par dažādu audžu krājas lielumu un kas labi pārzina audžu taksācijas rādītāju kopsakarības, bez grūtībām iekļaujas pieļaujamo kļūdu robežās (Latvijā – MK noteikumi Nr. 384 no 26.06.2016. *Meža inventarizācijas un Meža valsts reģistra informācijas aprites noteikumi*).

Lai paaugstinātu acumēra metodes noteiktību, var izmantot dažādus palīgmateriālus: augšanas gaitas tabulas, šķērslaukuma standarttabulu (mežaudzes normālā šķērslaukuma tabulas), formulas u. c. materiālus. Ja šie palīgīdzekļi atbilst dotā saimnieciskā režīma audžu īpatnībām, to izmantošana būtiski uzlabo audžu taksēšanas kvalitāti.

Augšanas gaitas tabulas atspoguļo dažādu koku sugu, izcelsmes, vecuma un bonitāšu audžu taksācijas rādītāju kopsakarības. Šeit tuvāk neapskatīsim augšanas gaitas tabulu īpatnības, klasifikāciju, uzbūvi un sastādīšanu, bet akcentēsim uzmanību vienīgi uz to lietošanu krājas noteikšanā, kas, pasvītrosim, ir tikai viena no tabulu izmantošanas iespējām. Lai ar šo paņēmieni klasiskā veidā noteiktu krāju, jānosaka meža elementa augstums H , vecums A un biezība b . Pēc augstuma un vecuma nosaka bonitāti, bet tās ietvaros nolasa krāju V_p , kas augšanas gaitas tabulās uzrādīta normālas (pilnas) biezības tīraudzēm un izteikta m^3ha^{-1} . Meža elementa krāja

$$V = V_p b. \quad (3.83.)$$

Mūsu piemērā $A = 90$ gadi un $H = 25,6 \text{ m}$, kas nozīmē, ka dotā audze atbilst I bonitātes klasei kā pēc Papildinātajām 1924. gada pagaidu augšanas gaitas tabulām (Mežsaimniecības tabulas, 1964), tā arī pēc M. Orlova tabulām un MK noteikumiem Nr. 384. Audzes $G = 31,06 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$, $G_t = 42,4 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$ un biezība $b = 31,06/42,4 = 0,73$. Tabulārā krāja $V_t = 538 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$, $V = 538 \cdot 0,73 = 392,7 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ un $\Delta V = 9,3 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ jeb 2,4%. Strādājot ar acumēra metodi, krāju noapaļo ar 10 m^3 precizitāti. Jāatzīmē, ka šodien augšanas gaitas tabulu izmantošanai audzes krājas aprēķināšanai ir tikai vēsturiska nozīme.

Zināmā mērā šī atziņa attiecas arī uz šķērslaukuma standarttabulas jeb audzes normālā šķērslaukuma tabulas (3.8. tab.) un formulas (3.83.) lietošanu. Algoritmiski tā gan nedaudz atšķiras. Pirmkārt, attiecīgo normālā šķērslaukuma tabulas vērtību nolasa pēc vidējā augstuma, kas ir vienkāršāk, jo iepriekš nav jāzina audzes vecums un bonitāte. Otrkārt, 3.8. tabulā uzrādīts tikai normālas biezības audžu šķērslaukums, iztrūkstot krājas datiem. Tāpēc formulas (3.83.) lietošanai vispirms tās vērtības

jāpārreķina krājā. To viegli panākt, lietojot atbilstošu algoritmu, piemēram, formulu (3.72.). Mūsu piemērā pilnas biežības audzes krāja ir $V = kG_l(H + 4) = 0,415 \cdot 39(26 + 4) = 485,6 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ un pēc formulas (3.83.) iegūstam piemēra audzes krāju $V = 485,6 \cdot 0,73 = 354,5 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$, kas sastāda kļūdu $\Delta V = 354,5 - 383,4 = -28,9 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ jeb $-7,5\%$. Tik liela kļūda izskaidrojama ar normālā šķērslaukuma tabulas vāju atbilstību dotajai audzei.

Aptuvenu rezultātu krājas noteikšanā var sasniegt ar krājas pietuvinātajām formulām. To atbilstība ir relatīvi zema, taču tās ir ērtas praktiskajā lietošanā. Kā vienas no pirmajām var minēt H. Gerdinga (Gerding H.) un B. Borgreves (Borggreve B.) formulas, kas Vācijā ieteiktas jau 1891. gadā (Korf V., 1953). Pēc šo formulu autoru domām krājas formulas $V = GFH$ šķērsriezuma G un veidskaitļa F reizinājums $GF = k$ jeb *veidšķērslaukums* katrai koku sugai izmainās nelielās robežās, piemēram, priedei un dižskābardim 14 – 18, eglei un balteglei 16 – 22 (vidēji 16 un 18). Tāpēc krāja

$$V = kHb. \quad (3.84.)$$

Mūsu piemērā $V = 18 \cdot 25,6 \cdot 0,73 = 336,4 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ un $\Delta V = 336,4 - 383,4 = -47 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ jeb $-12,3\%$. Noskaidrots, ka ar formulu (3.84.) apmierinošus rezultātus var iegūt vidējas bonitātes audzēs. Augstākās bonitātēs tā dod samazinātus, bet zemākās – palielinātus rezultātus.

N. Tretjakovs ierosināja formulu (3.84.) papildināt ar koeficientu α :

$$V = k(H - \alpha)b, \quad (3.85.)$$

kur: priedei $k = 17,5$ un $\alpha = 2$; eglei $k = 23,3$ un $\alpha = 6$; bērzam $k = 17,5$ un $\alpha = 6$; apsei un melnalksnim $k = 22,5$ un $\alpha = 7$. Mūsu piemērā $V = 23,3(25,6 - 6) \cdot 0,73 = -50,1 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ jeb $-13,1\%$.

N. Anučins rekomendē formulu:

$$V = 10G + 0,4G(H - \alpha), \quad (3.86.)$$

kur priedei, lapeglei, bērzam un apsei $\alpha = 22$, eglei, balteglei, ciedram, dižskābardim, gobai, vīksnai un osim $\alpha = 21$. Ja audzes $H = \alpha$, $V = 10G$.

Formulu (3.84.) un (3.85.) priekšrocība ir tā, ka jāzina vienīgi vidējais augstums H un biežība b . Precizitātes ziņā tās atpaliek no sakarības (3.86.). Taču, ja jau ir izmērīts šķērslaukums G un augstums H , ieteicams lietot precīzākas izteiksmes, piemēram (3.72.).

Mūsdienās acumēra metodi kombinē ar vizūrleņķu vai parauglaukumu metodēm. Latvijā taksatori mežā nosaka vienīgi *primāros taksācijas rādītājus*. Pie šīs grupas rādītājiem pieder tie, kas kalpo *sekundāro taksācijas rādītāju* noteikšanai. Pēdējos aprēķina kamerāli. Krāja, protams, pieder otrajai grupai. Attiecībā uz krāju primārie rādītāji ir meža elementa vidējais augstums un šķērslaukums vai biežība. Mūsdienu vispārēja tendence ir vērsta uz primāro rādītāju skaita samazināšanu. Šāda darba organizācija būtiski atvieglo un samazina lauka darbus, dodot iespēju lielāku uzmanību veltīt primāro rādītāju noteikšanai.

3.15. Sortimentācija

Vienlaicīgi ar tautsaimniecībā patērējamās koksnes daudzumu nemitīgi palielinās arī koksnes izmantošanas veidu skaits. Šim aspektam ir reģionāls un temporāls raksturs. Pat atsevišķās valstīs (Kanāda, Krievija), kurās sastopamas lielas meža platības un meža resursu bagātība, vienā valsts daļā vairāk pieprasa vienus, otrā daļā – citus sortimentus, pieprasījuma struktūrai laika gaitā mainoties. Ekonomiskas tautsaimniecības apstākļos iepriekš jāzina ne tikai pieprasījuma dinamika un struktūra, bet arī pieprasījuma apmierināšanas iespējas. Līdz ar to būtiski papildinās meža taksācijas uzdevumi, kas saistīti ar augoša meža sortimentu sastāva un iznākuma novērtēšanu. Šī uzdevuma risināšanu sauc par *meža Sortimentāciju*. Atsevišķi autori šo terminu aizstāj ar citu – *rūpnieciskā taksācija*. Mežsaimniecības praksē Sortimentācijas jautājumus nākas risināt bieži, piemēram, sagatavojot *cirsmu fondu*, izvērtējot kāda reģiona koksnes resursus utt. Šinī sakarībā darba apjoms un specifika var ļoti atšķirties – no atsevišķu koku līdz simtiem tūkstošu hektāru lielu meža masīvu Sortimentācijai.

Visos gadījumos sortimentu iznākumu nosaka koku suga, stumbru dimensijas, forma un koksnes vainas. Sortimentu veidus un koku atbilstību tiem katrā valstī reglamentē attiecīgi normatīvi. Atbilstoši to prasībām katra koka stumbru iespējams sadalīt dažādos sortimentos. Līdz ar to ikvienas audzes sortimentu iznākums var būt atšķirīgs. Uz šo atziņu pamatojas iespēja pilnīgāk apmierināt

pieprasījuma prasības. Savukārt ievērojot, ka šīs prasības var mainīties, meža taksācijas rīcībā jābūt iespējām, kas nodrošina viena vērtējuma pārrēķināšanu citā.

Ja nav īpašu norādījumu, kas izriet no koksnes patērētāju specifiskajām prasībām, stumbri jāizvērtē pēc *maksimālās kvalitātes principa*. Tas nozīmē, ka stumbri jāsadala tā, lai sortimentu iznākums būtu tieši proporcionāls to pieņemtajai vērtībai. Augošu koku sortimentācijā šo principu īsteno tādejādi, ka dažādi palīgmateriāli (tabulas, formulas, datorprogrammas) sastādīti, ievērojot šī principa prasības.

Meža sortimentācijā lieto dažādas metodes: individuālās uzskaites, paraugkoku, raukuma tabulu, sortimentu tabulu, preču tabulu u. c. metodes. Katrā konkrētā gadījumā metodes izvēle ir atkarīga no uzdevuma rakstura (atsevišķu koku, audžu vai audžu kopu sortimentācija) un rezultātu precizitātes.

3.15.1. Individuālās uzskaites metode

Pēc šīs metodes visus sortimentējamos kokus taksē katru atsevišķi. Šinī nolūkā izmēra katra koka caurmēru un augstumu un pēc acumēra novērtē koksnes vainas un to ietekmi uz sortimentu iznākumu. Pēc šiem datiem atbilstoši sortimentu standartu prasībām koka stumbru nosacīti sadala sortimentos un ar augstummēru izmēra to garumu. Ja taksatora rīcībā ir stumbru raukuma tabulas, ikviena sortimenta tievgaļa caurmēru nosaka kamerāli. Ja tādu tabulu nav, izraudzīto sortimentu tievgaļa caurmērs jāizmēra vai vismaz pēc acumēra jānosaka mežā. Tā kā no katra stumbra var iegūt dažādus sortimentus, to izvēlē vadās pēc mežmateriālu sagatavošanas uzdevuma specifikas. Visu koku datus ieraksta uz mērījumu žurnālā. Ieteicams to darīt grafiskajā formā, kas uzskatāmi atsedz katra stumbra sortimentu struktūru, atsevišķu sortimentu izmērus un to atrašanās vietu stumbrā. Šī pieraksta piemēru ilustrē 3.27. tabula (Захаров В., 1967). Pēc koka numura, sugas, caurmēra un augstuma pieraksta seko visu sortimentu uzskaitījums virzienā no resgaļa uz galotni. Sortimenti savstarpēji atdalīti ar reizināšanas zīmi, līnijas nogriežņa garums ir aptuveni proporcionāls attiecīgā sortimenta garumam, virs līnijas raksta sortimenta nosaukumu un šķiru, zem tās – sortimenta garumu un tievgaļa caurmēru.

3.27. tabula

Individuālās uzskaites grafiskais pieraksts (pēc Захаров В., 1967)

Koka				Sortimentu pieraksts
Nr.	suga	d, cm	h, m	
21	Priede	40	24	<u>Zāg</u> balkis, I šķ. X <u>gulsnis</u> X <u>balstenis</u> X <u>būvbalkis</u> X <u>malka</u> 8,5x29 2,7x26 4,5x19 4,5x13 4,0
22	Ozols	36	21	<u>Zāg</u> balkis X <u>malka</u> X <u>stabs</u> X <u>balstenis</u> X <u>malka</u> 4,5x28 1x25 7,5x18 5x10 3.0

Redzams, ka 3.27. tabulā ierakstīti divu koku – priedes un ozola – vērtēšanas rezultāti. Mājas apstākļos pēc katra sortimenta garuma un tievgaļa caurmēra *apaļo mežmateriālu tabulās* nolasa atbilstošo tilpumu. Iegūtos datus grupē, vadoties pēc darba uzdevuma. Kopsavilkuma tabulās uzrāda koku sugu, sortimentu nosaukumus, šķiru un dimensijas, kā arī lietkoksnes kopējo iznākumu, malkas un *atlieku (nelikvīdu)* tilpumu. Lietkoksnes iznākumu izsaka sortimentu summa. Malkas daudzumu aprēķina kā starpību, no stumbra tilpuma atņemot lietkoksnes tilpumu (stumbra tilpumu nolasa no Bavārijas tipa tabulām pēc stumbra caurmēra un augstuma). Arī mizas tilpumu iegūst kā starpību – starp stumbra tilpumu ar un bez mizas. Stumbra galotnes daļas (caurmērs ar mizu mazāks vai vienāds ar 3 cm) tilpumu aprēķina, no stumbra tilpuma atņemot lietkoksnes un malkas summu.

No sacītā izriet, ka individuālās uzskaites metodes noteiktība augstākā mērā ir atkarīga no taksatora kvalifikācijas, no viņa pieredzes daļēji pēc acumēra noteikt stumbru un sortimentu savstarpējo atbilstību. Tas nav vienkāršs uzdevums pat tanīs retajos gadījumos, kad vērtējamās audzes koki ir relatīvi veseli – koksnes vainu nebojāti.

Neatkarīgi no lietotās metodes sortimentēšanu būtiski sarežģīt audžu sanitārais stāvoklis. Katrā audzē koki atšķiras ne tikai pēc dimensijām un stumbru formas. Sortimentu iznākumu nozīmīgi ietekmē daudzo un dažādo koksnes vainu esamība, to izteiktība un novietojums stumbrā. Visos gadījumos

koksnes vainas samazina *stumbra kvalitāti*, vairāk vai mazāk izmainot sortimentu sastāvu un daudzumu. Cik lielā mērā? Uz šo jautājumu jāatbild taksatoram.

Izšķir atsevišķa stumbra un koku kopas, parasti meža elementa vai audzes, stumbru kvalitāti. Sortimentēšanas individuālās uzskaites metodes pamatā ir prasme novērtēt atsevišķa stumbra kvalitāti. To vērtē, vadoties pēc Latvijas standarta prasībām, uz augoša koka stumbru attiecinot apaļkoku kvalitātes nosacījumus.

Lauka darbos jāizmēra vērtējamā stumbra krūšaugstuma caurmērs un augstums, jāatpazīst *redzamās koksnes vainas*, to izvietojums stumbkā un jānosaka vainu ietekmētās stumbra daļas vai daļu tilpums. Stumbra kvalitātes vērtēšanai ieteikti dažādi risinājumi. Taču visus variantus vieno atziņa par stumbra nosacītu iedalīšanu trīs daļās – resgaļa, vidus un galotnes daļās, kas ir būtiski atšķirīgas kā pēc to saimnieciskās vērtības, tā pēc koksnes vainu izraisītā efekta. Loģiski, ka lielākā uzmanība pievēršama resgaļa daļai. Tāpēc vairākums autoru iesaka stumbra kvalitāti vērtēt tikai pēc koksnes vainu esamības pirmajā vai pirmajos divos 6–7 m garos stumbra fragmentos, skaitot no celma augstuma. Šajā stumbra zonā sastopamas dažādas kokmateriālu vērtību mazinošas koksnes vainas – trupe, zari, likumainība, mizas nobrāzumi, sala vai zibens plaisas u. c., kuru klātbūtni sortimentos nepieļauj vai ierobežo valsts standarts.

Katrs bojātais stumbra fragments jāvērtē atsevišķi, nosakot tā izmērus un piederību kādam no zemākas kvalitātes sortimentiem. Ja tas neatbilst pat papīrmalkas prasībām, doto fragmentu ieskaita malkā (3.11. att.).

Fragmenta tilpumu var aprēķināt, izmantojot kādu no stumbra nogriežņu tilpuma formulām. Katrā gadījumā jāizmēra koksnes vainas ietekmētās stumbra daļas garums vai arī tās sākuma un beigu augstums, kā arī caurmērs fragmenta vidū vai tā galos, kas nodrošina vēlāmākās formulas izvēli (1.2.5. apakšnodaļa).

D. Dubrovskis 2004. gadā atsevišķa stumbra bojātās daļas tilpumu iesaka noteikt, vērtējot to procentos no visa stumbra tilpuma. Šajā nolūkā jāizmēra bojātā fragmenta sākuma un beigu augstums h_1 un h_2 , kā arī jāaprēķina bojājuma īpatsvars:

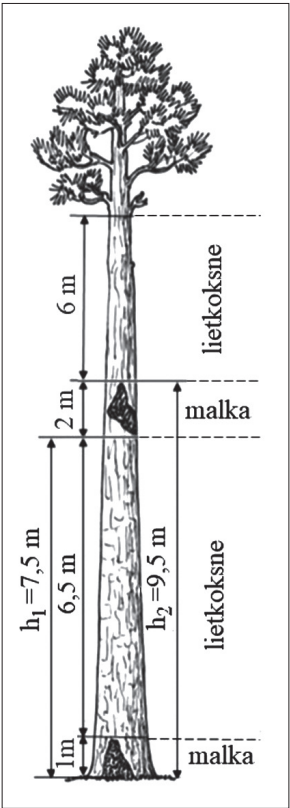
$$v_b = \frac{v_2 - v_1}{v} 100, \tag{3.87.}$$

- kur v_b – stumbra bojātās daļas tilpums, %;
 v – stumbra kopējais tilpums, m³;
 v_1 – stumbra daļas tilpums līdz bojājuma sākumam, m³;
 v_2 – stumbra daļas tilpums līdz bojājuma beigām, m³.

Savukārt v_1 un v_2 aprēķina pēc izteiksmes

$$v_i = ad^p h^q h_i^r, \tag{3.88.}$$

- kur v_i – atkarībā no griezuma augstuma v_1 vai v_2 , m³;
 d – koka krūšaugstuma caurmērs, cm;
 h – koka augstums, m;
 h_i – griezuma augstums (h_1 vai h_2);
 a, p, q, r – koku sugas konstantes (3.28. tab.).



3.11. att. Trupes bojāts stumbrs (pēc Анучин Н., 1977)

3.28. tabula

Formulas (3.88.) parametri

Koku suga	Koeficienti			
	r	q	p	$\alpha \cdot 10000$
Priede	0,98933	−0,17814	1,99671	0,01483
Egle	0,99186	−0,13264	1,99587	0,01216
Bērzs	0,98818	−0,18910	1,99670	0,01570

Koku suga	Koeficienti			
	<i>r</i>	<i>q</i>	<i>p</i>	$\alpha \cdot 10000$
Apse	0,99406	-0,10264	1,99555	0,01057
Melnalksnis	0,98821	-0,18487	1,99659	0,01545
Baltalksnis	0,98982	-0,17667	1,99681	0,01465
Osis	0,98910	-0,16354	1,99615	0,01413
Ozols	0,98671	-0,18183	1,99602	0,01564

Individuālās uzskaites metodes specifika nosaka, ka pēc visu meža elementa koku sortimentu iznākuma izvērtēšanas jā sastādā kopsavilkums, atbilstoši darba uzdevumam uzrādot atsevišķu sortimentu daudzumu. Ja audzē ir vairāki meža elementi, līdzīgu kopsavilkumu var sastādīt visai audzei. Individuālās uzskaites metode ir ļoti darbietilpīga, tādēļ to lieto tikai retos gadījumos. Turklāt ir noskaidrots, ka audžu sortimentācijā, kur jāvērtē nevis atsevišķi koki, bet vienmēr ir darīšana ar koku kopām, individuālās uzskaites risinājuma noteiktība nav būtiski augstāka kā, piemēram, ievērojami mazāk darbietilpīgajai sortimentu tabulu metodei (Анучин Н., 1977).

3.15.2. Paraugkoku metodes

Šo risinājumu lieto tad, ja dotajos apstākļos nav atbilstošu sortimentu tabulu. Tā tas ir vēl nepilnīgi apgūtajās teritorijās, piemēram, Krievijā vai arī rajonos, kur tādas tabulas gan ir, taču tās nevar izmantot, jo koksnes vainu palielinātās sastopamības dēļ audžu sortimentu iznākums būtiski atšķiras no tabulās paredzētā. Līdzīga situācija rodas arī tad, ja jāvērtē tādi sortimenti, kas tabulās nav pārstāvēti. Šīs metodes priekšrocība ir tā, ka, salīdzinot ar pārējām, tā pilnīgāk atsedz *slēptās koksnes vainas* un dod iespēju samazināt šī faktora izraisītās sortimentācijas kļūdas.

Audžu sortimentācijā var lietot tās krājas paraugkoku metodes, kas pamatojas uz paraugkoku skaita sadalījumu pa caurmēra pakāpēm vai resnuma klasēm (caurmēra pakāpju un klašu metodes ar vienādu paraugkoku skaita sadalījumu, A. Draudta, P. Uriha, R. Hartiga metodes). Tas tāpēc, ka dažāda resnuma koku sortimentu veidi un daudzums ir atšķirīgi, kas izslēdz meža elementa vidējā paraugkoka izmantošanu. Salīdzinājumā ar krājas paraugkokiem sortimentācijas paraugkoku izvēli apgrūtina tas, ka tiem jābūt attiecīgo koku kopas vidējiem ne tikai pēc dimensijām, formas un zarojuma, bet arī pēc sortimentu iznākuma.

Meža elementa kopējo paraugkoku skaitu aprēķina pēc formulas (3.48.). Tā kā dažādu sortimentu relatīvais iznākums variē apgriezti proporcionāli to daudzumam audzē, katra sortimentu veida variācijas koeficients *s*% ir atšķirīgs. Tādēļ formulā (3.48.) jāņem nozīmīgākā sortimenta *s*%. Sortimentu iznākuma procenta variēšana dažādās audzēs pagaidām izpētīta nepietiekami. F. Moisejenko uzskata, ka meža elementa galveno sortimentu relatīvā iznākuma *s*% <10%. Tāpēc viņš iesaka cirst 12–15 paraugkokus, tādējādi nepārsniedzot ±10% kļūdas līmeni.

Sortimentācijas paraugkokus izvēlas pēc to skaita vienlīdzīgas, proporcionālas vai mehāniskas sadales kārtībā. Pirmajā gadījumā (caurmēra pakāpju un caurmēra klašu paraugkoku metodes) katrā koku kopā izvēlas vienu vai vairākus vidējos paraugkokus. Tos nocērt, sadala sortimentos un pēc formulas (1.81.) aprēķina stumbru un atsevišķo sortimentu tilpumu. Meža elementa un audzes sortimentu iznākumu nosaka pēc izteismēm (3.89.) un (3.90.).

$$W_i = \sum_j w_{ij} \frac{G_j}{g_j}, j = 1, 2, \dots, m, \tag{3.89.}$$

$$V = \sum_i W_i, i = 1, 2, \dots, k, \tag{3.90.}$$

- kur
- W_i* – meža elementa *i*-tā sortimenta iznākums, m³ha⁻¹;
- w_{ij}* – šī sortimenta iznākums no paraugkokiem *j*-jā koku kopā (caurmēra pakāpē vai resnuma klasē), m³;
- G_j* – *j*-tās koku kopas šķērslaukums, m²ha⁻¹;
- g_j* – šīs koku kopas paraugkoku šķērslaukums, m²;
- V* – meža elementa vai viendabīgas audzes krāja, m³ha⁻¹;
- m* – koku kopu skaits;
- k* – sortimentu veidu skaits, malku ieskaitot.

Ja paraugkopu skaitu sadala proporcionāli koku kopu apjomiem (A. Draudta, P. Uriha, R. Hartiga metodes), paraugkokus var sortimentēt kopīgi, nešķirojot pa atsevišķām koku kopām. Tāpēc meža elementa krāja

$$V = \frac{G}{\sum_j g_j} \sum_i w_i, i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, m, \quad (3.91.)$$

kur G – meža elementa šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$;
 $\sum_j g_j$ – visu paraugkoku šķērslaukums, m^2 ;
 w_i – i -tā sortimenta iznākums no paraugkokiem, m^3 ;
 k – sortimentu veidu skaits, malku ieskaitot;
 m – paraugkoku skaits.

Paraugkoku mehāniskas atlasas gadījumā iepriekšējo koku kopu veidošana nav nepieciešama. Atlase, piemēram, izraugoties katru divdesmito meža elementa koku, nodrošina paraugkoku proporcionālu sadali jebkurai meža elementa koku īpatnībai, arī dažādu sortimentu veidu iznākumam. Tāpēc lieto formulu (3.91.). Mehāniskā atlase ir objektīvāka un labāk atbilst formulas (3.48.) nosacījumiem.

3.15.3. Raukuma metodes

Paraugkoku metode ir precīza, taču ļoti darbietilpīga. Tāpēc tādu audžu sortimentācijā, kurās koksnes vainu ir relatīvi maz un līdz ar to sortimentu iznākums praktiski ir atkarīgs vienīgi no koku dimensijām, paraugkokus necērt, bet izmanto raukuma tabulas vai stumbra veidules vienādojumu.

Raukuma tabulu metode. Kā zināms, raukuma tabulās (1.3.6. apakšnodaļa) bez stumbru tilpuma ar un bez mizas atkarība no tabulu iekārtojuma pārstāvēti arī raukuma rādītāji. Latvijā ilgstoši lietotās vispārīgās raukuma tabulās, kas sastādītas pa augstumšķirām, katrā caurmēra pakāpē uzrādīti arī visu sekciju caurmēri un tilpumi ar un bez mizas (1.23. tabula). Tas ir pietiekoši, lai stumbru ar doto caurmēru un augstumu nosacīti sadalītu sortimentos, vadoties pēc maksimālās kvalitātes principa, valsts standarta prasībām un mežmateriālu sagatavošanas uzdevuma.

Lai izmantotu raukuma tabulu metodi, audze ir jāizdasto, katra meža elementa koku skaitu sadalot pa caurmēra pakāpēm un koku *tehniskā derīguma kategorijām*. Izšķir šādas koku tehniskā derīguma kategorijas: *lietkoki, puslietkoki, malkaskoki*. Vairumā gadījumu koku uzskata par piederošu lietkoku kategorijai, ja no tā stumbra resgaļa var izzāgēt vismaz vienu 6,5 m garu lietkoksnes fragmentu. Ja šī fragmenta garums ir robežās no 2 m līdz 6,5 m, koku pieskaita puslietkokiem, bet, ja resgaļa lietkoksnes daļa ir īsāka par 2 m, stumbra kvalitāte ir tik zema, ka atbilst vienīgi malkaskoku prasībām. Katrā konkrētā gadījumā iespējami citādi nosacījumi koku iedalīšanai tehniskā derīguma kategorijās. Turpmākajā datu apstrādē puslietkokus līdzīgās daļās sadala starp lietkokiem un malkaskokiem.

Katram meža elementam nosaka arī augstumšķiru, bet, ja lieto Bavārijas tipa raukuma tabulas, atsevišķu caurmēra pakāpju augstuma noteikšanai izveido augstumlīkni. Izmantojot raukuma tabulas, turpmāk veic visu meža elementā esošo caurmēra pakāpju sortimentāciju. Katra sortimenta tilpumu aprēķina kā attiecīgo sekciju summu. Sekciju izvēli nosaka interesējošo sortimentu tievgaļa caurmērs. Pēc šī rādītāja raukuma tabulās nolasa sortimentu garumu un tilpumu. Šādi izvērtējot raukuma tabulās esošo informāciju, iegūst katras caurmēra pakāpes vidējā koka sortimentu struktūru, kuru, pareizinot ar koku skaitu dotajā caurmēra pakāpē, aprēķina tās sortimentu iznākumu. Savukārt dotā sortimenta tilpumu saskaitot visās caurmēra pakāpēs, nosaka tā daudzumu meža elementā. Visu sortimentu tilpumu summa ir meža elementa sortimentu krāja.

Stumbra veidules vienādojuma metode aizstāj darbu ar raukuma tabulām. Pēc stumbra veidules vienādojuma un izstrādājamo apaļo kokmateriālu normatīviem dators izvērtē sortimentu racionālāko iznākumu. Latvijas apstākļiem atbilstošu stumbru veidules vienādojumu sestās kārtas polinoma veidā izstrādājis R. Ozoliņš. Vienādojums vairākkārt papildināts un uzlabots. Tā 1981. gada variantā stumbra caurmēru ar mizu d_x (cm) dotajā augstumā h^* (m) izsaka izteiksme

$$d_x = d \frac{f\left(\frac{h^*}{h}\right)}{f\left(\frac{1,3}{h}\right)}, \quad (3.92.)$$

kur d ir koka krūšaugstuma caurmērs (cm) un h – koka augstums (m). Pieņemot $h^*/h = x$ un $1,3/h = z$,

$$d_x = d \frac{f(x)}{f(z)}. \quad (3.93.)$$

Savukārt $f(x) = kP_6(x)$ un $f(z) = P_6(z)$,

kur

$$P_6(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_6x^6 \quad (3.94.)$$

un stumbru vidējās formas korekcijas koeficients

$$k = 1 + (x^2 - 0,01) + p(h - H_0) + q(d - D_0). \quad (3.95.)$$

Arī $P_6(z)$ aprēķina pēc formulas (3.94.). Empīrisko koeficientu $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, H_0, D_0, p, q$ vērtības redzamas 3.29. tabulā.

3.29. tabula

Empīrisko koeficientu vērtības

Koef.	Koku suga							
	P	E	B	A	M	Ba	O	Os
a_0	118,981	113,939	120,567	110,428	120,224	118,560	120,958	117,999
a_1	-277,578	-20,061	-312,074	-143,288	-310,985	-263,482	-354,769	-282,941
a_2	1140,525	827,209	1388,288	530,481	1450,125	988,135	2022,206	1411,064
a_3	-3037,487	-2161,251	-3725,819	-1643,304	-4238,708	-2376,874	-6736,346	-4542,395
a_4	4419,682	2732,076	5197,006	2606,605	6644,011	3045,214	11231,250	7964,660
a_5	-3361,780	-1699,667	-3788,858	-2212,940	-5408,312	-2137,684	-9254,632	-7175,007
a_6	997,657	390,755	1120,891	752,018	1743,640	626,181	2971,333	2506,620
H_0	26	33	20	18	14	16	14	21
D_0	30	36	28	30	12	16	20	20
p	0,0070	0,0087	0,0210	0,0074	0,0264	0,0168	0,0263	0,0263
q	-0,0070	-0,0197	0,0000	0,0002	-0,0017	-0,0103	0,0005	0,0000
b_0	12,90	5,35	9,61	7,57	8,34	5,02	12,81	8,31
b_1	-55,16	-7,57	-39,92	17,99	0,93	-10,66	-53,23	-19,75
b_2	116,32	20,37	117,49	43,35	20,45	25,69	156,65	47,60
b_3	-110,12	-13,10	-134,22	-37,07	-62,45	-21,97	-178,96	-40,70
b_4	40,96	5,45	55,73	14,24	55,00	8,44	74,31	15,64

Lietkokšnes sortimentu tilpumu aprēķina bez mizas. Metodes autors iesaka stumbra caurmēru bez mizas d_x^* (cm) griezuma augstumā h^* (m) novērtēt pēc mizas caurmēra funkcijas $Q_4(x)$:

$$d_x^* = d_x \left(1 - \frac{Q_4(x)}{100} \right), \quad (3.96.)$$

kur

$$Q_4(x) = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + b_4x^4. \quad (3.97.)$$

Empīrisko koeficientu b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 vērtības redzamas 3.29. tabulā.

Piemērs. Egles augstums $h = 24,0$ m, krūšaugstuma caurmērs $d = 24$ cm. Uzdevums – noteikt šī koka stumbra caurmēru ar un bez mizas 10,0 m augstumā. Tātad $x = 10/24 = 0,417$ un $z = 1,3/24 = 0,0542$. Ievērtējot 3.29. tabulas koeficientus, kā arī x un z vērtības, iegūstam: $P_6(x) = 66,46$;

$k = 1,322$; $P_6(z) = 107,77$; $Q_4(x) = 7,5\%$. Tāpēc $f(x) = 1,322 \cdot 66,46 = 87,84$; caurmērs ar mizu dotajā augstumā $d_x = 24,0 \cdot 87,84 / 107,77 = 19,6$ cm. Salīdzinot ar R. Markusa stumbru raukuma tabulām, relatīvās kļūdas $\Delta d_x = 2,0\%$ un $\Delta d_x^* = 0,0\%$, kas norāda uz izteiksmju (3.92.) un (3.96.) augstu atbilstību.

Katra dotā sortimenta tilpumu ar mizu v vai bez mizas v^* ar galu griezumu augstumiem h_1^* un h_2^* izsaka sakarības:

un

$$v = \frac{\pi}{4 \cdot 10^4} \int_{h_1^*}^{h_2^*} d^2 dh \tag{3.98.}$$

$$v^* = \frac{\pi}{4 \cdot 10^4} \int_{h_1^*}^{h_2^*} (d^*)^2 dh.$$

$$\tag{3.99.}$$

Paraugkoku un raukuma metodes daļēji ir līdzīgas. Pēdējās atšķiras ar to, ka nav jāizvēlas, jācērt un jāsastrādā paraugkoki. To visu veic nosacīti pēc raukuma tabulu vai vienādojuma datiem un līdz ar to tiek izslēgta vērtētāja subjektīvā ietekme. Turklāt raukuma metodes ir vienkāršākas un, strādājot ar tām, darbs rit raitāk. Kā norāda V. Zaharovs, sortimentācijas rezultāti ir tuvi datiem, kas iegūti, vērtējot sagatavotos apaļos kokmateriālus. Pastāv divi ierobežojumi: taksatora rīcībā jābūt dotajam reģionam atbilstošām raukuma tabulām vai veidules vienādojumam un sortimentējamās audzes nedrīkst saturēt kokus ar vainām, jo raukuma datus tās nav ietvertas. Otro nosacījumu var apmierināt tikai daļēji, jo reālos apstākļos tādu audžu nav. Tāpēc tādu metožu noteiktība, kas tieši atkarīga no vērtējamo audžu sanitārā stāvokļa, ir zemāka nekā paraugkoku metodēm.

3.15.4. Parauglaukumu metode

Paraugkoku metožu noteiktību būtiski ietekmē pareiza paraugkoku izvēle. Tāpēc pētnieciskajā darbā nereti lieto parauglaukumu metodi. Kā piemērus var minēt dažādu normatīvu izstrādi un valstīs ar nepilnīgi apgūtiem mežu resursiem arī šo mežu sortimentu struktūras apzināšanu. Pēc šīs metodes audzē ierīko vienu vai vairākus parauglaukumus. To skaitu atkarībā no nozīmīgāko sortimentu iznākuma variēšanas intensitātes aprēķina pēc formulas (3.48.). Katrā parauglaukumā visus kokus nocērt un sastrādā sortimentos. Sortimentu tilpumu aprēķina ar paraugkoku metodi. Tāpēc ikviens parauglaukuma koks ir arī paraugkoks un līdz ar to ir novērsta iespēja izraudzīties mazraksturīgus kokus. Ja parauglaukumi ir reprezentatīvi, šī metode labāk nekā pārējās atsedz audzes sortimentu struktūru, jo parauglaukumos sastopami dažādu dimensiju un kvalitātes koki, to skaitā arī koki ar slēptajām koksnes vainām, neraksturīgas formas stumbriem u. c. īpatnībām.

Metode ir darbietilpīga. Taču galvenās grūtības tās izmantošanā ir saistītas ar parauglaukumu vietu izvēli. Tie jāiekārto tādās vietās, kas audzi raksturo ne tikai pēc sastāva un biežības, bet arī pēc koksnes vainu rakstura un sastopamības. Nepatīkamākais ir tas, ka audzes un parauglaukumu mežu elementu vidējā caurmēra vērtībām un koku skaita sadalījumam pa caurmēra pakāpēm un koku tehniskā derīguma kategorijām ir jābūt aptuveni līdzīgiem lielumiem, jo no tā ir atkarīgi sortimentu sastāvs un daudzums.

Sortimentācijas metožu noteiktību nosaka meža elementa krājas aprēķināšanas kļūdas un dotā sortimentu veida relatīvais iznākums. Krievijas mežkopji, pētot parauglaukumu metodes noteiktību, noskaidrojuši, ka šo atkarību izsaka formula

$$p_s = kp_v,$$

$$\tag{3.100.}$$

kur p_s ir dotā sortimenta veida iznākuma kļūda (%), p_v – krājas aprēķināšanas kļūda (%) un k – koeficients, kas atkarīgs no dotā sortimenta veida iznākuma īpatsvara P , kas izteikts procentos no kopīgā lietkoksnes daudzuma. Noskaidrotas šīs atkarības skaitliskās vērtības (3.30. tab.).

3.30. tabula

Formulas (3.100.) koeficienta k vērtības

$P, \%$	k	$P, \%$	k
100	1,00	50	1,36
90	1,07	40	1,48
80	1,13	30	1,65
70	1,20	20	1,88
60	1,27	10	2,34

No 3.30. tabulas seko, ka, ja $P = 50\%$, $k = 1,36$ un šī sortimentu veida noteikšanas kļūda p_s ir 1,36 reizes lielāka par meža elementa krājas aprēķināšanas kļūdu p_v . Piemēram, ja $p_v = 7\%$ un zāģbaļķu $P = 70\%$, $p_s = 1,20 \cdot 7 = 8,4\%$. Samazinoties P , p_s strauji palielinās. Tā, ja $P = 10\%$ un $p_v = 7\%$, $p_s = 2,34 \cdot 7 = 16,4\%$.

Sakarība (3.100.) paliek spēkā arī tad, ja lieto citas sortimentācijas metodes. Tā uzskatāmi liecina par to, ka lielāka iznākuma sortimenti tiek vērtēti precīzāk. Atzīmēsim, ka tad, ja ierīko vairākus parauglaukumus, sortimentēšanas kļūda samazinās apgriezti proporcionāli kvadrātsaknei no parauglaukumu skaita.

3.15.5. Sortimentu tabulu metode

Izstrādājot vienādu dimensiju un kvalitātes kokus, iegūst līdzīgus sortimentu veidus un to daudzumus. Tāpēc ir iespējams sastādīt tabulas, kurās bez stumbru tilpuma ar un bez mizas ietverti rādītāji, kas izmantojami audžu sortimentēšanā. Šīs tabulas sauc par sortimentu tabulām. Ir izstrādāts ļoti daudz dažādu sortimentu tabulu. Te jāpiemin tādi autori kā A. Švapahs, A. Langs (Lang A.), K. Fogels (Vogel K.), G. Mitčerihs, N. Anučins, F. Moisejenko u. c. (Korf V., 1953). Pastāv uzskats, ka pirmās šādas tabulas, kas bija lietojamas augošu koku kopu praktiskā sortimentēšanā, sastādīja Krievijā 19. gs. astoņdesmitajos gados. Kaut gan to atbilstības pakāpe nebija sevišķi augsta, kļuva iespējami relatīvi ātri un vienkārši kvantitatīvi raksturot audžu sortimentu struktūru.

Īpaši lielu ieguldījumu sortimentu tabulu izveidošanā devis Šveices mežkopis F. Flurijs. Metodiskie principi, kas īstenoti viņa 1916. gadā izdotajās tabulās eglei, balteglei un dižskābardim, daudzējādi ietekmēja audžu sortimentācijas jautājumu pētīšanu visās attīstītas mežsaimniecības zemēs. F. Flurija tabulas orientētas pēc koku krūšaugstuma caurmēra un augstumklasēm (diference starp tām – 2 m). Zinot interesējošās stumbra daļas tievgaļa caurmēru ar mizu un garumu, tabulās var nolasīt tās tilpumu ar mizu. Turklāt stumbra daļas tilpums uzrādīts arī procentos no lietkoksnes iznākuma, kā arī dots lietkoksnes daļas garuma procents, kas izteikts no koka augstuma.

Bijušās PSRS teritorijā izplatītākās ir N. Anučina vadībā izstrādātās vispārīgās sortimentu tabulas, kas pirmo reizi izdotas 1931. gadā. Plaši pazīstamas ir arī F. Moisejenko tabulas. Minētās tabulas orientētas pēc krūšaugstuma caurmēra un augstumšķiras. Tās satur datus par stumbru tilpumu ar un bez mizas, koksnes kvalitātes kategorijām, *lietkoksnes resnuma grupām* un galvenajiem sortimentiem. Izšķir trīs koksnes kvalitātes kategorijas – lietkoksnī, malku un atliekas (atkritumus). Lietkoksnē ir tā rūpnieciskajos sortimentos sastrādājamā stumbra daļa, kuras tievgaļa caurmērs bez mizas $d_i \geq 6,0$ cm. Lietkoksnī izdala tikai no lietkokiem. Tāpēc līdzīgi kā darbā ar citām metodēm arī šinī gadījumā puslietkoku skaitu sadala divās vienādās daļās un katru no tām pieskaita lietkokiem un malkaskokiem. Lietkoksnes tilpumu aprēķina bez mizas. Šīs daļas mizas tilpums sastāda atliekas, bet galotnes daļa ar mizu ($d_i \geq 3,0$ cm) – malku. Malkaskoku tilpums noteikts stumbriem ar mizu.

Sortimentu tabulu vienkāršākas izstrādes un izmantošanas dēļ lietkoksnī iedala trīs resnuma grupās (kvalitātes klasēs) – resnā, vidējā un tievā. Resnajai pieskaita to stumbra daļu, kuras tievgaļa caurmērs $d_i \geq 25,0$ cm, vidējai $d_i = 13,5 - 24,9$ cm un tievajai $d_i < 13,5$ cm. Atbilstoši šim iedalījumam līdzīgi grupējas lietkoksnes sortimenti.

Dažādu autoru sortimentu tabulas atšķiras. Tas izskaidrojams gan ar metodiskā risinājuma savdabīgumu, gan tabulu diferencēšanas virzieniem. Atšķiras pat viena un tā paša pētnieka tabulu dažādi izdevumi. Uzskatāms piemērs šajā ziņā ir plaši pazīstamās N. Anučina sortimentu tabulas. Salīdzinot to pirmo izdevumu 1931. gadā ar septīto papildināto un pārstrādāto 1981. gadā, var redzēt sortimentu tabulu attīstības tendences, kas izpaužas kā saturā, tā uzbūvē. Pirmkārt, to nosaka izmaiņas valsts standarta prasībās, kas saistošas jebkurā gadījumā. Tāpēc ir loģiski, ka sortimentu veidi un īpatsvāri ir citādi. Otrkārt, izdalīta ceturrtā koksnes kvalitātes grupa – *tehnoloģiskā koksne*. Treškārt, malkas daudzums sadalīts divās daļās – tehnoloģiskajā koksnē un kurināmajā malkā.

Sortimentu tabulu diferencēšana notiek vairākos virzienos. Viens no tiem ir atteikšanās no augstumšķiru principa nolūkā paaugstināt sortimentēšanas kvalitāti. Piemēram, I. Gogošidzes 1979. gada tabulās koku augstums diferencēts ar 1 m soli. Kā otru tabulu atbilstības paaugstināšanas veidu var minēt lietkoksnes resnuma grupu sadalīšanu resnuma klasēs. Šajā ziņā dažādi autori lietojuši atšķirīgus kritērijus, iegūstot arī atšķirīgu klašu skaitu. Piemēram, N. Anučins izdalījis septiņas resnuma klases: rupjajai lietkoksnē I un II, vidējai – III, IV un V, tievajai – VI un VI^a. F. Moisejenko izdalījis četras, N. Tretjakovs un P. Gorskis – deviņas resnuma klases. Visās minētajās tabulās atšķirīgs ir ne tikai klašu skaits, bet arī to piederība resnuma grupām, kā arī d_i robežvērtības. Šī iemesla dēļ

lietkoksnes iedalījumam resnuma klasēs ir visai nosacīta praktiskā nozīme. Vēl cits sortimentēšanas diferencēšanas virziens ir saistīts ar sortimentu iedalīšanu šķirās. Tas izmantots arī Latvijā. Šeit, piemēram, skujkoku un cieto lapkoku zāģbaļķi iedalīti četrās, mīksto lapkoku zāģbaļķi – trijās un finierkluči – divās šķirās. Jāatzīmē, ka daļa autoru (A. Tebera) apšaubā šķiru izdalīšanas lietderību, norādot uz lielām kļūdām atsevišķu šķiru sortimentu tilpuma noteikšanā.

Tradicionāli sortimentu tabulās uzrāda bagātīgu informāciju – stumbru krūšaugstuma caurmēru, augstumu, tilpumu ar un bez mizas, lietkoku lietkoksnes sadalījumu pa resnuma grupām un nozīmīgākajiem sortimentiem, kā arī lietkoku un malkaskoku tehnoloģiskās koksnes, malkas un atlieku iznākumu. Latvijā šī informācija izdota divās daļās, no kurām pirmā satur lietkoksnes sadalījumu pa resnuma grupām, otrā – pa sortimentiem (3.31. tab.). Tabulu autors – R. Ozoliņš. Tabulas skaitļi iegūti, integrējot paša autora izstrādāto bezmizas stumbra veidules vienādojumu, ievērojot maksimālās kvalitātes principu (sortimentu prioritātes).

3.31. tabula

Lietkoku sortimentu iznākums. Egle
(пес Нормативы для...,1988) (fragments)

d, cm	h, m	v ar mizu, m³	Sortimenti, m³					Tehn. kok- sne, m³	Malka, m³	Atliekas, m³
			stabi	zāģ- baļķi	būv- baļķi	balsteņi	kopā			
8	6	0,020				0,018	0,018	–	–	0,002
8	9	0,028				0,024	0,024	–	0,001	0,003
8	12	0,036				0,031	0,031	–	0,001	0,004
12	10	0,068				0,059	0,059	–	0,002	0,007
12	14	0,090				0,079	0,079	–	0,002	0,009
12	17	0,107				0,093	0,093	–	0,002	0,012
16	13	0,15				0,13	0,13	–	0,01	0,01
16	17	0,19				0,16	0,16	0,01		0,02
16	21	0,22				0,20	0,20	–	–	0,02
20	15	0,25		0,15		0,07	0,22	–	0,01	0,02
20	20	0,33	0,21			0,07	0,28	0,01	0,01	0,03
20	25	0,40	0,23			0,13	0,36	–	–	0,04
24	17	0,40		0,21		0,13	0,34	–	0,02	0,04

Sortimentu secība tabulās ir sastādīta prioritāri to saimnieciskās vērtības samazināšanās virzienā. Tas nozīmē, ka pirmajam sortimentam ir vislielākā vērtība un katram nākamajam sortimentam tā samazinās (maksimālā izdevīguma jeb kvalitātes princips). Tāpēc stumbru izvērtē tā, lai pirmā sortimenta iznākums būtu pēc iespējas lielāks. Tāds augstākās prioritātes sortiments 3.31. tabulā ir stabi. Secības katra nākamā sortimenta tilpums ir noteikts no tās stumbra daļas, kas palikusi pēc iepriekšējo sortimentu izdalīšanas. Protams, laika gaitā prioritāšu rinda var mainīties atbilstoši reģiona tautsaimniecības pieprasījumam. Taču kopumā šāds risinājums ir attaisnojies.

Mežsaimniecības praksē ne mazāk nozīmīga ir *sortimentu savstarpējai aizstājamībai*, kas pamatojas uz to, ka no viena stumbra var izstrādāt dažādus sortimentus. Dažkārt ir tā, ka kokmateriālu sagatavošanas struktūra neatbilst maksimālās kvalitātes principam un ir jāsagatavo iespējami daudz kādu vienu vai vairāku sortimentu veidu. Tādos gadījumos nav nepieciešams sastādīt īpašas sortimentu tabulas, var izmantot esošās, veicot attiecīgu pārrēķināšanu. N. Anučins kā praktiskāko iesaka sortimentu aizstājamības koeficientu paņēmieni. *Sortimenta aizstājamības koeficients* raksturo tā maksimālo iznākumu doto dimensiju stumbrā. Tie izteikti stumbru bezmizas tilpuma daļās (Варин А. и др., 1978). Kā piemēru var minēt šo autoru ieteiktos koeficientus, kas izstrādāti Krievijas Eiropas daļas egļu audzēm, izmantojot vairāk nekā 29 tūkst. paraugkoku datus (3.32. tab.).

Egles sortimentu aizstājamības koeficienti (pēc Вагин А. и др., 1978)

Caurm. pak., cm	Sortimenti										
	gulšņu kluči	kuģu specs.	zāgbaļ- ķi	stabi	būv- baļķi	tar. kluči	pap. malka	balste- ņi	sīkkoki	kārtis	liet- koks.
8							0,18	0,58		0,85	0,85
12						0,46	0,75	0,81	0,73	0,89	0,89
16					0,63	0,77	0,87	0,87	0,85	0,44	0,91
20			0,68	0,67	0,78	0,88	0,94	0,93	0,54	0,23	0,94
24		0,40	0,84	0,82	0,88	0,94	0,96	0,94	0,20	0,13	0,96
28	0,19	0,50	0,89	0,87	0,91	0,95	0,96	0,95	0,09	0,02	0,97
32	0,56	0,61	0,91	0,90	0,92	0,95	0,63	0,73			0,97
36	0,67	0,57	0,93	0,92	0,93	0,96	0,42	0,52			0,97
40	0,75	0,59	0,94	0,78	0,94	0,97	0,27	0,34			0,97
44	0,84	0,61	0,95	0,71	0,94	0,97	0,21	0,25			0,97
48	0,85	0,62	0,96	0,62	0,95	0,97	0,17	0,21			0,97
52	0,86	0,63	0,96	0,46	0,95	0,97	0,12	0,19			0,97
56	0,86	0,63	0,96	0,40	0,95	0,97	0,09	0,17			0,98
60	0,86	0,64	0,96	0,34	0,95	0,98	0,07	0,15			0,98

Vajadzīgo sortimentu iznākums

$$V_s = \left(k_s - \frac{\sum V_s}{V} \right) V, \tag{3.101.}$$

- kur V_s – attiecīgā sortimenta veida iznākums, m³;
 $\sum V_s$ – 3.32. tabulas secībā iepriekšējo sagatavojamo sortimentu kopējais tilpums, m³;
 V – dotās caurmēra pakāpes krāja bez mizas, m³;
 k_s – dotā sortimenta aizstājamības koeficients (3.32. tab.).

Piemēram, ja uzdevums būtu maksimāli iegūt gulšņu klučus un, teiksim, caurmēra pakāpē $d = 32$ cm krāja $V = 263$ m³,

$$V_s = 0,56 \cdot 263 = 147 \text{ m}^3,$$

jo šis sortimentu veids 3.32. tabulā ieņem pirmo vietu un tāpēc $\sum V_s = 0$. Turpretī, ja uzdevums ir iegūt iespējami lielāku gulšņu kluču, zāgbaļķu un taras kluču iznākumu, tad zāgbaļķu

$$V_s = \left(0,91 - \frac{147}{263} \right) \cdot 263 = 92 \text{ m}^3$$

un taras kluču

$$V_s = \left(0,95 - \frac{147 + 92}{263} \right) \cdot 263 = 11 \text{ m}^3.$$

Sagatavojamo trīs sortimentu veidu iznākums dotajā caurmēra pakāpē $V = 147 + 92 + 11 = 250$ m³. Lietkoksnes kopējā iznākuma koeficients ir 0,97. Tāpēc lietkoksnes $V = 0,97 \cdot 263 = 255$ m³. Starpību $255 - 250 = 5$ m³ jāplāno sastrādāt tehnoloģiskajā koksnē vai sortimentos, kas tievāki par minētajiem.

Izšķir vairākus sortimentu tabulu sastādīšanas paņēmienus. Pirmais no tiem ir saistīts ar stumbru raukuma tabulu izmantošanu. Pēc paraugkokiem nosaka katras koku sugas stumbru lietkoksnes daļas relatīvo garumu. N. Anučins konstatējis, ka šis rādītājs nav atkarīgs no augstumšķiras un bonitātes. Priedei un eglei tas ir 80%, ciedram, lapeglei un balteglei – 70%, bērzam – 50% un apsei – 43% no koka augstuma. Zinot šos datus, katras sugas augstumšķiras un caurmēra pakāpes stumbru lietkoksnes daļu izsaka metros un pēc raukuma tabulām veic attiecīgo dimensiju stumbru nosacītu sadalīšanu sortimentos, ievērojot to prioritāti. Sortimentu tilpumu arī nosaka pēc raukuma tabulām. Iegūto sortimentu veidu tilpumus izlīdzina, saskaņo un ieraksta topošo sortimentu tabulu attiecīgajās ailēs. Pēc aprakstītā

paņēmiena sastādītas N. Anučina un F. Moisejenko tabulas. Šim risinājumam piemīt vairāki trūkumi. Pirmkārt, caurmēra pakāpes vidējā caurmēra koks nav vidējais arī sortimentu iznākuma ziņā. Starpība palielinās, pieaugot caurmēra pakāpju diskretumam un, kā norāda F. Semeņuta (Семенюта Ф., 1961), 4 cm soļa gadījumā tas dod jaušamu sistemātisku kļūdu. Otrkārt, raukuma tabulu nepilnības automātiski pāriet sortimentu tabulās.

Pēc otrā paņēmiena aprēķinātā daudzuma (formula 3.48.) paraugkokus nocert un atbilstoši spēkā esošā standarta prasībām sastrādā sortimentos. Turklāt lietkokus, puslietkokus un malkaskokus vērtē atsevišķi. Sortimentu tilpumu nosaka pēc apaļo kokmateriālu tilpuma tabulām. Katras caurmēra pakāpes koksnēs kvalitātes grupu, lietkoksnēs resnuma grupu un sortimentu veidu iznākumus izsaka procentos no stumbru kopējā tilpuma un grafiski vai analītiski izlīdzina. Rezultātus ieraksta topošo sortimentu tabulu attiecīgajās ailēs. Pēc šī paņēmiena sastādītas N. Treťjakova un P. Gorska tabulas. Šī tipa tabulām nepiemīt iepriekšminētie trūkumi. Bez tam tās kā jau vietējās tabulas labāk atsedz koksnēs vainu ietekmi.

Kā trešo un pilnīgāko minēsim stumbra veidules integrēšanas paņēmienu, kas R. Ozoliņa īstenots Latvijas audžu sortimentēšanā. Tā apraksts dots iepriekš.

Līdzšinējā pieredze liecina, ka sortimentu tabulu metodei ir vairākas priekšrocības. Pirmkārt, tā ir relatīvi vienkārša un to ātri un vienozīmīgi apgūst dažādas kvalifikācijas darbinieki. Otrkārt, šīs metodes lietošana praksē lielāka reģiona teritorijā nodrošina meža sortimentēšanas unifikāciju. Treškārt, tās noteiktība ir pietiekoša. Slovākijas mežkopis A. Priesols secinājis, ka rūpīgi strādājot, audzes krāju iespējams novērtēt ar $\pm 5\%$ kļūdu. N. Anučina pētījumi liecina, ka labākajā gadījumā var sasniegt $\pm 6 - 7\%$. K. Ņikitins un A. Švidenko norāda, ka kļūda ir atkarīga no koku sugas un koksnēs kvalitātes grupas. Pēc viņu domām, skujkoku audzēm iespējams krājas vērtējums ar $\pm 6\%$, lapkoku audzēm $\pm 8\%$, bet lietkoksnē $\pm 8\%$ un 10% . Minētie skaitļi attiecas uz rezultātu ticamības līmeni 0,683. Mazāk precīza ir atsevišķu sortimentu taksācija.

Sortimentu metodes lielākais trūkums ir koku dastošana un grupēšana tehniskā derīguma kategorijās. Šīs operācijas prasa ne tikai lielu laika un darba patēriņu, bet ir saistītas arī ar kļūdu palielināšanos. M. Prodans raksta, ka koku skaits, kas iegūts atkārtotā dastošanā, atšķiras par $2-2,5\%$. G. Kulakovs šinī sakarībā min $\pm 4\%$. K. Ņikitins un A. Švidenko novērojuši, ka lietkoku skaitu parasti nosaka ar pozitīvu sistemātisku kļūdu, piemēram, eglei tā ir $0,8\%$, dižskābardim $1,8\%$. Zināmu kļūdu izraisa tas, ka sortimentu tabulas ir sastādītas atbilstoši formas koeficienta q_2 vidējai vērtībai. Konkrēto audžu un koku novirzes no tās izsauc $\pm 4 - 5\%$ kļūdu, bet, kā norāda F. Moisejenko, koku sugas areāla nomalēs, kalnos, pārpurvotos mežos u. c. nelabvēlīgos augšanas apstākļos kļūda var sasniegt 20% un dažkārt pat vairāk. Kā zināms, sortimentu tabulās stumbru tilpums noteikts, to garumu skaitot no sakņu kakla. Tāpēc salīdzinājumā ar sagatavoto kokmateriālu vērtējumu izpaužas pozitīva sistemātiska $1-3\%$ kļūda, kas izsaka celma ietekmi. Vairāki autori arī atzīmē, ka esošo sortimentu tabulu caurmēra diapazons ir par mazu. Nereti jāvērtē koki, kuru krūšaugstuma caurmērs ir lielāks.

3.15.6. Preču tabulu metode

Dažkārt ir tā, ka datus par kādas atsevišķas audzes, kā arī teritoriālu vai saimniecisku audžu kopu sortimentu struktūru nepieciešams iegūt ātri, neveicot nekādus papildu mērījumus. Vienīgā izejas informācija ir meža inventarizācijas rezultāti. Kā piemēru var minēt Krievijas praksi, kas saistīta ar kokapstrādes uzņēmumu projektēšanu nepilnīgi apgūto mežu teritorijās. Šo uzņēmumu jauda iepriekš ir jāsaprāta ar izejvielu bāzi, sortimentu struktūru ieskaitot. Šāda ekspresinformācija ir noderīga daudzos gadījumos arī intensīvi apsaimniekotu mežu reģionos. Šīs informācijas galvenā iezīme nav tik daudz precizitāte, cik iespēja to iegūt ātri un lēti. Šādiem nosacījumiem sortimentu tabulu metode nav piemērota, jo tās neatņemama sastāvdaļa ir katras audzes vai vismaz tās daļas dastošana. Tāpēc ir izstrādāta atbilstoša metode, kas ieguvusi *preču tabulu* metodes nosaukumu.

Atšķirībā no sortimentu tabulām, kurās uzrādīta atsevišķu doto dimensiju koku sortimentu iznākums, preču tabulās apkopoti vidējie dati par audžu sortimentu struktūru. Tāpēc arī dažkārt tās dēvē par audžu sortimentu tabulām. To veids un tajās ietvertās informācijas saturs var būt atšķirīgs, taču visos gadījumos audžu sortimentu iznākums ir izteikts procentos.

Pirmās nozīmīgākās šāda tipa tabulas eglei, balteglei un dižskābardim izdotas 1916. gadā. To autors ir Šveices mežkopis Ph. Flurijs (Korf V., 1953). Viņa tabulas orientētas pēc bonitātes un vecumklases, tās uzrāda audzes lietkoksnēs daudzuma un krājas sadalījumu pa caurmēra klasēm. Ph. Flurija tabulas ir relatīvi primitīvas un šodien tām ir galvenokārt vēsturiska nozīme. Vācijā pirmās

preču tabulas izstrādātas laika posmā no 1926.–1929. gadam. Tās ietver datus par priežu un egļu audzēm. Abām sugām tie doti atsevišķi galvenajai un starpauzē, bet eglei tabulas vēl diferencētas pēc augšanas vietas – līdzenumā vai kalnos. Tabulas orientētas pēc audzes vecuma un bonitātes un uzrāda lietkoksnes un malkas relatīvo iznākumu. Turklāt lietkoksnē sadalīta 12 un malka 2 kategorijās. Šīs tabulas 1932. gadā izdevis V. Rothkegels (Korf V., 1953).

Krievijā pirmās preču tabulas izstrādātas N. Anučina vadībā 20. gs. trīsdesmito gadu sākumā. To jaunākais variants izdots kopā ar sortimentu tabulām 1981. gadā. Tabulas orientētas pēc audzes vidējā caurmēra un *sortimentu klases*. Tabulu autors izšķir trīs sortimentu klases, ar tām saprotot audzes koku skaita sadalījumu pa tehniskā derīguma kategorijām vai lietkoksnes relatīvā daudzuma (3.33. tab.).

3.33. tabula

Audzū sortimentu klases (pēc Анучин Н., 1977)

Sortimentu klase	Lietkoku skaits, %		Lietkoksnē, %	
	skujkoki	lapkoki	skujkoki	lapkoki
1	>91	>71	>81	>71
2	71 – 90	45 – 70	61 – 80	51 – 70
3	<70	<45	<60	<50

Krievijā plaši pazīstamas N. Tretjakova un P. Gorska preču tabulas, kā arī sastādīts daudz dažādu vietējo tabulu. Daļa no tām orientētas arī pēc augstumsšķiras, kas vēlāk gan izrādījās lieki, jo vienāda vidējā caurmēra un sortimentu klases audžu sortimentu, lietkoksnes resnuma grupu un koksnis kvalitātes grupu iznākuma procents no bonitātes un augstumsšķiras nav atkarīgs.

Latvijā preču tabulas izstrādātas bērzam. Tās orientētas pēc audzes vecuma un bonitātes. Baltijas reģionam piemērotas briestaudzēm un vecākām audzēm Lietuvā sastādītās preču tabulas, kuru autori ir J. Kenstavičus un A. Kuliešis (3.34. tab.).

3.34. tabula

Lietuvas egles audžu preču tabulas (pēc Нормативы...,1988)

Vid. caurm., cm	Krāja,%										
	lietkoksnē						malka			atliekas	pavisam
	R	vidējā			T	kopā	dedzi- nāmā	tehnoloģiskā	kopā		
		24,8 – 19,0	18,9 – 13,5	kopā							
8	–	–	–	–	67,0	67,0	3,0	9,0	12,0	21,0	100,0
12	1,4	1,6	19,9	21,5	52,8	75,7	3,1	5,3	8,4	15,9	100,0
16	9,6	12,4	31,1	43,5	30,2	83,3	2,0	2,8	4,8	11,9	100,0
20	20,5	19,3	27,2	46,5	18,0	85,0	1,7	2,0	3,7	11,3	100,0
24	30,9	23,0	21,7	44,7	10,3	85,9	1,6	1,8	3,4	10,3	100,0
28	42,3	21,0	15,6	36,6	6,4	85,3	2,1	2,1	4,2	10,5	100,0
32	53,9	17,7	10,7	28,4	4,1	86,4	1,8	1,8	3,6	10,0	100,0
36	61,3	13,6	7,3	20,9	2,8	85,0	2,7	2,4	5,1	9,9	100,0
40	66,8	9,0	5,0	14,9	1,9	83,6	3,7	3,2	6,9	9,5	100,0

Pēc G. Mitčerliha, izšķir sintētisko, statistisko un kombinēto preču tabulu sastādīšanas metodi. Visu to pamatā ir likumsakarība par meža elementa koku skaita sadalījumu pa caurmēra pakāpēm. Pēc sintētiskās metodes, katras caurmēra pakāpes vidējo koku sortimentē, izmantojot atbilstošas sortimentu tabulas. Šajā operācijā izdala visas tās kategorijas, kas paredzētas iekļaut preču tabulās. Zinot koku skaita sadalījumu, katras caurmēra pakāpes koku skaitu pareizina ar attiecīgās kategorijas iznākumu šajā caurmēra pakāpē. Šo reizinājumu summa ir šīs kategorijas iznākums audzē. Tālāk lietkoksnes, tehnoloģiskās koksnis, malkas un atlikumu daudzumu izsaka procentos no krājas, bet lietkoksnis resnuma grupu un sortimentu veidu iznākumu – no lietkoksnis daudzuma. Iegūtos datus izlīdzina un ieraksta preču tabulās. Ja sortimentu tabulās lietkoksnis resnuma grupas nav dotas, papildus lieto stumbru raukuma tabulas. Pēc sintētiskā paņēmiena sastādītas N. Anučina tabulas.

Statistiskā metode paredz parauglaukumu un paraugkoku reālu sortimentēšanu un datu statistisku apstrādi. Kā papildu informāciju izmanto cirsmu kokmateriālu uzskaites datus. Šī metode ir līdzīga sortimentu tabulu sastādīšanas otrajam veidam. Nocirsto koku sortimentēšanas rezultātus attiecīgi izsaka procentos un grupē atbilstoši izstrādājamo tabulu struktūrai. Atsevišķo kategoriju empīriskos datus analītiski vai grafiski izlīdzina un ieraksta preču tabulās. Šī metode ir ļoti darbietilpīga. Tāpēc to parasti lieto tad, ja dotajā reģionā iepriekš nav sastādītas sortimentu tabulas. Ja tādas ir, praktiski strādā ar kombinēto metodi. Šinī gadījumā atsevišķu caurmēra pakāpju kokus sortimentē pēc sortimentu tabulām, bet, lai šādi iegūtus skaitļus attiecinātu uz visu audzi un izteiktu procentos, koku skaita sadalījumu pa caurmēra pakāpēm nosaka, dastojot atbilstošās audzēs ierīkotos parauglaukumus. Tādējādi panāk kā ievērojamu laika un darbaspēka ietaupījumu, tā arī konkretizētu, dotajam reģionam raksturīgu koku skaita sadalījumu pēc resnuma, kas paaugstina preču tabulu noteiktību.

3.15.7. Reģiona sortimentu struktūra

Kaut arī preču tabulu lietošana ir ļoti ērta, tā tomēr prasa katras audzes atsevišķu taksāciju. Taču, plānojot ar koksnes izmantošanu saistīto tautsaimniecības nozaru attīstību, šāds risinājums ir pārāk detalizēts. Šinī gadījumā ir vajadzīgi dati par veselu meža masīvu vai audžu teritoriālo koku sortimentu vidējo struktūru. Sevišķi nozīmīga ir *cirsmu fonda* audžu sortimentu iznākums. Par cirsmu fondu sauc zināmā laika posmā izstrādājamo galvenās izmantošanas cirsmu kopu. Šīs kategorijas audžu daudzveidība ir ļoti liela. Tāpēc informācija par sortimentu vidējo struktūru dotajā reģionā ir aptuvena. Tā ir atkarīga no dažādiem apstākļiem. Taču visvairāk to ietekmē koku suga, bonitāte un sanitārā situācija. Uz šīs atziņas pamata N. Anučins sastādījis bijušās PSRS ekonomisko rajonu cirsmu fonda audžu sortimentu relatīvā iznākuma tabulas. Latvijai domātie dati redzami 3.35. tabulā.

3.35.tabula

Cirsmu fonda sortimentu iznākums (pēc N. Anučina)

Koku suga	Koksnes kvalitātes grupa, %				Koksnes resnuma grupas, % no lietkoksnē			
	lietkoksnē	tehnol. koksne	malka	atliekas	resnā $d \geq 25$ cm	vidējā		tievā 3–13 cm
						$d_t = 19–24$ cm	$d_t = 14–18$ cm	
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
Priede	86	1	1	12	38	37	19	6
Egle	84	3	4	9	34	39	19	8
Bērzs	68	10	11	11	38	37	19	6
Apse	48	24	14	14	36	38	19	7

3.35. tabulas turpinājums

Koku suga	Sortimentu iznākums, % no lietkoksnē								
	zāģbaļķi	būvbaļķi	gulšņu kluči	balsteņi	papīrmalka	finierkluči	taraskluči	sērkoc.kluči	dažādi
1.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.
Priede	57	15	5	12	11				
Egle	49	14	3	8	26				
Bērzs	8				12	40	10		30
Apse	20				20		15	20	25

Redzams, ka 3.35. tabula orientēta tikai pēc koku sugas. Audžu kopas četru koksnes kvalitātes grupu iznākums izteikts procentos no šo audžu kopējās krājas. Savukārt lietkoksnē resnuma grupu un galveno sortimentu veidu iznākums – procentos no lietkoksnē daudzuma. Šādu tabulu skaitļi aprēķināti, ievērtējot audžu kopas platību sadalījumu pa bonitātēm. Šie dati iegūti no meža inventarizācijas materiāliem. Tālāk pēc augšanas gaitas tabulām noteiktas katras bonitātes audžu vidējo caurmēru vērtības. Šī informācija ir pietiekoša, lai izmantotu preču tabulas, pēc kurām aplēstu katras bonitātes minēto sortimentēšanas kategoriju procentuālos iznākumus. Pēdējos izsverot ar bonitāšu platībām

dotajā reģionā un datus izlīdzinot, iegūti dotās audžu kopas sortimentu iznākuma skaitļi. Atzīmēsim, ka atkarībā no dotā reģiona kokmateriālu sagatavošanas specifikas un cirsmu izstrādes racionalitātes sortimentu reālais iznākums var ievērojami atšķirties no augšminēto tabulu datiem.

Reģiona audžu kopas sortimentu relatīvā iznākuma (īpatsvara) noteikšanai I. Liepa piedāvā formulu (3.102.), kas orientēta pēc koku sugas un kopas vidējā caurmēra (Iesalnieks, 2002):

$$Y = a + bD + cD^2 + dD^3 + eD^4 + fD^5, \tag{3.102.}$$

kur Y – koku sugas attiecīgās caurmēra grupas lietkoksnēs un malkas relatīvais iznākums;
 D – audžu kopas vidējais caurmērs, cm;
 a, b, c, d, e, f – izlīdzināšanas koeficienti (3.36. tab.).

3.36. tabula

Formulas (3.102.) koeficienti

Koku suga	Koeficienti					
	a	b	c	d	e	f
$D \geq 32,0 \text{ cm}$						
Priede	0,1655	-0,009767	$-6,786 \times 10^{-4}$	$5,124 \times 10^{-5}$	$-6,109 \times 10^{-7}$	0,0
Egle	0,7777	-0,12346	$6,766 \times 10^{-3}$	$-1,5197 \times 10^{-4}$	$1,3613 \times 10^{-6}$	0,0
Bērzs	-0,4122	0,08629	$-6,629 \times 10^{-3}$	$2,160 \times 10^{-4}$	$-2,342 \times 10^{-6}$	0,0
Apse	-0,8253	0,1882	$-1,423 \times 10^{-2}$	$4,3395 \times 10^{-4}$	$-4,4451 \times 10^{-6}$	0,0
Melnalksnis	0,2049	-0,0109	$-8,029 \times 10^{-4}$	$5,9992 \times 10^{-5}$	$-8,7511 \times 10^{-7}$	0,0
Baltalksnis	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ozols	1,3628	-0,15068	$5,1252 \times 10^{-3}$	$-4,8895 \times 10^{-5}$	0,0	0,0
Osis	1,3195	-0,1464	$4,971 \times 10^{-3}$	$-4,70 \times 10^{-5}$	0,0	0,0
$D_t = 25,0 - 31,9 \text{ cm}$						
Priede	0,5858	-0,1175	$7,906 \times 10^{-3}$	$-1,8795 \times 10^{-4}$	$1,4676 \times 10^{-6}$	0,0
Egle	-0,2726	0,02674	$-4,0374 \times 10^{-4}$	$1,8154 \times 10^{-5}$	$-4,1686 \times 10^{-7}$	0,0
Bērzs	0,4271	-0,09780	$7,410 \times 10^{-3}$	$-2,0389 \times 10^{-4}$	$1,9426 \times 10^{-6}$	0,0
Apse	2,6218	-0,47850	0,03091	$-8,2047 \times 10^{-4}$	$7,6466 \times 10^{-6}$	0,0
Melnalksnis	0,5084	-0,10411	$7,133 \times 10^{-3}$	$-1,8396 \times 10^{-4}$	$1,5812 \times 10^{-6}$	0,0
Baltalksnis	-0,3121	0,01845	$-6,197 \times 10^{-5}$	0,0	0,0	0,0
Ozols	0,9759	-0,1901	0,012615	$-3,1582 \times 10^{-4}$	$2,6791 \times 10^{-6}$	0,0
Osis	2,0114	-0,33028	0,01879	$-4,289 \times 10^{-4}$	$3,4212 \times 10^{-6}$	0,0
$D_t = 19,0 - 24,9 \text{ cm}$						
Priede	0,6048	-0,1767	0,01724	$-6,731 \times 10^{-4}$	$1,152 \times 10^{-5}$	$7,262 \times 10^{-8}$
Egle	-0,6207	0,0708	$-1,381 \times 10^{-3}$	$-1,331 \times 10^{-5}$	$3,696 \times 10^{-7}$	0,0
Bērzs	0,1266	-0,04717	$5,107 \times 10^{-3}$	$-1,6732 \times 10^{-4}$	$1,7148 \times 10^{-6}$	0,0
Apse	-0,1729	0,01415	$1,529 \times 10^{-3}$	$-9,5985 \times 10^{-5}$	$1,2942 \times 10^{-6}$	0,0
Melnalksnis	0,1274	-0,0452	$4,783 \times 10^{-3}$	$-1,5419 \times 10^{-4}$	$1,5566 \times 10^{-6}$	0,0
Baltalksnis	0,5037	-0,14314	0,01359	$-4,907 \times 10^{-4}$	$6,265 \times 10^{-6}$	0,0
Ozols	-0,4628	0,04755	$-4,0 \times 10^{-4}$	$-2,947 \times 10^{-5}$	$4,493 \times 10^{-7}$	0,0
Osis	0,5262	-0,14085	0,01203	$-3,641 \times 10^{-4}$	$3,621 \times 10^{-6}$	0,0
$D_t = 13,5 - 18,9 \text{ cm}$						
Priede	-0,9630	0,1823	$-9,064 \times 10^{-3}$	$1,770 \times 10^{-4}$	$-1,221 \times 10^{-6}$	0,0
Egle	-1,6684	0,3121	-0,01721	$3,8659 \times 10^{-4}$	$-3,1097 \times 10^{-6}$	0,0
Bērzs	-0,5323	0,09108	$-3,476 \times 10^{-3}$	$3,8896 \times 10^{-5}$	0,0	0,0
Apse	-1,2627	0,2539	-0,01455	$3,3180 \times 10^{-4}$	$-2,6715 \times 10^{-6}$	0,0
Melnalksnis	-0,4790	0,0830	$-3,158 \times 10^{-3}$	$3,5147 \times 10^{-5}$	0,0	0,0
Baltalksnis	0,8453	-0,2724	0,02974	$-1,248 \times 10^{-3}$	$1,806 \times 10^{-5}$	0,0
Ozols	-0,8948	0,1685	$-8,560 \times 10^{-3}$	$1,725 \times 10^{-4}$	$-1,229 \times 10^{-6}$	0,0
Osis	-1,933	0,3244	-0,01681	$3,620 \times 10^{-4}$	$-2,839 \times 10^{-6}$	0,0

$D_t < 13,5 \text{ cm}$						
Priede	1,1334	-0,07971	$1,909 \times 10^{-3}$	$-1,528 \times 10^{-5}$	0,0	0,0
Egle	1,3075	-0,09382	$2,281 \times 10^{-3}$	$-1,8527 \times 10^{-5}$	0,0	0,0
Bērzs	0,1119	0,05344	$-4,914 \times 10^{-3}$	$1,4460 \times 10^{-4}$	$-1,4186 \times 10^{-6}$	0,0
Apse	0,6624	-0,05819	$1,690 \times 10^{-3}$	$-1,6230 \times 10^{-5}$	0,0	0,0
Melnalksnis	0,7798	-0,0510	$1,121 \times 10^{-3}$	$-7,9160 \times 10^{-6}$	0,0	0,0
Baltalksnis	-0,2035	0,16780	-0,01963	$8,40 \times 10^{-4}$	$-1,237 \times 10^{-5}$	0,0
Ozols	0,9801	-0,09868	$3,824 \times 10^{-3}$	$-6,709 \times 10^{-5}$	$4,462 \times 10^{-7}$	0,0
Osis	$5,65 \cdot 10^{-3}$	0,1194	-0,01064	$3,178 \times 10^{-4}$	$-3,164 \times 10^{-6}$	0,0
<i>Malka</i>						
Priede	0,4207	-0,02439	$2,994 \times 10^{-4}$	$5,434 \times 10^{-6}$	$-9,663 \times 10^{-9}$	0,0
Egle	0,2935	-0,03068	$1,363 \times 10^{-3}$	$-2,806 \times 10^{-5}$	$2,413 \times 10^{-7}$	0,0
Bērzs	0,8207	$7,192 \times 10^{-3}$	$-5,064 \times 10^{-3}$	$2,101 \times 10^{-4}$	$-2,504 \times 10^{-6}$	0,0
Apse	1,1221	-0,08197	$2,115 \times 10^{-3}$	$3,712 \times 10^{-5}$	$-1,209 \times 10^{-6}$	0,0
Melnalksnis	0,4149	0,01829	$-2,738 \times 10^{-3}$	$9,104 \times 10^{-5}$	$-7,503 \times 10^{-7}$	0,0
Baltalksnis	0,3180	0,09629	$-7,8605 \times 10^{-3}$	$2,172 \times 10^{-4}$	$-1,970 \times 10^{-6}$	0,0
Ozols	0,7837	-0,02940	$-2,268 \times 10^{-4}$	$2,465 \times 10^{-5}$	$-2,715 \times 10^{-7}$	0,0
Osis	0,8223	-0,05730	$1,775 \times 10^{-3}$	$-2,816 \times 10^{-5}$	$2,134 \times 10^{-7}$	0,0

Formulas (3.102.) koeficientu aprēķināšanai izmantotas divas Lietuvas mežkopju sastādītas tabulas, pieņemot, ka tabulas raksturo vidējo līmeni visā Baltijas reģionā. Viena no tām – lietkoku procenta sadalījums pa caurmēra pakāpēm galveno koku sugu audzēs atkarībā no vidējā caurmēra (autori: A. Kuliešis un J. Repšis) un otra – koku skaita sadalījums pa caurmēra pakāpēm (autori: A. Kuliešis, J. Kenstavičius, L. Arlauskas) (Нормативы для..., 1988). Audžu kopas vidējo caurmēru un krāju aprēķina pēc inventarizācijas materiāliem kā vidējās svērtās vērtības. Atšķirībā no tradicionālā risinājuma šajā gadījumā iespējama lietkoksnēs papildus resnuma grupas ($D_t \geq 32,0 \text{ cm}$) īpatsvara noteikšana, kas pieļauj precizētāku koksnes resursu analīzi. Šeit jāuzsver, ka formula (3.102.) lietojama, ievērojot vienīgā argumenta – audzes vidējā krūšaugstuma caurmēra D minimālās vērtības. Tas ir tāpēc, ka audzēs ar vēl tievākiem kokiem dotās resnuma grupas sortimenti nav izstrādājami (3.37. tab.). Piemēram, ar augstu varbūtību sagaidāms, ka priedes audzēs ar $D < 16 \text{ cm}$ nebūs koki, no kuriem iegūstami minimālā garuma sortimenti ar $D_t \geq 32,0 \text{ cm}$.

3.37. tabula

Koku kopas vidējais caurmērs D , cm

Koku suga	Lietkoksnēs resnuma grupas, cm				
	32<	25,0 – 31,9	19,0 – 24,9	13,5 – 18,9	<13
Priede	16 – 48	12 – 48	12 – 48	12 – 48	8 – 48
Egle	16 – 44	12 – 44	12 – 40	12 – 40	8 – 40
Bērzs	16 – 36	16 – 36	12 – 36	12 – 36	8 – 36
Apse	20 – 40	16 – 40	12 – 36	12 – 36	8 – 36
Melnalksnis	20 – 40	16 – 40	12 – 36	12 – 36	8 – 36
Baltalksnis	–	20 – 24	10 – 24	12 – 48	12 – 40
Ozols	20 – 44	12 – 44	12 – 48	12 – 48	12 – 40
Osis	24 – 40	16 – 40	12 – 40	12 – 40	8 – 40

3.16. Biomasas taksācija

Ar terminu *koku biomasa* saprot audzes koku kopas masu laukuma vienībā (The Dictionary..., 1998). Datu salīdzināmības dēļ to parasti izsaka kā $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Koku biomasa ir nozīmīgākā *meža biomasas* sastāvdaļa, šajā jēdzienā ietverot arī pārējo audzes komponentu – krūmu stāva, zemsedzes, zemsegas un augsnes organismu kopējo masu. Tas nozīmē, ka meža biomasas jēdziena saturs ir plašs un vispusīgs. Lai akcentētu uzmanību tikai uz augu valsts biomasu, lieto terminu *fitomasa*, vajadzības gadījumā to diferencējot atbilstoši augu piederībai audzes komponentiem vai vēl detalizētākām fitomasas

grupām, piemēram, mistrojuma atsevišķu koku vai krūmu sugu fitomasa, stumbru, vainagu, celmu, sakņu, lapu (skuju), virszemes, pazemes utt. fitomasa. Jāatzīst gan, ka pēdējā laikā meža vērtēšanas jomā ieviesusies tradīcija šos terminus nešķirot, dodot priekšroku vārdam *biomasa*. Gadījumos, kuros nav iespējami pārpratumi, šī tradīcija respektēta arī šajā grāmatā.

Salīdzinājumā ar krājas analīzi biomasas noteikšana ir relatīvi jauns meža taksācijas virziens. Sākotnēji tas bija saistīts ar īpašu uzdevumu izpildi, piemēram, tādu augu daļu vērtēšanu, kas tirgū kopš sendienām tika realizētas nevis tilpuma, bet masas vienībās. It īpaši tas attiecas uz neliela apjoma un neregulāras formas sevišķi augstvērtīgu meža produkciju, kuras svēršana ir ātrāka, lētāka un vienkāršāka nekā tilpuma aprēķināšana. Pastiprināta interese par meža augu biomasas apjomiem, struktūru, dinamiku, apsaimniekošanu u. c. jautājumiem aktualizējās 20. gs. beigās, kad sabiedrība apzinājās nepieciešamību mazināt planētas uzsilšanu un ar to saistītās pārējās globālās klimata izmaiņas, kas sakņojas pieaugošajā *siltumnīcas efekta gāzu* (SEG) koncentrācijā Zemes atmosfērā. Pēc daudzuma un ietekmes nozīmīgākā SEG sastāvdaļa ir oglekļa dioksīds CO₂. Vienlaikus CO₂ ir neiztrūkstošs fotosintēzes komponents. Tas nozīmē to, ka fotosintēze samazina CO₂ daudzumu atmosfērā. Līdz ar to stratēģija ir definēta – jāveicina biomasas sintēze. Kamēr vien biomasa nav sadalījusies, ogleklis ir piesaistīts tajā un nepiedalās SEG funkcijās. Kā zināms, sauszemes ekosistēmu starpā lielāko ieguldījumu sastāda planētas meži (Kimmins J., 1997). Te arī sākas meža taksācijas loma – izstrādāt un īstenot metodes meža augu biomasas daudzuma un dinamikas noteikšanai un analīzei.

Koka un audzes biomasas frakcionālais sastāvs ir atkarīgs no dažādiem faktoriem, bet galvenokārt no koku sugas, augšanas apstākļiem un to mijiedarbības. Biomasas noteikšanas kontekstā izšķir divas frakciju grupas – *virszemes* un *pazemes* (zemzemes) biomasu. Nozīmīgākā atšķirība ir sakņu ierobežotā pieejamība tiešai uzmērīšanai, ko nemaina pat koka nozāģēšana. Ar to arī izskaidrojams fakts, kāpēc lielākā daļa biomasas pētījumu attiecas tikai uz virszemes frakcijām.

3.16.1. Koku biomasas noteikšana

Kas gan varētu būt vienkāršāk kā noteikt atsevišķa koka vai koku kopas biomasu? Atliek nosvērt attiecīgo objektu un uzdevums ir atrisināts. Taču reālajā dzīvē tik vienkārši tas nav izdarāms – nākas pārvarēt vairākas grūtības. Pirmkārt, lielās masas un izmēru dēļ vidēja vecuma un vecāki koki ir ļoti neparocīgi svēršanai, to sagarumošana daļās ir darbietilpīga, un to var atļauties vienīgi pētnieciskajā darbā, lietojot paraugkoku metodi. Otrkārt, koku plašās un dziļās sakņu sistēmas dēļ ir būtiski apgrūtināta vai pat neiespējama visu sakņu savākšana svēršanai. Sakņu atrakšanas, izskalošanas vai gaisa strūkļas izmantošanas gadījumā ir jārēķinās ar sīko sakņu zudumiem.

Perspektīvāks būtu risinājums, kas audzē uzkrātās biomasas frakcionālo sadalījumu aprēķinātu kā krājas funkciju. Krāja ir neiztrūkstoša meža statistikas sastāvdaļa, turklāt krājas noteikšanas metodes ir izstrādātas un pārbaudītas. Sacītais attiecas ne tikai uz augošu mežu. Arī kopšanas un galvenajā izmantošanā iegūtās koksnes apjoms vienmēr ir zināms. Vēl jo vairāk, izmantojot audžu augšanas gaitas modeļus, iespējams izsekot krājas un līdz ar to arī dažādu biomasas frakciju dinamikai jebkura lieluma teritorijā. Izšķir vairākas šīs domas īstenošanas metodes. Šeit aplūkosim divas – pārejas koeficientu un regresijas metodes.

Pārejas koeficientu metode. Šajā gadījumā metodiski izdevīgi koku biomasu iedalīt divās daļās – *stumbru* un *nestumbru frakcijās*.

Stumbru frakciju biomasu izsaka formula

$$M_f = \varphi_f \cdot V, \quad (3.103.)$$

kur M_f – stumbru frakcijas biomasa, t;
 V – krāja, m³;
 φ_f – frakcijas blīvuma koeficients.

Koka stumbrs sastāv no divām frakcijām – koksnes un mizas. Abu šo daļu blīvums ir būtiski atšķirīgs. Tāpēc formulā (3.103.) blīvuma koeficienta vērtība jādiferencē – koksnei tā ir φ_k , mizai φ_m . Koksnes blīvums ir pētīts plaši un vispusīgi un ir sastādītas vidējo vērtību tabulas, kas orientētas pēc dažādiem ietekmes faktoriem (Уголев Б., 2001). Nozīmīgākais no tiem ir koksnes mitrums (1.8. tab.). Augošu koku stumbru biomasas noteikšanai piemērojams svaigi cirstas koksnes mitrums $\varphi_{sv.c.}$. Jāpiezīmē, ka 1.8. tabulas skaitļi attiecas tikai uz koksni, kas jāņem vērā, izmantojot sakarību (3.103.).

Tāpēc atsevišķa stumbra tilpums vai stumbru kopas krāja, kuru augošiem kokiem parasti aprēķina kopā ar mizu, šajā gadījumā ir jāsamazina par mizas tiesu. To var paveikt dažādi. Vienkāršākais paņēmieni ir mizas tilpuma koeficienta s izmantošana (1.105.). Šajā formulā s izsaka attiecību starp stumbra tilpumu ar mizu un bez mizas. Līdz ar to tilpums bez mizas

$$V_{b.m.} = \frac{V}{s} \quad (3.104.)$$

un stumbra frakcijas koksnes biomasa ir

$$M_{st.k.} = \varphi_k \cdot V_{b.m.} \quad (3.105.)$$

Līdzīgi ir ar mizas biomasas noteikšanu. Jāatzīmē gan, ka dati par mizas blīvumu ir ievērojami mazāk, turklāt to atšķirības starp atsevišķu autoru pētījumiem – lielākas un nereti pretrunīgas. Vidēji eglei svaigas mizas $\varphi_m = 0,32$. Latvijas apstākļiem atbilstošus svaigas mizas blīvuma koeficientus aprēķinājuši LLU Meža fakultātes speciālisti (Millers M., Magaznieks J., 2012).

$$M_m = \varphi_m \cdot V_m, \quad (3.106.)$$

kur mizas tilpums $V_m = V - V_{b.m.}$.

Visa stumbra biomasa –

$$M_{st} = \varphi_k \cdot V_k + \varphi_m \cdot V_m. \quad (3.107.)$$

Nestumbru frakciju biomasas aprēķināšanai izmantojami pārejas koeficienti c_i . *Pārejas koeficients* ir i -tās frakcijas biomasas M_i un krājas V attiecība, kas izteikta $t \cdot m^3$:

$$\varphi_i = \frac{M_i}{V}. \quad (3.108.)$$

No sakarības (3.107.) seko, ka koeficienta c_i reizinājums ar stumbra tilpumu vai kokaudzes krāju ir attiecīgā koka vai kokaudzes daļas biomasa, izteikta masas vienībās. Koeficienta c_i vērtības dotajai teritorijai nosaka katrai koku sugai atsevišķi, lietojot paraugkoku metodi. Koeficientu c_i atbilstība ir atkarīga no paraugkoku skaita (formula (3.48.) un nestumbru frakciju biomasas paraugu ievākšanas un apstrādes nosacījumu akurātas izpildes.

Galvenās koku nestumbru frakcijas ir zari, skuja (lapas), celmi un saknes. Nereti zaru un sakņu frakcijas sadala sīkāk – apakšfrakcijās, vadoties pēc attiecīgo nogriežņu tievgaļa caurmēra (1.2. apakšnodaļa). Visumā c_i noteikšanas metodiskie aspekti ir līdzīgi kā zaru un sakņu frakciju tilpuma vērtēšanā. Lauka darbos jāievāc reprezentatīvs empīriskais materiāls. Tas nozīmē statistiski pamatotu un objektīvi atlasītu biomasas paraugu skaitu, to svēršanu un c_i vērtību aprēķināšanu. Procedūra ir darbietilpīga un meža apstākļos pagrūti nodrošināt tās viennozīmīgu ievērošanu. Turklāt aditivitātes principa ievērošana ir nepārkāpjams nosacījums. Šis princips nosaka, ka lieluma vērtība, kas atbilst veselam objektam, ir vienāda ar objekta daļām atbilstošo vērtību summu, citiem vārdiem – savstarpēji c_i ir saskaitāmi, bet pēc c_i aprēķināto frakciju biomasu summa nedrīkst būt lielāka par visa koka vai audzes biomasu.

Informācija par c_i vērtībām ir relatīvi skopa. Iespējams, tas ir arī tādēļ, ka nestumbru frakciju biomasas vērtēšana ir jauns meža taksācijas virziens. Latvijā izstrādāta metodika c_i noteikšanai un uz tās pamata aprēķinātas to vērtības eglei (Liepa I., Blija T., 2008) : zaru (bez skužām) $c_z = 0,1354$; skuju $c_{sk} = 0,1394$; celmu $c_c = 0,0704$; sakņu $c_s = 0,1791$. Visu šo nestumbru biomasas frakciju pārejas koeficientu summa $\sum c_i = 0,5248$, kas nozīmē to, ka visu nestumbru frakciju svaiga biomasa, attiecināta pret stumbra tilpumu vai audzes krāju, sastāda 52,5%. Jāatzīmē, ka paši autori gan uzskata, ka šie skaitļi vēl jāprecizē, iekārtojot virkni līdzīgu pētījumu.

Biomasas aprēķinā, izmantojot koeficientus c_i , ir patiesi vienkārši. Pieņemsim, ka kādai egļu audzei, kuras vidējais caurmērs $D = 32,0$ cm un krāja $V = 1000$ m³, ir jānoskaidro biomasas frakcionālais sastāvs. Mizas tilpuma koeficients (formula (1.105.)) $s = (5,25 \cdot 32,0 + 117,6)/(5,0 \cdot 32,0 + 100) = 1,10$, krāja bez mizas $V_{b.m.} = 1000/1,10 = 909,1$ m³ un mizas krāja $V_m = 1000 - 909,1 = 90,9$ m³. Stumbru frakciju biomasa $M_{st} = 0,85 \cdot 909,1 + 0,32 \cdot 90,9 = 801,5$ t. Attiecīgi nestumbru frakciju biomasas: zaru – $M_z = 0,1354 \cdot 1000 = 135,4$ t; skuja – $M_{sk} = 0,1394 \cdot 1000 = 139,4$ t; celmu – $M_c = 0,0704 \cdot 1000 = 70,4$ t; sakņu – $M_s = 0,1791 \cdot 1000 = 179,1$ t; nestumbru frakcijas kopā – $M_{nst} = 524,3$ t. Visas audzes biomasa

$$M = M_{st} + M_{nst} \quad (3.109.)$$

Mūsu piemērā $M = 801,5 + 524,3 = 1325,8$ t. Piemērs apliecina, cik šī metode ir piemērota kokaudžu kopējās un frakcionālās biomasas aprēķināšanai, izmantojot meža inventarizācijas datus. Tāpēc ir saprotami, kāpēc ievērojams skaits autoru (Husch et al., 2003) pētījuši pārejas koeficientu atkarību no dažādiem ietekmes faktoriem, piemēram, meža tipa. Minētajā darbā atzīmēta iespēja kā pārejas koeficientus (*expansion factors*) lietot arī citas biomasas frakciju attiecības, proti, attiecīgās frakcijas biomasu izdalot ar koka kopējo biomasu. Taču šis risinājums ir neērtāks, jo meža inventarizācijas darbos bāzes vērtību – formulas (3.108.) saucēju nosaka kā kokaudzes krāju, nevis tās kopējo biomasu.

Regresijas metode. Šī metode stumbra tilpumu vai kokaudzes krāju apiet, attiecīgās frakcijas biomasu izsakot kā kāda vai kādu uzņēmāmu taksācijas rādītāju regresentu. Daudzskaitlīgos pētījumos secināts, ka šai vajadzībai vispusīgi piemērota ir vienkāršās alometrijas funkcija (Miezīte O., Dreimanis, 2009; West P., 2004)

$$M_i = aD^b, \quad (3.110.)$$

kur D ir koka vai kokaudzes krūšaugstuma caurmērs, izteikts centimetros, un a un b – regresijas koeficienti. Neskatoties uz šīs pakāpes funkcijas vienkāršību, tā elastīgi apraksta praktiski jebkuras frakcijas vai vairāku frakciju kopējās biomasas daudzumu. Priekšrocība ir tā, ka atkrīt nepieciešamība zināt stumbra tilpumu vai audzes krāju, pietiek, ja ir zināms koka vai audzes caurmērs, kura noteikšana ir ievērojami vienkāršāka. Koeficientus a un b aprēķina pēc mazāko kvadrātu metodes, šim nolūkam izmantojot empīrisku materiālu, kas ievākts līdzīgi kā nosakot pārejas koeficientu vērtības. Pazīstami dažādi ieteikumi vienkāršo alometrisko funkciju aizstāt ar multiplo, formulu (3.110.) papildinot ar vienu vai pat vairākiem argumentiem, piemēram, augstumu H (Карманова И., 1976)

$$M_i = aD^bH^c. \quad (3.111.)$$

Ne vienmēr koka vai audzes biomasu jānosaka dabiski mitrā (svaigi cirstā) stāvoklī. Tā ir mainīga vērtība, kas ir atkarīga no koku sugas, vecuma, parauga atrašanās vietas stumbrā, augšanas apstākļiem u. c. faktoriem. Dažkārt šāda daudzveidība ir traucējoša. Kā piemēru var minēt pētījumu, kurā jāsalīdzina dažādu koku sugu produktivitāte vai vienas un tās pašas sugas fotosintēzes intensitāte atšķirīgos vides nosacījumos. Šajā gadījumā jāpieturas vienādam vai tuvu līdzīgam ūdens saturam biomasā. Teorētiski iespējams izvēlēties dažādus mitruma līmeņus. Taču biežāk izmantotais standarta mitrums ar $w = 12\%$. Standarta mitruma biomasas aprēķināšanas metodika ir līdzīga kā augošu koku (svaigi cirstu koku) biomasas noteikšanā. Būtisks papildinājums ir sveramo paraugu žāvēšana līdz nemainīgai masai. Biomasas regresijas vienādojumu izstrādē vērā ņemamas atšķirības nav. Arī šinī gadījumā dominē ne tikai alometrijas sakarības. Piemēram, 1997. gadā ASV austrumu daļas virszemes standarta mitruma biomasas aprēķināšanai P. Šroiders (Schreuder P.) ar līdzstrādniekiem ieteica šādus kopīgus vienādojumus:

a) lapkokiem

$$M_{l.k.} = 0,5 + \frac{25000 \cdot d^{2,5}}{d^{2,5} + 246872}, \quad (3.112.)$$

b) skujkokiem

$$M_{s.k.} = 0,5 + \frac{15000 \cdot d^{2,7}}{d^{2,7} + 364946}, \quad (3.113.)$$

kur $M_{l.k.}$ un $M_{s.k.}$ izsaka attiecīgi lapkoku un skujkoku absolūti sausu (*oven-dry*) virszemes biomasu (kg) un d – krūšaugstuma caurmēru (cm). Biomasas regresijas vienādojumu izvēle ir patiesi bagātīga (Muukkonen, Mäkipää, 2006).

3.16.2. Zemāko stāvu biomasu

Auglīgos augšanas apstākļos zemākas biežības audzēs, izcirtumos un dažādu trašu platībās *sīkko-* *ku* ($h < 2,0$ m), krūmu un zemsedzes biomasu var sasniegt ievērojamas vērtības. Biomasas noteikšanai izmanto kombinēto un uzskaites laukumiņu metodes. Kombinētā metode sastāv no divām daļām – individuālās un parauglaukumu vērtēšanas.

Biomasas individuālās vērtēšanas fāzē uzmēra un aprēķina krūmu atsevišķu dzinumu stumbru un sakņu biomasu. Iegūtos datus izmanto biomasas frakciju regresijas vienādojumu izveidošanai,

pamatojoties uz faktu, ka starp dzinumu biomasu un sakņu kakla caurmēru vai augstumu pastāv cieša alometriskā sakarība (formulas 3.110. un 3.111.). Tas nozīmē, ka lauka darbos katrai krūmu sugai izvēlas zināmu skaitu (formula 3.48.) dažādu izmēru atsevišķus dzinumus, tos nozāgē vai nogriež sakņu kaklā un nosver atbilstoši darba uzdevumam – koksni kopā ar mizu un lapām vai arī katru frakciju atsevišķi. Ir ieteikumi pieturēties konstantam dzinumu skaitam, piemēram, 50 dzinumiem (Daugaviete M. u. c., 2009). Lielu uzmanību un pūles prasa ne tikai sakņu atrakšana, bet arī to identificēšana. Šeit lietojami dažādi paņēmieni, no kuriem parastākais ir krūma cera, piemēram, parastās lazdas, visu dzinumu uzmērīšana un kopējās sakņu sistēmas atrakšana. Pēc sakņu sistēmas attīrīšanas no augšnes un citu sugu saknēm un nosvēršanas tās kopējo biomasu sadala proporcionāli dzinumu sakņu kakla caurmēram. Katrai krūmu sugai izveido vismaz vienu regresijas vienādojumu, bet, ja dzinumu dimensijas ir ļoti atšķirīgas (te atkal jāatsaucas uz parasto lazdu), tad – vairākus. Nedrīkst aizmirst ievākt biomasas paraugus žāvēšanai laboratorijā, kas ir nepieciešami citu mitruma līmeņu biomasas regresijas vienādojumu izstrādei. Pirmā fāze noslēdzas ar regresijas koeficientu aprēķināšanu.

Turpmākā darba gaita ir saistīta ar dzinumu uzmērīšanu aplveida parauglaukumos, kurus izvieto uz vērtējamās platības garākās diagonāles. Parauglaukumu lielumu un skaitu var izvēlēties pēc 3.11. un 3.12. tabulām. Katrā parauglaukumā uzmēra visus dzinumus un pēc atbilstošā regresijas vienādojuma izskaitļo biomasu, to pārrēķinot uz ha^{-1} .

Krūmu biomasas vērtēšanā praktiski vienmēr grūtības sagādā uzmērāmo dzinumu izvēle. Krūmu dzinumi bieži vien neaug vertikāli, turklāt tie ir izstīdzējuši, līki, spēcīgi sazaroti un ar ļoti plašu vainagu. Tāpēc rodas neskaidrības par to, kurš dzinums un kura tā daļa uzskaitāma un kura ne. Zināmi vairāki ieteikumi. Daļa autoru iesaka vadīties pēc sakņu kakla atrašanās vietas, – ja tā atrodas parauglaukumā, jāuzmēra viss dzinums, arī tā daļa, kas ir ārpus parauglaukuma, savukārt nav jāņem vērā tie dzinumi, kuru daļas gan atrodas parauglaukumā, bet sakņu kakli ir ārpusē. Pēc citu autoru pārliecības, jāuzmēra visas dzinuma daļas, kas atrodas iedomātā vertikālā cilindrā, kura šķēsgriezums ir parauglaukums. Iespējams, ka šajā gadījumā biomasas dati būtu atbilstošāki realitātei, taču ievērojami sarežģītās uzmērāmo dzinumu daļu piederības noteikšana. Sevišķi tas attiecas uz sakņu biomasu.

Zemsedzes biomasu vērtē, to ievācot 1 m^2 vai pat mazākos uzskaites laukumīšos. Laukumiņu forma nav noteicošais nosacījums, svarīgāk ir ievērot laukumiņu skaitu (formula (3.48.) un izvietojumu, kas pieļaujams randomizēts vai regulārs. Izšķiroša ir biomasas ieguve, sevišķi pazemes frakcijas gadījumā. Audzes zemāko stāvu biomasu gan parasti atstāj augsnē kā organisko mēslojumu, un zināšanas par tās apjomu kļūst nepieciešamas tikai tad, ja jārisina īpaši uzdevumi. Par tāda īpaša uzdevuma piemēru kalpo oglekļa piesaistes aprēķināšana.

4. PIEAUGUMA TAKSĀCIJA

4.1. Pieauguma jēdziens

Pieauguma mācība ir meža taksācijas nozare, kas pēta koka, audzes un audžu kopu taksācijas rādītāju izmaiņas un šo izmaiņu izmantošanas iespējas meža apsaimniekošanas interesēs. Izšķir divus savstarpēji cieši saistītus, taču saturiski atšķirīgus jēdzienus – *augšanu* un *pieaugumu*. Augšana ir jaunu šūnu, audu un orgānu rašanās, diferencēšanās un palielināšanās laika gaitā. Var sacīt, ka augšana ir pieauguma veidošanās. Savukārt pieaugums ir augšanas rezultāts noteiktā laika intervālā. Jāuzsver, ka par pieaugumu nevar uzskatīt taksācijas rādītāju mehānisku palielināšanos, kas nav saistīta ar minētajiem augšanas procesiem. Divi piemēri. Pēc audžu kopšanas no apakšas, kad, izcērtot nomāktos kokus, tūlītēji palielinās audzes vidējais augstums un caurmērs, salīdzinot ar to vērtībām pirms kopšanas. Radusies starpība nav pieaugums, bet fikcija, ko nereti, vērtējot cirtes ietekmi, ņem vērā. Otrs piemērs. Līdzīga pieauguma šķietamība rodas, audzi dastojot pirms un pēc lietus. Vidējā caurmēra starpība nav pieaugums, bet mizas piebriešanas efekts mitruma ietekmē.

Jēdzieniskā ziņā meža pieaugumam ir līdzība ar lauksaimniecības kultūru ražu. Abos gadījumos tiek kvantitatīvi raksturots gan biomasas producenta (šķirnes, sugas) potenciālais ražīgums, gan arī tā īstenošanās iespējas konkrētajos augšanas apstākļos. Starpība ir tā, ka labību novāc katru gadu, bet kokaugu pieaugums pakāpeniski uzkrājas visā dzīves laikā, veidojot krāju. Gadu no gada pieauguma vērtības atšķiras. Ilgajā koku mūžā intensīvu augšanu nomaina depresija un otrādi. To nosaka dažādi ietekmes faktori: koku suga, vecums, fitocenotisko un edafisko apstākļu uzlabošanās vai pasliktināšanās, klimata un vides kvalitātes antropogēnās izmaiņas utt. Un tas viss neklūdīgi fiksējas koku pieaugumā, tādējādi veidojoties dabiskā monitoringa ilglaicīgām un precīzām laika rindām. Atliek vienīgi izlasīt šo bagāto dabas grāmatu un mūsu rīcībā ir objektīva informācija par aizgājušo gadu īpatnībām. Tas nodrošina ne tikai komerciālas analīzes, bet arī ekoloģiska rakstura izziņas vispusīgas iespējas. Sacītais arī ir pieauguma mācības pamatuzdevums.

Par koka un audzes pieaugumu ir sarakstīts daudz darbu. Šis temats ir starptautiska un nacionāla līmeņa zinātnisku kongresu un konferenču uzmanības lokā. Praktiski katrā intensīvas mežsaimniecības zemē pieauguma mācība ir aktuālāko pētniecisko uzdevumu skaitā. Pieauguma metožu noteikšanas skaits tālu pārsniedz divus simtus. Taču vēl arvien tiek ieteikti jauni risinājumi, kas izceļas ar atšķirīgu teorētisko pamatojumu, rezultātu precizitāti un praktisko piemērotību. Pieauguma mācības tradicionālie virzieni papildinās ar jauniem. Kā nozīmīgākos jāmin koka un audzes dažādu komponentu un frakciju biomasas resursu dinamikas, vides ietekmes un meža ekoloģisko funkciju kvantitatīva novērtēšana. Nav šaubu, ka nākotnē pieauguma mācības loma mežzinātnē un mežsaimniecības praksē palielināsies.

Ar taksācijas rādītāja pieaugumu saprot tā lieluma *izmaiņas* laikā (Weiskittel at all, 2011). *Meža pieaugums* ir kokaugu fizioloģisko procesu koprezultāts. Tāpēc pieaugums vispusīgi raksturo kokaugu produktivitāti konkrētajos augšanas apstākļos. Tā kā ekoloģiskie faktori (galvenokārt klimatiskie un cilvēka izraisītie jeb antropogēnie) laikā mainās, pieaugums ir salikts lielums, kas satur *trendālo* un *stohastisko* komponenti. Pirmā izsaka pieauguma *izmaiņu tendenci* ilgākā laika posmā, otrā – *fluktuācijas* jeb ikgadējās novirzes no izlīdzinātās trajektorijas. Kopumā pieaugums atsedz *vides ietekmes* dinamiku. Pieaugums kvantitatīvi raksturo mežsaimniecisko pasākumu efektivitāti vai arī koku fizioloģiskā stāvokļa pasliktināšanos dažādu nelabvēlīgu ietekmju (gaisa piesārņojums, appludināšana, kaitēkļi utt.) dēļ. Tāpēc pasaules praksē pieaugumu lieto gan kā mežu un mežsaimniecības stāvokļa, gan *vides kvalitātes* kontroles (*monitoringa*) rādītāju. Ārzemēs (Vācija) mācība par pieaugumu ir izveidojusies par atsevišķu *mežzinātnes* disciplīnu. Latvijā to esam pieraduši uzskatīt par meža taksācijas sastāvdaļu. Par pieauguma izcilo teorētisko nozīmi un praktisko pielietojumu liecina neatslābstošā interese, kāda šim jautājumam tiek veltīta kā starptautiskajā, tā nacionālajā līmenī. *Pieauguma mācība* ir sarežģīta un daudzpusīga. Tā nemitīgi papildinās ar jaunām teorētiskām atziņām, noteikšanas metodēm un pielietošanas veidiem.

Pieauguma veidošanos ietekmē daudz faktoru. Nozīmīgākie ir koku suga, vecums, izcelšanās, augšanas apstākļi, audzes biežība un sanitārais stāvoklis. Ir koku sugas, kuru īpatņi aug strauji un relatīvi ātri noveco (apse). Tās sauc par *ātraudzīgām* sugām. *Lēnaudzīgām* sugām koku dimensijas mainās ļoti lēni (īve). Jaunībā visu īpatņu biomasas producēšanas spēja pakāpeniski pieņemas spēkā, sasniedz maksimumu un pēc tam samazinās. Sevišķi strauji jaunībā aug atvases. Tikai pēc ilgāka laika sēklaudži tās panāk un pēc tam parasti saglabā ilgāku un noturīgāku ražīgumu. Šīs ir ģenētiski determinētas īpašības. Arī antropogēni atjaunotas audzes sākumā uzrāda lielāku pieaugumu. Taču šeit galvenā nozīme ir uzlabotajiem augšanas apstākļiem, kas panākti sējumu vai stādījumu ierīkošanas gaitā. Augšanas apstākļu ietekmi raksturo audzes bonitātes klase, biežība un koku fizioloģiskais stāvoklis. Labākās bonitātes klasēs un optimālā biežībā veselu un nenomāktu koku pieaugums daudzārt pārsniedz tā vērtību šo faktoru nelabvēlīgas sakrītības gadījumā.

Pieaugumu klasificē pēc dažādiem kritērijiem. Izšķir *koka* un *koku kopas* pieaugumu. Pirmajā gadījumā ir runa par atsevišķa koka, otrajā – par meža elementa, stāva, audzes un dažādu teritoriālu vai saimniecisku audžu kopu pieaugumu. Visos gadījumos atkarībā no biomasas frakcijas izdala *stumbra*, *zaru*, *sakņu*, *mizas* un *zaleņa* pieaugumu. No šiem meža pieauguma veidiem kokmateriālu ieguves aspektā nozīmīgākais ir stumbra pieaugums. Jāatzīmē, ka pēdējā laikā palielinās arī pārējo frakciju pieauguma nozīme. Šī tendence ir tieši saistīta ar nepieciešamību noteikt audzes spēju savā biomasā uzkrāt oglekli, tādējādi mazinot CO₂ koncentrāciju atmosfērā.

Stumbra frakcijas ietvaros runā par *augstuma*, *caurmēra*, *radiālo*, *tilpuma* vai *krājas* pieaugumu. Principā iespējami arī citu taksācijas rādītāju, piemēram, *veidskaitļa*, pieaugums. Latvijā koku tilpumu un audžu krāju uzskaita ar mizu. Sacītais attiecas arī uz šo taksācijas rādītāju pieaugumu. Taču niansētākos pētījumos diferencēti jāaprēķina arī *koksnes* un *mizas* pieaugums. Tāpēc, stingri ņemot, koksnes un tilpuma jeb krājas pieaugumi nav sinonīmi jēdzieni, kā tas iegājies šo terminu ikdienas lietošanā.

Pēc skaitliskās izpausmes veida izšķir *absolūto* un *relatīvo* pieaugumu. Pirmais no tiem izsakās nosauktās mērvienībās, piemēram, milimetros (caurmēra un radiālais pieaugums), metros (augstuma pieaugums) vai kubikmetros (tilpuma un krājas pieaugums). Turklāt labākas uztveres dēļ krājas pieaugumu attiecina uz platības vienību, parasti uz 1 ha. Relatīvo pieaugumu aprēķina, absolūto pieaugumu izsakot procentos no atbilstošā taksācijas rādītāja vērtības. Tāpēc to sauc arī par *pieauguma procentu*.

Atkarībā no laika intervāla n , pēc kura nosaka pieaugumu, izdala *vidējo* un *tekošo* pieaugumu. Pirmo iegūst, ja attiecīgā taksācijas rādītāja vērtību dala ar koka vai audzes vecumu. Tekošo pieaugumu iedala *periodiskajā*, *vidēji periodiskajā* un *ikgadējā*. Periodiskais izsaka to pieaugumu, kas radies intervāla n laikā. Parasti pieņem $n = 5$ vai $n = 10$. Taču n var piešķirt jebkuru vērtību. Ja n ir vienāds ar koka vai audzes vecumu A ($n = A$), periodiskais pieaugums sakrīt ar attiecīgā taksācijas rādītāja lielumu. Turpretī, ja $n = 1$, tas identificējas ar *ikgadējo* pieaugumu. Vidēji periodisko pieaugumu aprēķina, periodisko pieaugumu dalot ar intervāla n gadu skaitu. Tā kā tilpuma un krājas ikgadējo pieaugumu ir grūti noteikt, šajos gadījumos to bieži pielīdzina vidēji periodiskajam, tādējādi teorētiski pieļaujot kļūdu. Savukārt, ja $n = A$, vidēji periodiskais ir vienāds ar vidējo pieaugumu.

Jāuzsver, ka iepriekšminētajām pieauguma kategorijām ir vispārējs raksturs. Tās vienlīdz labi attiecas kā uz atsevišķa koka, tā arī uz koku kopu taksācijas rādītājiem. Meža elementa, stāva, audzes un audžu kopu pieauguma noteikšanu sarežģī *dabiskais atmirums* $Z_{(t)}$ un saimnieciskā kārtā izcirstā vai dabas kaprīzēs bojā gājuši (vējgāzes, ugunsgrēki, kaitēkļu masveida savairošanās, appludināšana utt.) audzes daļa. Dabisko atmirumu veido koki, kas intervāla n laikā pārstājuši augt (koku savstarpējās konkurences dēļ nokaltuši). Šo norišu ietekme izpaužas kā audzes vai to kopu koku skaita samazināšanās intervāla n laikā. Ja pieaugumu aprēķina tiem kokiem, kas saglabājušies intervāla n beigās, to sauc par *faktisko* pieaugumu.

Jāuzsver, ka nereti krājas pieaugumu jauc ar *krājas diferenci*, kas ir krājas starpība intervāla n beigās un sākumā un kas nesatur intervāla n laikā zaudēto koku pieaugumu.

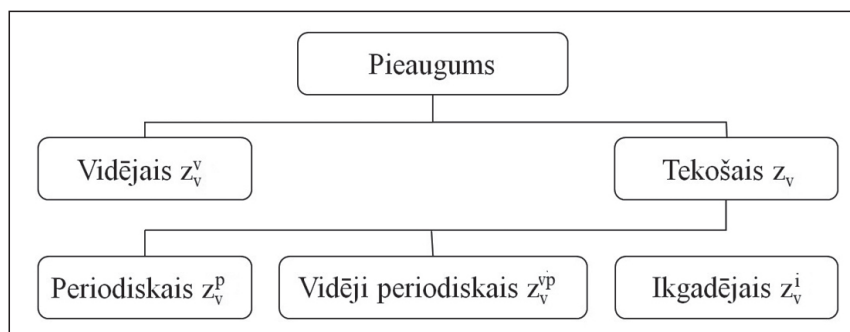
Katras audzes un vēl jo vairāk audžu kopas dzīvī iestājas laika posmi, kad krasi mainās viens vai pat vairāki vides faktori. Šāda maiņa veicina vai bremzē krājas veidošanos. Līdz ar to var runāt par krājas *papildu pieaugumu*, kas palielina (pozitīva ietekme) vai samazina (negatīva ietekme) pieaugumu, salīdzinot ar situāciju pirms attiecīgā faktora iedarbības.

No iepriekš sacītā izriet meža pieauguma izcilā daudzveidība. Tā ir tik izteikta, ka nereti traucē tā praktisko lietošanu meža speciālistu atšķirīgas izpratnes dēļ. Atsevišķi krājas pieauguma veidi izsaka dažādas norises mežā, tāpēc ir dabiski, ka vienai un tai pašai audzei tiek aprēķinātas būtiski atšķirīgas krājas pieauguma vērtības, kas nav savstarpēji salīdzināmas. Šīs patiesības ignorance izraisa nevajadzīgas domstarpības, kas nepamatoti diskreditē krājas pieauguma lomu. Šī iemesla dēļ, runājot par krājas pieaugumu, vispirms ir jāapzinās, kas ir kas.

4.2. Koka pieaugums

4.2.1. Pamatformulas

Atsevišķa koka pieaugumu apzīmē ar z , to papildinot ar indeksiem. Apakšējais indekss norāda attiecīgo taksācijas rādītāju, augšējais – aprēķināšanas raksturu. Piemēram, z_h^i , z_d^i , z_g^i , z_v^i nozīmē ikgadējos augstuma, caurmēra, šķērslaukuma un tilpuma pieaugumus, bet z_v^v , z_v^p un z_v^{vp} – vidējo, periodisko un vidēji periodisko tilpuma pieaugumu. Ja domā par tekošo pieaugumu vispār, simbolu z raksta bez augšējā indeksa, piemēram z_v . Pieauguma procenta apzīmēšanai z vietā lieto burtu p . Labāka izklāsta un uzskatāmības dēļ koka *stumbra tilpuma* pieauguma veidi un to simboli apkopoti 4.1. att. Jāpiezīmē, ka apakšējā indeksa nomaiņas gadījumā 4.1. att. attiecas arī uz pārējiem taksācijas rādītājiem.



4.1. att. Koka stumbra tilpuma pieauguma veidi un simboli

Koka pieauguma veidus izsaka šādas pamatformulas.

Vidējais pieaugums

$$z_v^v = \frac{v_A}{A}. \quad (4.1.)$$

Šis rādītājs kā tilpuma v un vecuma A attiecība ir vispārināts un ļoti inerti raksturo koka fizioloģisko procesu intensitāti. Šī iemesla dēļ tā lietošanas iespējas ir ierobežotas.

Vidējā pieauguma procents

$$p_v^v = \frac{100}{A}. \quad (4.2.)$$

Tekošais periodiskais pieaugums

$$z_v^p = v_A - v_{A-n}, \quad (4.3.)$$

kur v_{A-n} – stumbra tilpums pirms n gadiem.

Tekošā periodiskā pieauguma procents

$$p_v^p = \frac{100(v_A - v_{A-n})}{v_A} \quad (4.4.)$$

vai, z_v^p attiecinot uz v_A un v_{A-n} vidējo aritmētisko vērtību (M. Preslera formula),

$$p_v^p = \frac{200(v_A - v_{A-n})}{v_A + v_{A-n}}. \quad (4.5.)$$

Tekošais vidēji periodiskais pieaugums

$$z_v^p = \frac{v_A - v_{A-n}}{n}. \quad (4.6.)$$

Tekošā vidēji periodiskā pieauguma procents

$$p_v^p = \frac{v_A - v_{A-n}}{v_A} \cdot \frac{100}{n} \quad (4.7.)$$

vai

$$p_v^p = \frac{v_A - v_{A-n}}{v_A + v_{A-n}} \cdot \frac{200}{n} \quad (4.8.)$$

Tekošais ikgadējais pieaugums

$$z_v^i = v_A - v_{A-1} \quad (4.9.)$$

Tekošā ikgadējā pieauguma procents

$$p_v^i = \frac{100(v_A - v_{A-1})}{v_A} \quad (4.10.)$$

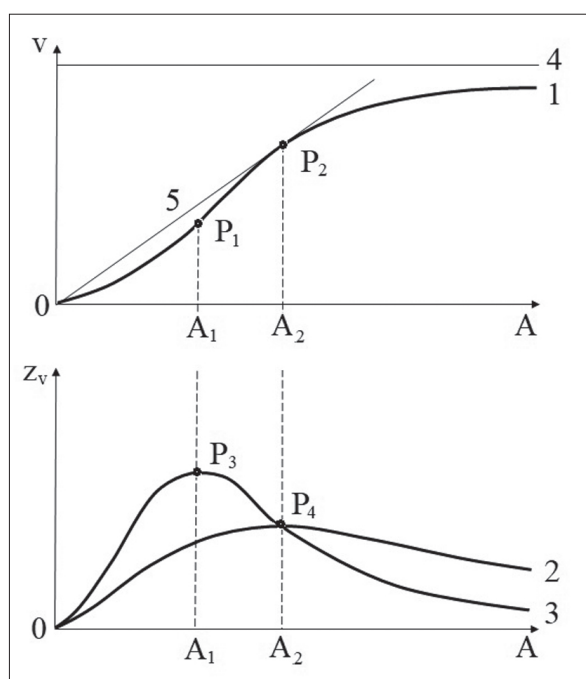
vai

$$p_v^i = \frac{200(v_A - v_{A-1})}{v_A + v_{A-1}} \quad (4.11.)$$

Pamatformulas izsaka pieauguma veidu būtību. Pieauguma noteikšanai parasti lieto citas sakarības, kas satur tos taksācijas rādītājus, kas uzmērāmi meža apstākļos.

4.2.2. Vidējā un tekošā pieauguma atkarība

Katru taksācijas rādītāju var uzskatīt kā vecuma funkciju. To sauc par *augšanas funkciju*, bet tās grafiku – par *kumulatīvo augšanas līkni* jeb *augšanas līkni* (4.2. att.). Augšanas līknei ir S veida forma. Inflācijas punkts P_1 to daļa divās daļās. Līknes kreisā puse ir ieliekta. Tā attēlo taksācijas rādītāja eksponenciālo augšanu, kas ir brīva no ekoloģiski ierobežojošas ietekmes. Augšanas temps gadu no gada paātrinās. Līknes labā puse ir izliekta. Turklāt tā kļūst arvien lēzenāka. Tas tāpēc, ka zināmā vecumā A_1 sāk darboties augšanu bremsējoši faktori. Šim vecumam atbilst infleksijas punkts P_1 , pēc kura vecuma intervālā $A_1 - A_2$ augšanas temps stabilizējas. Līdz ar vecumu augšanas potenciāls paātrināti



4.2. att. Stumbra tilpuma augšanas un pieauguma līkņu atkarība: 1 – tilpuma augšanas līkne, 2 – vidējā pieauguma līkne, 3 – tekošā pieauguma līkne, 4 – augšanas līknes asimptota

izsīkst un pēc otrā infleksijas punkta P_2 līkne kļūst arvien lēzenāka, kas izpaužas kā augšanas trenda asimptotiska tiekšanās uz robežvērtību.

Kā zināms, augšanas līknes pirmais atvasinājums ir tekošais pieaugums. Tāpēc starp augšanas un *pieauguma līknēm* pastāv funkcionāla sakarība. No 4.2. att. izriet, ka tekošā pieauguma maksimumam P_3 atbilst augšanas līknes infleksijas punkts P_1 , bet vidējā pieauguma maksimumam P_4 – punkts P_2 , kura pieskare iet caur koordinātu sākumpunktu. Vidējais pieaugums lielāko vērtību sasniedz vecumā A_2 , kas ir abu pieauguma līkņu krustpunkta P_4 abscisa. A_2 sauc par *kvantitatīvo vecumu*. Laikā līdz A_2 tekošais pieaugums ir lielāks par vidējo, pēc A_2 – mazāks. Kvantitatīvajā vecumā abu pieauguma veidu vērtības ir vienādas. Vidējā un tekošā pieauguma atkarību izmanto dažādu teorētisku un praktisku uzdevumu risināšanā.

4.2.3. Pieauguma mainīgums

Mainīgums ir viena no pieauguma pamatīpašībām. Par to viegli pārliecināties, aplūkojot jebkura koka stumbra šķērsgriezumus, kurā saskatāmas gadskārtas, vai pavērojot attālumus starp mieturiem. Ikviens koks mūsu klimatiskajos apstākļos katru gadu veido atšķirīgu pieaugumu. Mainīguma pamatā ir vairāki cēloņi. Atkarībā no tā arī izdala mainīguma kategorijas, no kurām meža taksācijā būtiska nozīme ir trim. *Trendālās izmaiņas* ir parādītas 4.2. att., kur tās reprezentē tekošā un vidējā pieauguma līknes. Abu līkņu formu determinē koka vecums. Lai uzsvērtu šo apstākli, pieauguma gaita 4.2. att. ir izlīdzināta, tādējādi izslēdzot pieauguma *cikliskuma* un *ikgadējo izmaiņu* izpausmi.

Pieauguma cikliskās izmaiņas izsauc klimatisko apstākļu dinamika. Klimatiskie faktori, kas tieši un būtiski ietekmē koku pieaugumu, mainās cikliski. Pazīstami dažāda garuma cikli, kuru laikā notiek pakāpeniska klimata ietekmes pastiprināšanās vai pavājināšanās uz pieauguma veidošanos. Taksācijā lielākā nozīme ir vienpadsmit gadu ciklam. Cikla nosaukums cēlies no tā, ka vidējais intervāls starp cikla minimumu (maksimumu) ir 10 (11) gadi. Atsevišķu šīs kategorijas ciklu ilgums var ievērojami pārsniegt vidējo vērtību, svārstoties no 7 līdz 17 gadiem. Vairākums autoru klimata un līdz ar to tā ietekmēto fizioloģisko procesu cikliskumu saista ar Saules aktivitāti, citi pētnieki šo domu uzskata par nepamatotu. Taču neapšaubāmi ir tas, ka koku pieauguma cikli pastāv. Tas ir saistoši pieauguma noteikšanas metožu izstrādē, kā arī dažādu vides faktoru ietekmes izvērtēšanā. Konstatēts, ka cikla ietvaros pieaugums var atšķirties vairāk nekā par $\pm 70\%$. Tāpēc, salīdzinot viena vecuma koku augšanas intensitāti, empīriskais materiāls jāizvēlas tā, lai tas pārstāvētu vienu un to pašu ciklu un cikla fāzi. Vienkāršākais paņēmieni, kurš daļēji izslēdz cikliskuma ietekmi, ir ikgadējā tekošā pieauguma aizstāšana ar vidēji periodisko, kas aprēķināts ar intervāla garumu $n = 10$ gadi. V. Antanaitis un V. Zagrejevs norāda, ka, šo intervālu samazinot uz pusi, var iegūt 50–100% novirzes (Антанайтис В., Загребев В., 1981).

Dažādos augšanas apstākļos cikliskuma raksturs un intensitāte ir atšķirīgi. Sugas areāla nomalēs tas izpaužas vairāk, centrālajā daļā – mazāk. To var izskaidrot ar *limitējošo faktoru* iedarbību. Mūsu puslodes areāla ziemeļos koku augšanu limitē temperatūra, dienvidos – mitrums. Šo faktoru mainīšanās labvēlīgā virzienā te izsauc krasu pieauguma palielināšanos un otrādi. Areāla vidusdaļā, kur koki necieš no kāda atsevišķa klimatiskā faktora nepietiekamības vai pārsātinātības, klimata izmaiņas tik krasa pieauguma svārstības nerada. Iespējams, ka tieši šīs V. Šelforda likumsakarības neievērošana ir minēto domstarpību cēlonis. Toties šeit spilgti izceļas edafisko apstākļu atšķirības. Sausieņu un *pārmitrās augsnēs* augošu koku ciklu fāzes bieži nesakrīt vai arī ir pat pretējas, jo sauso un slapjo vasaru ietekme arī ir pretēja.

Pieauguma mainīguma trešā kategorija ir ikgadējās svārstības jeb *fluktuācijas*, kas cieši seko klimata nejaušajām izmaiņām. Pieauguma mainīgums apgrūtina tā noteikšanu un *prognozēšanu*. Jāatzīmē, ka, pateicoties klimata izcilajai lomai koku pieauguma veidošanās procesā, iespējama arī pretējā uzdevuma risināšana. Pēc koku gadskārtu platuma hronoloģijas var noteikt kalendāro laiku (*dendrohronoloģija*) vai atšifrēt klimatiskos apstākļus (*dendroklimatoloģija*), kādos koks audzis. Lai informatīvāk salīdzinātu dažādu koku pieauguma *dinamiskās* jeb *laika rindas* (parasti gadskārtu platuma sērijas zināma garuma intervālā), pieauguma absolūtās vērtības pārrēķina *pieauguma indeksos*. To panāk, dotā gada gadskārtas platumu dalot ar atbilstošo *bāzes vērtību* un dalījumu izsakot procentos. Atkarībā no bāzes vērtības izvēles izšķir dažādus *dendrohronoloģiskos indeksus*. To ir ļoti daudz. Vienkāršākais ir *A. Duglasa indekss*. Šajā gadījumā par bāzi izraugās intervāla vidējo aritmētisko gadskārtas platumu. Šis indekss uzskatāmi atspoguļo minēto trīs pieauguma mainīguma kategoriju esamību.

Koka pieauguma apzināšanā būtiski ir arī tas, ka dažādiem taksācijas rādītājiem šis lielums nav viennozīmīgs. Caurmēra, augstuma, šķērslaukuma un tilpuma pieaugumi gan ir cieši korelatīvi lielumi, taču arī šeit vērojamas zināmas atšķirības. Šo taksācijas rādītāju tekošo pieaugumu maksimumi iestājas dažādā vecumā. Parasti pirmais kulminē caurmēra, tad augstuma, šķērslaukuma un tilpuma pieaugums. Saulmīļu sugām (priede) tas notiek agrāk, ēnciešu (egle) – vēlāk. Līdzīgi ir ar augšnes auglību jeb trofiskumu un koku cenotisko stāvokli. Auglīgās augsnēs un atsevišķi augošu koku, bet audzēs – labāko G. Krafta klašu koku pieaugumi kulminē ātrāk. Lietuviešu kolēģi ieguvuši šādus datus (4.1. tab.), kas apstiprina iepriekš teikto.

4.1. tabula

Labāko bonitāšu tīraudžu tekošā pieauguma kulminācijas vecums, gadi

Koku suga	Augstums	Caurmērs	Šķērslaukums	Tilpums
Priede	10 – 25	10 – 20	20 – 35	30 – 45
Egle	25 – 40	20 – 35	40 – 60	50 – 65
Baltalksnis	5 – 10	5 – 10	10 – 15	15 – 20

Skaitliski mainīgumu vērtē ar variācijas koeficientu $s\%$. Empīriski noskaidrots, ka audzes dažādu koku gadskārtu platuma $s\% = 30\text{--}60\%$ (vidēji $40\text{--}45\%$). Šie skaitļi attiecas kā uz visu audzi, tā atsevišķām caurmēra pakāpēm. Augstuma pieaugums variē vājāk. Tā $s\% = 20\text{--}50\%$. Literatūrā uzsvērts, ka saulmīļu sugām, salīdzinot ar ēncietīgajām, $s\%$ ir mazāks. Ļoti lielu mainību uzrāda šķērslaukuma un tilpuma pieaugumi ($s\% = 45\text{--}90\%$). Visu taksācijas rādītāju pieauguma procenta $s\%$ ir būtiski mazāks nekā atbilstošā pieauguma absolūtā vērtība ($s\% = 20\text{--}45\%$). Šo atziņu plaši izmanto, nosakot pieaugumu. Variācijas koeficienta minētās vērtības ieguvuši dažādi pētnieki. Tās atsedz koku tekošā pieauguma mainīgumu vienvecuma audzē. Dažāda vecuma audzē tas ir vēl lielāks, jo bez klimata nejaušajām svārstībām un augšanas mikrovides to ietekmē arī atsevišķu koku atšķirīgais vecums. Jāatzīmē, ka gadskārtu platuma agrīnās un vēlīnās daļas uzrāda atšķirīgas $s\%$ vērtības. Noskaidrots, ka intervāls n un $s\%$ ir pozitīvi korelējoši lielumi. Kā jau uzsvērts iepriekš, visbiežāk vidējo periodisko pieaugumu aprēķina par intervālu $n = 10$ gadiem. Tāpēc, izvēloties paraugkoku skaitu, nozīmīgāk ir zināt desmitgadu vidējo gadskārtu platuma svārstību intensitāti. Latvijas apstākļos to izsaka variācijas koeficienta vērtības, kas tuvas 20% .

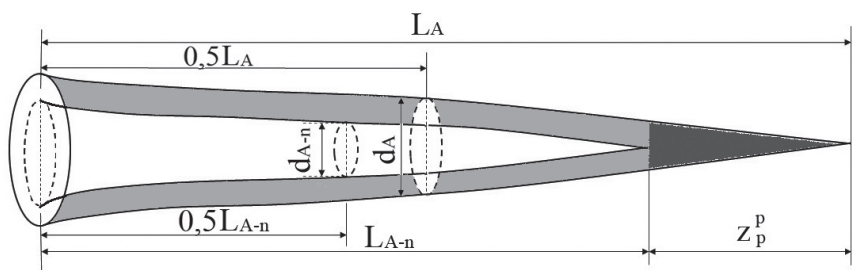
4.2.4. Augstuma pieaugums

Stumbra gala pumpura darbības rezultāts ir koka augšana garumā. Augstuma pieaugums z_h ir viena no tilpuma pieauguma z_v sastāvdaļām. Tā lielumu nosaka koka suga, vecums, augšanas apstākļi u. c. faktori. Salīdzinājumā ar citiem koka taksācijas rādītājiem z_h formēšanās procesā sevišķi liela nozīme ir edafiskajiem faktoriem. Šī iemesla dēļ tieši augstums kalpo kā audžu bonitēšanas kritērijs.

Jauniem skujkokiem z_h nosaka, izmērot stumbra attiecīgo posmu (attālumu starp mieturiem) garumu. Parasti no galotnes atskaita n mieturus un ar mērlatu izmēra atbilstošā posma garumu. Ja koka augstums ir tik liels, ka mērlatu izmantot nav iespējams, lieto augstummēru. Šajā gadījumā izmēra koka augstumu vecumā A un $A - n$. Abu šo augstumu starpība ir koka tekošais periodiskais pieaugums. Rezultāta precizitāte ir atkarīga no augstummēra noteiktības un intervāla n lieluma. Vecākiem kokiem vainaga daļā mieturi nav vairs saskatāmi, bet stumbra lejas daļa ir atzarojusies un mieturu vietas nav redzamas. Šis z_h noteikšanas paņēmiens nav lietojams arī lapkokiem, kas mieturus neveido. Visos šajos gadījumos z_h precīzi var noteikt tikai nozāģētiem kokiem, atzāģējot galotnes daļu (4.3. att.).

Griezuma gadskārtu skaits n norāda, cik ilgi atzāģētā galotne ir augusi. Savukārt starpība $A - n$ izsaka vecumu, kādā koks sasniedzis griezuma augstumu. Galotnes garums ir augstuma tekošais periodiskais pieaugums z_h^p , bet tā dalījums ar n – vidējais periodiskais pieaugums z_h^p . Ikgadējā pieauguma noteikšanai, kā arī tad, ja z_h^p jāaprēķina ar iepriekš uzdotu n , galotnes daļa jāatzāģē pakāpeniski, kamēr griezumā iegūst vajadzīgo gadskārtu skaitu.

Bieži ir svarīgi zināt ne tikai augstuma pieaugumu par pēdējiem n gadiem, bet ir jāraksturo *augstuma attīstības gaita* visā koka augšanas laikā. Šī uzdevuma risināšanai veic *augstuma analīzi* kā *stumbra analīzes* sastāvdaļu. Stumbru sazimē sekcijās (parasti 1 vai 2 m garās) (4.9. att.). Sekciju



4.3. att. Augstuma un tilpuma pieauguma noteikšanas shēma

viduspunktos stumbru pārzāgē, katrā griezumā, atzīmējot tā augstumu, saskaita gadskārtas un aprēķina *griezuma vecumu*, kā arī vidējo un vidēji periodisko pieaugumu.

Piemērs. Egles paraugkoka vecums ir 97 gadi, augstums – 30,8 m, krūšaugstuma caurmērs ar mizu – 37,6 cm. Sekciju garums – 2 m, tātad griezuma augstumi, izņemot 0,0 un 1,3 m līmeņus, sakrīt ar nepāra metriem. Pēc gadskārtu skaita un caurmēra mērījumu datiem sastādīta 4.2. tabula.

Lineāri interpolējot 4.2. tabulas 2. un 4. ailu skaitļus, var aprēķināt koka augstumu pilnās desmitgadēs un tālāk – arī augstuma pieaugumu (4.3. tab.). Ja augstuma analīzes skaitļus atliek grafikā, iegūst *augstuma augšanas līkni*, kas atsedz

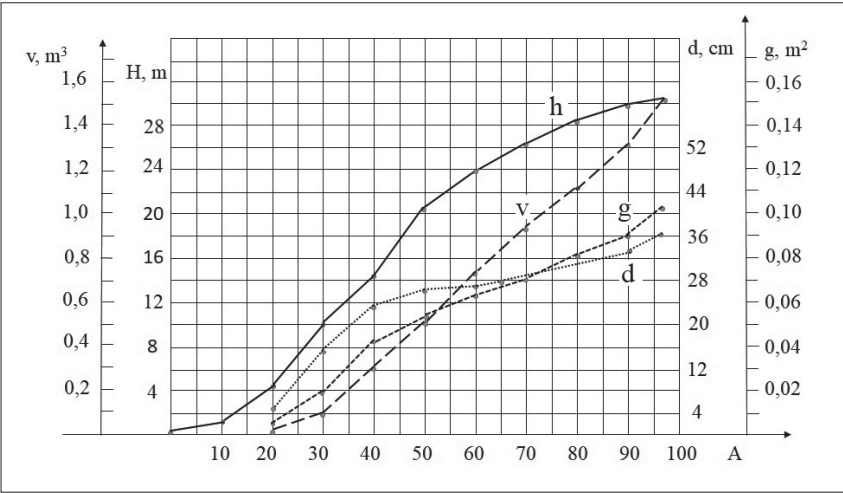
4.2. tabula

Paraugkoka uzmērījumu dati

Griezuma				K o k a v e c u m s, gadi											
Nr. <i>j</i>	h_j m	n_j	A_j gadi	97		90	80	70	60	50	40	30	20	10	
				Caurmērs, cm											
				ar mizu	bez mizas										
1	0,0	97	0	65,1	63,1	58,3	55,5	53,5	50,0	42,8	34,4	19,8	5,6	1,6	
2	1,0	86	11	42,1	40,4	36,1	35,3	32,7	32,1	29,1	25,3	16,5	4,8		
3	1,3	83	13	37,6	36,3	34,1	31,9	30,2	28,4	26,3	22,9	15,6	4,7		
4	3,0	79	18	36,5	35,3	33,3	31,0	29,2	27,4	24,4	20,3	11,7	1,4		
5	5,0	76	21	34,3	33,0	31,4	29,2	27,6	25,8	22,7	18,0	8,9			
6	7,0	73	24	32,0	30,7	28,9	26,8	25,4	23,6	20,5	15,9	7,2			
7	9,0	70	27	30,5	29,0	27,5	25,4	23,8	21,8	18,3	13,0	3,9			
8	11,0	65	32	29,2	27,8	26,3	24,3	22,6	20,0	15,9	9,2				
9	13,0	61	36	27,7	26,4	25,0	22,9	20,5	17,5	12,1	4,4				
10	15,0	56	41	25,9	24,8	23,3	21,2	19,0	15,2	9,7					
11	17,0	52	45	24,0	22,9	21,6	19,4	17,2	13,2	5,8					
12	19,0	49	48	22,2	21,0	19,6	17,4	14,9	10,4	2,1					
13	21,0	46	51	20,0	19,2	17,5	15,0	12,0	7,0						
14	23,0	40	57	17,5	16,5	14,7	11,8	7,9	2,1						
15	25,0	33	64	13,9	12,6	10,8	8,0	3,7							
16	27,0	26	71	9,8	8,8	6,9	3,8								
17	29,0	14	83	5,7	5,0	2,5									
18	30,0	7	90	3,4	3,0										

paraugkoka augstuma attīstības gaitu un dod iespēju nolasīt atbilstošo augstumu jebkurā vecumā (4.4. att.). Tas ir nepieciešams, lai aprēķinātu vidējo (formula (4.1.) un tekošo (formula (4.6.) pieaugumu, kā arī šo rādītāju procentus (formulas (4.2.) un (4.8.)). Jāuzsver, ka minētajās formulās izmantotas paraugkoka augstuma vērtības. Skaitļošanas rezultāti redzami 4.3. tabulā.

Izsekojot z_h^v un z_h^{vp} vērtībām (4.3. tab.), viegli pārliecināties, ka dotais piemērs nepārprotami apstiprina 4.2. apakšnodaļā akcentētās likumsakarības. Atbilstoši teorijai abu pieauguma veidu līknes krustojas kvantitatīvā vecuma punktā, kas šeit ir 52 gadi (4.5. att.). Līdz tam z_h^{vp} vērtības pārsniedz vidējo pieaugumu z_h^v , bet pēc šī vecuma sasniegšanas atrodas zem tā.



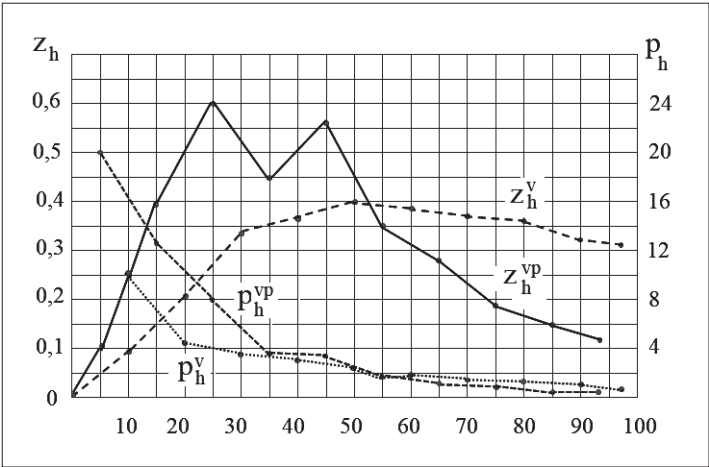
4.4. att. Stumbra augšanas gaita: h – augstums, d – caurmērs, g – šķērslaukums, v – tilpums

4.3. tabula

Augstuma analīzes rezultāti

Vecums, gadi	Augstums, m	Pieaugums, m		Pieauguma %	
		z_h^v	Z_h^{vp}	p_h^v	p_h^{vp}
10	0,9	0,09	0,09	10,0	20,0
20	4,3	0,22	0,34	5,0	13,1
30	10,2	0,34	0,59	3,3	8,1
40	14,6	0,36	0,44	2,5	3,5
50	20,3	0,41	0,57	2,0	3,3
60	23,9	0,40	0,36	1,7	1,6
70	26,7	0,38	0,28	1,4	1,1
80	28,5	0,36	0,18	1,2	0,6
90	30,0	0,33	0,15	1,1	0,5
97	30,8	0,32	0,11	1,0	0,4

Abas līnijas nav izlīdzinātas, lai parādītu augstuma pieauguma mainīguma ietekmi. Pieauguma procentu kvantitatīvajām attiecībām šajā ziņā ir līdzīgs raksturs. Šo rādītāju grafiki maksimālās vērtības sasniedz agrā jaunībā. Līdz ar vecumu tās strauji samazinās.



4.5. att. Paraugkoka augstuma vidējā un tekošā pieauguma un šo rādītāju procentu dinamika

Uzskata, ka tekošā pieauguma procenta likne apraksta koka augšanas intensitātes dinamiku un ir lietojama kā koka augšanas potenciāla raksturotājs. Zināmā vecumā tā šķērso abscisu asi un z_h^{vp} iegūst negatīvas vērtības. Šo momentu interpretē kā vecumu, ar kuru sākot pār augšanu pārsvaru gūst koka atmiršanas procesi.

Jāatzīmē, ka tekošā pieauguma procenta aprēķināšanai ieteikta arī pārveidotā procentu formula:

$$p_h^{vp} = 100 \left(\sqrt[n]{\frac{h_A}{h_{A-n}}} - 1 \right). \quad (4.12.)$$

Sakarība (4.12.) pamatojas uz to, ka pieaugums palielinās pēc ģeometriskās progresijas. Prakse gan liecina, ka līdz koka 30–40 gadu vecumam šī formula uzrāda nepietiekošu precizitāti. Minētais trūkums nepiemīt M. Preslera izteiksmei (4.8.), ko pamatoti uzskata par piemērotāko tekošā pieauguma aprēķināšanai.

4.2.5. Caurmēra un šķērslaukuma pieaugums

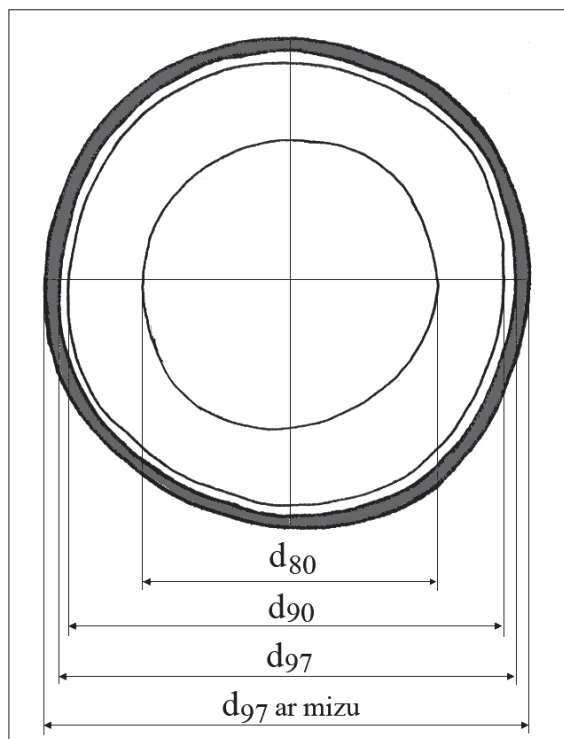
Koka stumbra augšanu resnumā nodrošina *kambija* darbība, kuras dēļ katru gadu veidojas jauna gadskārta. *Gadskārtas platums* nosaka caurmēra, šķērslaukuma un tilpuma pieaugumu. Gadskārtas platums i dažāda griezumā augstumā ir atšķirīgs. Katra koka i izmaiņas raksturu ietekmē koka suga, vecums, edafiskie un klimatiskie apstākļi, fitocenotiskā vide, G. Krafra klase, saimnieciskais režīms audzē, vainaga attīstības pakāpe, fizioloģiskais stāvoklis u. c. faktori. M. Dvoreckis (Дворецкий М., 1964) i vertikālajā mainīgumā izšķir sešas kategorijas: progresīvo (galotnes virzienā i palielinās), regresīvo (galotnes virzienā i samazinās), pastāvīgo (visa stumbra garumā i trendāli nemainās), ieliekto (gadskārtas šaurākā vieta atrodas stumbra vidusdaļā, bet virzienā uz galotni un resgali i palielinās), izliekto (i maksimums sakrīt ar stumbra vidusdaļu, no kura uz abām pusēm i sašaurinās) un kombinēto (i maiņai ir gadījuma raksturs). Laika gaitā kategorijas pāriet cita citā, veidojoties stumbra raksturīgajai formai. Nav noskaidrots, vai pēc stumbra morfometriskajām pazīmēm iespējams identificēt tā piederību kādai no minētajām kategorijām. Zināms, ka ikvienā audzē pārstāvēti visu kategoriju koki un ka koku skaita sadalījums pa kategorijām nav noturīgs. Pastāv hipotēze, ka dažādu kategoriju koku i vertikālā nevienmērība savstarpēji izlīdzinās, audzei tiecoties uz kādu vidēju stāvokli. Uz šo atziņu pamatojas V. Zagrejeva 1963. gada priekšlikums (Захаров В., 1967), kas pieļauj iespēju aprēķināt gadskārtas patieso (vidējo) platumu i_p :

$$i_p = i_{1,3} \cdot R, \quad (4.13.)$$

kur $i_{1,3}$ ir gadskārtas platums krūšaugsstumā un R – *redukcijas skaitlis*, kas atkarīgs no koku sugas, vecuma un bonitātes klases. Idejas autors R vērtības noteicis augstāko bonitāšu klašu priežu audzēm. Vecuma intervālā no 30 līdz 120 gadiem desmitgadēm atbilst šāds R vektors: $R = \{1,75; 1,47; 1,30; 1,19; 1,11; 1,05; 1,01; 0,97; 0,94; 0,91\}$. I. Liepa ir izteicis citu hipotēzi. Tā apgalvo, ka stumbra gadskārtas platums, kas aprēķināts kā vidējais svērtais, par svariem izmantojot atbilstošo griezumam šķērslaukumus, atrodas aptuveni krūšaugsstumā. Ja tas ir tā, tad šī atziņa būtu labākais pamatojums krūšaugsstuma lietošanai meža taksācijā. Mūsu piemēra paraugkokam ir šādi dati (4.2. tab.). Laikā no 90 līdz 97 gadu vecumam krūšaugsstuma caurmērs bez mizas ir palielinājies par $36,3 - 34,1 = 2,2$ (cm). Šī rādītāja visu 15 griezumam (sekciju vidū) aritmētiskā vidējā vērtība ir 1,9 cm, bet vidējā svērtā – 2,1 cm. Sakritība ir acīmredzama. Protams, viena paraugkoka dati nevar būt vispārinājuma objekts.

Arī viena griezumam augstumā i ir mainīgs. Turklāt atšķirība var būt vairākkārtīga. Ļoti sliktos augšanas apstākļos kādā no stumbra pusēm gadskārta vispār var neveidoties vai tā ir ievērojami šaurāka. Šis pieauguma mainīguma veids izskaidro stumbra ekscentricitāti. Tāpēc atsevišķa koka gadskārta platums jāmēra četros savstarpēji perpendikulāros virzienos vai vismaz pa šķērsriezuma garāko un īsāko asi. Iegūto skaitļu vidējo vērtību pieņem par dotā griezumam i , kuru izmanto turpmākajos aprēķinos. Gadskārta platumu mēra uz griezumam ripām vai koksnes paraugiem jeb urbuma serdeņiem, kas iegūti ar M. Preslera pieauguma svārpstu (*pieauguma urbi*) (1.21. att., c). Mērīšanai meža apstākļos lieto lineālu vai bīdmēru, bet laboratorijā komplicētākas un precīzākas ierīces. Meža apstākļos ir pierādījies, ka labāk mērīt d_A un d_{A-n} , z_d iegūstot kā abu caurmēru starpību. Šis paņēmieni sevišķi

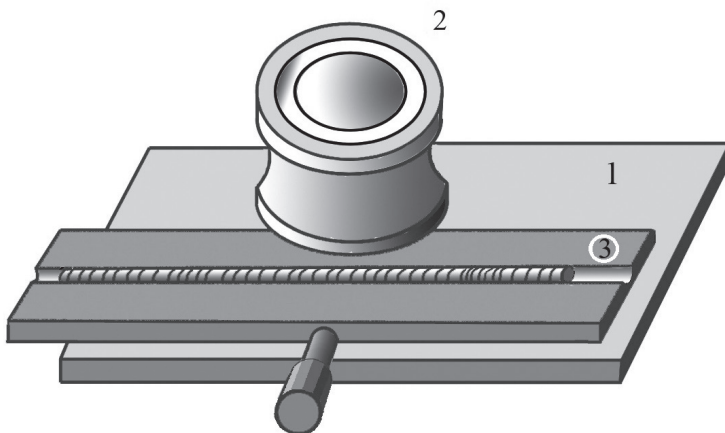
ērts *caurmēra analīzes* veikšanai, kad $n=5$ vai $n=10$. Sākot no perifērijas, abos caurmēra galos vispirms atskaita un uz ripas vai serdeņa atzīmē gadskārtu skaitu, kas pārsniedz pēdējo pilno desmitgadi (4.6. att.). Lai zīmējumu nesarežģītu, 4.6. attēlā parādīta tikai viena virziena mērīšanas shēma.



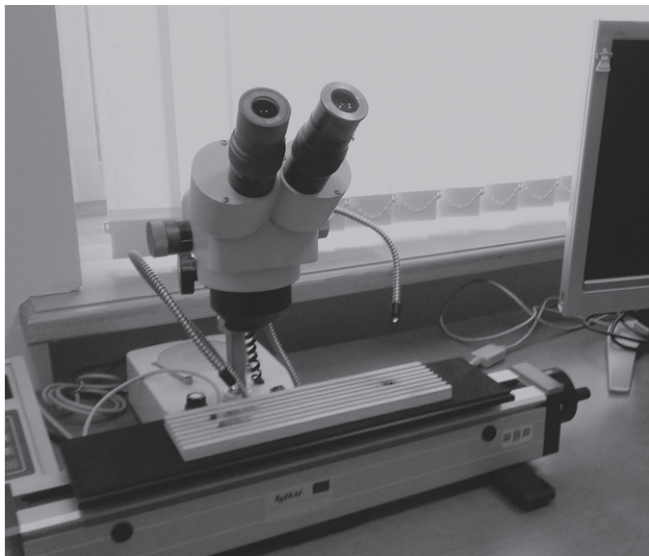
4.6. att. Ripas caurmēru mērīšana

Ja gadskārtas ir ļoti šauras un grūti saskatāmas, jālieto optiskas palīgierīces. Meža apstākļos parocīga ir H. Kurta konstrukcija (4.7. att.).

Mērierīce ir portatīva un vienkārša. Sastāv no pamatnes 1, lupas 2 un mikroskopiski pārbīdāmas platformiņas 3, kuras gropē ievieto mērāmo koksnes serdeni. Stacionāros apstākļos serdeņu un ripu mērīšanai izstrādātas komplicētas optiskas iekārtas, kas apgādātas ar dažādām datorprogrammām, tādējādi ne tikai paaugstinot mērījumu precizitāti, bet arī nodrošinot informācijas pirmapstrādi, drukāšanu un ierakstīšanu informācijas nesējos. Šāda tipa mērīšanas iekārtu ir daudz. Kā viena no pirmajām jāmin B. Eklunda iekārta. Šobrīd USA, Eiropā, t. sk. Latvijā, izmanto LINTAB tipa (4.8. att.) mērīšanas galdus.



4.7. att. H. Kurta gadskārtu platuma mērierīce: 1 – pamatne, 2 – lupas, 3 – platformiņa



4.8. att. LINTAB tipa gadskārtu mērīšanas iekārta.

Parasti gadskārtas platumu i identificē ar stumbra *radiālo pieaugumu*. Tas izriet no tā, ka praktisku ērtību dēļ mizas pieaugumu neņem vērā, tādējādi apzināti pieļaujot zināmu kļūdu. Teorētiski šiem jēdzieniem ir atšķirīgs saturs. Radiālais pieaugums

$$z_r = i \cdot u, \tag{4.14.}$$

kur u ir *mizas biezuma koeficients*. To izsaka attiecība starp stumbra caurmēru ar un bez mizas, līdz ar to ņemot vērā mizas vidējo pieaugumu. Daudzu autoru pētījumi liecina, ka u praktiski ir atkarīgs tikai no koku sugas. Latvijas apstākļos atbilstošas priedes, egles, bērza, apses, melnalkšņa un baltalkšņa u vērtības atrodamas 1.11. tabulā.

Stumbra caurmēra pieaugums ir dubultots z_r , t. i.,

$$z_d = 2z_r. \tag{4.15.}$$

Te atkal jāuzsver, ka praksē z_d nereti pielīdzina $2i$ – divkārtšam gadskārtas platumam.

Labu priekšstatu par koka augšanu resnumā sniedz *caurmēra analīze*, ko parasti veic līdztekus augstuma analīzei. Turpinot aizsākto piemēru, 4.2. tabulā nolasītās krūšaugstuma caurmēra vērtības (bez mizas) atliek 4.4. attēlā un aprēķina caurmēra pieauguma un pieauguma procenta vērtības (4.4. tab.).

4.4. tabula

Caurmēra analīzes rezultāti

Vecums, gadi	Caurmērs, cm	Pieaugums, mm		Pieauguma % p_d^{vp}
		z_d^v	z_d^{vp}	
10	—	—	—	—
20	4,7	2,4	4,7	20,0
30	15,6	5,2	10,9	10,8
40	22,9	5,7	7,3	3,8
50	26,3	5,3	3,4	1,4
60	28,4	4,9	2,1	0,8
70	30,2	4,3	1,8	0,6
80	31,9	4,0	1,7	0,5
90	34,1	3,8	2,2	0,7
97	36,3	3,7	3,1	0,9

Šķērslaukuma tekošais pieaugums ir funkcionāli atkarīgs no gadskārtas platuma un *griezuma caurmēra*. Lai pārlicinātos par to, jāatceras, ka tekošais pieaugums ir dotā taksācijas rādītāja *diferenciālis*, t. i., $z_g = dg$. Tā kā $g = \pi d^2 / 4$, bet pēc atvasināšanas n caurmēra diferenciāļa dd aizstāšanas ar caurmēra pieauguma simbolu z_d

$$z_g = \frac{\pi}{2} d \cdot z_d \tag{4.16.}$$

Formulas (4.15.) un (4.16.) norāda, ka pat pie nemainīga *i* šķērslaukuma tekošais pieaugums dažāda griezuma augstumā ir atšķirīgs. Līdz ar to tas izskaidro arī stumbra formas nozīmi šķērslaukuma un tilpuma tekošajā pieaugumā. Tilpīgākiem stumbriem, kuriem raukums ir mazāks un tātad galotnes virzienā saglabājas lielākas caurmēra vērtības, arī z_g un z_v ir lielāki. Bez tam formula (4.16.) liecina, ka nepamatotas ir tās rekomendācijas, kas kā vienīgo kvantitatīvo kritēriju kopšanas vai izlases cirtēs iesaka gadskārtas platumu. Šajā gadījumā nedrīkst aizmirst arī stumbra caurmēru un formu.

Šķērslaukuma tekošo pieaugumu var aprēķināt arī kā divu šķērslaukumu starpību, kas atbilst caurmēru vērtībām d_A un d_{A-n} (4.6. att.).

jeb

$$z_g = \frac{\pi d_A^2}{4} - \frac{\pi d_{A-n}^2}{4} = \frac{\pi}{4} (d_A^2 - d_{A-n}^2)$$

$$z_g = 0,7854 (d_A^2 - d_{A-n}^2) \tag{4.17.}$$

Formula (4.17.) ir orientēta laikā atpakaļ. Tā apraksta jau izveidojušos z_g vērtību intervāla n laikā. Turpretī formula (4.16.) vērsta laikā uz priekšu, citiem vārdiem, tā norāda, cik liels sagaidāms z_g pie pašreizējā caurmēra un gadskārtas platuma, kā arī koka augšanas tempa saglabāšanās. Lai abu formulu rezultāti būtu salīdzināmi, izteiksmē (4.16.) d vietā jāliek d_{A-n} . Šīs nianse dēļ sakarībā (4.16.) d dots bez indeksa, tādējādi pasvītrojot šīs formulas elastīgo raksturu.

Piemēra paraugkoka *šķērslaukuma analīzi* krūšaugstumā paskaidro 4.5. tabula un 4. 4. attēls. Šķērslaukuma vērtības aprēķinātas pēc 4.2. tabulas datiem.

4.5. tabula

Šķērslaukuma analīzes rezultāti

Vecums, gadi	Šķērslau- kums, $g \cdot 10^2, m^2$	Pieaugums, m^2		Pieauguma % p_g^{vp}
		$z_g^v \cdot 10^3$	$z_g^{vp} \cdot 10^3$	
10	—	—	—	—
20	0,174	0,087	0,174	20,0
30	1,911	0,637	1,737	16,7
40	4,119	1,030	2,208	5,8
50	5,432	1,086	1,313	2,7
60	6,335	1,056	0,903	1,5
70	7,163	1,023	0,828	1,3
80	7,992	0,999	0,829	1,1
90	9,133	1,015	1,141	1,3
97	10,345	1,067	1,737	1,8

4.2.6. Nocirsta koka stumbra tilpuma pieaugums

Tilpuma pieaugums ir saimnieciski nozīmīgākais un ekoloģiski informatīvākais koka pieauguma rādītājs. Tas kompleksi integrē augstuma, caurmēra, šķērslaukuma un *formas pieauguma* ietekmi un īpatnības visā stumbra garumā. Tāpēc z_v veltīts daudz pētījumu, un interese, kas saistīta ar tā noteikšanu un iespējami pilnīgāku izmantošanu, neatslābst arī šobrīd. Salīdzinot ar pārējo taksācijas rādītāju pieaugumu, z_v noteikšanas metodika ir neērtāka un darbietilpīgāka. Tilpuma absolūtā tekošā pieauguma vērtēšana pamatojas uz formulām (4.3.), (4.6.) un (4.9.), kuras tekošo pieaugumu identificē ar stumbra tilpuma starpību vecumā A un $A - n$, t. i., $v_A - v_{A-n}$. Tā kā stumbra tilpuma aprēķināšanas formulu principā ir neierobežots skaits, tad tikpat daudz ir arī iespējamo z_v noteikšanas metožu.

Praktiski tās atšķiras ar precizitāti un darbietilpību. Pēdējā galvenokārt saistīta ar gadskārtu platuma mērījumiem, kas nepieciešami v_{A-n} aprēķināšanai. Šos mērījumus veic vai nu uz stumbra griezumiem, vai uz urbumu serdeniem. Atkarībā no tā, vai v_A un v_{A-n} aprēķina ar vienkāršajām vai saliktajām formulām, z_v noteikšanas metodes iedala vienkāršajās un precīzajās. Šajā darbā aprakstītas pazīstamākās.

Viduslaukumu metode. Metode pamatojas uz viduslaukuma jeb F. Hubera formulu:

$$v = \gamma \cdot L, \quad (4.18.)$$

kur v – stumbra tilpums, m^3 ;

γ – šķērslaukums stumbra vidū, m^2 ;

L – stumbra garums, m .

Stumbra tilpuma v_A aprēķināšanai nepieciešamos parametrus – stumbra garumu L_A un caurmēru tā vidū d_A (bez mizas) izmēra tieši (4.3. att.). Garumu pirms n gadiem L_{A-n} nosaka, pakāpeniski atzāģējot stumbra galotni, kamēr griezumā redzamas n gadskārtas. Šī griezuma attālums līdz *resgaļa griezumam* ir L_{A-n} . Stumbra $0,5 L_{A-n}$ vietā to pārzāģē, izmēra n gadskārtu platumu un iegūtā skaitļa divkārtu vērtību atņem no d_A . Tādējādi ir atrasts caurmērs, kas atbilst koka viduslaukumam pirms n gadiem. Līdz ar to

$$z_v^p = v_A - v_{A-n} = \frac{\pi \cdot d_A^2}{4} L_A - \frac{\pi \cdot d_{A-n}^2}{4} L_{A-n} = \frac{\pi}{4} (d_A^2 L_A - d_{A-n}^2 L_{A-n}).$$

Tātad

$$z_v^p = \frac{\pi}{4} (d_A^2 L_A - d_{A-n}^2 L_{A-n}) \quad (4.19.)$$

jeb

$$z_v^p = \frac{\pi}{4} (\gamma_A L_A - \gamma_{A-n} L_{A-n}), \quad (4.20.)$$

no kurienes arī metodes nosaukums. Uzskata, ka šīs metodes kļūda var būt 5–10%.

Piemērs. Paraugkoka $L_A = 30,8$ m. Pēc 4.3. tabulas datiem redzams, ka pēdējo 7 gadu laikā koka garums palielinājies par 0,8 m. Tas nozīmē, ka $L_{A-n} = 30,8 - 0,8 = 30,0$ m un $0,5 L_{A-n} = 15,0$ m. Stumbra vidū, t. i., 15,4 m attālumā no resgaļa griezuma, $d_A = 24,4$ cm (interpolēts pēc 4.2. tabulas). Pirms $A - n$ gadiem koka viduslaukums atradās 15,0 m augstumā. Šajā vietā 90 gadu vecumā $d_{A-n} = 23,3$ cm. Līdz ar to

$$z_v^p = \frac{3,14}{4} (0,244^2 \cdot 30,8 - 0,233^2 \cdot 30,0) = 0,1610 \text{ m}^3$$

un

$$z_v^{vp} = 0,1610 : 7 = 0,02301 \text{ m}^3.$$

Vienkāršotā viduslaukumu metode. Veciem kokiem, kuru augstuma pieaugums ir mazs, un turklāt, ja z_v jāaprēķina par īsu laika intervālu, L_A un L_{A-n} vērtības atšķiras maz. Tāpēc šiem gadījumiem M. Preslers ieteicis formulās (4.19.) un (4.20.) izmantot tikai vienu garumu – L_{A-n} . Līdz ar to

$$z_v^p = \frac{\pi}{4} (d_A^2 L_{A-n} - d_{A-n}^2 L_{A-n}) = \frac{\pi}{4} L_{A-n} (d_A^2 - d_{A-n}^2)$$

jeb

$$z_v^p = \frac{\pi}{4} L_{A-n} (\gamma_A^2 - \gamma_{A-n}^2) \quad (4.21.)$$

un

$$z_v^p = \frac{\pi}{4} L_{A-n} (\gamma_A^2 - \gamma_{A-n}^2). \quad (4.22.)$$

Tas nozīmē, ka formulās (4.19.) un (4.20.) ir samazinājusies reizinātāja L_A vērtība. Taču palielinājusies ir d_A un γ_A , jo tie ņemti griezumā L_{A-n} , kas ir zemāk un tālāk resnākā stumbra vietā. Šis minēto parametru izmaiņas daļēji izlīdzina to ietekmi z_v noteikšanā. Bet tikai daļēji. Tāpēc jauniem un strauji augošiem kokiem vienkāršotā viduslaukumu metode nav piemērojama.

Piemērs. 4.2. tabulā redzams, ka 97 gadu vecumā $d_A = 24,8$ cm. Tāpēc

$$z_v^p = \frac{3,14}{4} 30,0 (0,248^2 - 0,233^2) = 0,1700 \text{ (m}^3\text{)}$$

un

$$z_v^{vp} = 0,1700 : 7 = 0,024286 \text{ (m}^3\text{)}.$$

Saliktā viduslaukumu metode. Šī ir visprecīzākā metode. Vairākums autoru uzskata, ka z_v ar to iespējams noteikt, nepārsniedzot $\pm 2-3\%$ kļūdu. Stumbra tilpumus v_A un v_{A-n} aprēķina pēc F. Hubera saliktās viduslaukumu formulas:

$$v = l \sum_j \gamma_j + \frac{l'}{3} g_k, \quad j = 1, 2, \dots, k, \quad (4.23.)$$

kur v – stumbra tilpums, m^3 ;

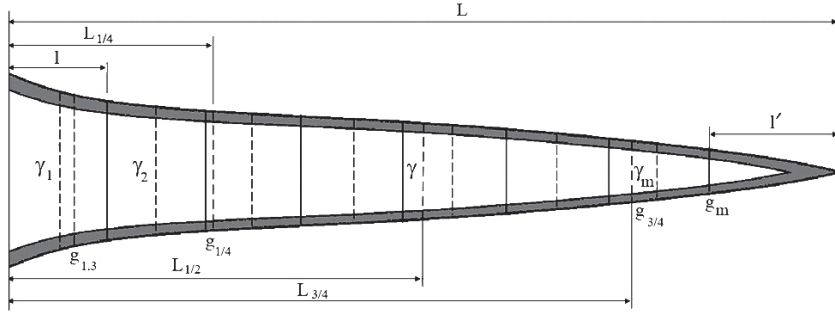
l – sekcijas garums, m;

l' – galotnes konusa garums, m;

γ_j – j -tās sekcijas viduslaukums, m^2 ;

g_k – galotnes konusa pamata šķērslaukums, m^2 ;

k – pilno sekciju skaits.



4.9. att. Stumbra analīzes paraugkoka sadalīšana sekcijās

Formulas (4.23.) īstenošanai stumbru sažīmē un sadala l m garās sekcijās (4.9. att.), pārzāģē sekciju vidū un izmēra griezumam caurmēru vecumā A un $A-n$. Salikto viduslaukumu formulu attiecinot uz pieaugumu, iegūst

$$z_v^p = l \left(\sum_j \gamma_{j,A} - \sum_j \gamma_{j,A-n} \right) + \frac{1}{3} (l'_A \cdot g_{k,A} - l'_{A-n} \cdot g_{k,A-n}) \quad (4.24.)$$

vai, pārejot uz caurmēriem,

$$z_v^p = \frac{\pi}{4} \left[l \left(\sum_j d_{j,A}^2 - \sum_j d_{j,A-n}^2 \right) + \frac{1}{3} (l'_A \cdot d_{gk,A}^2 - l'_{A-n} \cdot d_{gk,A-n}^2) \right]. \quad (4.25.)$$

Parasti *nepilnas sekcijas* jeb *galotnes konusa* ietekme ir tik neliela, ka to var neņemt vērā. Tādā gadījumā

$$z_v^p = l \left(\sum_j \gamma_{j,A} - \sum_j \gamma_{j,A-n} \right) \quad (4.26.)$$

un

$$z_v^p = \frac{\pi}{4} l \left(\sum_j d_{j,A}^2 - \sum_j d_{j,A-n}^2 \right). \quad (4.27.)$$

Saliktajai viduslaukumu metodei ir modifikācija, kas paredz sekcijās sadalīt nevis L_A , bet L_{A-n} . Tā kā modifikācija pamatojas uz iepriekšējā metodē aplūkoto vienkāršoto risinājumu, tā ir mazāk precīza visos iepriekš minētajos gadījumos.

Piemērs. No 4.2. tabulas nolasot caurmēra vērtības vecumā $A = 97$ un $A-n = 90$, kā arī ievērojot, ka $l'_A = 0,8$ m, $l'_{A-n} = 0,0$ m (4.3. tab.) un $l = 2,0$ m,

$$\begin{aligned} z_v^p &= \frac{3,14}{4} [2,0(0,404^2 + 0,353^2 + \dots + 0,088^2 + 0,05^2 - 0,361^2 - \dots - 0,069^2 - 0,025^2) + \\ &\quad + \frac{1}{3} \cdot 0,8 \cdot 0,03^2] = 0,20603 (\text{m}^3) \end{aligned}$$

un

$$z_v^{vp} = 0,20603 : 7 = 0,02943 \text{ (m}^3\text{)}.$$

I. Liepas metode. Metodes īstenošanai jāzina stumbra garums L , krūšaugstuma caurmērs d , intervāla n caurmēra pieaugums z_d un garuma pieaugums z_L . Pieauguma formula (4.31.) atvasināta no autora ieteiktās stumbra tilpuma sakarības (4.28.), tilpuma tekošo pieaugumu uzskatot kā tilpuma pilno diferenciāli.

$$v = \psi \cdot L^\alpha d^{\beta \lg L + \varphi}, \quad (4.28.)$$

kur ψ , α , β , φ ir no koku sugas atkarīgi koeficienti (1.4. tab.).

Sakarības *parciālais diferenciālis*:

pēc garuma

$$d_L v = \psi \cdot L^{\alpha-1} d^{\beta \lg L + \varphi} (\beta \cdot \lg d + \alpha) z_L, \quad (4.29.)$$

pēc caurmēra

$$z_d v = \psi \cdot L^\alpha (\beta \cdot \lg L + \varphi) d^{\lg L + \varphi - 1} z_d \quad (4.30.)$$

un pilnais diferenciālis jeb tilpuma tekošais pieaugums

$$z_v = \psi \cdot L^{\alpha-1} d^{\beta \lg L + \varphi - 1} [d(\beta \cdot \lg d + \alpha) z_L + 0,1 L(\beta \cdot \lg L + \varphi) z_d] \quad (4.31.)$$

Jāatceras, ka izteiksme (4.28.) izsaka stumbra tilpumu ar mizu. Tāpēc arī sakarībā (4.31.) caurmērs ir ar mizu. Taksācijas rādītāju vērtības jāņem vispārpieņemtajās vienībās (L un z_L metros, d centimetros un z_d milimetros).

Piemērs. $L = 30,8$ m; $z_L = 0,8$ m (4.3. tab.); $u = 37,6:36,3 = 1,036$; $d = 37,6$ cm un $z_d = 1,036(36,3 - 34,1) = 2,28$ cm jeb 22,8 mm (4.2. tab.).

$$\begin{aligned} z_v^p &= 2,3106 \cdot 10^{-4} \cdot 30,8^{0,78193-1} \cdot 37,6^{0,31475 \lg 30,8 + 1,18811-1} \times \\ &\times [37,6 \cdot (0,34175 \cdot \lg 37,6 + 0,78193) \cdot 0,8 + 0,1 \cdot 30,8 \cdot (0,34175 \cdot \lg 30,8 + 1,18811) \cdot 22,8] = \\ &= 0,2177 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

Skaitlis 0,2177 m³ izsaka paraugkoka stumbra tilpuma periodisko pieaugumu ar mizu. To izdalot ar mizas tilpuma koeficientu s , iegūst pieaugumu, kas ir salīdzināms ar pēc saliktās viduslaukumu metodes aprēķināto vērtību.

$$s = \frac{pd + q}{wd + 100}, \quad (4.32.)$$

kur p , q un w ir no koku sugas atkarīgi koeficienti (1.11. tab.).

Piemērā

$$s = \frac{5,25 \cdot 37,6 + 117,6}{5,0 \cdot 37,6 + 100} = 1,094$$

un līdz ar to šī stumbra tilpuma periodiskais pieaugums bez mizas

$$z_v^p = 0,2177 : 1,094 = 0,1990 \text{ m}^3,$$

bet

$$z_v^{vp} = 0,1990 : 7 = 0,02843 \text{ m}^3.$$

Metodei ir vairākas priekšrocības: augsta precizitāte, iespēja aprēķināt tilpuma tekošo pieaugumu ar un bez mizas, kā arī atbilstība intervāla n mazām vērtībām. Metodes adekvātums pieaug līdz ar n samazināšanos. Tāpēc tā ir labi piemērota ikgadējā pieauguma noteikšanai. Priekšrocībām jāpieskaita arī tas, ka metode neprasa stumbra sadalīšanu sekcijās. Bez tam, ja ir iespējams izmērīt augoša koka z_L un pēc urbumu serdeņiem noteikt z_d , paraugkoks nav jānozāģē. Bieži vien tas nav mazsvarīgi. Turklāt būtiski samazinās darbaspēka un laika patēriņš. Metodes ierobežojumi: $L \geq 1,5$ m un $d \geq 1,5$ cm.

Līdzīgi pārveidojot kādu citu stumbra tilpuma vienādojumu, piemēram, (4.33.)

$$v = \lambda \cdot d^2 (L + 4), \quad (4.33.)$$

kur stumbra krūšaugstuma caurmērs d un garums L doti metros, iegūst

$$z_v^{vp} = 10^{-4} \cdot \lambda \cdot d^2 \left[\frac{0,4iu(L+4)}{d} + z_L \right]. \quad (4.34.)$$

Formula (4.34.) ir pārveidota tā, ka tās parametri ir izteikti ierastajās mērvienībās: garums L metros, caurmērs d centimetros un gadskārtas platums i milimetros. Stumbra tilpīguma koeficienta λ vērtības: priedei $\lambda = 0,306$; eglei $\lambda = 0,326$; bērzam $\lambda = 0,302$; apsei $\lambda = 0,318$; melnalksnim $\lambda = 0,314$ un baltalksnim $\lambda = 0,298$.

Piemērs (4.2.tab.).

$$z_v^p = 10^{-4} \cdot 0,326 \cdot 37,6^2 \left[\frac{0,4 \cdot 11,0 \cdot 1,036(30,8 + 4)}{37,6} + 0,80 \right] = 0,2313 \text{ m}^3.$$

Arī šajā gadījumā skaitlis $0,2313 \text{ m}^3$ izsaka paraugkoka stumbra tilpuma pēdējo 7 gadu tekošo pieaugumu ar mizu. Lai tas kļūtu salīdzināms ar saliktās viduslaukumu metodes rezultātu, iegūtais lielums jādala ar mizas tilpuma koeficientu $s = 1,094$. Tātad

$$z_v^p = 0,2313 : 1,094 = 0,2114 \text{ m}^3$$

un

$$z_v^{vp} = 0,2114 : 7 = 0,0302 \text{ m}^3.$$

Formulas (4.34.) ierobežojumi: skujkokiem $L \geq 10 \text{ m}$, lapkokiem $L \geq 15 \text{ m}$ (baltalksnim $L \geq 6 \text{ m}$).

N. Tretjakova metode. Šajā metodē caurmēru vērtības izmanto bez mizas un tās ir izteiktas metros.

$$z_v^p = 0,58 \left(h_A \cdot d_{A;h/4} \sqrt{d_{A;h/4} d_{A;h/2}} - h_{A-n} d_{A-n;h/4} \sqrt{d_{A-n;h/4} d_{A-n;h/2}} \right), \quad (4.35.)$$

kur izmantoti paraugkoka augstums un caurmērs griezumos $h/4$ un $h/2$ vecumā A un $A-n$.

Piemērs. (4.2. tab.).

$$z_v^p = 0,58(30,8 \cdot 0,301 \sqrt{0,301 \cdot 0,244} - 30,0 \cdot 0,285 \sqrt{0,285 \cdot 0,233}) = 0,1793 \text{ m}^3$$

un

$$z_v^{vp} = 0,1793 : 7 = 0,02562 \text{ m}^3.$$

B. Šustova metode. Arī B. Šustova metode paredz lietot caurmēru vērtības bez mizas un izteiktas metros.

$$z_v^p = 0,53 \left(d_A \cdot d_{A;h/2} \cdot h_A - d_{A-n} \cdot d_{A-n;h/2} \cdot h_{A-n} \right). \quad (4.36.)$$

Piemērs. (4.2. tab.).

$$z_v^p = 0,53(0,363 \cdot 0,244 \cdot 30,8 - 0,341 \cdot 0,233 \cdot 30,0) = 0,1825 \text{ m}^3$$

un

$$z_v^{vp} = 0,1825 : 7 = 0,02608 \text{ m}^3.$$

M. Dvorecka metode.

$$z_v^p = \pi \cdot L \cdot d_c \cdot i_c, \quad (4.37.)$$

kur d_c – divmetrīgo sekciju viduscaurmēru (bez mizas) vidējā vērtība, m;
 i_c – intervālam n atbilstošo gadskārtu kopējā platuma vidējā vērtība,
kas mērīta trīs griezumos: krūšaugstumā, $1/4$ un $3/4$ no stumbra garuma, m;
 L – stumbra garums, m.

Piemērs. (4.2. tab.).

$$z_v^p = 3,14 \cdot 30,8 \cdot 0,236 \cdot 0,095 = 0,2168 \text{ m}^3$$

un

$$z_v^{vp} = 0,2168 : 7 = 0,03097 \text{ m}^3.$$

Sānu virsmas metode. Metodes ideju ierosinājis A. Van der Vliets (Van der Vliet) un tālāk to īstenojis A. Tjurins. Metode pamatojas uz atziņu, ka stumbra tilpuma pieaugums ir vienāds ar *stumbra virsmas laukuma* S un gadskārtas platuma i reizinājumu, t. i.,

$$z_v^p = S \cdot i. \quad (4.38.)$$

Atkarībā no tā, kā nosaka S un i , metodei ir vairākas modifikācijas. Parasti ņem krūšaugstuma i . Ja S aprēķina kā atsevišķu sekciju summu (4.9. att.), ievērojot, ka atsevišķas sekcijas sānu virsma ir $s = \pi \cdot d \cdot l$, tad visa stumbra virsma

$$S = \pi \cdot l \sum_j^k d_j + s_g, \quad (4.39.)$$

kur l – sekcijas garums, m;

d_j – j -tās sekcijas vidus caurmērs (bez mizas), m;

k – sekciju skaits;

s_g – galotnes konusa virsma, m². Parasti s_g ir ļoti maza un to var ignorēt. Turklāt S jāaprēķina pēc tās stāvokļa intervāla n vidū. Tāpēc

$$z_v^p = \frac{\pi \cdot i \cdot l}{2} \sum_j^k (d_{j;A} + d_{j;A-n}). \quad (4.40.)$$

Piemērs. (4.2. tab.).

$$z_v^p = \frac{3,14 \cdot 0,011 \cdot 2,0}{2} (0,404 + 0,361 + \dots + 0,05 + 0,025) = 0,2344 \text{ m}^3$$

un

$$z_v^{vp} = 0,2344 : 7 = 0,03349 \text{ m}^3.$$

Sānu virsmas metodes modifikāciju, sauktu arī par vienkāršoto sānu virsmas metodi, iegūst, ja S aprēķina kā stumbra vidus caurmēra un augstuma funkciju,

$$z_v^p = \frac{\pi \cdot i \cdot L}{2} (d_{A;h/2} + d_{A-n;h/2}). \quad (4.41.)$$

Piemērs. (4.2. tab.).

$$z_v^p = \frac{3,14 \cdot 0,011 \cdot 30,8}{2} (0,244 + 0,2333) = 0,2537 \text{ (m}^3\text{)}$$

un

$$z_v^{vp} = 0,2537 : 7 = 0,03578 \text{ (m}^3\text{)}.$$

P. Sarma ieteicis stumbra virsmas laukumu un virsmas biezumu noteikt pēc divām sekcijām. Paraugkokam izmēra garumu L un abu griezumu caurmērus d_1 un d_2 , kā arī l_1 un i_2 , kas atbilst intervāla n vidum un stumbra garuma $1/4$ un $3/4$ griezumiem.

$$S = \frac{\pi \cdot L}{2} (d_1 + d_2) \quad (4.42.)$$

un

$$z_v^p = \frac{\pi \cdot L}{2} (d_1 + d_2) \frac{i_1 + i_2}{2}. \quad (4.43.)$$

Piemērs. (4.2. tab.).

$$z_v^p = \frac{3,14 \cdot 30,8}{2} (0,292 + 0,155) \frac{0,0075 + 0,009}{2} = 0,1783 \text{ m}^3$$

un

$$z_v^{vp} = 0,1783 : 7 = 0,02547 \text{ m}^3.$$

Tilpuma tabulu starpības metode. Tā ir visvienkāršākā metode. Stumbra tilpumus v_A un v_{A-n} nolasa no tilpuma tabulām. Nedrīkst aizmirst, ka šajās tabulās caurmērs un tilpums uzrādīts ar mizu. Tāpēc arī d_{A-n} jāņem ar mizu, ievērojot mizas biezuma koeficientu u (formula (4.14)).

Piemērs. (4.2. tab.): $h_A = 30,8$ m; $d_A = 37,6$ cm; $u = 1,036$; $h_{A-n} = 30,0$ m; $d_{A-n} = 35,3$ cm. Pēc R. Markusa tabulām, eglei $z_v^p = 1,588-1,390 = 0,198$ m³ un $z_v^{vp} = 0,198:7 = 0,02829$ m³.

Daudz ir tādu stumbra tilpuma tekošā pieauguma noteikšanas metožu, kur z_v^{vp} aprēķināšanā izmanto stumbra tilpumu v un tā pieauguma procentu p_v . Šo metožu kopējā pamatformula ir

$$z_v^{vp} = 0,01 \cdot v \cdot p_v. \quad (4.44.)$$

Formulā (4.44.) un arī turpmāk precīzā apzīmējuma P_v^{vp} vietā lietots vispārpieņemtais vienkāršotais simbols p_v .

A. Tjurina pieauguma procenta metode.

$$p_v = p_g + p_h + p_f \quad (4.45.)$$

vai tuvināti

$$p_v = p_g + 0,7 p_h, \quad (4.46.)$$

kur šķērslaukuma un augstuma pieauguma procentus p_g un p_h aprēķina pēc M. Preslera formulām

$$p_g = \frac{d_A^2 - d_{A-n}^2}{d_A^2 + d_{A-n}^2} \cdot \frac{200}{n} \quad (4.47.)$$

un

$$p_h = \frac{h_A - h_{A-n}}{h_A + h_{A-n}} \cdot \frac{200}{n}. \quad (4.48.)$$

Piemērs. Pēc 4.2. un 4.3. tabulu datiem

$$p_g = \frac{36,3^2 - 34,1^2}{36,3^2 + 34,1^2} \cdot \frac{200}{7} = 1,78 \%,$$

$$p_h = \frac{30,8 - 30,0}{30,8 + 30,0} \cdot \frac{200}{7} = 0,38 \%$$

un

$$p_v = 1,78 + 0,7 \cdot 0,38 = 2,05 \, \%.$$

Metodes precizitāte ir būtiski atkarīga no tā, kādu paņēmieni lieto stumbra tilpuma v noteikšanai. Izmantojot precīzo formulu (4.28.), stumbra tilpums

$$v = 2,3106 \cdot 10^{-4} \cdot 30,8^{0,78193} \cdot 37,6^{0,34175 \lg 30,8 + 1,18811} = 1,5866 \text{ m}^3.$$

Izdalot v ar mizas tilpuma koeficientu $S = 1,094$ (formula (4.32.)), iegūst stumbra koksnes tilpumu

$$v = 1,5866 : 1,094 = 1,4503 \text{ m}^3.$$

Pēc izteiksmes (4.44.)

$$z_v^{vp} = 0,01 \cdot 1,4503 \cdot 2,05 = 0,02973 \text{ m}^3.$$

M. Dvorecka pieauguma procenta metode.

$$p_v = p_d (2c + 0,7), \quad (4.49.)$$

kur koeficients

$$c = z_{d_{A-n}; h/2} : i_{1,3}. \quad (4.50.)$$

Piemērs. (4.2. tab.): $c = 1,5 : 2,2 = 0,6818$ un $p_d = 0,9$ (4.4. tab.). Tāpēc

$$z_v^{vp} 0,01 \cdot 1,4503 \cdot 0,9(2,0 \cdot 0,6818 + 0,7) = 0,02694 \text{ m}^3.$$

Zviedru metode

$$p_v = p_g + p_{hf} \quad (4.51.)$$

kur *veidaugstuma pieauguma* procents

$$p_{hf} = \frac{100z_h}{L + 2,5}. \quad (4.52.)$$

Piemērs. (4.3. tab.) un (4.5. tab.): $p_g = 1,78\%$, $p_{hf} = 100 \cdot 0,114 / (30,8 + 2,5) = 0,34\%$ un $p_d = 1,78 + 0,34 = 2,12\%$. Tāpēc

$$z_v^{vp} = 0,01 \cdot 2,12 \cdot 1,4503 = 0,02974 \text{ m}^3.$$

Ja z_h nevar izmērīt tieši, lieto formulu

$$z_h = 2i \frac{L - 10d}{d}, \quad (4.53.)$$

kur i , L un d (ar mizu) izteikti metros.

Nobeidzot apskatu par nocirsta koka tekošā pieauguma aprēķināšanu, jāpakavējas pie divām ļoti nozīmīgām un literatūrā plaši analizētām sakarībām. Viena no tām – (4.45.) jau iepazīta A. Tjurina pieauguma procenta metodes apskatā. Šī izteiksme norāda, ka šķērslaukuma, augstuma un veidskaitļa pieauguma procenti ir aditīvi lielumi, un to summa ir vienāda ar tilpuma pieauguma procentu. Atziņu pierāda, pamatojoties uz M. Preslera formulu (4.8.) un stumbra tilpuma pamatizteiksmi $v = ghf$. Stumbra tilpumu pirms viena gada ($n = 1$)

$$v_{A-1} = (g - z_g)(h - z_h)(f - z_f)$$

ievietojot formulā (4.8.), iegūst

$$p_v = \frac{ghf - (g - z_g)(h - z_h)(f - z_f)}{ghf + (g - z_g)(h - z_h)(f - z_f)} \cdot 200.$$

Vienkāršības dēļ saucēju var aizstāt ar $2ghf$, jo v_A un v_{A-1} atšķiras ļoti maz. Tāpēc

$$p_v = \frac{ghf - (g - z_g)(h - z_h)(f - z_f)}{ghf} \cdot 100,$$

no kurienes

$$p_v = \frac{ghf - (ghf - z_g hf - z_h gf - z_f gh + z_g z_h f + z_g z_f h + z_h z_f g + z_g z_h z_f)}{ghf} \cdot 100.$$

Skaitītāja pēdējos četrus saskaitāmos kā ļoti mazus lielumus atmetot,

$$p_v = \frac{ghf - ghf + z_g hf + z_h gf + z_f gh}{ghf} \cdot 100 =$$

$$\frac{100z_g hf}{ghf} + \frac{100z_h gf}{ghf} + \frac{100z_f gh}{ghf} =$$

$$\frac{100z_g}{g} + \frac{100z_h}{h} + \frac{100z_f}{f} = p_g + p_h + p_f,$$

kas arī bija jāpierāda.

Otra izteiksme, kas jāpierāda,

$$p_g = 2p_d \quad (4.54.)$$

izsaka, ka šķērslaukuma pieauguma procents ir vienāds ar divkāršu caurmēra pieauguma procentu. No formulas (4.47.) izriet, ka

$$\frac{g_A}{g_{A-1}} = \frac{d_A^2}{d_{A-1}^2}$$

un

$$\frac{100p_g}{100} = \frac{(100 + p_d)^2}{100^2},$$

no kurienes

$$100 + p_g = 100 + 2p_d + 0,01p_g^2.$$

Atmetot $0,01p_g^2$ kā ļoti mazu lielumu,

$$p_g = 2p_d,$$

kas arī bija jāpierāda. Pateicoties šai sakarībai, formulu (4.47.) var uzrakstīt bez kvadrātiem, kas vienkāršo tās praktisko lietošanu:

$$p_g = \frac{d_A - d_{A-n}}{d_A + d_{A-n}} \cdot \frac{400}{n}. \quad (4.55.)$$

4.2.7. Augoša koka stumbra tilpuma pieaugums

Salīdzinājumā ar nocirsta koka stumbra tilpuma pieauguma noteikšanu principiālā atšķirība izriet no tā, ka netiek īstenota iespēja izmērīt augstuma pieaugumu z_h un stumbra caurmēru dažādos griezuma augstumos. Tas izslēdz vairumu iepriekšējā apakšnodaļā aprakstīto metožu lietošanu. Un tikai tās, kas pamatojas uz krūšaugsstuma griezuma datiem, iespējams lietot gadījumos, kad var noteikt z_h . Pie šīs grupas pieder I. Liepas, A. Tjurina, tilpuma tabulu starpības un zviedru metodes.

Augošu koku augstuma pieauguma noteikšanai I. Liepa ieteicis formulu

$$z_h = \frac{2ih(ad + b)}{cd + 100}, \quad (4.56.)$$

kur koka augums h izteikts metros, krūšaugsstuma caurmērs d – centimetros un dotā n -gadīgā perioda gadskārtu kopējais platums i – milimetros. Koeficientu a , b un c vērtības nolasāmas 1.11. tabulā. Kaut arī izteiksme (4.56.) ir izstrādāta koku kopām (atsevišķa audze, audzes daļa, audžu kopa), tās lietošana arī atsevišķu koku z_h aprēķināšanai padara iespējamu stumbra tilpuma pieauguma noteikšanu augošiem lapkokiem un vecākiem skujukokiem, kuru z_h tieši izmērīt nevar. Turklāt tas būtiski paaugstina tilpuma pieauguma vērtējuma precizitāti salīdzinājumā ar tām metodēm, kas paredz z_h aptuvenu acumēra noteikšanu.

Augošiem kokiem izstrādātajās metodēs augstuma pieaugumu raksturo ar dažādiem koeficientiem, kurus tuvināti nosaka pēc koka morfometriskajām pazīmēm, piemēram, vainaga attīstības pakāpes un augstuma augšanas intensitātes acumēra vērtējuma. Vadoties no pēdējā rādītāja, izdala kategorijas: augšana apstājusies, vidēja, laba un spēcīga. Lielākā daļa šo metožu paredz z_v aprēķināt pēc tilpuma pieauguma procenta p_v (formula (4.44.)), p_v izsakot kā p_d funkciju, kas augošiem kokiem relatīvi viegli izdarāms. Pāreja no p_d uz p_v ir atkarīga no koku augšanas rakstura un intensitātes.

M. Preslera metode.

Tilpuma palielināšanās vismazākā ir tad, ja stumbrs pieaug tikai resnumā, bet augstuma un formas izmaiņas nenotiek. Atbilstoši formulai (4.8.)

$$p_v = \frac{\frac{\pi \cdot d_A^2}{4} hf - \frac{\pi \cdot d_{A-n}^2}{4} hf}{\frac{\pi \cdot d_A^2}{4} hf + \frac{\pi \cdot d_{A-n}^2}{4} hf} \cdot \frac{200}{n} = \frac{d_A^2 - d_{A-n}^2}{d_A^2 + d_{A-n}^2} \cdot \frac{200}{n} = p_g,$$

šajā gadījumā arī

$$p_v = \frac{d_A^2 - d_{A-n}^2}{d_A^2 + d_{A-n}^2} \cdot \frac{200}{n} \quad (4.57.)$$

un, ievērojot, ka $p_g = 2p_d$ (formula (4.54.)), $p_v = 2p_d$. Šīs atziņas ērtākai īstenošanai metodes autors ievieša *relatīvā caurmēra* jēdzienu r – caurmēra (bez mizas) attiecību pret tā pieaugumu, t. i.,

$$r = \frac{d_A}{z_d}. \quad (4.58.)$$

Tā kā $z_d = d_A - d_{A-n}$, tad $d_A = r \cdot z_d$ un $d_{A-n} = d_A - z_d = r \cdot z_d - z_d = z_d(r-1)$. Iegūtās d_A un d_{A-n} vērtības ievietojot p_v formulā (4.57.),

$$p_v = \frac{r^2 z_d^2 - z_d^2 (r-1)^2}{r^2 z_d^2 + z_d^2 (r-1)^2} \cdot \frac{200}{n} = \frac{r^2 - (r-1)^2}{r^2 + (r-1)^2} \cdot \frac{200}{n}$$

jeb

$$p_v = \frac{r^2 - (r-1)^2}{r^2 + (r-1)^2} \cdot \frac{200}{n}. \tag{4.59.}$$

Ja koks aug resnumā un arī augstumā un turklāt abi pieaugumi ir proporcionāli, bet stumbra forma paliek iepriekšējā, var pierādīt, ka $p_g = 3p_d$ un izteiksmes (4.59.) pakāpes rādītājs ir 3. Un, beidzot, ja izmainās visi tilpuma komponenti – caurmērs, augstums un forma, pakāpes rādītājs ir x .

$$p_v = \frac{r^x - (r-1)^x}{r^x + (r-1)^x} \cdot \frac{200}{n}, \tag{4.60.}$$

kur x mainās robežās 2,0–3,5. M. Preslers x nolasīšanai iesaka šādas pazīmes (4.7. tab.). Šajā tabulā redzams, ka slaidākiem stumbriem ar lielāku augstuma pieaugumu un mazāku vainagu atbilst lielāks tilpuma pieaugums. Praksē lielākās grūtības sagādā koka viennozīmīga attiecināšana uz to vai citu augšanas kategoriju. Lai daļēji novērstu subjektivisma ietekmi, M. Dvoreckis iesaka šādus palīgkritērijus (4.8. tab.).

4.7. tabula

Formulas (4.60.) pakāpes rādītāja x vērtības

Vainaga sākums	Augstuma pieaugums			
	apstājies	vidējs	labs	spēcīgs
Zem 0,5 h	2,33	2,67	3,00	3,00–3,33
Starp 0,5–0,75 h	2,50	2,67–3,00	3,00–3,33	3,33
Virš 0,75 h	2,67	3,00	3,33–3,50	3,33–3,50

4.8.tabula

Augstuma augšanas kategorijas

Koku suga un bonitāte	Augstuma ikgadējais pieaugums, m			
	apstājies	vidējs	labs	spēcīgs
Saulmīļu sugas (I–III bonitāte)	0–0,10	0,11–0,29	0,30–0,39	0,40–0,50
Ēnciešu un IV–V bonitātes saulmīļu sugas	0–0,05	0,06–0,19	0,20–0,30	–

Piemērs. Egles $z_v^{vp} = 0,11$ m (4.3. tab.), tātad augstuma pieaugums ir vidējs. Koka vainags sākas 18,0 m augstumā jeb 0,58 h. Pēc 4.7. tabulas $x = 2,67$. Relatīvais caurmērs $r = 36,3:2,2 = 16,5$ (4.2. tab.). Tādēļ

$$p_v = \frac{16,5^{2,67} - (16,5-1)^{2,67}}{16,5^{2,67} + (16,5-1)^{2,67}} \cdot \frac{200}{7} = 2,38 \%$$

un

$$z_v^{vp} = 0,01 \cdot 2,38 \cdot 1,4503 = 0,03452 \text{ m}^3.$$

F. Šneidera (Schneider) metode. Pazīstama kopš 1853. gada. Sākotnējā variantā tā attiecās tikai uz tādiem kokiem, kuru $z_h = 0$ un stumbra forma nemainās. Tā kā šajā gadījumā $p_v = p_g = 2p_d$, tad

$$p_v = \frac{2z_d \cdot 100}{d_A} = \frac{2 \cdot 2i \cdot 100}{d_A} = \frac{400i}{d_A}.$$

Metodes autors ieteicis izmantot gadskārtu skaitu 1 cm. Ja to apzīmē ar n , tad vienas gadskārtas platums ir $1/n$ un

$$p_v = \frac{400}{n \cdot d_A}, \quad (4.61.)$$

kur d_A ir krūšaugstuma caurmērs bez mizas. Vēlāk formulu (4.61.) pielāgoja kokiem, kuriem mainās visi stumbra tilpuma komponenti. To panāca, ievēdot koeficientu c .

$$p_v = \frac{c}{n \cdot d_A}. \quad (4.62.)$$

Koeficientu c nosaka pēc tām pašām pazīmēm kā x (4.7. tab.). Empīriski noskaidrots, ka

$$c = 200x, \quad (4.63.)$$

kas dod iespēju abās metodēs izmantot kopējas palīgtabulas (4.7. un 4.8. tab.).

Piemērs. Turpinotaizsākto uzdevumu, vidēji $n=6,4$ (4.2. tab.), $c=200 \cdot 2,67=534$, $n=534/(6,4 \cdot 36,3)=2,30\%$ un

$$z_v^{vp} = 0,01 \cdot 2,3 \cdot 1,4503 = 0,03336 \text{ m}^3.$$

G. Turska metode. G. Turskis ievēroja, ka $x_{\min} = 2,0$. Tāpēc

$$p_v = \frac{2+k}{p_d}. \quad (4.64.)$$

Koeficientu k metodes autors ieteica noteikt, vadoties pēc šādiem norādījumiem: augstuma pieaugums apstājies, $k = 0$; pieaugums vidējs, $k = 0,7$; pieaugums labs, $k = 1,0$ un pieaugums spēcīgs, $k = 1,3$.

Piemērs. Sakarā ar to, ka dotā paraugkoka augstuma pieaugums ir vidējs, $k = 0,7$. No 4.4. tabulas $p_d = 0,9\%$. Tāpēc $p_v = (2,0 + 0,7) \cdot 0,9 = 2,43\%$ un

$$z_v^{vp} = 0,01 \cdot 2,43 \cdot 1,4503 = 0,03524 \text{ m}^3.$$

E. Ostvalda metode. Izstrādāta Latvijā. Analizējot bagātīgu empīrisko materiālu, E. Ostvalds konstatēja, ka p_v ir atkarīgs no gadskārtu platuma, krūšaugstuma *bezmizas caurmēra*, augstuma pieauguma rakstura, vainaga garuma un audzes biezības. Pēdējie trīs argumenti grupēti kopējās kategorijās: 1 – brīvi augoši koki ar zemu vainagu, augstuma pieaugums šķietami apstājies; 2 – vidējā biezībā augoši koki ar vidēji garu vainagu un nelielu augstuma pieaugumu; 3 – slēgtā audzē augoši koki ar spēcīgu augstuma pieaugumu (4.9. tab.).

Piemērs. Dotais paraugkoks atbilst 2. kategorijai. Gadskārtas vidējais platums par pēdējiem 7 gadiem $i = 22 : 7 : 2 = 1,57 \text{ mm}$ un bezmizas $d_A = 36,3 \text{ cm}$. Tāpēc $d_A / i = 231,2$ un $p_v = 2,2\%$ (4.9. tab.). Tekošais tilpuma pieaugums

$$z_v^{vp} = 0,01 \cdot 2,2 \cdot 1,4503 = 0,03191 \text{ m}^3.$$

A. Van der Vlieta metode. Pamatojas uz formulu

$$p_v = 60 \frac{k}{d_A}, \quad (4.65.)$$

kur k – pēdējo 10 gadskārtu vidējais platums, cm;

d_A – krūšaugstuma bezmizas caurmērs, cm.

Piemērs. No 4.2. tabulas izriet, ka $k = 0,143 \text{ cm}$, $p_v = 60(0,143/36,3) = 2,36\%$ un $z_v^{vp} = 0,01 \cdot 2,36 \cdot 1,4503 = 0,03423 \text{ m}^3$.

Tilpuma pieauguma procenta p_v vērtības

$\frac{d_A}{i}$	Kategorija			$\frac{d_A}{i}$	Kategorija		
	1.	2.	3.		1.	2.	3.
600	0,8	0,9	1,1	160	2,8	3,3	3,8
500	0,9	1,0	1,2	150	3,0	3,5	4,1
400	1,1	1,3	1,5	140	3,2	3,8	4,4
350	1,2	1,4	1,7	130	3,4	4,0	4,7
300	1,4	1,7	2,0	120	3,7	4,4	5,1
250	1,8	2,1	2,4	110	4,1	4,8	5,6
220	2,0	2,3	2,7	100	4,4	5,2	6,1
200	2,2	2,6	3,0	90	5,0	5,9	6,8
190	2,3	2,7	3,2	80	5,6	6,6	7,7
180	2,4	2,9	3,3	70	6,4	7,5	8,7
170	2,6	3,1	3,6				

4.2.8. Pieauguma noteikšanas precizitāte

Precizitāte un darbietilpība ir svarīgākie katras metodes izvēles priekšnoteikumi. Ikvienai pieauguma noteikšanas metodei ir savas īpatnības, kas atšķirīgi fiksē konkrēta stumbra tilpīguma specifiku. Tas nozīmē, ka vienā gadījumā atbilstošāka var izrādīties viena, bet citā – cita metode. Tāpēc, ja vien iespējams, tilpuma tekošo pieaugumu jācenšas noteikt ar vairākām metodēm. Tas ne tikai dod iespēju izvairīties no rupjām kļūdām, bet garantē arī pilnīgāku konkrēto apstākļu uztveri. Turklāt ar vairākām metodēm iegūto rezultātu vidējās vērtības noteikšanas kļūda samazinās apgriezti proporcionāli kvadrātsaknei no atsevišķo vērtējuma metožu skaita. Protams, sacītais neattiecas uz salikto viduslaukumu metodi. Pateicoties tam, ka caurmērs A un $A - n$ vecumā tiek mērīts visā stumbra garumā, šī metode pilnībā fiksē kā stumbra formas, tā arī gadskārtu platuma vertikālā mainīguma ietekmi. Teorētiski pielaižamās kļūdas lielumu determinē atsevišķo tilpuma komponentu noteikšanas precizitāte.

Saliktās viduslaukumu metodes adekvātumu daudzi autori pārbaudījuši arī empīriski. M. Dvoreckis to veicis atkarībā no sekciju skaita un garuma, 38 priedes paraugkoku datus apstrādājot statistiski (4.10. tab.). *Sistemātiskā kļūda* ir ļoti maza, tā nepārsniedz $-1,25\%$. *Vidējā kvadrātiskā kļūda* paaugstinās līdz ar sekciju skaita samazināšanos un to garuma palielināšanos. Taču 5 – 8 sekcijas ir pietiekoši, lai tilpuma pieauguma noteikšanas kļūda katrā konkrētā gadījumā nepārsniegtu $\pm 10\%$. Turklāt jāņem vērā, ka šī atziņa ir spēkā pat tad, ja stumbru sadala 4 m garās sekcijās. Ja sekciju garums ir 1 m, ļoti iespējams, ka atsevišķa vērtējuma kļūda iekļaujas $\pm 2 - 3\%$ robežās, kā to norāda vairums autoru.

4.10. tabula

Saliktās viduslaukumu metodes atbilstības raksturojums

Sekciju skaits	Sekciju garums, m	Kļūda, %		Kļūdas robežas, %	
		sistemātiskā	vidējā kvadrātiskā	no „ - „	līdz „ + „
21 – 33	1	+0,02	1,26	3,1	3,3
10 – 16	2	-0,62	1,85	4,0	3,5
5 – 8	4	-1,25	2,74	8,4	7,8
1	-	-1,10	9,40	25,0	19,8

Piemēra paraugkoka vērtējuma kopsavilkums

Metode	z_v^{vp}, m^3	Kļūda, %
Nocirsta koka		
Viduslaukumu	0,02301	-21,8
Vienkāršotā viduslaukumu	0,02429	-17,5
Saliktā viduslaukumu	0,02943	0,0
I. Liepas (formula (4.31.))	0,02843	-3,4
I. Liepas (formula(4.34.))	0,03020	+2,6
A. Tretjakova	0,02562	-13,0
B. Šustova	0,02608	-11,4
M. Dvorecka	0,03097	+5,2
Sānu virsmas	0,03349	+13,8
Vienkāršotā sānu virsmas	0,03578	+21,6
P. Sarmas	0,02547	-13,5
Tilpuma tabulu starpības	0,02829	-3,9
A. Tjurina pieauguma procenta	0,02973	+1,0
A. Dvorecka pieauguma procenta	0,02694	-8,5
Zviedru	0,02974	+1,1
Augoša koka		
M. Preslera	0,03452	+17,3
F. Šneidera	0,03336	+13,4
G. Turska	0,03524	+19,7
E. Ostvalda	0,03191	+8,4
A. Van der Vlieta	0,03423	+16,3

Nocirsta koka stumbra tilpuma pieauguma noteikšanas augstāku kvalitāti nodrošina tas, ka augstuma un caurmēra pieaugumi tiek mērīti tieši. Bez tam iespējams daļēji fiksēt arī formas izmaiņas un gadskārtu platuma $\dot{I}$ atšķirību dažādos griezuma augstumos. Augošiem kokiem šādi mērījumi nav iespējami. Turklāt lielu ietekmi dod augšanas intensitātes kategorijas acumēra izvēle. F. Semeņuta konstatējis 60 – 70% lielas kļūdas. Jāatzīst, ka trūkst tādu statistiski pamatotu datu, kas būtu iegūti ar dažādām metodēm, vērtējot vienus un tos pašus paraugkokus. Salīdzinošu priekšstatu dod mūsu piemēra paraugkoka vērtējuma rezultāti (4.11. tab.). Metožu sarakstā ievērota tāda secība, kādā tās apskatītas 4.2.6. un 4.2.7. apakšnodaļās. Par atskaites punktu pieņemta saliktā viduslaukumu metode. Pārējo metožu kļūdas izteiktas kā procentuālās novirzes no šīs metodes rezultāta. Jāvērš uzmanība uz to, ka, dažādu koka tilpuma pieauguma metožu precizitāti salīdzinot, nedrīkst aizmirst – daļa metožu pieaugumu uzrāda ar mizu, daļa – bez mizas un ir arī tādas, ar kurām iespējams aprēķināt kā vienu, tā otru vērtību. Tā kā starpība starp pieaugumu ar un bez mizas atsevišķos gadījumos var pārsniegt pat 10%, nav pieļaujama mizas nozīmes ignorance. Tāpēc 4.11. tabulā visas z_v^{vp} vērtības uzrādītas kā stumbra vidējais periodiskais pieaugums bez mizas. Iepriekš atzīmēts, ka, ja vien iespējams, vienam un tam pašam objektam pieaugumu ieteicams noteikt pēc vairākām metodēm, tādējādi samazinot rupjas kļūdišanās iespējas. Sekojot šai atziņai, 4.11. tabulā pārstāvēto 14 nocirsta koka pieauguma vērtēšanas metožu rezultātu vidējā aritmētiskā vērtība ir 0,02843 m³, kas salīdzinājumā ar saliktās viduslaukumu formulas rezultātu uzrāda nelielu negatīvu novirzi (- 3,4%). Sakarā ar vairuma tilpuma pieauguma noteikšanas metožu lauka darbu lielo ietilpību praktiski vienmēr jāsamierinās tikai ar vienas metodes izvēli, meklējot kompromisu starp tās precizitāti un darbietilpību. Vēlreiz jāpasvīt, ka 4.11. tabula satur tikai viena paraugkoka datus. Tāpēc tie uzskatāmi vienīgi kā atsevišķa gadījuma skaitļi. Cita paraugkoka vērtēšana uzrādīs atšķirīgus rezultātus. Pareizos secinājumus var dot vienīgi statistiskais vērtējums.

4.3. Audzes krājas difference un pieaugums

4.3.1. Differences un pieauguma klasifikācija

Šeit un turpmāk lietoti termini *audzes difference* un *audzes pieaugums*. Stingri ņemot, tas ir pareizi tikai *vienkāršās tīraudzēs*, bet visos pārējos gadījumos būtu jārunā par *meža elementa*, koku sugas, stāva un *kokaudzes difference* vai *pieaugumu*. Taču, lai nesarežģītu materiāla izklāstu, lietoti tradicionālie termini un tikai tur, kur ir iespējami pārpratumi, šie jēdzieni aplūkoti diferencēti.

Atšķirībā no atsevišķa koka stumbra tilpuma pieauguma, *audzes krājas* uzkrāšanos vai samazināšanos laika gaitā būtiski ietekmē *atmirums*, t. i., to koku kopa, kas intervāla n laikā ir aizgājusi bojā dabiski (nokaltuši, izgāzti, nolūzuši) vai izcirsti audzes apsaimniekošanas kārtībā. Runājot par audzes pieaugumu, šis apstāklis jāņem vērā. Sevišķi svarīgi tas ir tad, ja pieaugumu traktē kā krājas V starpību intervāla n beigās un sākumā. Nezinot atmiruma apjomu, iespējams noteikt tikai audzes pieauguma daļu. Šo daļu sauc par *krājas difference* jeb *nepilno pieaugumu* un apzīmē ar Δ .

Izšķir *vidējo* un *tekošo krājas difference*, bet pēdējo vēl iedala *periodiskajā*, *vidēji periodiskajā* un *ikgadējā*. Pamatformulas ir šādas:

tekošā periodiskā difference

$$\Delta_V^p = V_A - V_{A-n}, \quad (4.66.)$$

tekošās periodiskās difference procents

$$p_{\Delta_V^p} = \frac{V_A - V_{A-n}}{V_A + V_{A-n}} \cdot 200, \quad (4.67.)$$

tekošā vidēji periodiskā difference

$$\Delta_V^{vp} = \frac{V_A - V_{A-n}}{n}, \quad (4.68.)$$

tekošās vidēji periodiskās difference procents

$$p_{\Delta_V^{vp}} = \frac{V_A - V_{A-n}}{V_A + V_{A-n}} \cdot \frac{200}{n}, \quad (4.69.)$$

tekošā ikgadējā difference

$$\Delta_V^i = V_A - V_{A-1}, \quad (4.70.)$$

tekošās ikgadējās difference procents

$$p_{\Delta_V^i} = \frac{V_A - V_{A-1}}{V_A + V_{A-1}} \cdot 200. \quad (4.71.)$$

Krājas difference var būt kā pozitīvs, tā negatīvs lielums. Pozitīvā vērtība norāda uz sintēzes procesu pārsvaru pār atmiršanu. Negatīva krājas difference ir raksturīga pāraugušām, kā arī pārcirstām vai citādi destruētām audzēm.

Vidējā difference

$$\Delta_V^v = \frac{V_A}{A} \quad (4.72.)$$

un vidējās difference procents

$$p_{\Delta_V^v} = \frac{100}{A}. \quad (4.73.)$$

Audzes pieaugums integrāli atspoguļo krājas izmaiņas intervāla n laikā. Izšķir *pilno* un *faktisko tekošo pieaugumu*. Pilnais pieaugums ietver arī *atmiruma krāju* V_n^a .

Pamatformulas:

tekošais pilnais periodiskais pieaugums

$$Z_{Vp}^p = V_A - V_{A-n} + V_n^a, \quad (4.74.)$$

tekošā pilnā pieauguma procents

$$p_{Vp}^p = \frac{V_A - V_{A-n} + V_n^a}{V_A + V_{A-n} + V_n^a} \cdot 200, \quad (4.75.)$$

tekošais pilnais vidēji periodiskais pieaugums

$$Z_{Vp}^{vp} = \frac{V_A - V_{A-n} + V_n^a}{n}, \quad (4.76.)$$

tekošā pilnā vidēji periodiskā pieauguma procents

$$p_{Vp}^{vp} = \frac{V_A - V_{A-n} + V_n^a}{V_A + V_{A-n}} \cdot \frac{200}{n}, \quad (4.77.)$$

tekošais pilnais ikgadējais pieaugums

$$Z_{Vp}^i = V_A - V_{A-1} + V_1^a, \quad (4.78.)$$

tekošā pilnā ikgadējā pieauguma procents

$$p_{Vp}^i = \frac{V_A - V_{A-1} + V_1^a}{V_A + V_{A-1}} \cdot 200. \quad (4.79.)$$

Jāuzsver, ka pilnais pieaugums rāda, cik lielu krājas daudzumu saražojusi tā koku kopa, kas audzi veidoja pirms n gadiem. Intervāla n laikā bez stumbru dimensiju palielināšanās notikusi arī noteikta koku skaita atmiršana. Tāpēc intervāla beigās palikušo koku ir mazāk nekā sākumā. Un vienīgi palikušie koki ir tie, kas šajā momentā producē un vēl zināmu laiku turpinās palielināt audzes krāju. No saimnieciskā viedokļa nozīmīgi ir tieši šī koku kopa, tās krāja un krājas palielināšanās reālās potences. Tas nozīmē, ka ir jānosaka saglabājušos koku jeb *faktiskās audzes* pieaugums aizvadītajos n gados. Tādēļ šo tekošā pieauguma veidu sauc par faktisko. No pilnā pieauguma tas atšķiras ar *atmiruma pieaugumu*. Pēc V. Džurdžu pētījumiem antropogēni relatīvi neietekmētās audzēs faktiskais pieaugums ir par 2–3 % mazāks. Jāatzīmē, ka dažkārt nākas rēķināties arī ar *ieauguma pieaugumu*. Ar ieaugumu saprot faktiskās audzes to koku kopu, kas audzi papildinājuši intervāla n laikā, paaugas kokiem sasniedzot uzmērīšanai paredzēto koku dimensijas.

Faktiskais pieaugums nevar būt negatīvs. Kamēr vien saglabājas audze vai tikai kāda tās daļa, augošie koki dod pieaugumu. Tieši faktiskais ir tas tekošā pieauguma veids, kas visjutīgāk reaģē uz vides izmaiņām, to skaitā atsedzot dažādu saimniecisko pasākumu izpildes kvalitāti. Tas vislabāk raksturo audzes fizioloģisko stāvokli. Tāpēc faktiskā pieauguma pareizai noteikšanai jāvelta vislielākā uzmanība.

Pamatformulas:

tekošais faktiskais periodiskais pieaugums

$$Z_{Vf}^p = V_A - v_{A-n}, \quad (4.80.)$$

tekošā faktiskā periodiskā pieauguma procents

$$p_{Vf}^p = \frac{V_A - v_{A-n}}{V_A + v_{A-n}} \cdot 200, \quad (4.81.)$$

tekošais faktiskais vidēji periodiskais pieaugums

$$Z_{Vf}^{vp} = \frac{V_A - v_{A-n}}{n}, \quad (4.82.)$$

tekošā faktiskā vidēji periodiskā pieauguma procents

$$p_{vf}^{vp} = \frac{V_A - V_{A-n}}{V_A + V_{A-n}} \cdot \frac{200}{n}, \quad (4.83.)$$

tekošais faktiskais ikgadējais pieaugums

$$Z_{vf}^i = V_A - V_{A-1}, \quad (4.84.)$$

tekošā faktiskā ikgadējā pieauguma procents

$$p_{vf}^i = \frac{V_A - v_{A-1}}{V_A + V_{A-1}} \cdot 200, \quad (4.85.)$$

kur v_{A-n} ir intervāla n beigās audzē augošo koku krāja $A-n$ gadu vecumā.

Taksācijas praksē tekošā faktiskā pieauguma procentu ļoti bieži aprēķina pēc formulas

$$p_{vf}^{vp} = p_G + p_{HF} - \frac{np_G \cdot p_{HF}}{100}. \quad (4.86.)$$

Šo sakarību iegūst –

$$\begin{aligned} p_V^{vp} &= \frac{V_A - v_{A-n}}{V_A} \cdot \frac{100}{n} = \frac{Z_V^{vp}}{V} \cdot \frac{100}{n} = \\ &= \frac{GHF - (G - Z_G) \cdot (H - Z_{HF})}{GHF} \cdot \frac{100}{n} = \\ &= \frac{GHF - GHF + GZ_{HF} + Z_G HF - Z_G Z_{HF}}{GHF} \cdot \frac{100}{n} = \\ &= \frac{GZ_{HF}}{GHF} \cdot \frac{100}{n} = \frac{Z_G HF}{GHF} \cdot \frac{100}{n} = \frac{Z_G Z_{HF}}{GHF} \cdot \frac{100}{n} = \\ &= \frac{p_G}{n} + \frac{p_{HF}}{n} - \frac{p_G p_{HF}}{n^2 \cdot 100} = p_G + p_{HF} - \frac{n \cdot p_G \cdot p_{HF}}{100}, \end{aligned}$$

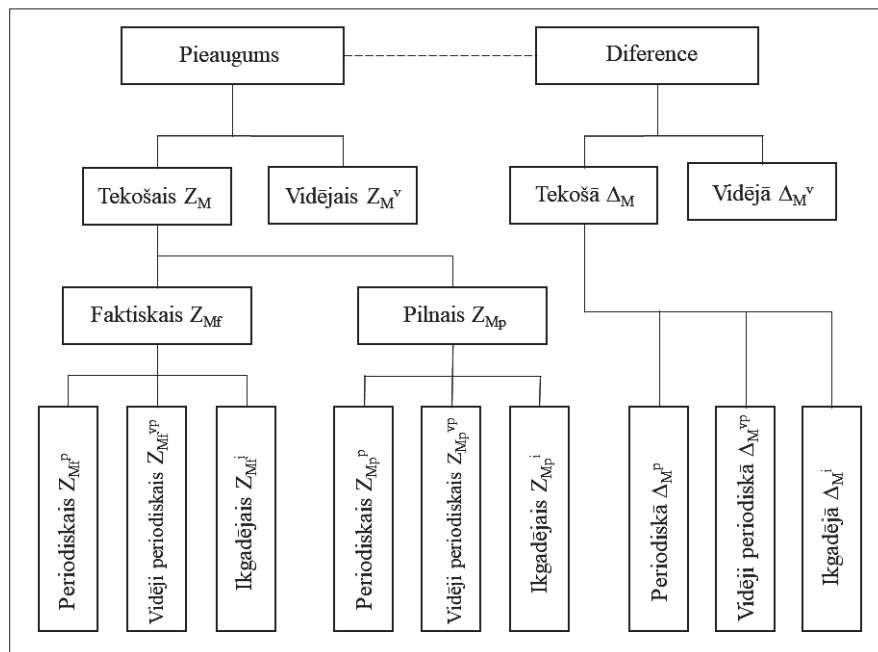
kas arī bija jāpierāda.

Savukārt faktiskais krājas pieaugums iedalās *potenciālajā* Z_v , *dabiskajā* Z_{dab} un *reālajā* Z_{real} pieaugumā. Potenciālais pieaugums raksturo faktiskās koku kopas krājas palielināšanās tempu, atsedzot krājas veidošanās procesu summāro efektu. Z_v nevar būt negatīvs. Matemātiski to apraksta krājas diferenciālā funkcija, tā fizikālais analogs ir kustības momentālais ātrums. Labākai uztverei to var salīdzināt ar populācijas dzimstību demogrāfijā.

Tā kā katrā audzē un audžu kopās līdzās organisko vielu sintēzes procesam norisinās nepārtraukta krājas atmiršana, krājas pieaugums un atmirums ir nešķiramas krājas dinamikas sastāvdaļas. Atmiruma $Z_{(-)}$ demogrāfiskais analogs ir populācijas mirstība. Kā zināms, no dzimstības atskaitot mirstību, iegūst populācijas skaita dabisko pieaugumu. Līdzīgi meža pieauguma mācībā, no krājas potenciālā pieauguma atņemot atmirumu $Z_{(-)}$, aprēķina krājas dabisko pieaugumu Z_{dab} . Tā skaitliskā vērtība var būt kā pozitīva, tā negatīva vai vienāda ar nulli. Būtiskas korekcijas krājas dinamikā ienes mežizstrāde, par gada laikā izcirstās koksnes daudzumu samazinot dabisko pieaugumu. Starpība starp dabisko pieaugumu un cilvēka izcirsto krāju V_c izsaka reālo krājas pieaugumu Z_{real} , kas, audzes platībai nemainoties intervāla n laikā, sakrīt ar krājas diferenci. Vienīgi Z_{real} atspoguļo patieso stāvokli audžu kopas krājas resursu uzskaitē. Ja $Z_{real} > 0$, krājas resursi palielinās, ja $Z_{real} < 0$, tie samazinās. Līdz ar to Z_{real} var kalpot kā ciršanas apjomu kontroles kritērijs. Turklāt, analizējot visu piecu komponentu (Z_v , $Z_{(-)}$, Z_{dab} , V_c , Z_{real}), datus atklājas vājā vieta, kas novēršama krājas resursu nenoplicinošas izmantošanas interesēs.

No iepriekšminētā izriet, ka taksācijas rādītāju dinamika ir ļoti sarežģīts un daudzveidīgs process. Pat zinātniskajā literatūrā tiek vienādoti pieauguma un differences jēdzieni, par atsevišķiem pieauguma veidiem pat nerunājot. Taču audzes pieauguma jautājumu diferencēts risinājums ir nepieciešams, jo dažādi pieauguma veidi raksturo atšķirīgus aspektus. Ar to cieši saistīta pat pieauguma noteikšanas problēma. Lai pareizi izraudzītos pieauguma noteikšanas metodi, vispirms ir jāizšķiras par to, kāds pieauguma veids ir jānosaka. Pateicoties Lietuvas taksatoru un vispirms V. Antanaiša zinātniskajai un organizatoriskajai darbībai, pieauguma veidu izpratne, simbolika un terminoloģija krievu valodā tika

standartizēta jau 1972. gadā (ГОСТ 18264–72), tādējādi ieviešot zināmu skaidrību bijušās Padomju Savienības taksatoru savstarpējās saprašanās jomā. Šis darbs ir guvis arī starptautisku atzinību IUFRO ietvaros. Taču kā jebkurš standarts tas fiksē teorijas un dotās valsts attīstības līmeni standarta izstrādāšanas laikā. Tāpēc šajā darbā materiāls izklāstīts, atkāpjoties no atsevišķu jēdzienu standartizētās interpretācijas un simbolikā ieviešot latviešu terminiem atbilstošus apzīmējumus (4.10. att.).



4.10. att. Audzes krājas pieauguma un diferences kopsakarības

4.3.2. Tekošā pieauguma noteikšanas metodes

4.3.2.1. Metožu klasifikācija

Uz šodienu audzes krājas tekošā pieauguma noteikšanas pazīstamo metožu skaits sniedzas vairākos simtos. Metodes atšķiras pēc vairākiem kritērijiem. Pirmkārt, pēc tā, kādu Z_v veidu tās izsaka. Otrkārt, atšķirīga ir metožu precizitāte, treškārt – laika un darba ieguldījums, kas nepieciešams to īstenošanā, un, ceturtkārt, tā ir metožu piemērotība darbam dažādos apstākļos. Ideālā variantā mūsdienīgai metodei ir jāatbilst vairākām prasībām:

~ jānodrošina *rezultātu precizitāte*, Z_v vērtēšanas kļūdai nepārsniedzot $\pm 10\%$; vienīgi dažādvecuma un saliktās mistraudzēs pieļaujama $\pm 15\%$ kļūda;

~ jāņem vērā koku sugu bioloģiskās īpašības (augšanas enerģija, stumbra tilpīgums, mizas biežums);

~ jāizslēdz subjektīva rakstura kļūdas, nepieļaujot realizēties izpildītāju personīgo vēlmju ietekmei, citiem vārdiem, izejas datiem ir jābūt kvantitatīvas (uzmērīšana, uzskaitē), nevis acumēra vērtēšanas rezultātiem;

~ jāparāda tekošā *pieauguma struktūra* (koksnes un mizas pieaugums, tā sadalījums pa caurmēra pakāpēm, koksnes kvalitatīvajām u. c. grupām) un tā ikgadējā *dinamika*, šķirojot ikgadējā un vidēji periodiskā pieauguma jēdzienus;

~ jāgarantē tekošā pieauguma noteikšanas adekvātums un dažādu autoru datu salīdzināmība, kas iegūti kā atsevišķās audzēs, tā atšķirīgos fitocenotiskos, edafiskos un mežsaimnieciskā režīma apstākļos;

~ jābūt praktiski ērtai un ātrai ar iespējami zemākām prasībām darbaspēka patēriņa ziņā;

~ jāatsedz taksācijas rādītāju savstarpējā atkarība, tādējādi pamatojot pieauguma datu izmantošanu meža stāvokļa *aktualizēšanā*.

Krājas tekošā pieauguma metodes iedala: *pastāvīgo parauglaukumu* jeb *atkārtotas uzskaites, paraugkoku, urbumu un kamerālajās metodēs*. Šajā darbā aprakstītas atsevišķas pārstāves no katras grupas.

4.3.2.2. Pastāvīgo parauglaukumu metode

Ar šo metodi nosaka tekošo pilno pieaugumu ar mizu. Tā pamatojas uz sakarībām (4.74.) un (4.76.). Metodes īstenošana prasa atkārtotu un ļoti rūpīgu audzes augošo, atmirušo un izcirsto koku krājas taksāciju. Šim nolūkam audzē jāierīko pastāvīgais parauglaukums, kurā visi koki ir numurēti un uz to stumbriem iezīmētas dastmēra pielikšanas vietas. Parauglaukumu uzmēra ik pēc n ($n = 5-10$) gadiem. Rūpīgi jāseko, lai intervāla n laikā tiktu uzmērīti visi nokaltušie, izgāztie, nolauztie un nocirstie koki, kuru stumbru tilpumu kopējā summa sastāda atmiruma krāju. Ja uzmērīšanas noteikumi stingri ievēroti, pēc formulām (4.74.) un (4.76.) intervāla n beigās var aprēķināt pilno periodisko un vidēji periodisko pieaugumu.

Pastāvīgo parauglaukumu metode ir darbietilpīga. Taču tās nepatīkamākā iezīme ir tā, ka Z_v iespējams aprēķināt tikai pēc n gadiem. Tātad uz rezultātu jāgaida vismaz 5 gadi. Vācijas mežkopji uzskata, ka 5 vai pat 10 gadi ir ļoti maz un ka ticamus rezultātus ar šo metodi var iegūt, sākot ar 50 gadiem. Ļoti pretrunīgs ir metodes precizitātes vērtējums. P. Sarma uzskata, ka šī ir drošākā metode, pieļaujot pat $n = 3$. I. Naumenko pasvītro, ka Z_v tiek aprēķināts kā starpība starp diviem līdzīgiem lielumiem, kuru precīza noteikšana ir apgrūtināta, un tāpēc nedrīkst prasīt augstu precizitāti. Pēc A. Tjurina atzinuma $\pm 10\%$ kļūda uzskatāma par parastu. To apstiprina statistiskā analīze. Sekojot kļūdu uzkrāšanās likumam, var rakstīt, ka Z_v noteikšanas kļūda

$$p_{Z_v} = \sqrt{p_{V_A}^2 + p_{V_{A-n}}^2 + p_{V_A^a}^2}, \quad (4.87.)$$

kur p_{V_A} , $p_{V_{A-n}}$ un $p_{V_A^a}$ attiecīgi ir parauglaukumā augošo koku (A un $A - n$ gadu vecumā) krājas un atmiruma krājas noteikšanas kļūdas. Pat pieņemot, ka visi šie komponenti nepārsniedz $\pm 5\%$, $p_{Z_v} = 8.7\%$. Lai iekļautos metodes aizstāvju norādītajās $\pm 5 - 6\%$ robežās, visu komponentu kļūdas nedrīkst būt lielākas par $\pm 3\%$. Tā ir krājas taksācijas iespēju robeža un to nodrošināt ir ļoti grūti, nemaz nerunājot par to, ka neviens parauglaukums simtprocentīgi nereprezentē audzi. V. Antanaitis un V. Zagrejevs (Антанайтис В., Загребев В., 1981), šo metodi vērtējot kompleksi, norāda, ka tā:

~ prasa ļoti ilgus novērojumus; ja $n = 5-10$ gadi, iespējamas tik lielas kļūdas, ka iegūtie rezultāti zaudē nozīmi;

~ nedod iespēju noteikt ikgadējo pieaugumu;

~ nav izmantojama ražošanas apstākļos (arī pārāk liela darbietilpīguma dēļ);

~ atsedz audzes sastāva veidošanos, kopējās produktivitātes u. c. aspektus un tāpēc tā ir neaizstājama audžu *augšanas gaitas* pētīšanā.

4.3.2.3. Paraugkoku metodes

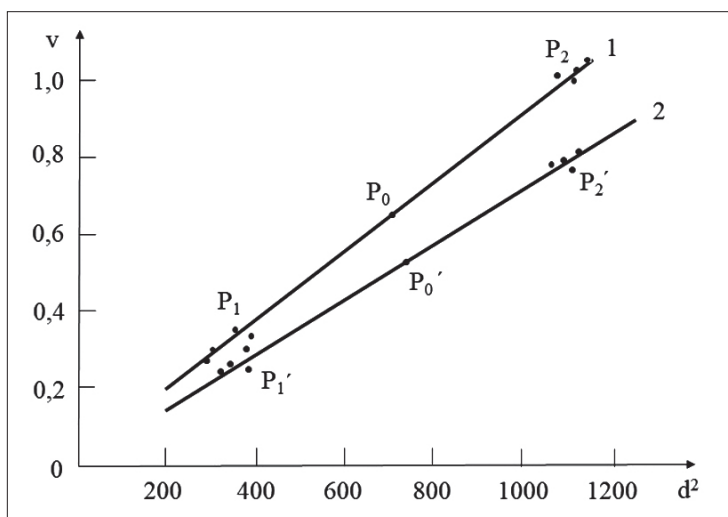
Šajā grupā metožu ir daudz. Visām kopējs ir tas, ka aprēķina faktisko pieaugumu (formulas (4.80.), (4.82.), (4.84.)), paredzot paraugkoku izmantošanu. Atmirums netiek uzskaitīts. Tāpēc, salīdzinot ar pastāvīgo parauglaukumu metodes rezultātiem, vērtējums ir par 2 – 3% mazāks. Jāatceras, ka šis procents attiecas uz nebojātām audzēm ar dabisku atmirumu un pieņemot, ka salīdzināmais materiāls noteikts ar vienādu precizitāti. Paraugkokus uzmēra vienu reizi – intervāla n beigās. Tādēļ Z_v iespējams aprēķināt, negaidot ilgus gadus. Tā ir neapšaubāma un būtiska paraugkoku metožu priekšrocība. Precizitāte ir atkarīga no paraugkoku skaita, to izvēles audzē un taksēšanas rūpīguma. Parasti pieaugumu un krāju nosaka paralēli, izmantojot vienus un tos pašus paraugkokus. No sacītā izriet, ka katru krājas paraugkoku metodi var piemērot arī krājas pieauguma noteikšanai. Bez tam ir pazīstamas ļoti daudzas šo metožu modifikācijas, kā arī metodes, kas izstrādātas neatkarīgi no krājas noteikšanas metodēm.

Paraugkoku regulāras izvēles metodes. Šai grupai pieder tās metodes, kas paredz paraugkoku skaita vienmērīgu vai proporcionālu sadalījumu pa koku grupām jeb audzes daļām (caurmēra pakāpēm vai *resnuma klasēm*). Katra paraugkoka Z_v aprēķina pēc kādas no nocirsta koka pieauguma metodēm (4.2.6. apakšnodaļa) un iegūtos datus attiecina uz audzes platības vienību:

$$Z_V = \sum_j^k \frac{Z_j \cdot G_j}{g_j}, \quad (4.88.)$$

kur Z_V – audzes krājas pieaugums, $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$;
 Z_{Vj} – audzes j -tās daļas paraugoku pieauguma summa, m^3 ;
 g_j – šīs daļas paraugoku krūšaugstuma šķērslaukumu summa, m^2 ;
 G_j – šīs daļas visu koku krūšaugstuma šķērslaukumu summa, $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$;
 k – daļu skaits.

Paraugoku brīvas izvēles metodes. Uz šo kategoriju attiecas G. Špeidela jeb *krājas līknes*, kā arī R. Kopecka un E. Gērhardta *krājas taisnes* metodes. Pazīstamākā ir pēdējā. Tā ir arī ērtāka, jo pieļauj mazāku paraugoku skaitu. Pieauguma aprēķināšanai kopējā koordinātu sistēmā atliek paraugoku stumbru tilpumu A un $A-n$ gadu vecumā un attiecīgās punktu kopas lineāri izlīdzina (4.11. att.).



4.11. att. Krājas taisnes A gadu (1) un $A-n$ gadu (2) vecumā: d^2 – caurmēra kvadrāts, cm^2 ; v – tilpums, m^3 ; $P_1, P_0, P_2, P_1', P_0', P_2'$ – vidējie punkti

Josla starp abām taisnēm izsaka paraugoku stumbru tilpuma pieaugumu z_v^p , kuru atkarībā no caurmēra pakāpes kvadrāta vērtības nolasa no grafika vai izskaitļo, un, pārrēķinot uz 1 ha, iegūst periodisko pieaugumu:

$$Z_V^p = \sum_j^k n_j \cdot z_v^p, \quad (4.89.)$$

kur n_j ir attiecīgās caurmēra pakāpes koku skaits. Krājas taisnes metodes grafisko risinājumu viegli aizstāt ar skaitlisko.

Normālo veidskaitļu metode. To izstrādājis V. Zaharovs. Pēc viņa pētījumiem normālā veidskaitļa variācijas koeficients audzē apmēram ir divas reizes mazāks nekā krūšaugstuma veidskaitlim. Tas dod iespēju cirst mazāk paraugoku (6–10). Paraugoku datus izmanto vienīgi f_j aprēķināšanai. Pārējos parametrus nosaka pēc uzskaites kokiem. Turklāt uzskaites koku skaitu $k = 30$ var samazināt ($k = 20$), ja mērījumus koncentrē centrālajās caurmēra pakāpēs. Metode pamatojas uz sakarību

$$Z_V^p = k \cdot f_n (g_{0,1;A} H_A - g_{0,1;A-n} H_{A-n}), \quad (4.90.)$$

kur Z_V^p – audzes periodiskais pieaugums, $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$;
 f_n – normālais veidskaitlis;
 $g_{0,1;A}$ un $g_{0,1;A-n}$ – uzskaites koku šķērslaukumu summa 0,1h augstumā A un $A-n$ gadu vecumā, m^2 ;
 H_A un H_{A-n} – uzskaites koku vidējais augstums šajos vecumos, m ;
 k – attiecība starp audzes koku un uzskaites koku šķērslaukumu summām, atbilstoši $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ un m^2 .

Šķērslaukumu noteikšanai 0,1 h augstumā izmanto lineāro sakarību starp stumbra caurmēra vērtībām 0,1 h un krūšaugstumā:

$$d_{0,1h} = a + bd_{1,3}, \quad (4.91.)$$

kur koeficientus a un b aprēķina pēc uzskaites koku caurmēra mērījumiem.

Pieauguma procenta metodes. Z_V^p aprēķina pēc P_V^p :

$$Z_V^p = 0,01P_V^p \cdot V. \quad (4.92.)$$

Ir noskaidrots, ka audzes krājas pieauguma procents P_V^p ir vienāds ar paraugkoku p_v vidējo svērto vērtību, kur kā svāri izmantoti šķērslaukumi g_j :

$$P_V^p = \frac{\sum_j^k p_{v;j}^p \cdot g_j}{\sum_j^k g_j} \quad (4.93.)$$

jeb, pārejot uz caurmēriem:

$$P_V^p = \frac{\sum_j^k p_{v;j}^p \cdot d_j^2}{\sum_j^k d_j^2}. \quad (4.94.)$$

Tā kā atsevišķu koku p_v var noteikt arī bez ciršanas (4.2.7. apakšnodaļa), šīs metodes pieļauj uzskaites koku izmantošanu. Tāds risinājums izpelnījies pretrunīgu vērtējumu. N. Tretjakovs uzskata, ka tam ir zema precizitāte un tāpēc pieļaujams vienīgi orientējošu datu iegūšanai. Turpretī I. Naumenko, kas to pārbaudījis 2327 parauglaukumos, kopskaitā analizējot ap 15,7 tūkst. paraugkoku, apgalvo pretējo. Līdzīgās domās ir V. Zaharovs. Pēc viņa aprēķiniem, pietiek ar 20 uzskaites kokiem, lai panāktu pietiekošu precizitāti.

M. Dvoreckis, apkopojis pazīstamāko pētījumu atziņas, secina, ka:

~ ar vidējiem paraugkokiem iespējams panākt augstāku precizitāti nekā ar tādu pašu mehāniski atlasītu koku skaitu;

~ pieauguma noteikšanas kļūdu, kas nepārsniedz $\pm 10-11\%$, nodrošina 14 paraugkoki, vidējai kļūdai nepaaugstinoties virs 4,6%;

~ sekciju garums ir atkarīgs no stumbru garuma: ja audzes vidējais augstums $H > 25$ m, tad tas ir 2 m; ja $H = 15 - 24$ m, tad – 1 m un ja $H < 15$ m, tad – 0,5 m.

Autoru vairākums vienprātīgi atzīst, ka paraugkoku metodes ir pašas precīzākās un it sevišķi, ja pieaugums jānosaka par īsu intervālu n . Tāpēc tās ir piemērotas ikgadējā pieauguma aprēķināšanai. Taču sakarā ar nepieciešamību cirst kokus un stumbrus sadalīt sekcijās, šīs metodes ir ļoti dārgas un darbietilpīgas. Izņēmums ir tā metožu apakšgrupa, kas paredz uzskaites koku vērtēšanu. Taču šo metožu precizitāte ir zemāka. Šī trūkuma kompensēšana ar palielinātu uzskaites koku skaitu izraisa darbietilpības paaugstināšanos. Paraugkoku metodes sevi attaisno pētnieciskajā darbā, piemēram, pārējo metožu atbilstības salīdzināšanā.

4.3.2.4. Urbumu metodes

Šī ir visbagātākā metožu grupa. Ar tām aprēķina faktisko pieaugumu. Dažādie un pat ļoti atšķirīgie risinājumi bāzējas uz atziņu, ka gadskārtu platums ir informatīvākais krājas tekošā pieauguma rādītājs. Paraugkoku ciršana nav paredzēta. Gadskārtu platumu izmēra uz urbuma serdeniem, ko iegūst ar M. Preslera pieauguma svārpstu. Tā kā augstuma pieaugumu bieži vien izmērīt nevar, to aprēķina, lietojot dažādas empīriskas sakarības, kas Z_H izsaka atkarībā no audzē viegli nosakāmiem taksācijas rādītājiem. Audzes vidējo caurmēru D , šķērslaukumu G un radiālo pieaugumu Z_R nosaka vienīgi krūšaugstumā. Tāpēc atsevišķu koku stumbru formas individuālās īpatnības un gadskārtu platuma vertikālais mainīgums netiek fiksēts, pieņemot, ka audzes koku skaita sadalījums pēc šīm pazīmēm seko vai ir tuvs normālajam sadalījumam. Šo iemeslu dēļ urbumu metodes nav piemērotas

atsevišķu koku pieauguma taksēšanai. Tāpēc daļa autoru tās sauc par vienkāršajām metodēm. Audzes vai audzes daļas (meža elementa, caurmēra pakāpes) līmenī ar tām var sasniegt precizitāti, kas apmierina ne tikai ražošanas, bet arī zinātnisko pētījumu prasības. Uzskata, ka vairumā gadījumu pieauguma noteikšanas kļūda nepārsniedz 10–15%. Salīdzinājumā ar pastāvīgo parauglaukumu un paraugkoku metodēm darbietilpība ir būtiski mazāka un empīrisko datu ievākšana audzē daudzkārt vienkāršāka. Minētās īpašības nosaka to, ka urbumu metodes lieto visbiežāk.

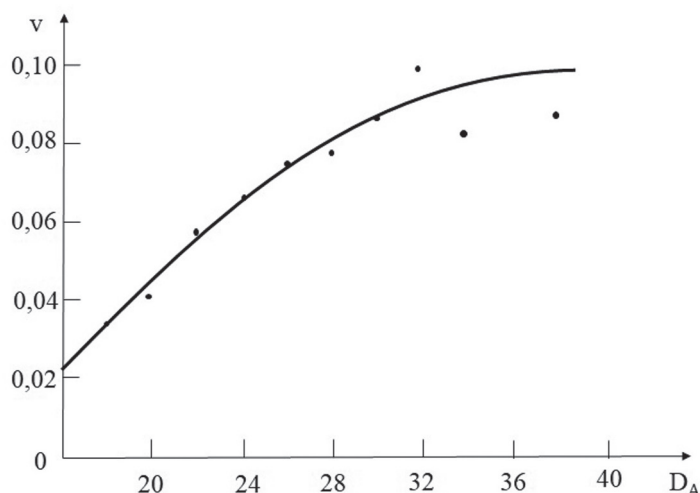
H. Meijera – F. Loča (F. Loetsch) metode. Plaši lieto Rietumeiropā. Metodei ir daudz modifikāciju (A. Zviedris, J. Matuzānis, 1964). Viena no tām izstrādāta un radusi pielietojumu Latvijā (A. Zviedris, J. Tauriņš, J. Matuzānis, I. Liepa). Pieaugumu aprēķina pa caurmēra pakāpēm. No vienas puses, ar to palielinās darba apjoms, no otras – tiek atsegta pieauguma struktūra atkarībā no koku resnuma. Audzes pieaugums ir vienāds ar caurmēra pakāpju pieauguma summu. Metodes algoritmu ilustrē parauglaukuma datu aprēķina piemērs (4.12. tab.).

4.12. tabula

Krājas tekošā pieauguma aprēķināšana

Caurmēra pakāpes $D_{A'}$, cm	Koku skaits n_i	Augstums H_A , m	Caurmēra pieaugums Z_D , mm	Caurmēra pakāpes $D_{A-n'}$, cm	Augstums $H_{A-n'}$, m	Stumbra tilpums, m^3		Tilpuma starpība $\frac{v_A - v_{A-n}}{D_A - D_{A-n}}$, $m^3 \cdot mm^{-1}$		Tilpuma pieaugums n gados, m^3	
						v_A	v_{A-n}	konkrētā	izlīdzinātā	koka	caurm. pakāpes
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
18	6	23,0	5,0	17	22,5	0,302	0,265	0,0037	0,0035	0,0175	0,0900
20	3	23,5	6,3	19	23,0	0,378	0,336	0,0042	0,0047	0,0296	0,0888
22	3	24,0	7,5	21	23,0	0,468	0,409	0,0059	0,0057	0,0428	0,1284
24	9	24,5	8,8	23	23,5	0,567	0,501	0,0066	0,0065	0,0572	0,5148
26	8	25,0	10,0	25	24,0	0,674	0,601	0,0073	0,0073	0,0730	0,5840
28	8	25,0	11,2	27	24,0	0,768	0,693	0,0075	0,0078	0,0874	0,6989
30	6	25,5	12,5	29	24,5	0,885	0,802	0,0083	0,0082	0,1025	0,6150
32	1	25,5	13,8	31	24,5	1,002	0,905	0,0097	0,0086	0,1187	0,1187
34	3	26,0	15,0	32	25,0	1,136	0,983	0,0077	0,0089	0,1335	0,4005
38	1	26,5	17,5	36	25,5	1,410	1,237	0,0087	0,0094	0,1645	0,1645
Kopā	48				6	7	8	9	10		3,4036

Parauglaukums (0,40 ha) ierīkots I bonitātes klases priežu damaksnī. Audzes taksācijas formula – 6P2E2B₈₀. Piemērs attiecas uz egli. Koku skaita sadalījums – asimetrisks. Darba tabulas 1. un 2. ailī aizpilda ar dastošanas datiem. Augstuma H_A vērtības (3. aile) nolasa no *augstumlīknes*. Caurmēra pieaugumu Z_D (4. aile) izmēra uz 50 – 60 koku urbumu serdeņiem. Uzskaites kokus audzē izvēlas daļēji randomizēti, lai būtu pārstāvētas visas caurmēra pakāpes. Caurmēra pakāpes pirms n gadiem (5. aile) aprēķina kā 1. un 4. ailes noapaļotas starpības, bet atbilstošos augstumus (6. aile) – pēc I. Liepas formulas (4.56.). Stumbru tilpuma vērtības v_A (7. aile) un v_{A-n} (8. aile) nolasa no R. Markusa tabulām. Te jāuzsver, ka nedrīkst lietot augstumšķiru tilpuma tabulas. Šīs atziņas ignorēšana izraisa lielas kļūdas, kuru dēļ daļa autoru (M. Dvoreckis) šo metodi atzīst par visai aptuvenu, norādot, ka kļūda var sasniegt 35%. Tilpuma relatīvās starpības, kas attiecinātas uz caurmēra pieauguma 1 mm (9. aile), ieteicams grafiski (4.12. att.) vai analītiski izlīdzināt. Izlīdzināto vērtību (10. aile) reizinājums ar Z_D ir viena koka tilpuma pieaugums intervāla n laikā (11. aile), kas, pareizinot ar koku skaitu n_i (2. aile), dod caurmēra pakāpes tilpuma pieaugumu (12. aile). Piemēra 12. ailes summa jeb parauglaukuma krājas periodiskais pieaugums ir 3,4036 m^3 , kuru pārrēķinot uz 1 ha gadā iegūst meža elementa (mūsu piemērā egles) ikgadējo pieaugumu, proti, 3,4036:0,4:10 = 0,851 $m^3 \cdot ha^{-1}$ gadā. Tā kā caurmēra pieaugums Z_D noteikts kā divkārtš gadskārtu platums, ņemot vērā mizas biezuma pieaugumu, arī tilpuma pieaugums satur tikai koksnes pieaugumu, citiem vārdiem, ar H. Meijera – F. Loča metodi iegūst krājas pieaugumu bez mizas.



4.12.att. Stumbra tilpuma relatīvās starpības izlīdzināšana: V – relatīvā starpība, $m^3 mm^{-1}$; d_A – krūšaugstuma caurmērs A gadu vecumā, cm

H. Meijera – F. Loča metode viegli pakļaujas vienkāršošanai. Jānodrošina vienīgi divu nosacījumu izpilde – pirmkārt, modificētāja rīcībā jābūt pietiekoši precīzai stumbru tilpuma formulai un, otrkārt, formulai, kas īsteno koka augstuma aprēķināšanu pirms n gadiem.

I. Liepas metodes. Lineārā metode. Pieauguma aprēķināšanas formula iegūta, pamatojoties uz atziņu par tekošo pieaugumu kā attiecīgā taksācijas rādītāja pilno diferenciāli. Tas nozīmē, ka pieauguma metodes izveidošanas pirmais solis ir piemērotas krājas formulas izstrāde, kuru tālāk diferencē un piemēro meža taksācijas specifikai. Tādējādi pieauguma metodes precizitāte un praktiskās lietošanas ērtums ir īpašības, kas tieši atkarīgas no krājas formulas precizitātes un vienkāršības.

Šīs metodes izveidošanai izmantota I. Liepas krājas lineārā formula:

$$V = kG(H + 4), \quad (4.95.)$$

kur V – audzes (koku kopas) krāja, $m^3 \cdot ha^{-1}$;

G – audzes šķērslaukums, $m^2 \cdot ha^{-1}$;

H – audzes vidējais augstums, m;

k – empīriskais koeficients, kas raksturo stumbru tilpīgumu (1.11. tab.).

Formulas (4.95.) atbilstība statistiski pārbaudīta, iegūtos lielumus salīdzinot ar rezultātiem, kas izskaitļoti pēc caurmēra pakāpju metodes, lietojot R. Markusa stumbru tilpuma tabulas. Kā liecina 443 parauglaukumu salīdzināšanas dati, sistematiskā kļūda ir mazāka par 1%. Arī vidējās kvadrātiskās kļūdas (relatīvo kļūdu standartnovirzes) nav lielākas par 4,5%. Turklāt šī formula ir ērta kā pārveidošanai, tā arī skaitļošanai un formulas argumentu G un H noteikšanai mežā. Piemēram, pieņemot, ka priežu audzē $G = 20,0 m^2 \cdot ha^{-1}$ un $H = 20,0 m$, krāja $V = 0,39 \cdot 20,0(20,0 + 4) = 187,2 m^3 \cdot ha^{-1}$. Formula (4.95.) ir adekvāta audzēs, kuru $H \geq H_{min}$. Šis nosacījums saglabājas arī uz no tās atvasināto krājas pieaugumu, uz ko norāda šīs metodes nosaukums. Augstuma ierobežojums ir atkarīgs no koku sugas (3.22. tab.). Sacītais norāda, ka formula (4.95.) ir piemērota krājas tekošā pieauguma izteiksmes atvasināšanai.

Krājas formulas (4.45.) pilnais diferenciālis

$$dV = k[(H + 4) \cdot dG + G \cdot dH], \quad (4.96.)$$

kur dG – šķērslaukuma un dH – augstuma diferenciāļi (tekošie pieaugumi). Ievērojot pieaugumu iepriekšējā gadā,

$$dV = k[(H - dH + 4) \cdot dG + (G - dG) \cdot dH] = k[dG(H - 2dH + 4) + dH \cdot G]$$

un, diferenciāļu apzīmējumus aizstājot ar meža taksācijā pieņemtajiem simboliem,

$$Z_V = k[Z_G(H - 2Z_H + 4) + Z_H G]. \quad (4.97.)$$

Audzes šķērslaukuma pieaugumu Z_G mežā izmērīt nevar. Tāpēc tas jāizsaka ar caurmēru, pēc tam diferencējot.

$$Z_G = dG = \left(N \frac{\pi D^2}{4}\right)' dD$$

jeb

$$Z_G = \frac{\pi N D}{2} Z_D. \quad (4.98.)$$

Tā kā koku skaits

$$N = \frac{4G}{\pi D^2}, \quad (4.99.)$$

$$Z_G = \frac{\pi N D}{2} Z_D = \frac{4\pi G D}{2\pi D^2} = \frac{2G}{D} Z_D$$

un, ievērojot pieaugumu iepriekšējā gadā,

$$Z_G = \frac{2Z_D(G - Z_G)}{D - Z_D},$$

no kurienes

$$Z_G D - Z_D Z_G = 2Z_D G - 2Z_D Z_G$$

$$Z_G D + Z_D Z_G = 2Z_D G$$

$$Z_G (D + Z_D) = 2Z_D G$$

$$Z_G = \frac{2Z_D G}{D + Z_D}. \quad (4.100.)$$

Pēc Z_G izteiksmes (4.100.) ievietošanas sakarībā (4.97.) un taksācijas rādītāju mērvienību saskaņošanas iegūst krājas tekošā faktiskā ikgadējā pieauguma formulu Z_V^i (turpmāk Z_V):

$$Z_V = kG \left[\frac{2Z_D (H - 2Z_H + 4)}{10D + Z_D} + Z_H \right], \quad (4.101.)$$

kur Z_V – audzes (koku kopas) krājas tekošais faktiskais ikgadējais pieaugums

(turpmāk – krājas tekošais pieaugums) $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$;

k – stumbru tilpīguma koeficients (1.11. tab.);

D – audzes vidējais krūšaugstuma caurmērs ar mizu, cm;

H – audzes vidējais augstums, m;

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

Z_D – audzes krūšaugstuma caurmēra tekošais pieaugums, mm;

Z_H – audzes augstuma tekošais pieaugums, m.

Audzes G , D un H aprēķina pēc kādas no tradicionālajām vispārzināmajām meža taksācijas metodēm. Šeit izvērstāk jāpaskaidro pie Z_H un Z_D noteikšanas.

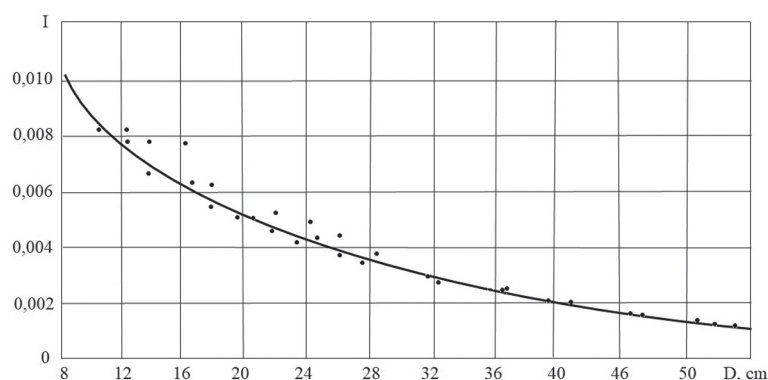
Audzes augstuma pieaugumu Z_H izņemot atsevišķus gadījumus (skujkoku jaunaudzes), mežā izmērīt nevar. Tāpēc piedāvāti dažādi netiešās noteikšanas risinājumi. Pēc šī darba autora pētījumiem labus rezultātus dod augstuma *elementārā pieauguma* un augstuma attiecības izmantošana. Par koka augstuma elementāro pieaugumu z'_h sauc pieaugumu, kas atbilst gadskārtas platuma 1 mm:

$$z'_h = \frac{z_h}{2i} \quad (4.102.)$$

un minētā attiecība

$$I = \frac{z'_h}{h} = \frac{2i}{h} = \frac{z_h}{2h}. \quad (4.103.)$$

Attiecība I cieši korelē ar krūšaugstuma caurmēru (4.13. att.). Šī atziņa pārbaudīta pēc 1001 paraugkoka datiem, kuru skaits pa koku sugām sadalās sekojoši: priede – 179, egļe – 180, bērzs – 167, apse – 135, melnalksnis – 150 un baltalksnis – 190. Bez autora ievāktā materiāla izmantoti arī I. Butenasa un J. Matuzāņa dati.



4.13. att. Attiecības I atkarība no audzes vidējā caurmēra: egļe; · – parciālie vidējie; D – caurmērs, cm

No 4.13. att. izriet, ka *parciālo vidējo* punkti neatkarīgi no tā, vai empīriskais materiāls ievākts Latvijā vai Lietuvā, cieši grupējas ap kopēju izlīdzinošu līniju. Ne mazāk informatīvi ir tas, ka tie katrs pārstāv ne vairāk kā 5 – 10 paraugkokus. Tas nozīmē, ka jau šāda apjoma koku kopa ir pietiekoši liela, lai varētu aprēķināt tās augstuma pieaugumu pēc formulas (4.105.). Secinājumi attiecas arī uz pārējām minētajām koku sugām.

Izlīdzinošo līniju apraksta izteiksme

$$I = \frac{aD + b}{cD + 100}, \quad (4.104.)$$

no kurienes seko formula (4.105.):

$$Z_H = \frac{2iH(aD + b)}{cD + 100}, \quad (4.105.)$$

kas arī bija jāpierāda.

Audzes Z_D satur ne tikai koksnes, bet arī mizas pieaugumu. Par šo aspektu jau rakstīts 4. 2. apakšnodaļā par atsevišķa koka tilpuma pieauguma aprēķināšanu. Tur sacītais saglabā nozīmi arī uz audzi:

$$Z_D = 2iu, \quad (4.106.)$$

$$s = \frac{pD + q}{wD + 100}, \quad (4.107.)$$

$$Z_V^{b.m.} = \frac{Z_V}{s}, \quad (4.108.)$$

kur $Z_V^{b.m.}$ ir krājas tekošais bezmizas jeb koksnes pieaugums un u, p, q, w – empīriskie koeficienti (1.11. tab.).

Ļoti nozīmīga ir audzes vidējā gadskārtas platuma reprezentatīva noteikšana. Iespējami divi lauka darbu metodikas varianti. Pirmkārt, no audzes caurmēra centrālā intervāla ($D \pm 2-4$ cm) pēc nejaušības principa izraugās 25 – 30 uzskaites kokus. Arī urbšanas virziena orientācija pret debespūsēm ir nejauša

vai tāda, lai urbēja mugura būtu vērsta pret parauglaukuma centru. Uz visiem urbumu serdeņiem izmēra interesējošo gadskārtu platumu un aprēķina aritmētisko vidējo, kuru ievieto formulā (4.106.).

Otrkārt, 25 – 30 uzskaites kokus apmēram vienmērīgi sadala pa caurmēra pakāpēm un gadskārtu platuma vērtības grafiski vai analītiski izlīdzina, par argumentu ņemot uzskaites koku caurmēru. Pēc tam atbilstoši audzes vidējam caurmēram no izlīdzinošās līnijas nolasa vai aprēķina *i* un ievieto sakarībā (4.106.). Otrā varianta būtiska priekšrocība ir tā, ka vienlaicīgi ar audzes *i* iegūst arī visu caurmēra pakāpju izlīdzinātos gadskārtu platumus, tādējādi atsedzot pieauguma struktūru pēc koku resnuma.

Šī metode ir piemērota ikgadējā pieauguma aprēķināšanai. Ja uz urbuma serdeņiem izmēra intervāla *n* visu atsevišķo gadskārtu platumu, var aprēķināt audzes krājas pieaugumu katram intervāla gadam. Tādējādi tiek noteiktas ikgadējās fluktuācijas, kas ir pilnīgi nepieciešami pieauguma ekoloģiskajā interpretācijā. Protams, ne katrā pētījumā šāda prasība pastāv. Bieži vien ir gluži pretēji, kad laika apstākļu izraisītās svārstības izdevīgi izlīdzināt, lai izceltu kāda vai kādu faktoru, piemēram, mežsaimniecisko pasākumu ietekmi. Šajā gadījumā mēra visu *n* gadskārtu kopējo platumu un tālāk izmanto to vidējo vērtību. Parasti pieņem *n* =10, kas ir ne tikai ērti, bet arī ļoti labi mazina vienpadsmitgadu Saules cikla efektu. Iespējamās arī citas *n* vērtības, piemēram, tad, ja izziņas priekšmets ir audzes pieaugums pēc kādas ietekmes sākuma.

Piemērs. Atkārtojot iepriekšējā piemērā risināto uzdevumu, pēc 4.12. tabulas datiem var aprēķināt, ka intervāla *n* beigās egles: *G* = 6,439 m²·ha⁻¹; *D* = 26,1 cm; *H* = 25,0 m; *i* = 0,51 mm. Pēc formulām (4.106.), (4.107.), (4.105.) un (4.101.) viegli aprēķināt, ka

$$\begin{aligned} Z_D &= 2 \cdot 0,51 \cdot 1,046 = 1,067 \text{ mm}; \\ s &= \frac{5,25 \cdot 25,6 + 117,6}{5,0 \cdot 25,6 + 100} = 1,105; \\ Z_H &= \frac{2 \cdot 0,51 \cdot 25,0 (-0,0256 \cdot 26,1 + 1,693)}{5,794 \cdot 26,1 + 100} = 0,104 \text{ m}; \\ Z_V &= 0,415 \cdot 6,439 \left[\frac{2 \cdot 1,067 (25,0 - 2 \cdot 0,104 + 4)}{10 \cdot 26,1 + 1,067} + 0,104 \right] = 0,9044 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}. \end{aligned}$$

Bezmizas pieaugums

$$Z_V^{b.m.} = 0,9044 : 1,105 = 0,8185 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1},$$

kas salīdzinājumā ar H. Meijera – F. Loča metodes rezultātu dod par –3,8% mazāku vērtējumu. Tik necīga atšķirība liecina par to, ka abas metodes ir salīdzināmas un ka algoritms, kas krājas kopējo pieaugumu sadala koksnes un mizas pieaugumos, ir pareizs.

Mizas krājas pieaugums

$$Z_V^m = 0,9044 - 0,8185 = 0,0859 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1},$$

kas sastāda 9,5% no krājas pieauguma ar mizu.

Aprēķina rezultātus, attiecinātus uz 1 ha, vēlams noapaļot ar divām zīmēm aiz komata. Šeit atstātas četras, lai uzskatāmāk ilustrētu skaitļošanas gaitu.

Metodes atbilstība pārbaudīta pēc 443 parauglaukumu (PL) datiem, kas pārstāv visdažādāko meža tipu, vecuma, bonitātes un biežības audzes (4.13. tab.). Sistemātiskās kļūdas modulvērtība nepārsniedz 0,3%, kvadrātiskās kļūdas – 5,2%. Tas norāda uz to, ka 95% rezultātu būtiskuma līmenī audzes krājas pieauguma vērtējuma kļūda iekļaujas ±10 – 11% robežās.

4.13. tabula

Formulas (4.101.) atbilstības raksturojums

Koku suga	PL skaits	Kļūda, %		Ierobežojumi	
		sistemātiskā	kvadrātiskā	<i>H</i> , m	<i>D</i> , cm
Priede	84	0,1±0,5	4,1±0,3	8≤ <i>H</i> ≤35	8≤ <i>D</i> ≤50
Egle	76	0,2±0,7	5,2±0,4	10≤ <i>H</i> ≤35	8≤ <i>D</i> ≤50
Bērzs	76	0,1±0,6	5,1±0,4	15≤ <i>H</i> ≤35	8≤ <i>D</i> ≤50
Apse	57	−0,2±0,6	4,3±0,4	15≤ <i>H</i> ≤35	8≤ <i>D</i> ≤50

Koku suga	PL skaits	Kļūda, %		Ierobežojumi	
		sistemātiskā	kvadrātiskā	H, m	D, cm
Melnalksnis	68	$0,3 \pm 0,7$	$4,9 \pm 0,4$	$15 \leq H \leq 30$	$8 \leq D \leq 50$
Baltalksnis	82	$-0,3 \pm 0,7$	$4,9 \pm 0,4$	$6 \leq H \leq 25$	$4 \leq D \leq 30$

Lai atvieglotu formulas (4.101.) praktisko lietošanu, I. Liepa, J. Butenas un J. Matuzānis sastādījuši Baltijas mežaudžu *krājas tekošā pieauguma tabulas* priedei, eglei, bērzam, apsei, melnalksnim un baltalksnim. Tabulu fragmentā (4.14. tab.) redzams, ka tās orientētas pēc audzes vidējā augstuma, vidējā caurmēra un krūšaugstuma gadskārtas vidējā platuma. Tabulu vērtības Z'_V izsaka krājas tekošo pieaugumu (ar mizu) uz šķērslaukuma 1 m². Šāda tabulu struktūra samazina to apjomu, atvieglo un neierobežo to lietošanu arī audžu daļu un audžu kopu pieauguma noteikšanā.

4.14. tabula

Baltijas mežaudžu krājas tekošā pieauguma tabulas, m³·m²
(Egle, fragments)

H, m	D, cm	Gadskārtas platums, mm						
		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
21	19	0,0654	0,1303	0,1947	0,2585	0,3217	0,3844	0,4466
	20	0,0622	0,1240	0,1852	0,2585	0,3062	0,3660	0,4253
	21	0,0593	0,1181	0,1765	0,2459	0,2919	0,3490	0,4056
	22	0,0568	0,1127	0,1685	0,2344	0,2788	0,3333	0,3874
	23	0,0543	0,1077	0,1611	0,2238	0,2666	0,3188	0,3706
	24	0,0517	0,1031	0,1542	0,2140	0,2552	0,3053	0,3550

Lai iegūtu audzes pieaugumu, attiecīgais tabulu skaitlis jāreizina ar atbilstošo šķērslaukumu G :

$$Z_V = Z'_V \cdot G. \tag{4.109.}$$

Pēc šīs metodikas sastādītas un izdotas Ukrainas Karpatu 12 saimnieciski nozīmīgāko koku sugu audžu tekošā krājas pieauguma tabulas (Голояд et al., 1996).

Kā jau norādīts iepriekš, dažkārt ir svarīgi zināt, kā krājas pieaugums sadalās pa audzes viendabīgām daļām (caurmēra pakāpēm, koksnes kvalitātes grupām, sortimentiem). Šajā ziņā ērts un adekvāts ir V. Korfa (Korf V., 1953) ieteiktais paņēmieni. V. Korfs noskaidrojis, ka vienvecuma audzes vidējais koks pēc stumbra tilpuma ir vidējais arī pēc tā pieauguma. Pamatojoties uz šo atziņu, V. Korfs izvirzīja pieņēmumu un empīriski to pierādīja, ka audzes krāja V un tās pieaugums Z_V sadalās proporcionāli. Šī darba autora veiktā pārbaude liecina, ka V. Korfa secinājums labi atbilst Latvijas apstākļiem. Tāpēc

$$Z_{Vj} = \frac{Z_V \cdot V_j}{V}, \tag{4.110.}$$

kur Z_{Vj} un V_j ir audzes j -tās daļas pieaugums un krāja.

Nelineārā metode. Formulai (4.101.) pastāv ierobežojumi (4.13. tab.), kuru dēļ tā nav piemērota jaunaudžu taksēšanai. Izmantojot atziņu par pieaugumu kā diferenciāli, var pārveidot jebkuru citu sakarību, kas elastīgāk apraksta koka stumbra tilpumu vai koku kopas krāju. Tādā veidā no izteiksmes (4.28.) atvasināta sakarība (4.31.), kuru piemērojot audzes specifikai iegūta formula (4.111.) krājas tekošā pieauguma aprēķināšanai:

$$Z_V = 12732,4 \psi GH^\alpha D^{\beta \lg H + \varphi - 2} \left[\frac{Z_H (\alpha + \beta \lg D)}{H} + \frac{Z_D (\varphi + \beta \lg H)}{10D} \right], \tag{4.111.}$$

- kur Z_V – koku kopas krājas tekošais pieaugums ar mizu, m³ha⁻¹;
- G – krūšaugstuma šķērslaukums, m²ha⁻¹;
- H – vidējais augstums, m;
- D – vidējais krūšaugstuma caurmērs, cm;

Z_H – augstuma pieaugums, m;
 Z_D – caurmēra pieaugums, mm;
 $\psi, \alpha, \beta, \varphi$ – no koku sugas atkarīgi koeficienti (1.4. tab.).

Jāuzsver, ka šīs formulas koeficientu $\psi, \alpha, \beta, \varphi$ vērtības ir tās pašas, kas tilpuma izteiksmē (4.28.). Arī taksācijas rādītāji izteikti vispārpieņemtajās vienībās. Formulas ierobežojumi $1,5 \leq H \leq 40,0$ m un $1,5 \leq D \leq 60,0$ cm pieļauj plašu tās lietošanu, visdažādākās koku kopas ieskaitot.

Piemērs. Izmantoti iepriekšējā piemēra egles dati: $D = 26,1$ cm, $H = 25,0$ m, $G = 6,439$ m²ha⁻¹, $i = 0,51$ mm; $Z_D = 1,067$ mm, $Z_H = 0,104$ m, $S = 1,105$.

$$Z_V = 12732,4 \cdot 2,3106 \cdot 10^{-4} \cdot 6,439 \cdot 25,0^{0,78193} \cdot 26,1^{0,34175 \cdot \lg 25,0 + 1,18811 - 2} \times \left[\frac{0,104(0,78193 + 0,34175 \lg 26,1)}{25,0} + \frac{1,067(1,18811 + 0,34175 \lg 25,0)}{10 \cdot 26,1} \right] = 0,9531 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$$

un bezmizas jeb koksnes pieaugums $Z_V^{b.m.} = 0,9531 : 1,105 = 0,8626$ m³ha⁻¹, kas salīdzinājumā ar H. Meijera – F. Loča metodi ir par +1,4% atšķirīgs vērtējums.

Mizas krājas pieaugums

$$Z_V^m = 0,9531 - 0,8626 = 0,0906 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1},$$

kas sastāda 9,5% no krājas pieauguma ar mizu.

Vidējā koka metode. Metodes teorētiskais pamats ir iespēja noteikt koku kopas vidējā koka augstuma un caurmēra pieaugumu intervāla n laikā. No vidējā koka augstuma un caurmēra vērtībām intervāla beigās atņemot to pieaugumus, iegūst šīs vērtības intervāla sākumā, attiecīgi H_{A-n} un D_{A-n} . Līdz ar to formula (4.112.) izsaka intervāla tekošo faktisko periodisko krājas pieaugumu.

$$Z_V = \psi N \left(H^\alpha D^{\beta \lg H + \varphi} - H_{A-n}^\alpha D_{A-n}^{\beta \lg H_{A-n} + \varphi} \right), \quad (4.112.)$$

kur N ir kopas koku skaits intervāla beigās, pārējie apzīmējumi un mērvienības kā formulā (4.111.). Caurmēra pieaugumu aprēķina, atskaitot gadskārtu kopējo platumu intervāla n laikā, savukārt augstuma pieauguma aprēķināšanai lieto formulu (4.56.).

Piemērs. Izmantoti iepriekšējā piemēra egles dati: $n = 1$, $D = 26,1$ cm, $H = 25,0$ m, $G = 6,439$ m²ha⁻¹, $i = 0,51$ mm; $S = 1,105$; $Z_D = 1,067$ mm; $Z_H = 0,104$ m; $D_{A-n} = 26,1 - 0,1 = 26,0$ cm; $Z_H = 25,0 - 0,1 = 24,9$ m; $N = 6,439 / (0,7854 \cdot 0,261^2) = 120$ ha⁻¹ un krājas faktiskais pieaugums

$$Z_V = 2,3106 \cdot 10^{-4} \cdot 120 (25,0^{0,78193} \cdot 26,1^{0,34175 \cdot \lg 25,0 + 1,18811} - 24,9^{0,78193} \cdot 26,0^{0,34175 \cdot \lg 24,9 + 1,18811}) = 0,8972 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}.$$

Savukārt krājas pieaugums bez mizas $Z_V^{b.m.} = 0,8972 : 1,105 = 0,8120$ m³ha⁻¹, kas dod -4,6% no virzi.

Sānu virsmas metode. Tā pamatojas uz analogisku atsevišķa koka stumbra pieauguma formulu (4.38.). N. Anučins iesaka

$$Z_V = S \cdot i \cdot b, \quad (4.113.)$$

kur S – visu audzes koku stumbru bezmizas sānu virsma, m²ha⁻¹;

i – krūšaugsstuma vidējās gadskārtas platums, m;

b – audzes biezība.

Formulas (4.113.) autors ir sastādījis pilnas biezības audžu tabulas, kurās S nolasa pēc koku sugas, vecuma un bonitātes, pieņemot, ka krājas pieaugums samazinās proporcionāli audzes biezībai. Reāli šī sakarība ir daudz sarežģītāka, kur proporcionalitāte ir tikai atsevišķs gadījums. Līdz ar to tabulu un formulas (4.113.) lietošana var izsaukt nepieļaujamas kļūdas. Tāpēc ieteicamāk ir S aprēķināt kā vidējā koka sānu virsmas un audzes S koku skaita N reizinājumu, proti,

$$Z_V = S \cdot N \cdot i. \quad (4.114.)$$

Vidējo i nosaka pēc 20 – 30 nejauši atlasītu uzskaites koku urbumu pēdējo 10 gadskārtu platumā. Metode ir daudzkārt kritizēta par to, ka tā neņem vērā i vertikālo mainīgumu. Tādēļ N. Anučina formulu (4.113.) papildina ar koeficientu k , kuru nosaka kā attiecību starp audzes i stumbru vidū un krūšaugstumā. Jāsaka, ka i audzes H vidū tieši izmērīt nevar, bet tā aprēķināšana, izmantojot formas koeficientu q_2 vai regresijas analīzi, ir saistīta ar ievērojamu darba un laika patēriņa palielināšanos materiāla ievākšanā. V. Zagrējevs ierosina izmantot *redukcijas skaitli* R (4.13.), to nosakot pēc audzes vecuma.

Piemērs. Egles vidējais $q^2 = 0,70$; $H = 25,0$ m; $i = 0,53$ mm; $D = 26,1$ cm un stumbra vidū bez mizas $D_{1/2}^{b.m.} = 26,1 \cdot 0,70 : 1,046 = 17,5$ cm, bet pirms 10 gadiem $16,8$ cm; $N = 48 : 0,4 = 120$ (4.12. tab.); vidējā koka sānu virsma $S = 3,14 \cdot 25,0(0,175 + 0,168) : 2 = 13,4628$ m². Tāpēc

$$Z_V = 13,4628 \cdot 120 = 1615,936 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$$

un bez mizas

$$Z_V^{b.m.} = 1615,936 : 1,105 = 1462,476 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1},$$

kas, salīdzinot ar H. Meijera – F. Loča metodi, uzrāda 8,9% novirzi.

Pieņemot V. Zagrējeva aprēķinātos priedes redukcijas skaitļus par atbilstošiem visām skujkoku sugām, šī piemēra $R = 1,05$ (audze ir 80 gadu veca) un

$$Z_V^{b.m.} = 1462,476 : 1,05 = 1392,834 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1},$$

kas sastāda 4,3%.

M. Dvorecka metode. Tās autors norāda, ka metode lietojama audzēs, kas vecākas par 40 – 50 gadiem. Pēc viņa domām šādu audžu veidskaitlis nemainās vairāk par 1 – 2%, ja $n \leq 10$ gadiem. Tāpēc

$$Z_V^p = V_A (1 - k_D \cdot k_H), \quad (4.115.)$$

kur audzes krāju V_A nosaka ar mizu pēc stumbru tilpuma tabulām, kas orientētas pēc stumbru garuma un caurmēra. Parametri

$$k_D = D_{A-n}^2 : D_A^2 \quad (4.116.)$$

un

$$k_H = H_{A-n} : H_A. \quad (4.117.)$$

Audzės vidējo caurmēru ar mizu D_A aprēķina pēc dastošanas datiem, bet D_{A-n} – pēc 20 – 30 uzskaites koku urbumiem. Uzskaites kokus izvēlas nejauši no 5 – 6 centrālajām caurmēra pakāpēm. Metodes autors attiecību k_H rekomendē noteikt pēc augšanas gaitas tabulām.

Piemērs. Pēc 4.12. tabulas datiem var izrēķināt, ka $V_A = 80,3$ m³ha⁻¹; $k_D = 25,1^2 : 26,1^2 = 0,9248$. Tā kā $H = 25,0$ m un audze ir 80 gadu veca, tā atbilst I bonitātes klasei. Audzes vidējais augstums pirms 10 gadiem bija 22,0 m. Tāpēc $k_H = 22,0 : 25,0 = 0,88$ un krājas periodiskais pieaugums ar mizu

$$Z_V^p = 80,3(1 - 0,9248 \cdot 0,88) = 14,95 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$$

vai $Z_V^i = 1,495$ m³ha⁻¹, bet bez mizas

$$Z_V^{b.m.} = 1,495 : 1,105 = 1,353 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1},$$

kas dod +59,0% lielu nobīdi. Iespējams, to var izskaidrot ar neatbilstošu k_H noteikšanu pēc augšanas gaitas tabulām. Ja k_H aprēķināšanai nepieciešamo augstuma pieaugumu izsaka ar I. Liepas formulu (4.105.), M. Dvorecka metodes precizitāte būtiski uzlabojas. Dotajā piemērā (4.12. tab.) $k_H = 24,0 : 25,0 = 0,96$ un

$$Z_V^i = 80,3(1 - 0,9248 \cdot 0,96) : 10 = 0,9010 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$$

vai pieaugums bez mizas

$$Z_V^{b.m.} = 0,9010 : 1,105 = 0,8154 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1},$$

kas dod vairs tikai –4,2% kļūdu.

Ļoti daudzās audzes krājas pieauguma aprēķināšanas metodēs izmantots pieauguma procents P_V (formula (4.92.)). Šīs metodes klasificē atkarībā no tā, kā nosaka P_V . Apskatīsim dažas no tām.

K. Nikitina metode. Pēc analogijas ar atsevišķa koka P_V aprēķināšanu (formula (4.51.)

$$P_V = P_G + P_{HF}. \quad (4.118.)$$

Šķērslaukuma pieauguma procenta P_G noteikšanai K. Nikitins iesaka lietot F. Šneidera formulu

$$P_G = \frac{400 \sum_j i_j}{\sum_j d_j}, j = 1, 2, \dots, k, \quad (4.119.)$$

kur $\sum_j d_j$ ir k brīvi izraudzītu uzskaites koku ($k = 20 - 30$) krūšaugsstuma bezmizas caurmēru summa un $\sum_j i_j$ – šo koku pēdējo 10 gadu gadskārtu platuma summa. Metodes autors konstatējis, ka veidaugstuma pieauguma procents P_{HF} ir atkarīgs vienīgi no audzes bonitātes un vidējā augstuma:

$$P_{HF} = -(1,36 + 0,006\beta) + \frac{61,5 - 5,6\beta}{H} - \frac{75,9 + 2,5\beta}{H^2}, \quad (4.120.)$$

kur β ir bonitātes klases kārtas numurs: Ia bonitātes klasei $\beta = 0$, I klasei $\beta = 1,0$ utt. Izteiksme (4.120.) ir spēkā visām koku sugām.

Piemērs. Tiek nosacīti pieņemts, ka minētais uzskaites koku skaits ideāli precīzi izsaka formulas (4.119.) parametru vērtības. Turklāt (4.12. tab.) $i = 0,505$ mm un $D = 26,1$: $1,046 = 24,95$ cm; $P_G = 400 \cdot 0,505 : 24,95 = 0,810\%$, bet

$$P_{HF} = -(1,36 + 0,006 \cdot 1,0) + \frac{61,5 - 5,6 \cdot 1,0}{25,0} - \frac{75,9 - 2,5 \cdot 1,0}{25,0^2} = 0,745 \%.$$

Audzes krājas pieauguma procents $P_G = 0,810 + 0,745 = 1,555\%$ un krāja bez mizas $V^{b.m.} = 80,3 : 1,105 = 72,7$ m³ha⁻¹. Līdz ar to

$$Z_V^{b.m.} = 0,01 \cdot 72,7 \cdot 1,555 = 1,130 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1},$$

kas dod +32,8% kļūdu.

V. Antanaiša metode. Krājas pieauguma procentu aprēķina pēc sakarības (4.86.), bet

$$P_G = \frac{D_A^2 - D_{A-n}^2}{D_A^2} \cdot \frac{100}{n}. \quad (4.121.)$$

Veidaugstumu P_{HF} metodes autors rekomendē noteikt pēc vietējām augšanas gaitas un stumbru tilpuma tabulām, bet, ja vietējo tabulu nav, lietot vispārējās. Pēc augšanas gaitas tabulām nolasa H_{A-n} un pēc stumbru tilpuma tabulām aprēķina F_A un F_{A-n} . Veidaugstuma pieaugums

$$Z_{HF} = H_A F_A - H_{A-n} F_{A-n} \quad (4.122.)$$

un

$$P_{HF} = \frac{Z_{HF}}{H_A F_A} \cdot \frac{100}{n}. \quad (4.123.)$$

Piemērs. Pēc vietējām augšanas gaitas tabulām $H_{A-n} = 22,0$. Audzes caurmērs ar mizu $D_A = 26,1$ cm un $D_{A-n} = 25,1$ cm (4.12. tab.). Pēc R. Markusa stumbru tilpuma tabulām $v_A = 0,679$ m³ un $v_{A-n} = 0,553$ m³. Ievērojot to, ka $hf = v : g = 4v : (\pi \cdot d^2)$, $H_A F_A = 4 \cdot 0,679 : (3,14 \cdot 0,261^2) = 12,693$ m un līdzīgā veidā $H_{A-n} F_{A-n} = 11,183$ m. Veidaugstuma $Z_{HF} = 12,693 - 11,183 = 1,515$ m, $P_{HF} = 1,515 : 12,697 \cdot 10 = 1,193\%$, $P_G = (26,1^2 - 25,1^2) : (26,1^2 \cdot 10) = 0,752\%$ un

$$P_V = 0,752 + 1,193 - \frac{10 \cdot 0,752 \cdot 1,193}{100} = 1,855\%,$$

no kurienes

$$Z_v^{b.m.} = 0,01 \cdot 72,7 \cdot 1,855 = 1,349 \text{ m}^3\text{ha}^{-1},$$

kas sastāda +58,4% kļūdu. Gluži kā M. Dvorecka metodē (formula (4.114.)) te izpaužas augšanas gaitas tabulu nepiemērotība H_{A-n} noteikšanai. Arī šajā gadījumā, augšanas gaitas tabulu vietā lietojot formulu (4.105.), kļūda būtiski samazinās, sasniedzot –8,1%.

Zināmu priekšstatu par audzes krājas pieauguma noteikšanas urbumu grupas aplūkoto metožu precizitāti dod 4.15. tabula, kurā uzrādīti rezultāti, kas iegūti, ar šīm metodēm risinot vienu un to pašu piemēru. Nosacīti par atskaites punktu pieņemta H. Meijera – F. Loča metode.

4.15. tabula

Piemēra parauglaukuma vērtējuma kopsavilkums

Metode	$Z_v, \text{m}^3\text{ha}^{-1}$	Kļūda, %
H. Meijera – F. Loča	0,8510	0,0
I. Liepas, formula (4.101.)	0,8185	–3,8
I. Liepas, formula (4.111.)	0,8626	+1,4
I. Liepas, formula (4.112.)	0,8120	–4,6
Sānu virsmas	0,7749	–8,9
M. Dvorecka	1,3530	+59,0
Uzlabotā M. Dvorecka	0,8154	–4,2
K. Nikitina	1,300	+32,8
V. Antanaiša	1,3490	+58,4
Uzlabotā V. Antanaiša	0,7821	–8,1

4.3.2.5. Kamerālās metodes

Šai grupai pieskaitāmas tās metodes, kuru īstenošana neprasa speciālu, tikai pieauguma noteikšanai domāta materiāla ievākšanu. Izmanto tikai tradicionālo informāciju, kuru iegūst meža inventarizācijas gaitā. Z_v noteikšanai lieto tabulas vai formulas, kurās neizmanto gadskārtu platumu kā pieauguma argumentu. Tāpēc Z_v var aprēķināt kamerāli pēc parastā audzes raksturojuma datiem. Plašāk pazīstama divu palīgmateriālu – augšanas gaitas un krājas pieauguma tabulu lietošana.

Augšanas gaitas tabulu metode. Augšanas gaitas tabulās ir uzrādītas vidējā un tekošā pieauguma vērtības. Augšanas gaitas tabulas ir sastādītas ļoti dažādi. Tāpēc vienmēr jāpārliedz, vai tiešām ir runa par tekošo pieaugumu. Ir tabulas, kurās zem šī termina slēpjas galvenās audzes krājas difference, jo attiecīgās ailes skaitļi aprēķināti pēc formulas (4.68.), neņemot vērā atmirumu. Ja aprēķini izpildīti pēc sakarības (4.76.), augšanas gaitas tabulas uzrāda tekošo pilno pieaugumu. Tālāk jāvērs uzmanība uz to, kādas biežības audzēm dotās tabulas atbilst. Parasti augšanas gaitas tabulas sastādītas pilnas biežības ($b = 1,0$) audzēm. Taču netrūkst arī izņēmumu. Tā vai citādi, tabulārās vērtības ir jāreducē uz taksējamās audzes biežību. Tas ir sarežģīts uzdevums, kura dēļ būtiski samazinās augšanas gaitas tabulu nozīme pieauguma vērtēšanā. Ir ļoti daudz pētījumu par audzes biežības ietekmi uz pieaugumu. Tomēr vienprātības šajā jautājumā nav. Par to liecina V. Antanaiša un V. Zagrejeva (Антанайтис В., Загреев В., 1981) analīze (4.14. att.). Šis attēls norāda ne tikai uz atsevišķu darbu metodiskajām atšķirībām, bet galvenokārt – uz pētāmā materiāla dažādību.

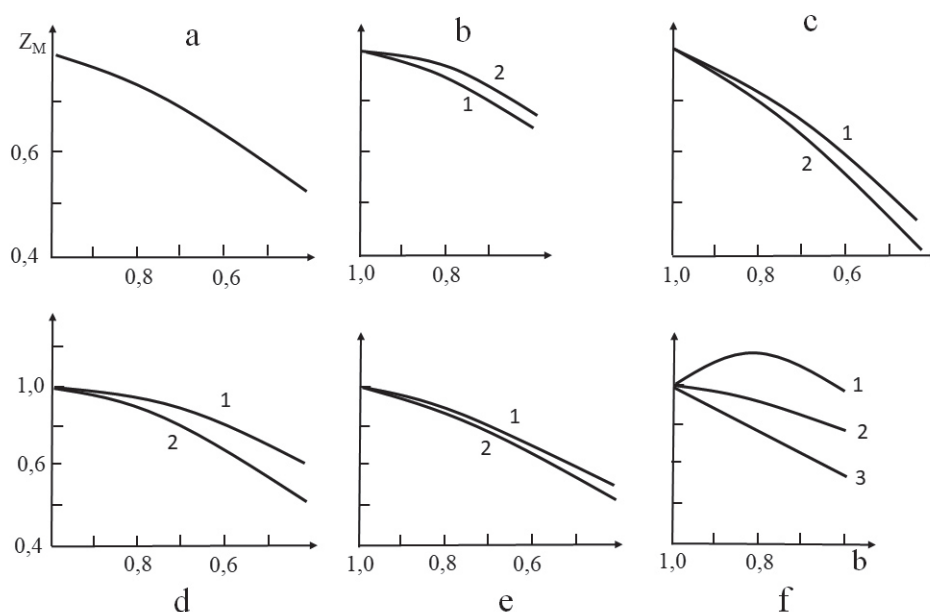
Atkarībā no koku sugas, vecuma, bonitātes, saimnieciskās darbības un citiem, arī vēl nenoskaidrotiem apstākļiem iespējami visi varianti (4.14. att.). Turklāt iepriekš nevar viennozīmīgi noteikt konkrētās audzes piederību kādam no tiem. Tāpēc tabulārā pieauguma proporcionāla reducēšana, reizinot to ar biežības vērtību, attaisnojas tikai retos gadījumos. Parasti šāds risinājums izsauc nepieļaujami lielu kļūdu. Bez proporcionālā paņēmiena ieteikti arī citi risinājumi, taču nevienam no tiem nav vispārīguma spēka. E. Gērhardts, piemēram, iesaka pilnas biežības pieaugumu Z_v^n reducēt šādi:

a) saulmīļu sugām

$$Z_v = Z_v^n (1,7 - 0,7b)b, \tag{4.124.}$$

b) ēnciešu sugām

$$Z_v = Z_v^n (2,0 - b)b. \tag{4.125.}$$



4.14. att. Tekošā pieauguma atkarība no biežības priežu I bonitātes audzēs pēc: a – E. Gērhardta; b – I. Naumenko; c – V. Ertelda; d – V. Zagrējeva; e – V. Antanaiša un P. Jakasa; f – A. Babakina; 1 – 40, 2 – 80, 3 – 60 gadu vecumā

Piemērs. Egles meža elementa (4.12. tab.) biežība $b = 6,439:40,7 = 0,158$; $Z_v^n = 10,8 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$; $Z_v = 10,8 \cdot 0,158 = 1,7064 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ jeb pieaugums bez mizas – $Z_v^{b.m.} = 1,7064:1,105 = 1,5442 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$, kas, salīdzinot ar H. Meijera – F. Loča metodi, dod +81,5% kļūdu. Pēc E. Gērhardta korekcijas ieviešanas iegūst $Z_v^{b.m.} = 10,8(2,0 - 0,158) \cdot 0,158:1,105 = 2,8445 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$, kas rezultātu vairākkārtīgi pasliktina.

Piemērs liecina par augšanas gaitas tabulu nepiemērotību krājas tekošā pieauguma noteikšanai. Sevišķi tas attiecas uz saliktu un mistrotu audžu meža elementiem ar nelielu līdzdalību audzē un koku skaita sadalījumu pēc resnuma, kas krasi atšķiras no normālā, kā tas ir šajā piemērā.

Tekošā pieauguma tabulu metode. Jāvērš uzmanība uz to, ka te ir domātas tikai tās tekošā pieauguma Z_v vai pieauguma procenta P_v tabulas, kuru lietošana neprasa gadskārtu platuma noteikšanu. Neskatoties uz šādu ierobežojumu, arī šīs grupas tabulas savstarpēji atšķiras gan pēc precizitātes, gan iekārtojuma. Visumā precīzākas ir tās tabulas, kas orientētas pēc lielāka parametru skaita. Te jāsaņem, ka līdz ar parametru skaita palielināšanos tabulu detalizētības pakāpe gan pieaug, taču krasi palielinās arī darbu apjoms, kas padara tabulu lietošanu neērtu. Turklāt, iztrūkstot konkrēto augšanas apstākļu ietekmi integrējošajam rādītājam – gadskārtas platumam, šīs tabulas nespēj atsegt atsevišķu audžu īpatnības. Tāpēc pat visai detalizēta iekārtojuma tabulu lietošana ir saistīta ar nepieļaujami lielām kļūdām.

Plaši pazīstamas ir I. Naumenko pieauguma tabulas (1941). Tās izstrādātas, izvērtējot 2327 parauglaukumus un vairāk nekā 15700 paraugkoku datus. Tabulas sastādītas priedei, eglei, ozolam, bērzam, apsei un melnalksnim. Katra tabula orientēta pēc vecuma (solis – 10 gadi), bonitātes (solis – 1 klase) un biežības (solis – 0,1; intervāls 1,0 – 0,6). Tekošais pieaugums uzrādīts m^3ha^{-1} . Pēc I. Naumenko pētījumiem atsevišķu audžu vērtēšanā iespējama līdz $\pm 25\%$ kļūda. Tabulu atbilstību pārbaudījuši daudzi pētnieki. Viņi vienprātīgi uzsver to, ka šīs tabulas ir ērti lietot, jo atkrīt koku urbšana un gadskārtu platuma mērīšana, taču atsevišķu audžu taksēšanai tās dod pārāk lielu kļūdu. Piemēram, M. Davidovs konstatējis, ka ozola audzēs kļūda ir sistemātisks raksturs, un tā palielinās līdz ar audzes vecumu, 80 – 100 gadu vecās audzēs sasniedzot pat + 50 – 100%.

Latvijā šī tipa tekošā pieauguma tabulas 20. gs. septiņdesmitajos gados izstrādājuši J. Bisenieks un J. Matuzānis (Бисениекс Я. П., Матузанис Я., 1976; Нормативы для..., 1988). Tās orientētas pēc koku sugas, krūšaugstuma vecuma, bonitātes un biežības. Koku sugas (priode, egle, bērzs, melnalksnis, apse, baltalksnis) pārstāvētas ar dažādiem parametriem, izņemot biežību, kas visās tabulās ir robežās no 0,3 līdz 1,0. Priedes tabulas domātas vecuma intervālam no 20 līdz 160 gadiem, ietverot no Ia līdz V bonitātes klasei. Eglei vecuma intervāls – no 20 līdz 140 gadiem un bonitātes klases –

Ia – III. Bērzu, apsi un melnalksni raksturo 20 (apsei 30) – 100 gadi un Ia – V bonitātes klases, bet baltalksni – 10 – 40 gadi un I – III bonitātēs klases. Tabulās krājas tekošā pieauguma vērtības uzrādītas ar vecuma soli 5 gadi. Priekšstatu par šo izstrādi sniedz 4.16. tabula.

4.16. tabula

Krājas tekošais pieaugums eglei (fragments),
m³ha⁻¹gadā

Vecums A _{1,3} , g.	Biezība							
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
I bonitātes klase								
0	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8
5	1,5	1,8	2,1	2,3	2,6	2,9	3,1	3,5
10	3,0	3,6	4,3	5,0	5,7	6,3	7,0	7,6
15	4,9	5,8	7,0	7,8	8,9	9,9	10,7	11,3
20	6,7	7,8	9,2	10,3	11,5	12,5	13,1	14,0
25	8,0	9,4	10,8	12,1	13,2	14,1	14,8	15,6
30	8,9	10,5	12,0	13,3	14,3	15,2	15,9	16,4
35	7,8	9,3	10,6	11,7	12,6	13,4	13,9	14,3
40	7,1	8,5	9,6	10,7	11,5	12,2	12,7	13,1
45	6,5	7,8	8,9	9,9	10,7	11,3	11,8	12,2

4.3.2.6. Audžu kopu krājas pieaugums un difference

Izšķir *teritoriālās* un *saimnieciskās audžu kopas*. Pirmajā gadījumā audžu kopai ir kopīga teritorija (virsmežniecība, meža masīvs, reģions), otrajā – audžu kopu vieno kāda vai kādas taksācijas pazīmes (koku suga, vecumklase, bonitāte, biezība). Teritoriāli saimniecisko kopu audzes parasti ir izkliedētas. Katra no tām var apvienot simtus un tūkstošus taksācijas nogabalu. Tāpēc audžu kopu pieauguma vai difference aprēķināšana ir saistīta ar vairākām īpatnībām. Pirmkārt, katras kopas pieaugumu (diferenci) veido visu šīs kopas audžu minēto rādītāju summas. Tik lielam darba apjomam piemērotas vienīgi kamerālās metodes, kas neprasa papildu informācijas ievākšanu, samierinoties ar to, ko dod meža inventarizācija. Otrkārt, kamerālās metodes gan ir neprecīzākas (pastāv uzskats, ka atsevišķu aužu taksēšanas kļūda S sastāda tuvu 20%), taču to lietošana ir ērta un pamatota. Pamatojums izriet no tā, ka šajā gadījumā noteicošā nav atsevišķu audžu, bet visas audžu kopas vērtējuma kļūda S_k . Kā zināms, S_k samazinās apgriezti proporcionāli kopas audžu skaitam N :

$$S_k = \frac{S}{\sqrt{N}}. \tag{4.126.}$$

Piemēram, ja $S = 20\%$ un $N = 100$, $S_k = 2\%$, kas ir pilnīgi pieļaujami. Treškārt, neskatoties uz kamerālo metožu relatīvi mazo darbietilpību, ne vienmēr var atļauties visus kopas nogabalus taksēt tieši. Jāatzīmē, ka daudzās ārzemēs pieturas šim risinājumam, pēc vajadzības summējot kopas atsevišķu audžu pieauguma un difference vērtības. Ir izstrādāti algoritmi, kas, īstenojot atziņu (4.126.), vienkāršo aprēķinu gaitu.

V. Antanaitis un V. Zagrejevs (Антанайтис В., Загребев В., 1981) iesaka izmantot vidējā svērtā principu, to īstenojot pēc shēmas, kas redzama 4.17. tabulā.

4.17. tabula

Audžu kopas krājas tekošā pieauguma aprēķināšanas shēma

Biezība	Vecumklase				Kopā	
	I			...	platība, ha	pieaugums, m³
	platība, ha	pieaugums, m³ha ⁻¹	pieaugums, m³	...		
1,0	$S_{1,0}^I$	$Z_{1,0}^I$	$S_{1,0}^I \cdot Z_{1,0}^I$	...	$S_{1,0}$	$Z_{1,0}$
0,9	$S_{0,9}^I$	$Z_{0,9}^I$	$S_{0,9}^I \cdot Z_{0,9}^I$	...	$S_{0,9}$	$Z_{0,9}$
...	...	...	...	...	...	...
0,3	$S_{0,3}^I$	$Z_{0,3}^I$	$S_{0,3}^I \cdot Z_{0,3}^I$	...	$S_{0,3}$	$Z_{0,3}$
Kopā	S^I	Z^I	$S^I \cdot Z^I$	...	S	Z

Atbilstoši šai shēmai vērtējamās kopas audzes pēc platības grupē pa vecumklasēm un biezībām. Datus par audžu piederību šīm grupām ņem no meža inventarizācijas kopsavilkuma materiāliem. Pēc tam, kad platību ailes aizpildītas, aprēķina katras vecumklases vidējo svērto bonitāti, par svariem izvēloties platības. Katras audžu grupas krājas pieaugumu m³ha⁻¹ aprēķina vai nolasa no atbilstošām krājas pieauguma tabulām. Augšminētie autori iesaka lietot V. Zagrejeva sastādītās tabulas, kas orientētas pēc vecuma, vidējās bonitātes un biezības (4.18. tab.). Datus ieraksta 4.17. tabulā, kurā platības un pieauguma reizinājums ir dotās grupas audžu pieauguma vērtību summa. Šo reizinājumu rindīņas summa izsaka attiecīgās biezības audžu kopējo pieaugumu, bet ailītes summa – vecumklases pieaugumu. Saskaitot visu vecumklašu vai biezības audžu grupu pieauguma vērtības, iegūst visas audžu kopas kopējo tekošo pieaugumu. Attiecīgi summējot minētos reizinājumus, var aprēķināt kopas jebkuras daļas krājas pieaugumu.

4.18. tabula

V. Zagrejeva krājas tekošā pieauguma tabula, m³ha⁻¹
(priede, 70 gadi, fragments)

Bonitāte	Biezība							
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
I	8,2	7,5	6,8	6,1	5,3	4,5	3,8	2,8
I,2	8,0	7,4	6,6	5,9	5,2	4,4	3,6	2,7
I,4	7,8	7,2	6,5	5,8	5,1	4,3	3,5	2,7
I,6	7,6	7,0	6,3	5,6	4,9	4,2	3,4	2,6
I,8	7,4	6,8	6,1	5,5	4,8	4,1	3,4	2,5
II	7,2	6,6	6,0	5,3	4,7	4,0	3,2	2,5

Jāatzīmē, ka 4.17. tabulas shēmu var pārveidot pēc vajadzības, arī pieauguma noteikšanai 4.18. tabulas vietā pieļaujams jebkurš cits risinājums.

Audžu kopu krājas diferences aprēķināšana ir vēl vienkāršāka. Šim nolūkam nav nepieciešama pat normatīvo tabulu lietošana. Pilnīgi pietiek tikai ar krājas datiem, ko sniedz meža inventarizācija (4.19. tab.).

Audžu kopas krājas differences aprēķināšanas shēma

Nr. p.k.	Bonitāte	Taksācijas rādītāji	Vecumklase					Kopā
			I	II	...	VIII	IX	
1.	I	Platība, ha	102	248	...	63	–	1157
2.		Kopējā krāja, tūkst. m ³	1,6	19,0	...	14,1	–	158,7
		Krāja, m ³ ha ⁻¹ :						
3.		– faktiskā	16	77	...	224	–	–
4.		– izlīdzinātā	19	77	...	222	224	–
5.		Krājas starpība	–	58	...	6	2	–
6.		Vid. periodiskā difference, m ³ ha ⁻¹	3,8	5,8	...	0,6	0,2	–
7.		Kopējā difference, m ³	388	1438	...	38	–	4831
8.		Differences prognoze, m ³	–	592	...	17	13	3894

Izklāsta saīsināšanas dēļ piemēra aprēķins izpildīts tikai par pirmo bonitāti. Pārējām bonitātēm tas ir pilnīgi analogisks. Visu bonitāšu diferenču summa sastāda audžu kopas differences vērtību. Aprēķinu gaita ir vienkārša. Vispirms ieraksta dotās bonitātes visu vecumkļu audžu kopējās platības (1. rinda) un kopējās krājas (2. rinda). Pēdējās dalot ar atbilstošo platību, iegūst katras vecumklases krāju (3. rinda), kas izteikta m³ha⁻¹. Šīs vērtības grafiski vai analītiski izlīdzina (4. rinda). Izlīdzinātie dati kalpo krājas starpību aprēķināšanai (5. rinda), kuras ieraksta vecākās klases ailēs. Vidēji periodisko differencei (6. rinda), izteiktu m³ha⁻¹, iegūst, ja attiecīgo krājas starpību daļa ar vecumklases gadu skaitu *n* (šajā piemērā *n* = 10). Izņēmums ir I vecumklase. Tās vidēji periodisko differencei pielīdzina vidējai differencei, to aprēķinot kā izlīdzinātās krājas dalījumu ar vecumklases vidējo vecumu (šajā piemērā – 5 gadi). Katras vecumklases kopējā difference ir šīs vecumklases platības un vidēji periodiskās difference reizinājums (7. rinda). Pastāv iespēja tuvināti spriest par nākamajā intervālā *n* sagaidāmo krājas palielināšanos. Prognozētās vērtības (8. rinda) aprēķina, vidēji periodisko differencei pareizinot ar iepriekšējās vecumklases platību. Prognozes balstās uz pieņēmumu, ka pēc *n* gadiem visas audzes būs kļuvušas par *n* gadiem vecākas, kā arī saglabāsies līdzšinējā krājas pieauguma un atmiruma intensitāte.

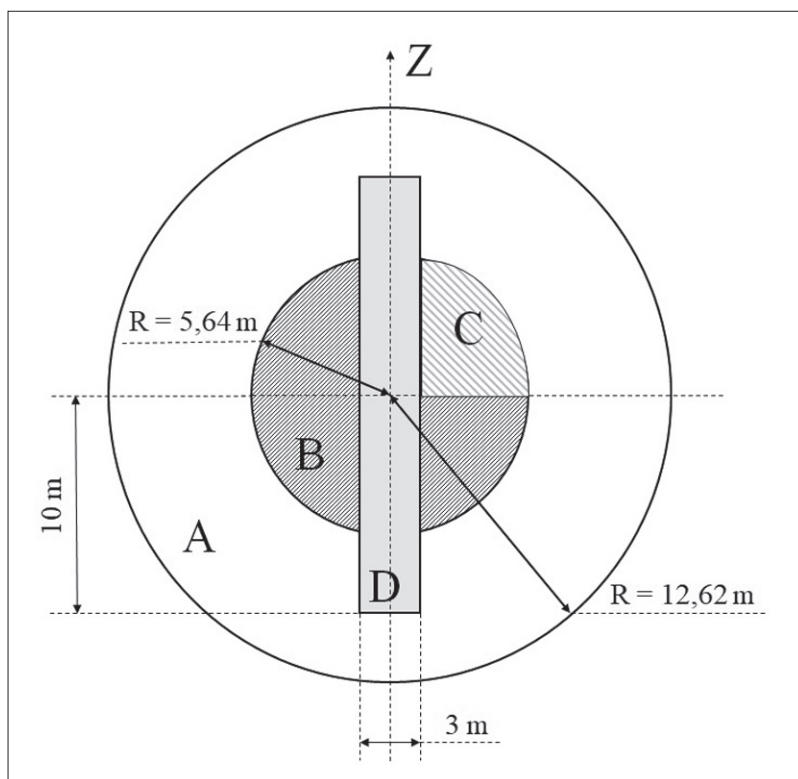
4.3.2.7. Matemātiskās statistikas metode

Pēc daudzu autoru domām, kas atkārtoti apliecinātas IUFRO kongresos, šī metode, nereti saukta par *meža statistisko inventarizāciju* (MSI), ir vispiemērotākā lielu audžu kopu taksēšanai. Metodes galvenā priekšrocība ir tā, ka ar minimālu darbaspēku, laika un līdzekļu patēriņu iegūst datus ar iepriekš noteiktu precizitāti. Turklāt dati satur informāciju par visu interesējošo taksācijas rādītāju struktūru un dinamiku. Tas paver iespēju visdažādākajos griezumos kompleksi un vispusīgi raksturot meža fondu un šo raksturojumu efektīvi izmantot meža apsaimniekošanas projektēšanas un realizēšanas interesēs. Pilnīgi neaizstājama tā ir kļuvusi dažādu meža monitoringu īstenošanā (Conkling, Byers, 1993). Atšķirībā no tradicionālās meža inventarizācijas metodes, kuras pamatpazīme ir katra meža nogabala taksēšana, ar matemātiskās statistikas metodi audzes vērtēšanai atlasa tikai noteiktā skaitā un stingri noteiktā izvietojumā. Šo audžu kopējo skaitu taksējamā teritorijā aprēķina pēc nosakāmo nozīmīgāko taksācijas rādītāju precizitātes. Savukārt audžu teritoriālo izvietojumu izvēlas pēc regulārā izvietojuma principa, visbiežāk šim nolūkam plānojot *uzskaites vienību tīklu*. Uzskaites vienība – pastāvīgais parauglaukums, kurā taksācijas rādītāju vērtības iegūst, maksimāli izmantojot instrumentālās vērtēšanas metodes, tādējādi nodrošinot iespējami augstāku datu precizitāti. Lauka un kamerālie darbi atkārtoti notiek ik pēc noteikta laika posma un vienotas metodikas.

Latvijā, sākot ar 2004. gadu, MSI īsteno *Meža resursu monitoringa* (MRM) ietvaros. MRM saturu un kārtību nosaka MK Noteikumi Nr. 238 „Nacionālā meža monitoringa noteikumi” (03.04.2013.). Atbilstoši šiem noteikumiem MRM mērķi ir iegūt un uzkrāt operatīvu un precīzu informāciju par koksnes resursiem, to struktūru un dinamiku, par meža ekosistēmu stāvokli, meža bojājumu un bioloģiskās daudzveidības izmaiņām.

MRM uzskaites vienības ir *trakti* un parauglaukumi. Trakti izvietoti vienmērīgi visā valsts teritorijā 4x4 km attālumā viens no otra. Katru traktu veido četru apļveida parauglaukumu grupa, kas trakta ietvaros iekārtoti 250x250 m kvadrāta virsotnēs. Katru gadu pēc vispusīgi pārdomātas un vienotas

lauka darbu metodikas uzmēra 20% no kopējo parauglaukumu skaita. Tādējādi 5 gadu (*MRM pilna cikla*) laikā ir uzmērīti visi parauglaukumi, un pēc to sadalījuma var secināt par interesējošo parametru sadalījumu valstī. Savukārt, nākošajā ciklā uzmērījumus atkārtojot, iegūst informāciju par izmaiņām iepriekšējos 5 gados. Parauglaukumu centrus marķē un tiem nosaka koordinātas. Šāds risinājums nodrošina precīzu datu laika rindas veidošanu.



4.15. att. Uzskaites elementu shēma: A – 500 m² parauglaukums; B – 100 m² parauglaukums; C – 25 m² parauglaukums; D – pameža un paaugu uzskaites parauglaukums (pēc (www.silava.lv/.../Nacionalais%20meza%20monitorings/Meza%20resursu%20monitori...))

Katrā parauglaukumā izšķir vairākus *uzskaites elementus* (4.15.att.). Galvenais uzskaites elements ir fiksēta rādiusa parauglaukums A ar laukumu 500 m² (rādiuss horizontālā plaknē $r = 12,62$ m). A parauglaukumā uzmēra kokus un kritalas ar caurmēru 14,1 cm un vairāk. Parauglaukumā B (100 m²; $r = 5,64$ m) uzmēra kokus un kritalas ar resgaļa caurmēru 6,1 cm un vairāk. B parauglaukuma ziemeļaustrumu ceturtdaļā (25 m²) uzmēra kokus, kuru caurmērs 1,3 m virs sakņu kakla ir 2,1 līdz 6,0 cm. Pamežu un paaugu uzmēra D parauglaukumā. Ja parauglaukums satur atšķirīgas kategorijas platības, to sadala attiecīgos sektoros un atbilstoša caurmēra kokus, pamežu un paaugu uzmēra pa sektoriem. Mežaudžu taksācijas rādītājus nosaka pa meža elementiem.

Parauglaukumos un sektoros iegūto informāciju apstrādā un, lietojot matemātiskās statistikas metodes, attiecina uz valsti kopumā. Uzmērījumu un analīžu dati par katru monitoringa gadu un piecu gadu pilnu ciklu glabājas pastāvīgā datu bāzē. Atbilstoši MK noteikumiem Nr. 238 „Nacionālā meža monitoringa noteikumi” (03.04.2012.) MRM īstenotājs – Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava” apkopo un analizē monitoringa izpildē iegūto informāciju, par to iesniedzot publiskus pārskatus Zemkopības ministrijā. Pēc tam šī informācija ir publiski pieejama institūta tīmekļa vietnē.

4.4. Papildus pieaugums

4.4.1. Papildus pieauguma jēdziens

Ar *papildus pieaugumu* saprot pieauguma daļu, kas radusies viena vai vairāku pētāmo faktoru ietekmē. Šādi faktori var būt kā dabiskas, tā antropogēnas izcelsmes. Jebkurā gadījumā, kamēr koks nav zaudējis biomasas producēšanas spējas, tas turpina palielināt vismaz vienu vai vairākas dimensijas. Kāda faktora aktivizēšanās vai arī vēl nebijuša faktora iesaistīšanās šo procesu var paātrināt vai palēnināt. Līdz ar to koka vai audzes taksācijas rādītāju pieaugumā var izdalīt divus komponentus: *neinicinēto pieaugumu*, kas būtu radies bez pētāmās ietekmes īstenošanās, un *papildus pieaugumu*, kas veidojies tieši šīs ietekmes dēļ. Ir ļoti svarīgi nodalīt abus šos komponentus vienu no otra, jo vienīgi papildus pieaugums ir tas, kas patiesi atsedz pētāmās ietekmes raksturu un lielumu. Abu komponentu summa jeb *integrālais pieaugums* šo uzdevumu veic nepilnīgi, jo dabiskās fluktuācijas daļēji izlīdzina *ietekmes efektu*. Turklāt koka vai audzes *atsauces reakcijas* taksācija nav pašmērķis. Tā kalpo kā līdzeklis ietekmes efekta tautsaimnieciskai vērtēšanai, kas atkarībā no konkrētās situācijas var izvirzīt prasību akcentēt ekoloģisko, mežsaimniecisko vai ekonomisko aspektu. Visos gadījumos ir jābūt skaidrībai par to, kāds un cik liels ir pētāmais efekts, nevis integrālais pieaugums.

Vides faktori koku fizioloģisko stāvokli var uzlabot vai pasliktināt, kas adekvāti parādās koku atsauces reakcijā. Pēc rakstura papildus pieaugums kā koku reakcijas mērs var būt pozitīvs, negatīvs vai vienāds ar nulli. Papildus pieauguma pozitīva vērtība liecina, ka pētāmā ietekme veicina, bet negatīva vērtība – kavē biomasas veidošanos; ja tā ir nulle, dotā ietekme nepārsniedz fona svārstības.

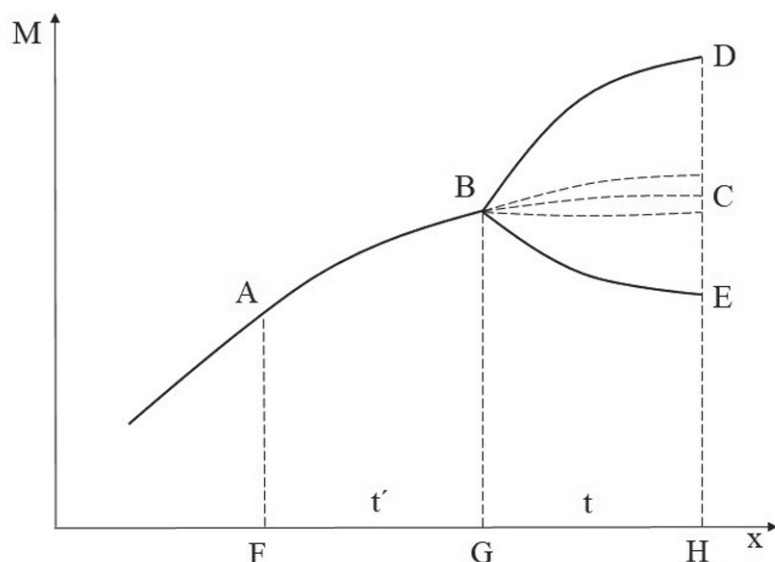
Jebkura taksācijas rādītāja pieaugums var saturēt papildus pieauguma daļu. Tāpēc var runāt par *augstuma*, *caurmēra*, *šķērslaukuma*, *tilpuma* un *krājas*; *koksnes*, *mizas*, *stumbra*, *sakņu* un *zaru*; *periodisko*, *vidēji periodisko*, *ikgadējo u.c. papildus pieauguma* veidiem. Katrs no tiem atšķirīgi raksturo koku atsauces reakcijas dažādās nianšes. Praktisko jautājumu risināšanai piemērotākie ir stumbra, augstuma, caurmēra, tilpuma (krājas) periodiskais un periodiskais vidējais (ikgadējais) papildus pieaugums. Tilpuma (krājas) papildus pieaugums vislabāk atbilst ekonomiskās analīzes specifikai. Tautsaimniecību interesē papildus klāt nākuši vai zaudēti kubikmetri, kurus viegli pārrēķināt arī naudas izteiksmē, nevis procenti, milimetri vai metri. Bez tam šis papildus pieauguma veids vispusīgi attēlo vides ietekmi. Sevišķi pārliecinoši tas izpaužas audzes līmenī. Neliels piemērs. Pēc audzes izretināšanas kopšanas cirtēs izmainās visu veidu pieaugums, arī gadskārtas platums. Turklāt, jo lielāku koku skaitu izcērt, jo platākas kļūst palikušo koku gadskārtas. Taču, neskatoties uz to, palikušie koki vairs nespēj kompensēt izcirstās krājas pieaugumu. Tāpēc pārretināta audze producē koksni mazāk par savām potenciālajām iespējām. Šī iemesla dēļ gadskārtas platumu nedrīkst izmantot kā kritēriju pētījumos par kopšanas ciršu intensitātes ietekmi uz audzes produktivitāti. Pareizus secinājumus dod krājas pieaugums. Šķiet, tā ir pati par sevi saprotama jautājuma nostādne. Taču ne vienmēr tas tā ir. Te jāatceras, ka tieši gadskārtas platuma kā efektivitātes kritērija lietošana pēckara gados „zinātniski” pamatoja pārmērīgi augstas intensitātes kopšanas cirtes Latvijā. Šī koncepcija valdīja vairākus gadu desmitus, sekmējot meža resursu neracionālu izmantošanu.

Vides faktoru ietekme laikā var būt dažāda. Taču praktiski vienmēr tā izpaužas koku atsauces reakcijā, kas turpinās zināmu laiku arī pēc dotā faktora iedarbības pārtraukšanas. Ietekmes efekts laikā var pastiprināties, sasniegt kulmināciju un samazināties (mežsaimnieciskie pasākumi) vai arī pakāpeniski pieņemt spēkā (gaisa piesārņojums). Tā vai citādi, gadu no gada tas akumulējas, papildus pieaugumam attiecīgi uzkrājoties. Tāpēc periodisko papildus pieaugumu sauc arī par kumulatīvo. Tas sastāv no vērtējamā laika posma t ikgadējo papildus pieaugumu summas.

Uzdevums, kā adekvāti noteikt stumbra tilpuma un it sevišķi audzes *kumulatīvo* un *ikgadējo papildus pieaugumu*, nav vienkāršs. Nekādā gadījumā to nedrīkst identificēt ar starpību starp kāda taksācijas rādītāja (krājas, krājas pieauguma) *vērtējamās* un *kontroles audžu* vērtībām. Tas ir metodiski nepareizi pat tad, ja laika posmā t uzskaita visu atmirumu ar sekojošu iesaistīšanu aprēķinos. Tas ir tādēļ, ka nav iespējams mežā atrast pilnīgi vienādas audzes vai pat to daļas. Arī tad, ja parauglaukumi iekārtoti līdzās, tie atšķiras gan pēc fitocenotiskā, gan morfometriskā un edafiskā raksturojuma, kas ir pietiekami, lai tik mazā vērtībā, kāda ir salīdzināmo parauglaukumu krājas un jo īpaši krājas pieaugumu starpība, izsauktu nepieļaujami lielu kļūdu. Bez tam, mūsdienu antropogēno faktoru ietekmi vērtējot, bieži vien parauglaukumus tiešā tuvumā nav iespējams izvietot. Piemēram, rūpniecības gigantu radītā gaisa piesārņojuma iedarbība pat vizuāli vēl jaušama 70 km un lielākā attālumā (Mončegorskā rūpnieciskais tuksnesis). Kāda te var būt runa par kontroles atbilstību. Līdzīgam meža tipam, audzes

sastāvam, vecumam, bonitātei un biežībai, kurus ievērot iesaka daudzi pētnieki, ir liela, taču tikai orientējoša nozīme. No teiktā izriet divi metodiski priekšnosacījumi:

- ietekmes efekts jāvērtē tikai pēc dotās audzes materiāliem, kontroli izmantojot vienīgi, lai koriģētu fona izmaiņas, kas ir vienlīdz kopīgas salīdzināmajām audzēm;
- kontroles atbilstībai jābūt statistiski pierādītai, ar to saprotot gan pietiekošu kontroles koku skaitu, gan salīdzināmo audžu līdzīgu augšanas gaitu laikā pirms vērtējamās ietekmes sākšanās (4.16. att.).



4.16. att. Krājas papildus pieauguma noteikšanas shēma

Laika ass X , kas izteikta gados, satur divus nogriežņus. Pirmkārt, $GH = t$ ($t \geq 1$) sauc par *vērtēšanas intervālu*. Tas ir laika posms pēc vērtējamā faktora iedarbības sākšanās punktā G . Punkts H izsaka audzes taksēšanas momentu. Otrkārt, $FG = t'$ ($t' \geq 1$) ir *retrospekcijas intervāls* jeb laika posms pirms dotā faktora ietekmes, kad salīdzināmo audžu augšanas apstākļi bijuši līdzīgi. Līkne AB apraksta vērtējamās audzes *krājas dinamiku*. Atkarībā no ietekmes rakstura punktā B sāk izpausties audzes atsaucē reakcija – pozitīva (līkne BD) vai negatīva (līkne BE). Ja intervāla t laikā nemainītos fona apstākļi (klimata svārstības), citiem vārdiem, līknes AB trends saglabātos iepriekšējais, audzes taksēšanas brīdī tās krāja būtu CH un attiecīgi krājas papildus pieaugums $DC = DH - CH$ vai $CE = EH - CH$. Taču sakarā ar fona dinamiskumu punkta C stāvoklis nav stabils, jo ne tikai vērtējamais faktors, bet arī fona izmaiņas var pastiprināt vai pavājināt krājas veidošanās intensitāti. Punkta C patiesais stāvoklis pēc t gadiem jākorrigē, izmantojot kontroles datus. Ar to panāk, ka DC vai CE izsaka faktisko kumulatīvo papildus pieaugumu laikā t .

Tāda ir vispārējā papildus pieauguma izpratnes un noteikšanas shēma. Tās praktiskā īstenošana atsevišķa koka vai audzes (meža elementa) gadījumā ir atšķirīga. Taču, neskatoties uz lielo dažādību kā vērtējamo objektu, tā algoritmiskā ziņā, rezultātiem jābūt savstarpēji salīdzināmiem un pietiekoši precīziem. Prasības, kādām jāatbilst papildus pieauguma un pieauguma noteikšanas metodēm, ir līdzīgas (4.3.2.1. apakšnodaļa). Jāatzīmē, ka koku atsaucē reakcijas vērtēšana, izmantojot papildus pieaugumu, ir jauns meža taksācijas virziens. Ar to arī izskaidrojams, ka mūsdienīgu papildus pieauguma noteikšanas metožu ir ļoti maz. Šī virziena sekmīgu attīstību nodrošina ikdienas izvirzītā nepieciešamība kvalitatīvi izvērtēt dažādu vides faktoru pieaugošo ietekmi uz mežu.

4.4.2. Koka stumbra papildus pieaugums

Atsevišķa koka atsaucē reakcijas vērtēšanai vairāk ir metodiska nekā praktiska nozīme. Izzinot kāda faktora ietekmes lielumu un raksturu, tās struktūru un dinamiku, gandrīz vienmēr ir jārēķinās

ar koku kopu taksēšanu audzes vai meža masīva līmenī. Viena koka stumbra papildus pieauguma noteikšanas prasme kalpo arī šī sarežģītā uzdevuma risināšanai. I. Liepa iesaka šādu metodi.

Kumulatīvo papildus pieaugumu izsaka šāda formula:

$$z_v^{kp} = \psi \left(h^\alpha d^{\beta \lg h + \varphi} - h_t^\alpha d_t^{\beta \lg h_t + \varphi} \right), \quad (4.127.)$$

kur z_v^{kp} – stumbra tilpuma kumulatīvais papildus pieaugums, m^3 ;
 $\psi, \alpha, \beta, \varphi$ – koeficienti (1.4. tab.), kuri atbilst formulu (1.78.), (4.28.), (4.31.) un (4.111.) attiecīgajām vērtībām, kas liecina par vienotu metodisko pamatu šo kvalitatīvi atšķirīgo uzdevumu risināšanā;
 t – vērtēšanas intervāls ($1 \leq t \leq 20$), gadi;
 d, d_t – stumbra krūšaugstuma caurmērs ar mizu un tā prognozētā vērtība intervāla t beigās, cm:

$$d_t = d - 0,1z_d^{kp}; \quad (4.128.)$$

z_d^{kp} – caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums, cm:

$$z_d^{kp} = 2u \left(\sum_j i_j - \sum_j i'_j \right), \quad j = 1, 2, \dots, t; \quad (4.129.)$$

kur u – mizas biezuma koeficients (1.11.tab.);
 i – vērtējamā koka gadskārtas platums, mm. To iegūst kā vidējo vērtību no četri savstarpēji perpendikulāru urbumu serdeņu mērījumiem, kas atbilst laika posmam $t + t'$;
 t' – retrospekcijas intervāls ($t' \leq 10$), gadi;
 i' – vērtējamā koka koriģētās (prognostiskās) gadskārtas platums, mm:

$$i'_j = \eta \cdot i_{k,j}^\rho; \quad (4.130.)$$

kur i_k – kontroles gadskārtas platums, mm.

Kontroles sastādīšanai izmanto uzskaites kokus, kas aug dotā meža tipa līdzīga sastāva, vecuma, bonitātes un biežības audzē. No m uzskaites kokiem ņem urbuma serdeņus. Katrs no tiem satur vismaz $t + t'$ gadskārtas. Arī uzskaites koki jāurbj divos savstarpēji perpendikulāros virzienos. Izmērītos gadskārtu platumus apvieno katra uzskaites koka vidējo vērtību rindā, kuru pakļauj atbilstības statistiskai pārbaudei. Pārbaudes uzdevums ir no m rindām atlasīt tikai tās, kuras ar vērtējamo koku retrospekcijas intervāla t' laikā uzrādījušas līdzīgu augšanas gaitu. Divas vērtību rindas uzskata par līdzīgām (sinhronām), ja to svārstības ir paralēlas, citiem vārdiem, līdzīgi vides apstākļi izsauc relatīvi vienādu gadskārtu paplašināšanos vai sašaurināšanos. Par līdzības kritēriju izmanto korelācijas koeficientu r . Pieņem, ka vērtējamā un pārbaudāmā uzskaites koka augšanas gaita ir līdzīga, ja r , kas aprēķināts pēc retrospekcijas intervāla gadskārtu platumiem, ir statistiski būtisks ($r > r_{\alpha, t'}$). Parasti faktoru ietekmes vērtēšanā strādā rezultātu būtiskuma līmenī $\alpha = 0,05$ un $t' = 10$. Šiem nosacījumiem atbilst $r \geq 0,63$. Tādā veidā no m uzskaites kokiem tiek atlasīti k *sinhronas kontroles* koki. Jāatzīmē, ka atlases procedūra jāveic tāpēc, ka ikvienā audzē sastopami koki, kas vienā un tajā pašā gadā uzrāda kā sinhronas, tā asinhronas gadskārtu platuma izmaiņas, bet kontrolei izmantojami tikai sinhroni augušie koki. Katram vērtējamā un atlasītā kontroles koka pārim pēc t' gadskārtu platumiem ar mazāko kvadrātu metodi izskaitļo sakarības (4.130.) koeficientus η un ρ , kā arī aprēķina i' vērtības, kādas vērtējamais koks būtu sasniedzis apstākļos bez faktora iedarbības. Šīs k rindas apvieno vienā, izskaitļojot t vidējos aritmētiskos.

h, h_t – vērtējamā koka augstums un tā prognozētā vērtība intervāla t beigās, m:

$$h_t = h - z_h^{kp}, \quad (4.131.)$$

z_h^{kp} – augstuma kumulatīvais papildus pieaugums, m:

$$z_h^{kp} = \frac{h \cdot z_d^{kp} (ad + b)}{u(cd + 100)}. \quad (4.132.)$$

Pēc aprakstītā algoritma tiek aprēķināts stumbra tilpuma kumulatīvais papildus pieaugums ar mizu. Šī rādītāja vērtība bez mizas:

$$z_{v;b.m.}^{kp} = \frac{z_v^{kp}}{S}, \tag{4.133.}$$

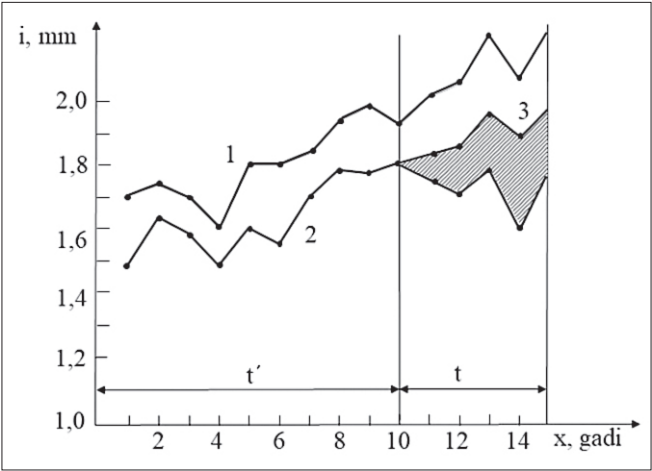
kur mizas tilpuma koeficientu S aprēķina pēc formulas (4.32). Līdz ar to *mizas kumulatīvais papildus pieaugums*

$$z_{v;m}^{kp} = z_v^{kp} - z_{v;b.m.}^{kp}. \tag{4.134.}$$

jeb

$$z_{v;m}^{kp} = \frac{z_v^{kp}(s-1)}{S}. \tag{4.135.}$$

Piemērs. Jāvērtē egles atsaucē reakcija (4.17. att.), kuras tuvumā pirms 5 gadiem uzcelta rūpnīca. Šīs egles $h = 21,6$ m; $d = 22,6$ cm; vērtēšanas intervāls $t = 5$ gadi; retrospekcijas intervāls $t' = 10$ gadi. Aprēķina īsuma dēļ šeit atlasīts tikai viens kontroles koks ($r = 0,72 > r_{0,05; 10} = 0,63$). Pēc retrospekcijas intervāla gadskārtu platumiem (4.20. tab.) aprēķinātie izteiksmes (4.130.) koeficienti $\eta = 0,938$ un $\rho = 0,95714$.



4.17. att. Gadskārtu platuma dinamika: 1 – kontroles koka, 2 – vērtējamā koka, 3 – koriģēto. Iesvītrotais laukums izsaka gadskārtu papildus pieaugumu (negatīvu).

4.20. tabula

Gadskārtu platumi, mm

Gadskārta	Retrospekcijas intervāls t'	Vērtēšanas intervāls t
i	1,50 1,62 1,58 1,49 1,60 1,52 1,70 1,77 1,75 1,80	1,77 1,70 1,75 1,60 1,72
i_k	1,70 1,72 1,70 1,60 1,80 1,80 1,85 1,90 1,97 1,90	2,00 2,03 2,20 2,07 2,20
i'		1,82 1,85 1,95 1,88 1,95

Pēc formulas (4.129.) seko, ka pēdējos 5 gados

$$z_d^{kp} = 2 \cdot 1,046(8,54 - 9,45) = -1,90 \text{ mm},$$

kas norāda uz piesārņotā gaisa kaitīgo ietekmi, kuras dēļ koka krūšaugstuma caurmērs ir par 0,19 cm tievāks, nekā tas būtu normālos augšanas apstākļos, kādi tie bija pirms rūpnīcas darbības sākuma.

Piemēru turpinot,

$$d_t = 22,6 - (-0,19) = 22,8 \text{ cm}.$$

Augstuma kumulatīvais papildus pieaugums pēc (4.132.)

$$z_h^{kp} = \frac{21,6(-1,90)(-0,0256 \cdot 22,6 + 1,693)}{1,046(5,794 \cdot 22,6 + 100)} = -0,19 \text{ m}$$

un

$$h_t = 21,6 - (-0,19) = 21,8 \text{ cm.}$$

Stumbra tilpuma papildus pieaugums ar mizu pēdējo 5 gadu laikā (4.127.):

$$z_v^{kp} = 2,3106 \cdot 10^{-4} \left(21,6^{0,78193} \cdot 22,6^{0,34175 \lg 21,6 + 1,18811} - 21,8^{0,78193} \cdot 22,8^{0,34175 \lg 21,8 + 1,18811} \right) = -0,01131 \text{ m}^3.$$

Mizas tilpuma koeficients (4.32.):

$$s = \frac{5,25 \cdot 22,6 + 117,6}{5,00 \cdot 22,6 + 100} = 1,109$$

un stumbra papildus pieaugums bez mizas

$$z_{v;b.m.}^{kp} = 0,01131 : 1,109 = -0,01020 \text{ m}^3.$$

Vidēji periodiskais papildus pieaugums ar mizu:

$$z_v^{vp} = -0,01131 : 5 = -0,00204 \text{ m}^3$$

un bez mizas

$$z_{v;b.m.}^p = -0,01020 : 5 = -0,00204 \text{ m}^3.$$

Mizas papildus pieaugums:

$$z_{v;m}^{kp} = -0,01131 - (-0,01020) = -0,00111 \text{ m}^3.$$

Ikgadējo j -tā gada papildus pieaugumu $z_{v;j}^{ip}$ aprēķina kā blakusgadu kumulatīvo papildus pieaugumu starpību:

$$z_{v;j}^{ip} = z_{v;j}^{kp} - z_{v;j-1}^{kp}. \quad (4.136.)$$

Ja dotajā piemērā aprēķina intervāla t pēdējā (piektā) gada z_v^{ip} , tad vēl jāizskaitļo z_v^{kp} par šī intervāla iepriekšējiem (pirmajiem četriem) gadiem. Vērtējamā koka dimensijas pirms gada:

$$d = 22,6 - 1,72 \cdot 0,2 \cdot 1,046 = 22,24 \text{ cm,}$$

$$h = 21,6 - \frac{21,6 \cdot 1,72 \cdot 2(-0,0256 \cdot 22,6 + 1,693)}{5,794 \cdot 22,6 + 100} = 21,24 \text{ cm.}$$

Līdzīgi kā iepriekš aprēķina nepieciešamās vērtības:

$$z_d^{kp} = -1,42 \text{ mm}; d_t = 22,38 \text{ cm}; z_h^{kp} = -0,14 \text{ m}; h_t = 21,38 \text{ m}; z_v^{kp} = -0,00826 \text{ m}^3 \text{ un pēdējā gada } z_v^{ip} = -0,01131 - (-0,00826) = -0,00305 \text{ m}^3.$$

4.4.3. Audzes (meža elementa) papildus pieaugums

Katram audzes pieauguma veidam ir iespējama tās daļas aprēķināšana, kas veidojusies vērtējamās ietekmes dēļ. Praktiski nozīmīgākais ir tas papildus pieaugums, ko devusi koku kopa, kas saglabājusies līdz novērtēšanas intervāla t beigām. Tādēļ, stingri ņemot, šajā gadījumā būtu jārunā par audzes *faktisko papildus pieaugumu*. Tā vērtība ir atkarīga no audzes biezības. Tāpēc dažādu audžu papildus pieauguma salīdzināmības dēļ to izsaka procentos no attiecīgā pieauguma (*relatīvais papildus pieaugums*) vai arī pārrēķina uz audzes vienu m^2 (*reducētais papildus pieaugums*). Līdzīgi kā atsevišķam kokam, arī koku kopai (meža elementam, audzei) izšķir kumulatīvo un ikgadējo papildus pieaugumu.

Šeit apskatītas divas I. Liepas izstrādātas krājas kumulatīvā Z_V^{kp} un ikgadējā Z_V^{ip} papildus pieauguma noteikšanas metodes.

4.4.3.1. Vidējā koka metode

Krājas papildus pieaugumu nosaka visai dotajai koku kopai, nediferencējot to pa caurmēra pakāpēm vai citām audzes struktūras kategorijām. Ja tāda vajadzība rodas, izmanto V. Korfa likumsakarību (4.110.) un audzes papildus pieauguma kopējo vērtību sadala proporcionāli atbilstoši krājas sadalījumam. Algoritmiski šī metode ir līdzīga atsevišķa koka atsaucē reakcijas vērtēšanai (Лиепа И., 1985).

$$Z_V^{kp} = 12732,4\psi \left(GH^\alpha D^{\beta \lg H + \varphi - 2} - G_t H_t^\alpha D_t^{\beta \lg H_t + \varphi - 2} \right), \quad (4.137.)$$

kur Z_V^{kp} – krājas kumulatīvais papildus pieaugums, $m^3 ha^{-1}$;
 $\psi, \alpha, \beta, \varphi$ – koeficienti kā formulā (4.127.);
 t – vērtēšanas intervāls ($1 \leq t \leq 20$), gadi;
 G, G_t – koku kopas krūšaugstuma šķērslaukums un tā prognozētā vērtība intervāla t beigās, $m^2 ha^{-1}$;

$$G_t = \frac{D_t^2 \cdot G}{D^2}; \quad (4.138.)$$

D, D_t – koku kopas vidējais krūšaugstuma caurmērs un tā prognozētā vērtība intervāla t beigās, cm:

$$D_t = D - 0,1Z_D^{kp}; \quad (4.139.)$$

Z_D^{kp} – koku kopas caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums, cm:

$$Z_D^{kp} = 2u \left(\sum_j i_j - \sum_j i'_j \right), j = 1, 2, \dots, t; \quad (4.140.)$$

u – mizas biezuma koeficients (1.11. tab.);

i_j – koku kopas gadskārtu vidējo vērtību rinda, mm. Tā satur $t + t'$ locekļus, kas ir aprēķināti no vērtējamās audzes 25 – 30 uzskaites koku urbumu datiem. Uzskaites koku izvēle ir atkarīga no audzes taksācijas veida. Iespējami divi lauka darbu varianti. Pirmkārt, vērtējamā audzē ierīko parauglaukumu, kurā visus kokus izdasto un grafiski vai analītiski konstruē augstumlīkni. Pēc dastošanas datiem aprēķina koku kopas G un D , bet H nosaka pēc augstumlīknes. Šajā variantā urbamos kokus izvēlas pēc nejaušības principa visā caurmēra izkliedes intervālā. Otrkārt, parauglaukumu neierīko. Audzes G nosaka pēc V. Biterliha principa, bet D – kā aritmētisko vidējo pēc 2 – 3 centrālo caurmēra pakāpju 25 – 30 koku caurmēru mērījumiem. Abos variantos urbšanas virzienu izvēlas pēc nejaušības principa;

i' – retrospekcijas intervāls ($t' \leq 10$), gadi;

i'_j – vērtējamās koku kopas gadskārtu koriģēto platumu rinda, mm. Korekcijai izmanto sakarību (4.130.), kurā kontroles gadskārtu platumi i_k reprezentē k kontroles koku gadskārtu platumu vidējās vērtības. Kontroles koku kopu ($10 \leq k \leq 20$) sastāda pēc 4.4.2. apakšnodaļā aprakstītās metodikas, ievērojot, ka koka atbilstību kontrolei pārbauda pēc korelācijas koeficienta r , kura aprēķināšanai ir izmantota vērtējamās koku kopas gadskārtu platumu vidējo vērtību rinda. Arī no atlasītajiem k sinhronajai kontrolei derīgajiem kokiem sastāda vidējo gadskārtu platumu rindu. Tālāk pēc abu vidējo vērtību rindu retrospekcijas intervāla datiem izskaitļo sakarības (4.130.) koeficientus η un ρ un aprēķina vērtēšanas intervāla t visas i'_j vērtības, kuras ievieto formulā (4.140.).

H, H_t – koku kopas vidējais augstums un tā prognozētā (koriģētā) vērtība intervāla t beigās, mm:

$$H_t = H - Z_H^{kp}. \quad (4.141.)$$

Z_H^{kp} – koku kopas augstuma kumulatīvais papildus pieaugums, m:

$$Z_H^{kp} = \frac{H \cdot Z_D^{kp} (aD + b)}{u(cD + 100)}. \quad (4.142.)$$

Pēc aprakstītā algoritma aprēķina krājas kumulatīvo papildus pieaugumu ar mizu. Šī rādītāja vērtības bez mizas izskaitļo līdzīgi kā atsevišķa koka vērtēšanā (formulas 4.133., 4.134. un 4.135.).

Piemērs. Vienkāršības dēļ tiek izmantoti 4.20. tabulas dati, pieņemot, ka tās pirmā rinda pārstāv vērtējamās audzes 27 uzskaites koku gadskārtu platumu vidējās vērtības, otrā rinda – 14 kontroles koku gadskārtu vidējos platumus, bet trešā rinda – pēc izteiksmes (4.130.) koriģētās vērtības, $t = 5$ gadi, $t' = 10$ gadi. Audzes sastāvs ir $10E_{70}$; $H = 22,4$ m; $D = 22,3$ cm; $G = 32,20$ m²ha⁻¹. Līdz ar to arī: $Z_D^{kp} = -1,90$ mm;

$$D_t = 22,3 - (-0,19) = 22,5 \text{ cm}; \quad G_t = 22,5^2 \cdot 32,2 : 22,3^2 = 32,78 \text{ m}^2\text{ha}^{-1} \text{ un}$$

$$Z_H^{kp} = \frac{22,4(-1,90)(-0,0256 \cdot 22,3 + 1,693)}{1,046(5,794 \cdot 22,3 + 100)} = -0,20 \text{ m}$$

$$H_t = 22,4 - (-0,20) = 22,6 \text{ m}.$$

Audzes krājas kumulatīvais papildus pieaugums pēdējo 5 gadu laikā

$$Z_V^{kp} = 12732,4 \cdot 2,3106 \cdot 10^{-4} (32,20 \cdot 22,4^{0,78193} \cdot 22,3^{0,34175 \lg 22,4 + 1,18811 - 2} - 32,78 \cdot 22,6^{0,78193} \cdot 22,5^{0,34175 \lg 22,6 + 1,18811 - 2}) = -9,478 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}.$$

Mizas tilpuma koeficients

$$s = \frac{5,25 \cdot 22,3 + 117,6}{5,0 \cdot 22,3 + 100} = 1,110.$$

Krājas kumulatīvais papildus pieaugums bez mizas

$$Z_{V;b.m.}^{kp} = -9,478 : 1,110 = -8,539 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}.$$

Mizas kumulatīvais papildus pieaugums

$$Z_{V;m.}^{kp} = -9,478 - (-8,539) = -0,939 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}.$$

Koku kopas ikgadējo krājas papildus pieaugumu līdzīgi kā atsevišķam kokam aprēķina kā blakusgadu kumulatīvo pieaugumu starpību. Šajā piemērā, nepakavējoties pie atkārtotas aprēķinu gaitas, rezultāti ir šādi. Audzes parametri pirms gada ($t = 4$): $D = 21,94$ cm; $G = 31,17$ m²ha⁻¹; $H = 22,02$ m; $Z_D^{kp} = -1,42$ mm; $D_t = 22,08$ cm; $G_t = 31,57$ m²ha⁻¹; $Z_H^{kp} = -0,15$ m; $H_t = 22,17$ m; $Z_V^{kp} = -6,608$ m³ha⁻¹. Ikgadējais papildus pieaugums pēdējā gadā:

$$Z_V^{ip} = -9,476 - (-6,608) = -2,868 \text{ m}^3\text{ha}^{-1};$$

$$Z_{V;b.m.}^{ip} = -2,868 : 1,110 = -2,584 \text{ m}^3\text{ha}^{-1};$$

$$Z_{V;b.m.}^{ip} = -2,868 : 1,110 = -2,584 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}.$$

Jāatzīmē, ka sakarība (4.137.) izvesta no (4.127.), ievērojot, ka krāja

$$V = N \cdot \bar{v}, \quad (4.143.)$$

kur V – krāja, m³ha⁻¹;

N – koku skaits, ha⁻¹;

$\bar{v}$ – vidējā koka stumbra tilpums, m³.

Tā kā

$$N = \frac{4G}{\pi \cdot D^2} = 12732,4G \cdot D^{-2} \quad (4.144.)$$

un

$$\bar{v} = \psi \cdot H^\alpha D^{\beta \lg H + \varphi}, \quad (4.145.)$$

tad audzes krāja

$$V = 12732,4\psi \cdot GH^\alpha D^{\beta \lg H + \varphi - 2}. \quad (4.146.)$$

$$\text{Tāpēc} \quad Z_V^{kp} = 12732,4\psi\left(GH^\alpha D^{\beta\lg H+\varphi-2} - G_t H_t D_t^{\beta\lg H_t+\varphi-2}\right), \quad (4.147.)$$

kas arī bija jāpierāda.

4.4.3.2. Caurmēra pakāpju metode

Audzes papildus pieaugums tiek vērtēts pa caurmēra pakāpēm vai citām struktūras vienībām. Arī šīs metodes pamatā ir formula (4.127.). Audzē ierīko parauglaukumu un visus kokus izdasto, iegūstot koku skaita sadalījumu pa caurmēra pakāpēm. Vienlaicīgi konstruē augstumlīkni, no kuras nolasa vai izskaitļo katrai caurmēra pakāpei atbilstošu augstumu. Katrā vai katrā otrajā caurmēra pakāpē pēc nejaušības principa izvēlas 1 – 3 uzskaites kokus (to kopējais skaits – 25–30). No šiem kokiem urbj koksnes serdeņus gadskārtu platuma noteikšanai un iespējami precīzi izmēra to krūšaugstuma caurmēru un to augstumu. Tālāk aprēķina to kumulatīvo papildus pieaugumu pēc formulas (4.127.). Iegūtās vērtības grafiski vai analītiski (4.130.) izlīdzina, par argumentu ņemot uzskaites koku caurmēru. No grafika nolasa vai konkretizētās sakarības (4.130.) izskaitļo katras caurmēra pakāpes vidējā koka papildus pieaugumu. Šo skaitļu un attiecīgo caurmēra pakāpju koku skaita reizinājumi izsaka doto caurmēra pakāpju papildus pieaugumu, kuru summa ir parauglaukuma koku krājas kumulatīvais papildus pieaugums, ko tālāk pārrēķina m^3ha^{-1} . Ikgadējo papildus pieaugumu, kā arī ikgadējā un kumulatīvā papildus pieauguma bezmizas un mizas vērtības izskaitļo līdzīgi, kā strādājot ar vidējā koka metodi. Jāatzīmē, ka abas šeit aprakstītās metodes ir viegli programmējamas, vienā kompleksā apvienojot kā audzes tradicionālo taksācijas rādītāju, tā arī pieauguma un papildus pieauguma aprēķināšanu atbilstoši visiem intervāla t gadiem, tādējādi īstenojot iespēju izsekot atsevišķu koku vai to kopu un vides attiecību dinamikai.

4.4.4. Audžu kopas papildus pieaugums

Dažādu audžu kopu atsaucē reakcijas vērtēšanai piemērota ir matemātiskās statistikas metode (4.3.2.7. apakšnodaļa). Tās parauglaukumos ievāktā informācija ir pietiekama arī papildus pieauguma aprēķināšanai. Vienīgais papildus darbs ir tas, ka jāizšķiras par to, kuri parauglaukumi atrodas kāda faktora vai vairāku faktoru kopējas iedarbības zonā un kuri, būdami ārpus pētāmās ietekmes, ir izmantotami kontroles sastādīšanai. Katram ietekmes zonā urbtajam kokam aprēķina papildus pieaugumu un izsaka to relatīvajā vai reducētajā izteiksmē. Pēc šīm vērtībām audžu kopas plānā izvelk ietekmes izolīnijas. Izolīniju plānu var sastādīt arī pa saimnieciskajām audžu kopām vai koku sugām. Šajā gadījumā vispirms aprēķina svērtās vidējās relatīvā vai reducētā papildus pieauguma vērtības, par svariem izvēloties krājas. Izolīniju plāns labi atsedz pētāmās ietekmes teritoriālo struktūru, norādot tās konfigurāciju, gradientu un ietekmes avotu. Pēc tā var aprēķināt attiecīgās teritorijas koksnes resursu zaudējumus vai ieguvumus atkarībā no ietekmes rakstura vai kāda cita kritērija.

Ja audžu kopas papildus pieaugums jāvērtē plašākā teritorijā ar atšķirīgas kvalitātes un ietekmes intensitātes izteikti mainīgu fonu, vēlams daudzfaktoru statistiskās analīzes izmantošana (Liepa I., Zaļkalns O., 2014.).

5. AUGŠANAS GAITA

5.1. Stumbra analīze

Pieaugums gadu no gada mainās, veidojot stohastisku laika rindu ar izteiktu trendu, ko sauc par augšanas līkni (4.2. att.). Atkarībā no ģenētiskajām īpatnībām un vides specifikas katra koka augšana ir individuāla un var ievērojami atšķirties no teorētiskās augšanas līknes. Konkrēta koka augšanas gaitu retrospektīvi atsedz *stumbra analīze*. Ar šo metodi var izsekot koka augstuma, caurmēra, šķērslaukuma, tilpuma, veidskaitļa, veidaugstuma un šo rādītāju pieauguma veidošanās procesam, sākot no viena gada vecuma līdz koka nociršanai (analīzes gadam). Pētījuma detalizētības pakāpe var būt dažāda. Tā ir atkarīga no tā, pēc cik ilga laika intervāla n koksē stumbra taksācijas elementus. Principā iespējama pilna *retrospektīvā analīze*, kur $n = 1$. Praktiski gan pieņem $n = 10$ vai jaunākiem kokiem $n = 5$.

Lauka darbi. Lauka darbi sastāv no vairākām secīgām operācijām: paraugkoka izvēles, tā augšanas apstākļu apraksta, paraugkoka nociršanas un sadalīšanas komponentos un uzmērīšanas.

Paraugkoka izvēli nosaka pētnieciskais uzdevums. Visbiežāk paraugkoku izvēlas no virsvaldu vai vidējo dimensiju kokiem. Jāpārlicinās, vai izraudzītajam kokam nav bojāta galotne un ārējās vainas: atsveķošanas vai meža dzīvnieku radītas brūces, mašīnu nobrāzta miza, nolauzti zari u. c. ekstremālas iedarbības pēdas. Stumbra analīzei neder arī koki, uz kuru stumbriem redzamas piepes, kas nepārprotami norāda uz stumbra vai sakņu trūpi. Visbiežāk satrupējusi ir stumbra resgaļa centrālā daļa. Šajā gadījumā trupes esamību stumbrā vizuāli ir grūti noteikt, tāpēc ar pieauguma svārstu divos savstarpēji stateniskos virzienos jāieurbj sakņu kaklā.

Paraugkoka augšanas apstākļu raksturojums ietver audzes taksācijas aprakstu un izraudzītā koka situācijas skici, kas attēlo paša paraugkoka un *kaimiņkoku* horizontālo projekciju izvietošanu. Par kaimiņkokiem uzskata tos, kas atrodas paraugkoka tiešā tuvumā un ietekmē tā augšanu. Vizuāli tos atpazīst pēc to vainagu saskaršanās vai pārsegšanās. Katram kaimiņkokam atzīmē arī tā sugu, augstumu un krūšaugstuma caurmēru. Ja tuvumā ir celmi, pieraksta to sugu un caurmēru. Pirms paraugkoka nociršanas uz tā stumbra atzīmē ziemeļu virzienu un lauka darbu piezīmēs pieraksta arī G. Krafta klasi.

Paraugkoku nozāģē sakņu kaklā. Jāatceras, ka arī šo griezumam izmantos stumbra analīzei un to nedrīkst sabojāt. Tāpēc iecirti jāveido no apakšas, kā arī jāraugās, lai, koku gāžot, neatplēstu atskaidu. Gāšanas virziens jāizvēlas tā, lai, kokam krītot, nenobrāztos stumbra miza, nenolūztu galotne un zari.

Uzmērīšana un paraugu ieguve. Ar ruleti izmēra pirmā sausā un pirmā zaļā zara, kā arī vainaga sāksnās attālumu līdz zāģējuma vietai. Pēc tam paraugkoku rūpīgi atzaro, raugoties, lai, zarus atdalot no stumbra, nebojātu to. Ja reizē ar stumbra analīzi jāvērtē arī vainaga dažādu frakciju biomasa, zarus šķiro atbilstoši darba uzdevumam.

Atzarotajam stumbram izmēra garumu. Stumbra analīzē lieto sekciju metodi. Sekciju garumu l nosaka darba uzdevums. Parasti kokiem, kas garāki par 20 m, $l = 2$ m, īsākiem stumbriem – $l = 1$ m. Reizē ar garuma mērīšanu uz stumbra iezīmē ripu izzāģēšanas vietas – katras sekcijas vidu, krūšaugstumu un galotnes nepilnās sekcijas pamatu. Ja $l = 2$ m, sekciju vidus sakrīt ar nepāra metriem: 1,0; 3,0; 5,0 utt. Formas koeficientu aprēķināšanai izmēra caurmēru ar un bez mizas stumbra 1/4, 1/2 un 3/4 no tā garuma. Ja paraugkoku paredzēts izmantot arī sortimentu struktūras raksturošanai, pirms stumbra sazāģēšanas izvērtē sortimentu optimālo iznākumu.

Ripas (2 – 3 cm biezas) izzāģē perpendikulāri stumbra garenasij. Katras ripas apakšpusē uzraksta paraugkoka numuru, ripas numuru (numerāciju sāk no sakņu kakla), griezuma augstumu un ziemeļu malā – burtu Z vai ievēl bultu. Lai ripas pasargātu no iežūšanas un plaisāšanas, kas deformē tās, ripas ievieto plastmasas maisos un nosūta uz laboratoriju.

Kamerālie darbi. Tie jāuzsāk pēc iespējas drīzāk. Ilgāk glabājot, ripas sapelē, sazilē, daļēji vai pat pilnīgi zaudē mizu, kas lieki sarežģī kamerālos darbus vai pat padara neiespējamu mizas biezuma mērīšanu.

Ripu sagatavošana mērīšanai. Ripas neapraktīto pusi noslīpē un Z–D un R–A virzienos iezīmē caurmēra mērīšanas virzienus. Griezuma nogludināšana uzlabo gadskārtu saskatāmību. Ja arī tā nelīdz, mērīšanas virzienos ripas virsmu sasalpina vai iekrāso. Uz resgaļa ripas vismaz iezīmētajos

Šķērslaukuma un tīlpuma augšanas gaita

Griezuma			Paaugstokuma vecums A, gadi											
Nr.	h, m	A, g.	Šķērslaukums, m²											
			bez mizas											
ar mizu			97	90	80	70	60	50	40	30	20	10		
1.	0,0	0	0,33285	0,31969	0,26695	0,24192	0,22480	0,19635	0,14387	0,09294	0,03079	0,00246	0,00020	
2.	1,0	11	0,13920	0,12819	0,10235	0,09787	0,08398	0,08093	0,06651	0,05027	0,02138	0,00181		
3.	1,3	13	0,11104	0,10349	0,09133	0,07992	0,07163	0,06335	0,05432	0,04119	0,01911	0,00174		
4.	3,0	18	0,10463	0,09787	0,08709	0,07548	0,06697	0,05896	0,04676	0,03236	0,01075	0,00015		
5.	5,0	21	0,09240	0,08553	0,07744	0,06697	0,05983	0,05228	0,04047	0,02545	0,00622			
6.	7,0	24	0,08042	0,07402	0,06560	0,05641	0,05067	0,04374	0,03301	0,01986	0,00407			
7.	9,0	27	0,07306	0,06605	0,05940	0,05067	0,04449	0,03732	0,02630	0,01327	0,00119			
8.	11,0	32	0,06697	0,06070	0,05432	0,04638	0,04011	0,03142	0,01986	0,00665				
9.	13,0	36	0,06026	0,05474	0,04909	0,04119	0,03301	0,02405	0,01150	0,00152				
10.	15,0	41	0,05268	0,04831	0,04227	0,03530	0,02835	0,01815	0,00739					
11.	17,0	45	0,04524	0,04119	0,03664	0,02956	0,02324	0,01368	0,00264					
12.	19,0	48	0,03871	0,03464	0,03017	0,02378	0,01744	0,00849	0,00035					
13.	21,0	51	0,03142	0,02895	0,02405	0,01767	0,01131	0,00385						
14.	23,0	57	0,02405	0,02138	0,01697	0,01094	0,00490	0,00035						
15.	25,0	64	0,01517	0,01247	0,00916	0,00503	0,00108							
16.	27,0	71	0,00754	0,00608	0,00374	0,00113								
17.	29,0	83	0,00255	0,00196	0,00049									
18.	30,0	90	0,00091	0,00071										
Seksiju viduslaukums, m²			0,83430	0,76208	0,65878	0,55838	0,46538	0,37322	0,25479	0,14938	0,04361	0,00196	–	
Seksiju tilpums, m³			1,66860	1,52416	1,31756	1,11676	0,93076	0,74644	0,50958	0,29876	0,08722	0,00392	–	
Galotnes tilpums , m³			0,00024	0,00019	–	–	–	0,00103	–	–	–	–	0,00006	
Stumbra tilpums, m³			1,66884	1,52435	1,31756	1,11676	0,93076	0,74747	0,50958	0,29876	0,08722	0,00392	0,00006	

virzienos saskaita gadskārtas. To skaits norāda koka vecumu A . Pirmās ripas gadskārtu skaitīšanu uzsāk no centra, ik pēc katra izraudzītā intervāla n gadiem uz ripas ievēlot labi saskatāmu šauru svītriņu. Kontroles dēļ pārējām ripām gadskārtas skaita un marķē virzienā uz centru. Tas tāpēc, ka ārējās gadskārtas visām ripām ir kopējas un līdz ar griezuma augstuma palielināšanos pakāpeniski izpaliek centrālās.

Ripu caurmēru mērīšana. Ripu caurmēru dažādā vecumā mēra starp marķētajām atzīmēm. Lieto bīdāmā vai speciālu lineālu. Rezultātus ieraksta paraugkoka uzmērījumu datu tabulā (4.2. tab.), kas ir informatīvais pamats turpmākajiem aprēķiniem.

Augstuma analīze. To raksturo, katrai vecuma desmitgadei vai piecgadei uzrādot atbilstošo vērtību. Te jāatceras, ka starpība starp koka vecumu A (pirmā griezuma gadskārtu skaits) un dotā griezuma gadskārtu skaitu ir vecums, kādā koks sasniedzis šī griezuma augstumu (4.2.4. apakšnodaļa). Augstuma analīzes rezultātus izsaka skaitliski (4.3. tab.) vai grafiski (4.4. att.).

Caurmēra analīze. Caurmēra analīzes datus iegūst un analizē līdzīgi (4.4. tab., 4.4. att.).

Šķērslaukuma analīze. Tā izsaka (4.5. tab., 4.4. att.) ne tikai šķērslaukuma augšanas gaitu, bet ir neiztrūkstoša stumbra tilpuma augšanas gaitas sastāvdaļa. Tas tāpēc, ka tilpuma aprēķināšanai lieto F. Hubera salikto viduslaukumu formulu (1.81.). Šķērslaukuma un tilpuma analīzei iekārto kopēju tabulu (5.1. tab.).

Tilpuma analīze. Stumbra tilpuma analīzei veltītas 5.1. tabulas pēdējās četras rindiņas. Sekciju viduslaukumu summu γ pareizinot ar sekciju kopējo garumu l un iegūtajam reizinājumam pieskaitot galotnes konusa tilpumu, iegūst stumbra tilpumu. Galotnes tilpums 5.1. tabulā uzrādīts tikai tajos vecumos, kur tā vērtība nav mazāka par $0,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$. Pārējos gadījumos galotnes tilpums pielīdzināts nullei. Paraugkoka stumbra tilpuma analīzes rezultāti (5.2. tab., 4.4. att.) uzskatāmi atsedz šī koka saimnieciski nozīmīgākā taksācijas rādītāja augšanas gaitu.

5.2. tabula

Paraugkoka tilpuma analīzes rezultāti

Vecums A , gadi	Tilpums, m^3	Pieaugums, m^3		Pieauguma procents p_v^{vp}
		vidējais z_v^v	vid. periodisk. z_v^{vp}	
10	0,00006	0,000006	0,000006	20,0
20	0,00392	0,000196	0,000386	19,4
30	0,08722	0,002907	0,008330	18,3
40	0,29876	0,007469	0,021154	11,0
50	0,50958	0,010192	0,021082	5,2
60	0,74747	0,012458	0,023789	3,8
70	0,93076	0,013296	0,018329	2,2
80	1,11676	0,013960	0,018600	1,8
90	1,31756	0,014640	0,020080	1,6
97	1,52435	0,015715	0,029541	2,1
Ar mizu	1,66884	0,017204	0,017204	–

Stumbra analīze dod iespēju izsekot arī veidskaitļa un veidaugstuma dinamikai (5.3. tab.). Izman-to tilpuma (5.2. tab.), šķērslaukuma (4.5. tab.) un augstuma (4.3. tab.) analīžu datus.

Krūšaugstuma veidskaitļa un veidaugstuma analīze

Vecums A, gadi	f	Vid. per. pieaugums		hf	Vid. per. pieaugums		$p_g^{vp} + p_{hf}^{vp}$
		z_f^{vp}	$p_f^{vp}, \%$		z_{hf}^{vp}	$p_{hf}^{vp}, \%$	
20	0,524	–	–	2,253	–	–	–
30	0,447	–0,0077	–1,6	4,564	0,2311	6,8	23,5
40	0,497	0,0050	1,1	7,253	0,2689	4,6	10,4
50	0,462	0,0035	–0,7	9,381	0,2128	2,6	5,3
60	0,494	0,0032	0,7	11,799	0,2418	2,3	3,8
70	0,487	–0,0007	–0,1	12,994	0,1195	1,0	2,3
80	0,490	0,0003	0,1	13,973	0,0979	0,7	1,8
90	0,481	–0,0009	–0,2	14,426	0,0453	0,3	1,6
97	0,478	–0,0004	–0,1	14,729	0,0433	0,3	2,1
Ar mizu	0,488	–	–	15,029	–	–	–

Krūšaugstuma veidskaitli f_A dotajā vecumā A aprēķina kā tilpuma dalījumu ar šķērslaukuma un augstuma reizinājumu:

$$f_A = \frac{v_A}{g_A h_A}, \tag{5.1.}$$

bet veidaugstumu hf_A – kā tilpuma un šķērslaukuma attiecību

$$hf_A = \frac{v_A}{g_A}. \tag{5.2.}$$

Jāpasvītro, ka atšķirībā no iepriekš aprakstītajiem taksācijas rādītājiem veidskaitļa vidēji periodiskais pieaugums var būt arī negatīvs. Tas izskaidrojams, pirmkārt, ar veidskaitļa relatīvo raksturu un stumbra augstuma, šķērslaukuma un tilpuma pieauguma svārstībām laika gaitā. Otrkārt, pēc 5.3. tabulas pēdējās vertikāles skaitļiem, kas izsaka šķērslaukuma un veidaugstuma vidēji periodiskā pieauguma procentu summu, var pārbaudīt formulas (4.51.) atbilstību. Šī izteiksme ir daudzu tilpuma un krājas pieauguma noteikšanas metožu pamatā. Salīdzinot 5.2. tabulā fiksētās un p_v^{vp} 5.3. tabulā $p_g^{vp} + p_{hf}^{vp}$ esošās vērtības, redzams, ka šajā piemērā formulas (4.51.) lietošana attaisnojas, sākot tikai ar 50 gadu vecumu. Līdzīgu atziņu dod liela skaita paraugkoku stumbru analīze. Jāsecina, ka minētās metodes nav piemērotas gadījumos, ja koki ir jaunāki par šo robežu.

5.2. Audžu augšanas gaitas tabulas

Audzes augšanas gaitu nosaka divi pamatprocesi. Tie izpaužas tādējādi, ka, no vienas puses, taksācijas rādītāju vērtības mainās pieauguma, no otras puses, – atmiruma dēļ. Abu procesu rezultējošo ietekmi iespaido koku vecums. Tāpēc augšanas gaitas trajektorija jeb augšanas līkne (4.2. att.) ir vecuma funkcija. Taču tās konkrētā izpausme ir būtiski atkarīga no audzes īpatnībām. Ir pamatoti uzskatīt, ka ikvienai audzei ir sava, tikai tai raksturīga augšanas gaita. Vienīgi augšanas gaitas aprakstīšanas ierobežoto iespēju dēļ audzes apvieno nosacīti viendabīgās kopās, katrai no tām izstrādājot kopīgu augšanas gaitas modeli. Modeļi aprakstot analītiski, iegūst augšanas funkcijas. Pēdējo ir ļoti daudz. Līdz 1938. gadam pazīstamāko *augšanas funkciju* vispusīgu analīzi publicējis V. Pešels (Peschel V., 1938). Bijušajā Padomju Savienībā pilnīgākais darbs šajā jomā pieder A. Kivistem (Кивисте А., 1988). Meža taksācijas prakses vajadzībām *augšanas gaitas modeli* izsaka skaitliski tabulu veidā. Šīs tabulas sauc par *augšanas gaitas tabulām*.

Pirmās augšanas gaitas tabulas sastādījis J. Paulsens 1795. gadā (P. Sarma, 1948). Kopš tā laika dažādās valstīs publicēti daudz šādu darbu. Vienas no senākajām augšanas gaitas tabulām priedei, eglei, bērzam un apsei laika posmā 1842. – 1848. g. Krievijā izstrādājis A. Vargas de Bedemārs (А. Тюрин, 1938). Ševišķi plašu vērienu audžu augšanas gaitas pētījumi ieguva 19. gs. beigās: 1880. g. –

V. Veize; 1896. g. – A. Švapahs un 20. gs. sākumā: 1904. g. – A. Šifels; 1902. g. – F. Eihorns; 1913. g. – A. Tjurins. Šo autoru darbu nozīme saglabājusies līdz mūsdienām.

Latvijas apstākļiem domātas pirmās augšanas gaitas tabulas mežierīcības praksē ieviestas 1923. gadā. Tās nebija oriģināldarbs, bet sastādītas, kompilējot A. Švapaha Vācijai un A. Vargasa de Bedemāra Krievijas ziemeļrietumu reģionam izstrādātās tabulas. Šo tabulu atšķirības izlīdzinātas proporcionāli ģeogrāfiskajam attālumam. Kompilācijas pirmais variants pārstrādāts 1924. gadā, kad bonitāšu kļaušu skaitu samazināja no 6 uz 5 un pazemināja audžu vidējos augstumus. Pārstrādātais variants pazīstams kā *Latvijas 1924. gada pagaidu augšanas gaitas tabulas*. Vēlākos pētījumos noskaidrojās, ka tabulu pārstrādāšana nevis uzlabojusi, bet gan pasliktinājusi to atbilstību Latvijas apstākļiem. Tas ir saprotami, jo arī A. Švapaha tabulu izejmateriāls ievākts Latvijai netālā teritorijā. Ņemot vērā likumsakarības un augšanas apstākļu pakāpenisko pāreju, kā arī nelielo attālumu starp pamata tabulu reģioniem, sākotnējā interpolācija izrādījās pārdomātāka. Turklāt jebkura korekcija, kas izpildīta pēc nepilnīga vietējā palīgmateriāla, stāvokli var pasliktināt. Šī atziņa pierādījās empīriski. Jau 1934. gadā A. Zviedris rakstīja, ka labāko augšanas apstākļu priežu audzes neiekļaujas I bonitātes klases robežās. Tāpēc P. Sarma un R. Princis 1947. gadā tabulas atkal papildināja ar Ia bonitātes klasi. Taču, neskatoties uz to, tabulu trūkumi nav novērsti. Sevišķi tas sakāms par egļu audžu bonitēšanu. Ne velti Latvija pagaidu augšanas gaitas tabulu lietošana bonitēšanā tika aizstāta ar M. Orlova vispārējās bonitēšanas skalu.

Līdzīgas augšanas gaitas tabulas, izmantojot bagātīgu vietējo materiālu, baltalkšņu audzēm pēckara periodā izstrādājis P. Mūrnieks, priežu un bērzu jaunaudzēm (atbilstoši līdz 25 un 20 gadu vecumam) – A. Zviedris un V. Gaross. Augšminētajās tabulās audzes bonitētas pēc vidējā augstuma un vecuma. Savukārt J. Matuzānis 1983. gadā priedei, eglei un bērzam piedāvājis tabulas, kas orientētas pēc virsaugstuma un krūsaugstuma vecuma. Pēc šiem orientieriem vadījušies arī J. Bisenieks (1975, egļu jaunaudzes līdz 30. gadiem) un J. Matuzānis un G. Ģērķis (1978, priežu jaunaudzes līdz 40 gadiem). Meža taksācija pazīst ļoti daudz dažādu augšanas gaitas tabulu. Vienas koku sugas ietvaros tās klasificē pēc vairākām pazīmēm.

Audzēs izcelšanās spēcīgi ietekmē augšanas gaitu. Atvasāja koki jaunībā aug ievērojami ātrāk nekā sēklaudži. Un tikai zināmā vecumā, kas ir atkarīgs no koku sugas un augšanas apstākļiem, dižmežs panāk un apsteidz atvasāju. Sacītais jāņem vērā, un augšanas gaitas tabulas šīm abām audžu kategorijām jā sastāda atsevišķi. Jau 1900. gadā, sekojot šim nosacījumam, K. Vimmenauers izstrādāja ozola dižmeža augšanas gaitas tabulas Vācijai, bet bijušajā PSRS B. Šustovs un M. Davidovs – ozola un melnalkšņa atvasājiem. Arī antropogēni atjaunotas audzes (meža kultūras) jaunībā aug ātrāk par dabiski atjaunojušos audzi. Kā piemēru te var minēt V. Zaharova un A. Kiseļova Baltkrievijai domātās augšanas gaitas tabulas egļu kultūrām. Pēc to autoru domām, tabulas lietojamas līdz 60 gadu vecumam.

Augšanas apstākļu ietekme ir acīmredzama. Piemēram, vidējā augstuma starpība starp simtgadīgām damakšņa un purvāja priežu audzēm var sasniegt 20 m. Šis apstāklis tiek ievērots divējādi, augšanas gaitas tabulas sastādot vai nu pa bonitātes klasēm, vai meža tipiēm. Vairums tabulu, arī Latvijā lietotās, ir izstrādātas pēc pirmā varianta, uzskatot, ka vienas bonitātes klases audzēm ir līdzīga augšanas gaita, neatkarīgi no edafiskajām un klimatiskajām atšķirībām. Taču netrūkst arī otrā varianta tabulas. Somijā plaši izplatītas I. Ilvessalo (Y. Ylvessalo) tabulas. Arī bijušajā Padomju Savienībā pazīstami šādi darbi (V. Zaharova un O. Truļa egļu–bērzu mistraudžu tabulas Baltkrievijai). Šķirti augšanas gaitas tabulas sastādītas līdzenumu un dažādu vertikālo zonu kalnu mežiem.

Audzēs sastāvs, veids, biežība un vecumstruktūra. Parasti augšanas gaitas tabulas izstrādā vienvecuma normālas biežības ($b=1,0$) audzēm (Терсков И., Терскова М., 1980). Taču neapšaubāmi ir tas, ka, piemēram, apēnojumā esošām otrā stāva un pilnā apgaismojumā augošām pirmā stāva eglēm ir krasi atšķirīga augšanas gaita. Tas pats sakāms par zemas un augstas biežības audzēm. Tāpat nevar pielīdzināt vienvecuma tīraudžu un izteikti dažādvecuma meža dinamiku. Pēdējo desmitgažu laikā plaša uzmanība pievērsta mistraudžu augšanas gaitas specifikai, it īpaši saistībā ar mistrojuma veidu un pakāpi. Vienas no pirmajām mistraudžu tabulām Austrumprūsijas priežu un egļu audzēm 1925. gadā sastādījis L. Šilings (Schilling L.). Pazīstami divi varianti – audzēm ar sastāvu 5P5E un audzēm ar priedi pirmajā un eglī otrajā stāvā. Tabulas izceļas ar lielu vecuma amplitūdu (30 – 170 g.) un vairākiem trūkumiem: visai vecuma amplitūdai paredzēta nemainīga sastāva saglabāšanās; audzes taksācijas rādītāji nav diferencēti pa koku sugām. Nedaudz gadu vēlāk (1927) Zviedrijā tika izdotas V. Enandera (Enander V.) un G. Grantingera (Grantinger G.) priežu–egļu–bērzu mistraudžu tabulas, kurās taksācijas raksturojums jau uzrādīts katrai sugai (Sarma P., 1948). Krievijā A. Taraškēviča 1916.

gadā sastādītājās Tveras guberņas egļu–mīksto lapkoku audžu tabulās augšanas gaita saistīta ar sugu maiņu. Autors pieņēmis, ka 20 gadu vecumā egles līdzdalība pirmajā stāvā ir 10%, kas laika gaitā nemitīgi palielinās un 140 gados jau sasniedz 90%. Jāatzīmē, ka dažādiem mistrojuma veidiem un pakāpēm domātu augšanas gaitas tabulu izstrāde intensīvi turpinās (Анучин Н., 1977).

Saimnieciskais režīms. Tā būtiska ietekme tika konstatēta jau audžu augšanas gaitas izpētes pašā sākuma posmā. Starpcirtes veids un intensitāte būtiski izmaina audzes taksācijas raksturojumu un tā turpmāko dinamiku. K. Vimmenauers šo faktu respektēja, sastādot diferencētas ozola dižmeža augšanas gaitas tabulas – vāji (1900. g.) un ļoti intensīvi (1913. g.) koptām audzēm. Otrajā gadījumā paredzēta pat tik intensīva starpcirte, ka, sākot ar 60 gadiem, tiek izcirsts viss krājas pieaugums. E. Gērhardta tabulas egļu audzēm (1928. g.) izstrādātas trim kopšanas (mērenas, stipras, ļoti stipras), bet skābaržu audzēm (1930. g.) pat četrām (vājas, mērenas, stipras, ļoti stipras) intensitātes pakāpēm. Plaši pazīstamās A. Tjurina un Latvijas pagaidu augšanas gaitas tabulas (Mežsaimniecības tabulas, 1964) atbilst vājai un mērenai starpcirtei. Tās paredz izcirst ap 30% kopējā pieauguma, kas tikai nedaudz pārsniedz dabisko atmirumu. Lielajā augšanas gaitas tabulu daudzveidībā var atrast arī tādas, kas domātas tikai izlases mežiem. Kardinālas izmaiņas audzes dzīvē izsauc nosusināšana, krasi paātrinot augšanas procesus, kas nav pielīdzināmi tiem, kas norisinās attiecīgas bonitātes nenosusinātos vai sausieņu augšanas apstākļos.

Pēc rakstura izšķir vietējās un vispārējās augšanas gaitas tabulas. Pirmās ir izstrādātas uz lokāla empīriskā materiāla pamata, kas ievākts kādā noteiktā ģeogrāfiskā reģionā. Šai grupai pieskaitāms liels vairums dažādās valstīs izdotu augšanas gaitas tabulu. A. Šifels 1904. g., salīdzinot dažādu Viduseiropas apgabalu egles vietējās tabulas, konstatēja lielu līdzību. Tāpēc viņš tās apvienoja, aizsākot vispārējo augšanas gaitas tabulu izstrādi. A. Tjurins secināja, ka A. Māsa Zviedrijas, I. Ilvessalo Somijas un A. Tjurina Arhangeļskas apgabala priedes vietējās augšanas gaitas tabulās augstuma dinamika ir gandrīz vienāda. Līdzīgu atziņu deva V. Veizes Vācijai un A. Vargasa de Bedemāra Krievijas ziemeļrietumu reģionam domāto tabulu analīze. Uz tā pamata A. Tjurins 1913. gadā formulēja empīrisku likumsakarību, ka normālas vienvecuma priedu tīraudzes ar vienādu vidējo augstumu vienā un tai pašā vecumā ir vienādi augušas, un tām būs vienāda augšanas gaita arī turpmāk neatkarīgi no tā, vai tās atrodas Vācijā, Pēterpils vai Arhangeļskas guberņā. Nedaudz vēlāk viņš šo atziņu attiecināja arī uz egli. Līdzīga doma tika izteikta arī Vācijā. Uz šīs atziņas pamata A. Tjurins līdz 1919. gadam izstrādāja vispārējās augšanas gaitas tabulas, kuras priedei, bērzam un apsei publicēja 1925. g., eglei 1926. g. un melnalksnim 1935. g. Šīs tabulas lieto arī šodien. Kā norādījis to autors, vietējo tabulu apvienošanas grūtākā daļa ir to pieskaņošana vienotai bonitēšanas sistēmai.

Praktiski vienlaicīgi ar A. Tjurinu pie vispārējo tabulu sastādīšanas strādāja Vācijā. Tur tās publicēja pat agrāk – 1921. g. tika izdotas E. Gērhardta tabulas priedei, eglei, balteglei, skābardim un ozolam.

Vispārējās tabulas neizslēdz vietējo tabulu lietošanu. Gluži otrādi. Pēdējās adekvāti izsaka ne tikai augšanas gaitas, bet arī citas audžu lokālās īpatnības. Tas savukārt pieļauj vietējās tabulas paplašināt, to saturu papildinot ar netradicionālu informāciju.

Pēc saturā pazīstamas ļoti dažādas augšanas gaitas tabulas. Par tradicionālām uzskata tādas, kurās dots detalizēts galvenās audzes raksturojums (vidējais augstums, vidējais caurmērs, šķērslaukums, veidskaitlis, koku skaits uz ha, krāja, tās vidējais un vidēji periodiskais pieaugums), starppaudzes krājas dati un audzes kopējā produktivitāte. Ar pēdējo saprot galvenās un starppaudzes kopējās krājas un tās pieauguma dinamiku. Turklāt minēto taksācijas rādītāju vērtības uzrādītas ik pa 10 vai, sevišķi ātraudzīgām sugām, piemēram, baltalksnim, ik pa 5 gadiem. Vecuma amplitūda ir dažāda. Parasti skujkoku un cieto lapkoku dižmežam tā ir 20 – 160 g., mīksto lapkoku audzēm un cieto lapkoku atvasājiem – 20(5) – 80(100) g. Tradicionālo tabulu grupa ir pārstāvēta visplašāk. Tai pieder arī Latvijas pagaidu augšanas gaitas tabulas priedei un eglei, kā arī J. Matuzāņa tabulas priedei, eglei un bērzam.

Vienkāršotās augšanas gaitas tabulas satur informāciju tikai par galvenās audzes taksācijas rādītājiem. Tāpēc to izmantošanas iespējas, piemēram, kopšanas ciršu projektēšanā, ir ierobežotas. Bez tam tās nedod priekšstatu par visas audzes produktivitātes dinamiku. Šai tabulu kategorijai pieskaitāmas arī Latvijas pagaidu augšanas gaitas tabulas bērzam, apsei, melnalksnim un P. Mūrnieka tabulas baltalksnim.

Paplašinātās augšanas gaitas tabulas var būt papildinātas ar dažādu informāciju. Šajā jomā atzīmējami A. Šifela darbi. Viņš jau 1904. g. norādīja uz likumsakarībām koku skaita, šķērslaukuma un krājas sadalījumā pa caurmēra pakāpēm. Praktiski šīs atziņas īstenotas A. Māsa (1911. g.) tabulās priedei, kurās uzrādīts krājas sadalījums, un Y. Ilvessalo (1920. g.) tabulās, kur dots arī koku skaita

sadalījums. Šāds jautājuma risinājums sastopams arī jaunākā laika tabulās. Samērā bieži augšanas gaitas tabulas papildina ar lietkoksnas kategoriju vai pat sortimentu iznākumu. Kā piemēru var minēt I. Naumenko (1958. g.) un M. Davidova (1958. g.) tabulas ozola dižmeža audzēm. Sastādītas arī tādas tabulas, kas papildinātas ar vainaga un pat sakņu dažādu frakciju biomasas datiem. Meža resursu kompleksas izmantošanas apstākļos šāds risinājums uzskatāms par aktuālu. Te jāmin A. Utkina un V. Usoļceva darbi.

Dažkārt sastopamas publikācijas, kurās uzsvērts, ka augšanas gaitas tabulu izstrāde neatkarīgi no to satura detalizētības pakāpes notiek galvenokārt trīs virzienos. Pirmkārt, joprojām turpinās normālo vienvecuma tīraudžu augšanas gaitas pētījumi. Tas ir tradicionālais virziens. Tabulu atbilstības palielināšanos nodrošina metodikas pilnveidošanās. Otrs virziens ir saistīts ar *modālo audžu* tabulu sastādīšanu. Par modālām sauc audzes, kas dotajā reģionā sastopamas visbiežāk. Tas nozīmē, ka šādas tabulas pārstāv mistrotas un reālas biežības audzes. Trešais virziens integrē *optimālo audžu* izveidošanas centienus. Par optimālām uzskata tādas audzes, kas vislabāk atbilst saimnieciskajiem mērķiem un iespējami pilnīgāk izmanto augšanas apstākļu potenciālu. Šādas tabulas atspoguļo maksimālas produktivitātes augstvērtīgu audžu izveidošanas stratēģiju. Arī šeit vērojama liela dažādība, kas galvenokārt ir saimnieciskā mērķa atšķirīgas izpratnes sekas.

5.3. Augšanas gaitas tabulu sastādīšanas metodes

Apmēram 200 gadu ilgajā augšanas gaitas tabulu sastādīšanas praksē lietotas dažādas metodes (Свалов Н., 1979). Tās atšķiras galvenokārt pēc tā, kā ievākts empīriskais materiāls. Paraugaudzes izvēlas atbilstoši darba uzdevumam.

Pastāvīgo parauglaukumu metode. Metodes ideja ir ļoti vienkārša. Izraudzītājās audzēs ierīko parauglaukumus, kurus ik pēc 5 vai 10 gadiem atkārtoti novērtē. Lauka darbi turpinās visu audzes dzīves laiku. Metodiski šāds risinājums vispilnīgāk fiksē pārmaiņas audzes taksācijas raksturojumā. Taču šai metodei ir tikai teorētiska nozīme, jo praktiski nav iespējams izsekot augšanas gaitai 150 gadu un ilgākā laika posmā. Tas prasītu vairāku paaudžu taksatoru saskaņotu rīcību. Turklāt vēja, uguns, kaitēkļu, slimību u. c. apdraudējuma faktoru dēļ vairums parauglaukumu audžu būtu daļēji vai pat pilnīgi iznīcinātas. Sacītais nenozīmē, ka tiek apšaubīta pastāvīgo parauglaukumu nozīme mežzinātnē. Te ir runa tikai par normatīvo materiālu – augšanas gaitas tabulu sastādīšanu.

Heieru metode. Autori – Karls un Eduards Heieri (*Heyer*). Tā ievērojami saīsina tabulu izstrādes laiku. Arī šeit datus ievāc, periodiski taksējot pastāvīgos parauglaukumus. Atšķirībā no iepriekš aprakstītās metodes parauglaukumu sēriju ierīko dažāda vecuma audzēs. Katru parauglaukumu uzņem vienlaicīgi ar tā ierīkošanu: pēc 5, 10, 15 un 20 gadiem. Tādējādi, kaut arī kopējais novērošanas laiks samazinās līdz 20 gadiem, katrs parauglaukums ir novērtēts 5 reizes. Izšķiroša nozīme ir pareizai parauglaukumu sērijas izvēlei. Galvenais nosacījums ir, lai visi sērijas parauglaukumi atbilstu vienai *augšanas rindai*, citiem vārdiem, lai izraudzīto audžu augšanas gaita būtu līdzīga un tās atšķirtos tikai pēc vecuma. Šīs domas īstenošanai parauglaukumus izvēlas vienas bonitātes klases un meža tipa normālas (pilnas) biežības audzēs. Galīgo lēmumu par parauglaukumu sērijas atbilstību vienai augšanas rindai pieņem pēc grafiskās analīzes, kas pamatojas uz atkārtotas uzņemšanas datiem. Grafika horizontālā ass izsaka vecumu, vertikālā ass – attiecīgā taksācijas rādītāja vērtības. Šādā koordinātu sistēmā katru parauglaukumu raksturo 5 punktu kopa. Tā veido laužītu līniju, kas ir attiecīgās audzes augšanas līknes atsevišķs divdesmitgadīgs fragments. Tā kā parauglaukumi pārstāv dažāda vecuma audzes, grafikā esošie fragmenti izvietojas visā vecuma amplitūdā. Turklāt vienas augšanas rindas fragmentiem ir kopēja augšanas līkne. Fragmenti, kas neiekļaujas kopējā trendā, norāda uz atbilstošo audžu piederību citai augšanas rindai. Pēc šādas atbilstības pārbaudes seko taksācijas rādītāju izlīdzināšana pēc vecuma un datu ierakstīšana tabulās. Heieru metode nodrošina augstu precizitāti, tanī skaitā arī atmiruma dinamikas attēlošanā. Metodei ir divi trūkumi – grūtības vienas augšanas rindas paraugaudžu izvēlē dabā un garais novērojumu periods. Arī 20 gadi šodien ir nepieņemami ilgs laiks augšanas gaitas tabulu sastādīšanai.

Hartigu metode. Autori ir trīs paaudžu mežkopju Hartigu (Hartig) dzimtas pārstāvji: tēvs – Georgs Ludvigs, dēls – Teodors un mazdēls – Roberts, kas 18. gs. un 19. gs. vispusīgi bagātināja Vācijas un pasaules mežzinātni. Metodes pamatā ir paraugaudžu vienreizēja taksēšana, kas dod iespēju nepieciešamo materiālu ievākt īsā laikā. Paraugaudzes izvēlas tā, lai tās pārstāvētu ne tikai līdzīgus

augšanas apstākļus, bet arī stingri atbilstu izraudzītās bonitātes klases vidum. Parauglaukumus iekārto atšķirīga vecuma pilnas biežības tīraudzēs, sākot no koku vainagu saslēgšanās līdz ciršanas vai dabiskās destrukcijas vecumam. Par parauglaukumu sērijas atbilstību vienai augšanas rindai pārlicinās, izpildot katra parauglaukuma 3 – 5 virsaugstuma kokiem stumbra analīzi (5.1. apakšnodaļa). Svarīgi, ka darbs jāuzsāk ar sērijas vecāko, sauktu par *bāzes audzi*. Ja jaunāko audžu un bāzes audzes virsaugstuma augšanas gaita ir līdzīga, tās atzīst par vienas augšanas rindas atsevišķām fāzēm. Pēc tam seko taksācijas rādītāju izlīdzināšana pēc vecuma un tabulu noformēšana. Tā kā visi lauka dati tiek ievākti īsā laikā (bieži vien pat vienā sezonā), augšanas gaitas tabulas, kas izstrādātas pēc Hartigu metodes, tikai aptuveni apraksta atmiruma procesu. Tas ir šīs metodes galvenais trūkums. Metodiskas grūtības rada arī bāzes audzes izvēles ļoti lielā ietekme uz visa darba rezultātiem.

F. Baura metode. Metode izstrādāta 19. gs. septiņdesmitajos gados un pirmo reizi lietota Vācijā Vitenbergas vietējo augšanas gaitas tabulu sastādīšanā eglei. Parauglaukumus taksē vienu reizi. Tos ierīko maksimālas biežības vienvecuma tīraudzēs. Paraugaudzes izvēlas tā, lai tās pārstāvētu visas vecumklases un visdažādākos augšanas apstākļus. Sevišķa uzmanība jāpievērš tam, lai iespējami vairāk taksētu audzes maksimāli labos un sliktos augšanas apstākļos. Empīrisko materiālu apstrādā grafiski. Sākotnējā variantā par pamatrādītāju kalpoja audzes krāja. Koordinātu sistēmā, kuras horizontālā ass izsaka vecumu un vertikālā ass – krāju, atliek visu n parauglaukumu skaitu ($n = 100 - 200$). Grafika korelatīvais lauks atgādina vēdekli, kas iziet no koordinātu sākumpunkta un paplašinās vecuma palielināšanās virzienā (3.2. att). Gar korelatīvā lauka augšējo un apakšējo malu novelk bāzes līnijas. Laukumu starp bāzes līnijām sadala tik vienādās joslās, cik iecerēts izveidot bonitāšu klases. Te jāvadās no apsvēruma, lai starpība starp blakus bonitātēm būtu pietiekami liela un nemazinātu to praktisko lietošanu. F. Bours uzskatīja, ka bāzes vecumā A ($A = 100$ g.) krājas starpībai jābūt 100 m^3 . Jāuzsver, ka ar F. Baura metodi augšanas gaitas tabulas izstrādā vienlaicīgi ar bonitāšu klašu sistēmas izveidošanu (3.7. apakšnodaļa). Katra josla atbilst vienai bonitātes klasei, bet tās viduslīnija – attiecīgās klases vidum. Joslu secībā no grafika augšas uz leju bonitāšu klases izvietoja augšanas apstākļu pasliktināšanās virzienā. Bonitāšu viduslīnijām atbilstošās krājas vērtības ieraksta tabulās.

Līdzīgi apstrādā pārējo taksācijas rādītāju datus. Atšķirība vienīgi tā, ka to dara pa jau izveidotajām bonitāšu klasēm. Jau F. Bours konstatēja atsevišķu taksācijas rādītāju grafiku nesakrītību. Viņš secināja, ka daļa audžu, kas krājas grafikā iekļaujas vienā bonitātes joslā, citos grafikos izvietoja blakus joslās vai pat tālāk. Vismazāk šī neatbilstība vērojama tad, ja bonitāšu sistēmu veido pēc augstuma (3.2. att.). Šis apstāklis bija galvenais, kas pamatoja atteikšanos no krājas kā audžu bonitēšanas kritērija. Metodes autors lielu uzmanību pievērša tam, lai augšanas gaitas tabulu dati būtu ne tikai labi izlīdzināti pēc vecuma, bet arī savstarpēji saskaņoti. Piemēram, audzes koku skaitam, kas nolasīts no attiecīgā grafika, ir jāsakrīt ar to, kas aprēķināts ar šīm vecumam atbilstošā audzes šķērsslaukuma un vidējā koka šķērsslaukuma attiecības metodi (formula (3.34.)). Otrs piemērs. Kā zināms, krāja ir vienāda ar audzes šķērsslaukuma, vidējā augstuma un veidskaitļa reizinājumu. Šī sakarība (3.73.) ir spēkā arī augšanas gaitas tabulās.

F. Baura metodei ir vairāki trūkumi. Pirmkārt, kā ar visām vienreizējas uzņemšanas metodēm, tā tikai aptuveni var raksturot starpaudzes dinamiku. Otrkārt, nav garantijas, ka vienas bonitātes klases paraugaudzes pārstāv arī vienu augšanas rindu. Treškārt, nav arī pārlicības par bāzes līniju viennozīmību, jo parasti empīriskajā materiālā sliktākie un labākie augšanas apstākļi lauka darbos nemaz nav atrasti. Un tieši bāzes līnijas nosaka visas bonitāšu sistēmas un augšanas gaitas tabulu atbilstību realitātei. Ceturtkārt, metodes īstenošana prasa lielu darba ieguldījumu ($n = 100 - 200$).

D. Brūsa metode (Husch et. al., 2003). Tā ir F. Baura idejas tālākas attīstības izpausme, kas panākta, pamatojoties uz matemātiskās statistikas atziņām. Metodes autors ieteica 1926. g. bonitāšu klašu robežas veidot pēc audzes vidējā augstuma atkarības no vecuma. Turklāt kā bāzi viņš izvēlējās nevis augšējo un apakšējo, bet centrālo izlīdzināto līniju. Savukārt robežlīnijas viņš noteica, centrālās līnijas visās vecumklasēs izlīdzinātajām vērtībām pieskaitot (atņemot) trīs standartnovirzes. Caur šādi iegūtām punktu rindām izvelkot izlīdzinošas līnijas, atrod labākajiem un sliktākajiem augšanas apstākļiem atbilstošus grafikus. Zonu starp tiem sadala vienādās joslās līdzīgi, kā to paredz F. Baura metode. Tālāk turpina pārējo taksācijas rādītāju aprēķināšanu.

D. Brūsa metode lietota ASV augšanas gaitas tabulu sastādīšanā. Pazīstamas vairākas šīs metodes modifikācijas, to skaitā arī tādas, kas paredz virsaugstuma izmantošanu. Jāatzīmē, ka visām modifikācijām saglabājas statistiskais raksturs starpaudzes dinamikas vērtēšanā.

N. Tretjakova metode. Paraugaudžu piederību vienai kategorijai nosaka pēc augšanas apstākļiem, pieņemot, ka katram meža tipam raksturīga tikai viena augšanas rinda. Ikvienā audžu kategorijā ierīko

vismaz 10 – 12 parauglaukumus. Empīrisko materiālu izlīdzina grafiski. Audzes vidējā augstuma H , caurmēra D un formas koeficienta q_2 vērtības iepriekš linearizē, lietojot sakarības:

$$HA = aA + b, \quad (5.3.)$$

$$DA = aA + b, \quad (5.4.)$$

$$q_2H = aH + b, \quad (5.5.)$$

kur a un b ir regresijas koeficienti. Koordinātu sistēmā, kurā uz abscisu ass atlikta vecuma A vai augstuma H un uz ordinātu ass – reizinājumu HA , DA un q_2H vērtības, vienas augšanas rindas parauglaukumi attēlojas kā šaura lineāra punktu kopa. Caur to izvelk izlīdzinošu taisni. Metodes autors šos grafikus iesaka izmantot, lai pārbaudītu parauglaukumu atbilstību. Pēc viņa domām tādu parauglaukumu datus, kuru novirze no izlīdzinātās taisnes ir lielāka par kritisko, turpmākos aprēķinos nav jāiekļauj. Kritiskās vērtības: formas koeficientam 6%, augstumam 10%, caurmēram 15%. Minētie procenti izsaka doto taksācijas rādītāju variācijas koeficientu vidējās vērtības viendabīgās audžu kopās un pēc N. Tretjakova pārlicības var kalpot kā kvantitatīvas atlases kritērijs. Neatbilstošos parauglaukumus pārbauda dabā nolūkā atrast un novērst kļūdas, kas pieļautas meža tipa noteikšanā vai koku uzmērīšanā. Ja kļūdu nav, nepieļaujamās novirzes interpretē kā apliecinājumu tam, ka dotajam meža tipam atbilst nevis viena, bet vairākas augšanas rindas. Pēc H , D un q_2 izlīdzināšanas seko pārējo taksācijas rādītāju aprēķināšana un ierakstīšana tabulās.

N. Anučins augšminētās kritiskās vērtības uzskata par nepieļaujamām. Viņš norāda, ka visiem vienas audžu kategorijas parauglaukumu punktiem jāatrodas uz kopējas taisnes. Metodes trūkumiem pieskaitāms arī tās statistiskums starpaudzis augšanas gaitas raksturošanā. Bez tam sakarības (5.3.), (5.4.) un (5.5.) nav adekvātas, ja $H \leq 14$ m. Tas nozīmē, ka visos gadījumos, kur audzes vidējais augstums nesasniedz šo līmeni, N. Tretjakova metode nav lietojama.

5.4. Augšanas funkcijas

Augšanas gaitas vispārīgo likumsakarību izsaka augšanas un pieauguma līknes. Vairumam taksācijas rādītāju (augstums, caurmērs, šķērslaukums, krāja) augšanas līknei ir sigmoidāla jeb S-veida forma (4.2. att.). Tas nozīmē, ka dotais rādītājs laika gaitā palielinās un turklāt ar mainīgu ātrumu (Pretzsch, 2009). Šī likumsakarība vairs nedarbojas tad, kad audze sasniedz dabisko gatavumu un sākas tās sabrukums, kas izraisa taksācijas rādītāju vērtību samazināšanos. Taču ne visos gadījumos ir raksturīga sigmoidālā augšana. Kā izteismīgu piemēru te jāmin koku skaita dinamika platības vienībā (ha^{-1}). Vienvecuma audzēs koku skaits nemītīgi samazinās. Jaunībā tas notiek ļoti strauji, tad atmiruma temps pakāpeniski kļūst arvien lēnāks. Šajā laika posmā augšanas līkne ir tuva hiperbolai. Jebkurā gadījumā augšanas līkni var aprakstīt ar dažādām matemātiskām izteismēm (*augšanas funkcijām*), kuru pirmais atvasinājums apraksta attiecīgā taksācijas rādītāja pieauguma gaitu (4.2. att.).

Audzis augšanas gaitas aprakstīšana ar matemātiskām formulām jeb šīsdienas terminoloģijā – matemātiskiem modeļiem aizsākās 19. gs. beigās. Vācu mežkopis R. Vēbers (Weber R.) 1891. g. formulēja sigmoidālās augšanas pamatnosacījumus, kas savu nozīmi nav zaudējuši arī šodien (Clutter et al., 1983; Burkhart, Tomé, 2012). Ikvienu matemātisku izteiksmi, kas atbilst šiem nosacījumiem, atbilst arī matemātiskās modelēšanas prasībām. R. Vēbera nosacījumi:

- Augšanas funkcijai $y = (A)$ ir jāsākas koordinātu nulles punktā; $y(0) = 0$.
- Augšanas funkcija $y = (A)$ ir augoša; $y'(A) \geq 0$.
- Augšanas funkcija $y = (A)$ tiecas uz asimptotu, kas ir paralēla abscisu (vecuma) asij; $\lim A \rightarrow \infty, y(A) = Y_v$.
- Augšanas funkcijai ir viens pārliekuma punkts.
- Pieauguma funkcijai $y'(A)$ (tekošais pieaugums) jāsākas koordinātu krustpunktā; $y'(0) = 0$.
- Pieauguma funkcijai $y'(A)$ ir divi pārliekuma punkti – pirms un pēc maksimuma.

Funkcijas, kas atbilst R. Vēbera nosacījumiem, apraksta ne tikai taksācijas rādītāju, bet arī dažādu organismu un populāciju augšanas gaitu. Nereti tās lieto fizikālu, ķīmisku, ekonomisku un sociālu procesu aproksimācijā. Matemātiskajā statistikā $y(A)$ atbilst varbūtību sadalījumam, $y'(A)$ – blīvuma

funkcijai. No tā arī izriet sigmoidālo augšanas funkciju universālais raksturs. To lietošana meža taksācijā gan ir saistīta ar dažām īpatnībām, ko nosaka atsevišķu taksācijas rādītāju specifika. Teikto labi ilustrē stumbra caurmērs. Kā zināms, to mēra krūšaugstumā un līdz ar to caurmēra $y(A)$ nevar sākties koordinātu krustpunktā. Arī 2. un 3. prasība attiecībā uz audzes šķērslaukumu un krāju ir spēkā tikai līdz dabiskā gatavuma vecumam, kad koku pastiprinātas bojāejas dēļ sākas šo rādītāju vērtību lejupslīde. Priekšstatu par augšanas funkcijām, kas guvušas ievērtību audzes augstuma modelēšanā, dod sakarības (3.9.) – (3.14.). Augšanas funkciju skaits meža taksācijā skaitāms simtos un turpina strauji palielināties (Erteld W., Hengst E., 1966; Gadow K., Hui G., 1999).

V. Pešels jau 1938. g. analizēja 116 tanī laikā pazīstamākās augšanas funkcijas. Viņš tās iedalīja divās grupās. Pirmajā grupā viņš ieskaitīja *ordinārās funkcijas*, kas augšanas likni apraksta formāli bez tās parametru saturiskā skaidrojuma. Otrā grupā tika iedalītas *biofizikālās funkcijas*. Tās pamatojas uz atziņu, ka ar augšanas gaitas aprakstīšanu vien ir par maz, ka jādod arī katra funkcijas parametra biofizikālā interpretācija. Šīs grupas pirmās funkcijas tika publicētas 20. gs. sākumā: 1908. g. – T. Robertsons, 1919. g. – G. Mitčerihs. Īpaši lielā skaitā tās parādījās trīsdesmitajos gados: 1935. g. – V. Korsuņs, 1938. g. – G. Bakmans (Backman G.), 1939. g. – V. Korfs. Bijušajā Padomju Savienībā šajā jomā strādāja G. Hilmi, kas šo virzienu 1957. g. nosauca par meža teorētisko ģeofiziku (Хильми Г., 1957). G. Hilmi funkcija

$$y = A - (A - y_0)e^{-\beta(x-x_0)}, \quad (5.6.)$$

kas pēc funkcijas autora domām labi raksturo biofizikālo risinājumu. Formulā (5.6.):

kur y – modelējamais taksācijas rādītājs;

x – vecums, gadi;

y_0, x_0 – attiecīgās vērtības laikā, kad audzē sākas maksimālā fizioloģiski aktīvās radiācijas asimilācija (fitomasas tekošā pieauguma kulminācija);

$A = \lambda/B$ un parametrs $B = c\beta/\gamma$, kur β un γ formulas autors interpretē kā lielumus, kas izsaka enerģijas patēriņu augšanas procesā, bet λ – kā Saules radiācijas plūsmu audzē.

Jāatzīmē, ka daudzi un dažādi centieni augšanas funkcijām piešķirt biofizikālu jēgu attaisnojušies tikai daļēji. Šo neveiksmi var izskaidrot ar to, ka augšanas funkcijas satur nelielu parametru skaitu. Tas gan apmierina formālās aproksimācijas prasības, bet ir nepietiekoši, lai atsegtu mežaudžu un vides daudzpusīgās un dinamiskās attiecības. Lai atvieglotu augšanas funkciju izstrādi, R. Vēbers ieteica koka vai audzes kopējo augšanas laiku sadalīt divos periodos. Pirmais no tiem atbilst agrīnai jaunībai un ilgst, kamēr izveidojas koku stumbriem raksturīgā forma. Tā kā praktiskajā mežsaimniecībā šim audzes dzīves posmam ir relatīvi maza nozīme, R. Vēbers ierosināja matemātiski aprakstīt vai nu tikai augšanas līknes otro periodu, vai šādu aprakstu dot katram periodam atsevišķi (parciālās aproksimācijas paņēmieni). Vēlāk ieteikumos parādījās arī trešais periods, kas attiecās uz laiku pēc audzes dabiskā gatavuma vecuma sasniegšanas. Pazīstami arī citi ieteikumi, piemēram, fizisko vecumu aizstāt ar krūšaugstuma (izslēdz pirmo periodu) vai saimniecisko vecumu (nosusinātās audzēs). Protams, šodienas datorizētās datu apstrādes apstākļos tam visam ir vēsturiska nozīme. Augšanas līknes augšminēto sešu specifisko nosacījumu aprakstīšanai tiek meklētas un atrastas aizvien jaunas formulas (Vancly J., 1994). Tās gan kļūst arvien sarežģītākas un līdz ar to arī grūtāk interpretējamās, par formulu atsevišķu parametru biofizikālo skaidrojumu nemaz nerunājot. Šeit lietderīgi ievērot principu, ko jau 14. gs. formulējis angļu filozofs un matemātiķis franciskāņu mūks V. Okama (Ockham W.), – ja visi nosacījumi ir vienādi, visnoderīgākais ir vienkāršākais risinājums (A. Rubenis, 2007).

5.5. Aktualizācija

Katru gadu meža inventarizācija papildina datu krātuves ar jaunu informāciju par stāvokli tajā vai citā valsts vai lielāku reģionu meža fonda daļā. Tas nozīmē, ka datu bāzēs uzkrājas empīriskais materiāls, kas iegūts atšķirīgos laika ass punktos. Tāpēc, lai raksturotu situāciju kādā noteiktā gadā, jāveic taksācijas datu pielīdzināšana jeb aktualizācija. Tas nozīmē, ka attiecīgajā gadā ievāktā informācija jāpārreķina par aktualizēšanas intervālu n gadiem uz priekšu. Šī intervāla garums var būt dažāds, sākot ar $n \leq 1$. Parasti izvēlas $n = 5 - 10$ gadi. Teorētiski katrs aktualizēšanas intervāls ir augšanas līknes fragments. Tāpēc, ja n garums ir vienāds ar audzes vecumu, aktualizēšanas intervāla un augšanas

līknes trajektorijas sakrīt. Tāpēc, ja vērtētāja rīcībā ir atbilstošā augšanas funkcija, tā vienlaikus var kalpot kā aktualizēšanas algoritms. Parasti gan aktualizēšanas procedūru vienkāršo, piedāvājot arī vienkāršākas taksācijas rādītāju aktualizēšanas formulas. Aktualizē primāros taksācijas rādītājus – vidējo caurmēru, vidējo augstumu un šķērslaukumu, pārējo taksācijas rādītāju vērtības aktualizēšanas intervāla beigās aprēķinot pēc audžu taksācijas formulām.

Pirmās audžu taksācijas rādītāju aktualizēšanas formulas Latvijā 1978. gadā izstrādājis J. Matuzānis (Нормативы..., 1988):

$$T_{A+n} = a_0 + a_1 T_A , \tag{5.7.}$$

kur T – aktualizējamais taksācijas rādītājs;
 A – audzes vecums aktualizācijas intervāla sākumā, gadi;
 n – aktualizācijas intervāla ilgums, gadi;
 T_{A+n} – aktualizējamais taksācijas rādītājs aktualizācijas perioda beigās, m;
 a_0, a_1 – empīriski koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas, vecuma un taksācijas rādītāja (5.4.tab.). Izklāsta saīsināšanas nolūkā 5.4. tabulā doti tikai audzes vidējā augstuma aktualizēšanas koeficienti. Ja $n \leq 9$, formulas (5.7.) vietā lieto (5.8.):

$$T_{A+n} = (0,1a_0 + 0,1(a_1 - 1)T_A) \cdot n + T_A . \tag{5.8.}$$

5.4. tabula

Taksācijas rādītāju aktualizācijas modeļa koeficienti a_0 un a_1

Koku suga	Koeficienti	
	a_0	a_1
Priede	-0,0987	$0,9212 + 11,70 / (A_{1,3} - 1,5)$
Egle	$3,716 - 3,818 \cdot a_1$	$0,987 + 6,370 / (A_{1,3} - 7)$
Bērzs	-2,0	$0,95 + 12,0 / A_{1,3}$
Apse	$4,167 - 0,02667 A_{1,3}$	$0,923 + 0,00041 A_{1,3}$
Melnalksnis	0	$0,9245 + 7,700 / A$
Baltalksnis	$1,716 - 0,0278 / A$	$0,9357 + 2,360 / A$

$A_{1,3}$ – audzes krūšaugstuma vecums aktualizācijas perioda sākumā, gadi.

J. Matuzānis iesaka $A_{1,3}$ aprēķināt, fizisko vecumu samazinot par koeficientu C, kas atkarīgs no koku sugas: priedei C = 5 (Ia bonitātes klase) – 9 (V bonitātes klase); eglei C = 10; bērzam C= 5; apsei C = 2.

J. Donis ar līdzstrādniekiem (Donis J., 2014) J. Matuzāņa piedāvātajos aktualizācijas modeļos saskatījuši vairākas nepilnības, secinot, ka Meža valsts reģistra datu bāzē lietotie vidējā augstuma, vidējā caurmēra un šķērslaukuma aktualizācijas modeļi pašreizējā variantā nespēj korekti prognozēt augstuma izmaiņas jaunākajās un vecākajās audzēs. Tāpēc minētais pētnieku kolektīvs izstrādājis un lietošanai iesaka savus meža elementa aktualizēšanas vienādojumus.

Vidējais augstums

$$H_2 = 1,3 + \frac{A_2^{b_1}}{b_2 + 100b_3x_0 + x_0A_2^{b_1}} , \tag{5.9.}$$

kur

$$x_0 = \frac{\frac{A_1^{b_1}}{H_1 - 1,3} - b_2}{100b_3 + A_1^{b_1}} . \tag{5.10.}$$

A_1 – krūšaugstuma vecums aktualizācijas intervāla sākumā, gadi;
 A_2 – krūšaugstuma vecums aktualizācijas intervāla beigās, gadi;

H_1 – vidējais augstums aktualizācijas intervāla sākumā, m;
 H_2 – vidējais augstums aktualizācijas intervāla beigās, m;
 b_1, b_2, b_3 – empīriski koeficienti, kas atkarīgi no meža elementa (5.5. tab.).

5.5. tabula

Empīriskie koeficienti meža elementa vidējā augstuma aktualizācijai

Koefi- cients	Koka suga						
	priede	egle	bērzs	apse	melnalks.	baltalks.	egle II st.
b_1	1,113	1,360	1,392	1,206	1,239	1,254	1,360
b_2	-44,224	-47,284	-34,054	-10,093	-32,613	-10,104	-47,284
b_3	21,107	20,755	13,332	4,693	13,271	3,494	20,755

Vidējais caurmērs

$$D_2 = \frac{A_2}{b_2 + 100b_3x_0 + x_0A_2}, \tag{5.11.}$$

kur A_1, A_2 – kā formulā (5.10.);
 D_1 – vidējais caurmērs aktualizācijas intervāla sākumā, cm;
 D_2 – vidējais caurmērs aktualizācijas intervāla beigās, cm;
 b_1, b_2 – empīriski koeficienti, kas atkarīgi no meža elementa (5.6. tab.).

5.6. tabula

Empīriskie koeficienti meža elementa vidējā krūšaugstuma caurmēra aktualizācijai

Koefi- cients	Koka suga						
	priede	egle	bērzs	apse	melnalks.	baltalksn.	egle II st.
b_1	-5,677	-4,471	-1,130	-13,872	-1,145	-0,703	-9,650
b_2	4,230	4,802	1,227	17,693	1,420	0,699	9,984

Koku skaits

$$N_2 = N'_2 + \eta(N_1 + N'_2), \tag{5.12.}$$

$$\eta = \frac{1}{1 + e^{-(a_0 + a_1 \ln d + a_2 \ln g + a_3 G + a_4 BAL)}}, \tag{5.13.}$$

$$N'_2 = \left[N_1^{b_1} + b_2 \frac{t_1}{H_1} (t_2^{b_3} - t_1^{b_3}) \right]^{b_4}, \tag{5.14.}$$

kur N_2 – meža elementa koku skaits piecgadu intervāla beigās, ha⁻¹;
 N_1 – meža elementa koku skaits intervāla sākumā, ha⁻¹;
 η – varbūtība, ka nākošajos 5 gados izdzīvos visi koki;
 N'_2 – prognozētais koku skaits, ha⁻¹;
 t_1, t_2 – meža elementa krūšaugstuma vecums intervāla sākumā un beigās, gadi;
 d – meža elementa vidējais kvadrātiskais krūšaugstuma caurmērs, cm;
 g – meža elementa šķērslaukums, m²ha⁻¹;
 G – šķērslaukuma summa meža elementiem, kas vienādi vai lielāki par konkrēto meža elementu (ja 1. stāva meža elements, tad 1. stāva šķērslaukums, ja 2. stāva meža elements, tad 1. un 2. stāva šķērslaukuma summa), m²ha⁻¹;
 BAL – to meža elementu šķērslaukuma summa, kas lielāki par konkrēto meža elementu (1. stāva meža elementiem – 0; 2. stāva meža elementiem – 1. stāva šķērslaukums), m²ha⁻¹;
 $a_0 - a_4, b_1 - b_4$ – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas (5.7. tab.).

Formulu (5.13.) un (5.14.) koeficienti

Koku suga	Koeficienti								
	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄
Priede	-6,75684	3,29774	-0,64559	-0,07237	0,00000	0,66544	0,02346	1,31924	1,45743
Egle	-6,90569	3,49886	-1,55172	0,00000	0,00000	0,53270	0,00693	1,44873	1,80481
Bērzs	-3,53692	2,32921	-1,28742	-0,00966	0,00000	0,56300	0,01532	1,51244	1,69890
Apse	-6,17807	3,35407	-1,51944	-0,01249	0,00000	0,47839	0,01624	1,51821	1,98683
Melnalksnis	-10,39263	4,69410	-1,58240	-0,00987	0,00000	0,54721	0,00290	1,78365	1,76636
Baltalksnis	-3,40147	1,73311	-1,12832	-0,02159	0,00000	0,52050	8,69278	0,39962	1,79903
Egle II stāvs	-1,65919	1,62685	-1,43929	0,00000	-0,01003	0,40953	-3,29451	0,32921	2,43418

Maksimālais koku skaits

$$N_{\max} = a_1 D^{a_2} H^{a_3}, \quad (5.15.)$$

kur $N_{\max}$ – meža elementa (audzes I stāva) maksimālais koku skaits, ha⁻¹;
 D – meža elementa vidējais caurmērs, cm;
 H – meža elementa vidējais augstums, m;
 a_1, a_2, a_3 – empīriski koeficienti (5.8. tab.).

5.8. tabula

Meža elementa maksimālā koku skaita (formula (5.15.) koeficienti

Koefi- cients	Koku suga					
	priede	egle	bērzs	apse	melnalksnis	baltalksnis
a_1	100829	142097	208871	280802	280802	280802
a_2	-1,353	-1,359	-1,354	-1,314	-1,314	-1,314
a_3	-0,092	-0,177	-0,374	-0,397	-0,397	-0,397

Koku skaits 5 gadu aktualizācijas intervāla beigās N_{a+5} :

$$N_{a+5} = \min(N_2; N_{\max}), \quad (5.16.)$$

kur N_2 un $N_{\max}$ ir attiecīgi pēc formulām (5.12.) un (5.15.) iegūtās vērtības.

Šķērslaukums

Meža elementa nākamā perioda šķērslaukumu autori izsaka kā funkciju no nākamā perioda meža elementa vidējā caurmēra un koku skaita pēc sekojoša vienādojuma:

$$G = \frac{\pi D^2 N}{40000}, \quad (5.17.)$$

kur G – meža elementa šķērslaukums, m²ha⁻¹;
 D – meža elementa krūšaugstuma vidējais caurmērs, cm;
 N – meža elementa koku skaits, ha⁻¹.

Krāja

Meža elementa nākamā perioda krājas aprēķināšanai taksācijas rādītāju aktualizācijas autori iesaka izmantot I. Liepas atsevišķa koka tilpuma formulu (Liepa I., 1996):

$$V = \psi H^\alpha D^{\beta \pm H + \varphi} N, \quad (5.18.)$$

kur V – meža elementa krāja, m³ha⁻¹;
 H – meža elementa nākamā perioda vidējais augstums, m (5.9. vienādojums);
 D – meža elementa nākamā perioda vidējais krūšaugstuma caurmērs, cm (5.11. vienādojums);
 N – meža elementa nākamā perioda koku skaits, ha⁻¹ (5.16. vienādojums);
 $\psi, \alpha, \beta, \varphi$ – empīriski koeficienti (1.4. tab.).

J. Donis ar līdzstrādniekiem (Donis J., 2014) norāda, ka viņu ieteiktie modeļi lietojami, sākot ar krūšaugstuma vecumu 5 gadi.

NOBEIGUMS

Cienījamais lasītāj! Pirmā ekskursija maršrutā *Meža taksācija* noslēgusies. Esam atgriezušies sākuma punktā. Tagad ir laiks pietāt un novērtēt to, ko esam ceļā saskatījuši. Gribas domāt, ka Tavi priekšstati par mežu ir nedaudz mainījušies, salīdzinot ar brīdi, kad atšķīri šīs grāmatas pirmo lapaspusi. Tas, ja viss šajā maršrutā redzētais nav pilnībā saprasts, ir normāli un pat iepriecinoši – priekšā vēl daudz patīkamu atklājumu. Vēl jo vairāk tāpēc, ka *Meža taksācijas* bakalaura un maģistra studiju kursu satura specifika un grāmatas ierobežotā apjoma dēļ vairāki meža vērtēšanas aspekti šajā grāmatā nav iekļauti vai arī to iztīrījums būtu vēlams plašāks. Šeit kā piemēru var minēt tālīzpētes metožu lietošanu mežsaimniecībā, meža taksācijas lomu meža apsaimniekošanas plānu sastādīšanā un to īstenošanas kontrolē, meža ekonomikas atziņu tautsaimnieciski saprātīgu pielietojumu meža ekosistēmu un meža resursu ilgtspējas uzturēšanā, bioloģiskās daudzveidības kvantitatīvu novērtēšanu, meža ekoloģiju un ne mazumu citu svarīgu problēmu. Katra no tām ir tik apjomīga un nozīmīga, ka ir ievērtības vērta būt atsevišķas monogrāfijas priekšmets.

Ļoti ceru, ka, grāmatu lasot, Tu pārliecinājies par to, cik daudz jau zini meža lietās un cik daudz vēl jāuzzina. Ja jau līdz šai vietai esi ticis, tas nozīmē, ka turpmāk kļūs tikai interesantāk. Meža studijas nav izņēmums – jo vairāk saproti un zini, jo aizrautīgāks ir to turpinājums. Ja nu šajā ceļā gadās redzēt kādu pagurušo, arī tas ir normāli, visticamāk viņš nebūs izvēlējies sev piemērotu maršrutu, apstiprinot patiesību, ka katram savs ceļš ejams. Arī mums pienācis laiks izvēlēties katram savu gājumu. Taču pirms tam pateiksim kopēju paldies: māksliniecei Rūtai Kazākai, bez kuras trāpīgā piekārēna daudzas patiesības būtu palikušas līdz galam neizprastas; grāmatas recenzentiem – Jānim Donim un Andim Lazdiņam, domas par kuru vērtējumu allaž mudināja cienīt iepriekšējās mežkopju paaudzēs pārbaudītās vērtības, neļaujot aizmaldīties brīnumainajos meža noslēpumos; paldies ikvienam, kas ar labu vārdu vai darbu sekmēja mūsu sadarbību. Līdz šim turējamies kopā – Tu jaunas atziņas gūstot, es – iedvesmojoties no tā. Mūs vienmēr saistīs tā bagātība, ar kuru apmainījāmies šajā grāmatā. Es paņemu līdzī pārliecību, ka mūsu kopējais darbs nesīs svētību.

Drošu soli, Taksator!

Jelgavā,
17. 12. 2018.

Autors

LITERATŪRA

Assmann E., 1970. The principles of forest yield study. Studies in the organic production, structure, increment and yield of forest stands. Oxford, New York, Toronto, Sydney, Braunschweig: Pergamon press. – 506 P.

Broks J., 2003. Vainags. Meža enciklopēdija. Pirmais sējums. – Rīga. – 334. lpp.

Burkhardt H. E., Tomé M., 2012. Modeling forest trees and stands. Heidelberg: Springer. – 457 p.

Clutter J. L., Fortson J. S., Piennar L. V., Brister G. H., Bailey R. L., 1983. Timber management. A quantitative approach. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons. – 333 p.

Conkling B. L., Byers G. E. (eds), 1993. Forest Health Monitoring Field Methods Guide. Internal Report. U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas, NV.

Daugaviete M., Gaitnieks T., Kļaviņa D., Teliševa G., 2008. Oglekļa akumulācija virszemes un sakņu biomasā priedes, egles un bērza stādījumos lauksaimniecības zemēs. Mežzinātne 18(51), 35. – 52. lpp.

Daugaviete M., Liepiņš K., Lazdiņš A., Daugavietis O., Žvīgurs K., 2009. Baltalkšņa (*Alnus incana* (L.) Moench) audžu atjaunošanās gaita un virszemes biomasas uzkrāšanās jaunaudžu vecuma audzēs. LLU Raksti 23(318), 78.–90. lpp.

Daugavietis M., 2003. Zālenis. Meža enciklopēdija. Pirmais sējums. – Rīga. – 350. lpp.

Donis J., Lazdiņš A., Jansons J., Zariņš J., Zdors L., Šņepsts G., 2012. Latvijas meža resursu ilgtspējīgas, ekonomiski pamatotas izmantošanas un prognozēšanas modeļu izstrāde. Pārskats par Meža attīstības fonda pasūtīto pētījumu. 67 lpp. Pieejams: http://www.silava.lv/userfiles/file/Projektu%20parskati/2012_Donis_MAF_S95.pdf

Donis J., 2014. Zinātniskā pamatojuma izstrāde informācijas aktualizācijai meža valsts reģistrā. Pārskats par Meža attīstības fonda pasūtīto pētījumu. Pieejams: [https://www.google.lv/search?q=P%-C4%81rskats_inform%C4%81cijas_aktualiz%C4%81cijai-MVR_Donis\(8\)&cad=h](https://www.google.lv/search?q=P%-C4%81rskats_inform%C4%81cijas_aktualiz%C4%81cijai-MVR_Donis(8)&cad=h)

Donis J., Šņepsts G., Šēnhofs R., Zdors L., Treimane A., 2015. Mežaudžu augšanas gaitas un pieauguma noteikšana, izmantojot meža statistiskās inventarizācijas datus. Pārskats. 75 lpp. http://www.lvm.lv/images/lvm/Pētījumi_un_publicācijas/Pētījumi/AGM_gala_atkaite.pdf.

Erteld W., 1957. Grunflächenschluss und Zuwachs bei Kiefer, Fichte und Buche. Berlin: Akademie-Verlag. 178 S.

Erteld W., Hengst E., 1966. Waldertragslehre. Leipzig: Neumann Verlag. 332 S.

Gadow von K., Hui G., 1999. Modelling forest development. – Dordrecht: Kluwer academic publishers. – 213 p.

Girard J. W., 1933. Volume tables for Mississippi bottomland hardwoods and southern pines. *J. For.* 31:34–41.

Husch Bertram, Beers Thomas W., Kershaw John A., 2003. Forest mensuration. – 4th ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. – 442 p.

Iesalnieks J., 2002. Meža ekonomikas pamati. – Rīga: ET CETERA. – 92 lpp.

Kangas A., Maltamo M., 2006. Forest Inventory. Methodology and Applications. – Dordrecht: Springer. – 363 p.

Kimmins J. P., 1997. Forest ecology. A foundation for sustainable management. Prentice Hall, Inc. 596 p.

Korf V., 1953. Taxace lesů. Dendrometrie. Prvá část. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. – 328 s.

Korf V., 1972. Dendrometrie. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. – 361 s.

Kershaw John A., Ducey Mark J., Beers Thomas W., Husch Bertram, 2016. Forest Mensuration. 5th Edition. Wiley–Blackwell. – 632 p.

Kozuliņš V., 2001. Skujkoku zāģmateriālu uzmērīšana un kvalitātes vērtēšana. Metodiskie materiāli. Jelgava: LLU. – 61 lpp.

Laar van A., Akça A., 2007. Forest Mensuration. Dordrecht: Springer. – 383 p.

Liepa I., 1996. Pieauguma mācība. Jelgava: LLU. – 123 lpp.

Liepa I., Blija T., 2008. Latvijas egļu mežu koku biomasas struktūra. LLU Raksti 20(315). – 32.–37. lpp.

- Liepa I., Zaļkalns O.**, 2014. The Diversity of the Environmental Impact in Kurzeme. Journal of Life Sciences, USA. July 2014, Vol. 8, No. 7, pp. 570–581.
- Līpiņš L.**, 1999. Stumbru racionāla sagarumošana. Rīga: Liesma. – 76 lpp.
- Līpiņš L., Liepa I.**, 2007. Apaļo kokmateriālu uzmērīšana. Jelgava: LLU. – 104 lpp.
- Loetsch F.**, 1954., Das Tariffdifferenzverfahren zur Massenzuwachsermittlung in der Praxis und im Versuchswesen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 3/4.
- Matuzānis J.**, 1983. Audžu augšanas gaitas un produktivitātes modeļi. Apskats. – Rīga: LatZTIZ-PI. – 32 lpp.
- Mežals H.**, 2003. Meža augsnes. Meža enciklopēdija, I daļa. – Rīga: Zelta Grauds. – 190. – 197. lpp.
- Mežsaimniecības tabulas**, sastād. R. Sacenieks un J. Matuzānis, 1964. – Rīga: LVI. – 208. lpp.
- Millers M., Magaznieks J.**, 2012. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stem wood and bark moisture and density influence factors. Research for Rural Development. Vol.2. – p. 91 – 97.
- Nikodemus O., Kārklīšs A., Kļaviņš M., Melecis V.**, 2008. Augsnes ilgtspējīga izmantošana un aizsardzība. LU Akadēmiskais apgāds. – 256 lpp.
- Ozoliņš R.**, 1954. Koku stumbru formas un sortimentu struktūras matemātiskie modeļi: disertācijas kopsavilkums Dr. habil. silv. grāda iegūšanai. Jelgava: LLU. – 22 lpp.
- Miežīte O., Dreimanis A.**, 2009. Baltkrišņa bezlapotās virszemes biomasas noteikšanas metodes. LLU Raksti 23(318), 68.–77. lpp.
- Muukkonen P., Mäkipää R.**, 2006. Biomass Equations for European Trees: Addendum. Silva Fennica, Vol.40(4), p. 763 – 773.
- Peschel W.**, 1938. Die mathematischen Methoden zur Herleitung der Wachstumsgesetze von Wald und Bestand und die Ergebnisse ihrer Anwendung. Tharandter forstliches Jahrbuch. S. 169 – 248.
- Philip Michael S.**, 1994. Measuring Trees and Forests. – Cambridge: University Press. – 310 p.
- Pretzsch H.**, 2009. Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model. Berlin, Heidelberg: Springer. – 664 p.
- Repšys J.**, 1994. Miško taksācija. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidykla. – 352 p.
- Rubenis A.**, 2007. Ētika. Viduslaiku izglītība, antropoloģija un ētika. – Rīga: Zvaigzne. – 240 lpp.
- Sarma P.**, 1948. Meža taksācija. – Rīga: LVI. – 590 lpp.
- Schweingruber F.**, 1996. Tree Rings and Environment. Dendroecology. Paul Haupt Verlag, Berne. 609 pp.
- Skudra P.**, 2003. Zaru tilpums. Meža enciklopēdija. Pirmais sējums. – Rīga. – 334. lpp.
- Skudra P., Dreimanis A.**, 1993. Mežsaimniecības pamati. Rīga: Zvaigzne. – 263 lpp.
- Spiecker H.**, 1999. Overview of recent growth trends in European forests. Water Air and Soil Pollution. Vol.116 (1 – 2): 33–46.
- The Dictionary of Forestry**, 1998. Editor John A. Helms. – Bethesda: The Society of American Foresters. – 210 pp.
- Vanclay Jerome K.**, 1994. Modeling Forest Growth and Yield. Applications to Mixed Tropical Forests. – Wallingford: CAB International. – 336 p.
- Vertex Laser II Operator's Manual VL 402 v.1.1.** Haglöf Sweden AB, 2010. 40 p.
- Weiskittel Aaron R., Hann David W., Kershaw John A., Vanclay Jerome K.**, 2011. Forest Growth and Yield Modeling. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd. – 415 p.
- West P. W.**, 2004. Tree and Forest Mensurement. – Berlin, Heidelberg, New York: Springer– Verlag. – 167 p.
- Zālītis P.**, 2006. Mežkopības priekšnosacījumi. – Rīga: Izdevniecība „et cetera”, 220 lpp.
- Zviedris A., Matuzānis J.**, 1964. Tekošā koksnes masas pieauguma noteikšana. Jaunākais Mežsaimniecībā, 6/7. laid. – 49. – 56. lpp.
- Антанайтис В. В., Загреев В. В.**, 1981. Прирост леса. – 2-е изд., перераб. – Москва: Лесная промышленность. – 200 с.
- Анучин Н. П.**, 1977. Лесная таксация, изд. 4-е. – Москва: Лесная промышленность. 512 с.
- Багинский В. А.**, 2011. Таксация леса в Белоруси. – Гомель. – 548 с.
- Бисениекс Я. П., Матузанис Я. К.**, 1976. Таблицы текущего прироста и естественного отпада древостоев. – Рига: ЛатНИИЛХП. – 52 с.
- Боровиков А. М., Уголев Б. Н.**, 1989. Справочник по древесине. – Москва: Лесная промышленность. – 296 с.
- Вагин А. В., Мураханов Е. С., Ушаков Ф. И., Харин О. А.**, 1978. Лесная таксация и лесоустройство. – Москва: Лесная промышленность. – 367 с.
- Голояд Б. Я., Лієпа І. Я., Пановник В. М.**, 1996. Таблиці поточного приросту по запасу основних лісоутворюючих порід Українських Карпат. Книга 1 (300 с.), книга 2 (300 с.), книга 3 (164 с.). Івано–Франковск.
- Загреев В. В., Вагин А. В.**, 1975. Основы лесной таксации. – Москва: Высшая школа. – 264 с.
- Захаров В. К.**, 1967. Лесная таксация, изд. 2-е. – Москва: Лесная промышленность. – 406 с.

- Дворецкий М. Л.**, 1964. Текущий прирост древесины ствола и древостоя. – Москва: Лесная промышленность. – 164 с.
- Карманова И. В.**, 1976. Математические методы изучения роста и продуктивности растений. – Москва: Наука. – 222 с.
- Кивисте А. К.**, 1988. Функции роста. Учебно–справочное пособие (Приложение). – Тарту: ЭСА, – 108 с.
- Кофман Г. Б.**, 1986. Рост и форма деревьев. – Новосибирск: Наука. – 211 с.
- Кузьмичев В. В.**, 1977. Закономерности роста древостоев. – Новосибирск: Наука. – 157 с.
- Лендзел П., Морван Ш.**, 1978. Химия и технология целлюлозного производства. Пер. с немецк. – Москва: Лесная промышленность. – 541 с.
- Лесотаксационный справочник, 1980.** – Москва: Лесная промышленность. – 288 с.
- Лица И. Я.**, 1980. Динамика древесных запасов. Прогнозирование и экология. – Рига: Зинатне. – 172 с.
- Лица И. Я.**, 1985. Единый метод таксации реакции древостоя на антропогенное воздействие. Лесоведение № 6, с. 12 – 18.
- Никитин К. Е.**, 1966. Лиственница на Украине. – Киев: Урожай. – 331 с.
- Нормативы для таксации леса Латвийской ССР, 1988.** Ответствен. ред. Я. К. Матузанис. – Рига. – 176 с.
- Орлов М. М.**, 1929. Лесная таксация (таксация древесного прироста). 3–е изд. – Ленинград: изд. журн. Лесн. хоз–во и лесн. пром–сть. – 532 с.
- Свалов Н. Н.**, 1979. Моделирование производительности древостоев и теории лесопользования. – Москва: Лесная промышленность. – 216 с.
- Семенюта Ф. И.**, 1961. Лесная таксация. Москва – Ленинград: Гослесбумиздат. – 339 с.
- Тауринь Я. К.**, 1969. Динамика прироста и теоретические основы рубок ухода в березовых древостоях Латвийской ССР. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. ланд. с.–х. наук. – Елгава. 29 с.
- Терсков И. А., Терскова М. И.**, 1980. Рост одновозрастных древостоев. Новосибирск: Наука. – 306 с.
- Турский Г. М.**, 1927. Лесная таксация. – Москва: Новая деревня. – 211 с.
- Уголев Б. Н.**, 2001. Древесиноведение с основами лесного товароведения, изд. 3–е. – Москва: МГУЛ. – 340 с.
- Усольцев В. А.**, 1985. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. – Красноярск: изд. Красноярск. – 175 с.
- Усольцев В. А.**, 1997. Биоэкологические аспекты таксации фитомассы деревьев.
- Тюрин А. В.**, 1938. Таксация леса. Москва: Гослестехиздат. – 300 с.
- Екатеринобург: УрО РАН. – 216 с.
- Хильми Ф. Г.**, 1957. Теоретическая биофизика леса. Москва: Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта. – 205 с.

LATVIEŠU – ANĢĻU – KRIEVU TERMINU SARAKSTS

absolūtais veidskaitlis
absolute form factor
абсолютное видовое число

acumēra novērtējums
assessment of sight
визуальная оценка

agrīnā koksne
early wood, earlywood, springwood
ранняя древесина

aizsargāta suga
protected species
охраняемый вид

antropogēni atjaunots mežs, mākslīgi atjaunots mežs
artificially restored forest
искусственно восстановленный лес, лесные культуры

apakšējais stāvs
understorey
нижний ярус

apaļie kokmateriāli
round timber
круглый лес

apdraudēta suga
endangered species, threatened species
исчезающий вид

apļveida parauglaukums
circular sample plot
круговая пробная площадь

apgaismojums
lighting
освещенность

apkārtmērs
girth, circumference
окружность

aplieve
sapwood
заболонь

applūdusi platība
flooded site, flooded area
затопленная площадь

aprīkojums
equipment
оборудование

aprite
turnover
оборот

apskate
survey
обследование

aramkārtā
plow layer, plough layer
пахотный слой

ārēja pazīme
external feature
внешний признак

ārējs defekts, atklāts defekts
open defect
открытый дефект

aritmētiskais vidējais augstums
arithmetic(al) mean height
средняя арифметическая высота

aritmētiskais vidējais caurmērs
arithmetic(al) mean diameter
средний арифметический диаметр

atbildes reakcija
response reaction
отклик, ответная реакция

atjaunojams resurss
renewable resource
возобновляемый ресурс

atliekas
residual
отходы

atlūzas, kritālas
coarse woody debris
отпад деревьев

atmiruma krāja
dead stock
мертвый запас

atmiruma veidošanās
mortality
образование отпада

atvasājs
coppice forest, low forest
порослевый лес

atvase
shoot, sprout, sucker
побег

atvērums vainagu klājā
gap, opening
пробел

atzarošanās
natural pruning
естественный опад сучьев

audze, mežaudze, kokaudze
stand, forest stand
лесонасаждение, древостой

audzes produktivitāte
forest stand productivity
продуктивность насаждения

audzes šķērslaukums
basal area
сумма площадей сечений

auglīga augsne
fertile soil
плодородная почва

augoša koka atstāšana
green tree retention
сохранение живого дерева

augšnes skābums
soil acidity
кислотность почвы

augšnes tips
soil type
тип почвы

augstuma un caurmēra attiecība
height to diameter ratio
отношение высоты к диаметру

augstumlīkne
height–curve
кривая высот

augstummērs
hypsoneter
высотомер

augstums
height
высота

augstums līdz dzīvajam vainagam, vainaga sākums
height-to–live crown
высота до живой кроны

augstumšķira
height class
разряд высот

augšanas apstākļi
growing conditions
условия произрастания

augšanas apstākļu tips
site type
тип лесорастительных условий

augšanas gaitas modelis
growth–and–yield model, yield model
модель хода роста

augšanas gaitas tabula
growth–and–yield table, yield table
таблица хода роста

augšanas klase
growth class
класс роста

augšanas līkne
cumulative growth curve
кривая роста

augšanas rinda
growth series
естественный ряд развития

baļķa resgalis
lower end of a log
нижний конец бревна

baļķa tievgalis
upper end of log
верхний конец бревна

baļķis
log
бревно

barības vielu atbrīvošanās, izdalīšanās
nutrient release
высвобождение питательных веществ

bāzes attālums
base distance
базовое расстояние

biezība
stand density, relative stand density
полнота

bioloģiskā daudzveidība
biodiversity, biological diversity
биологическое разнообразие

biomasa
biomass
биомасса

biotops, dzīves vieta
habitat
среда обитания

Biterliha mērķēklis
stick–type angle gauge
полнотомер Биттерлиха

Biterliha teorija
Bitterlich theory
теория Биттерлиха

blakusprodukts
by-product
побочный продукт

blīzums
root swell
корневой наплыв

bonitāte
site index
бонитет

briestaudze
maturing forest
приспевающее насаждение

caurmēra pakāpe
diameter class, DBH class
ступень толщины

caurmērs
diameter
диаметр

caurmērs ar mizu
overbark diameter, outside bark diameter
диаметр в коре

caurmērs bez mizas, bezmizas caurmērs
underbark diameter, inside bark diameter
диаметр без коры

celma augstums
stump height
высота пня

celms
stump
пень

celmu atvase
root sucker
пнёвый побег

ciešmetrs
dense cubic meter, solid cubic meter
плотный кубометр

cilindrs
cylinder
цилиндр

ciršanas atliekas
logging slash, logging residues
остатки рубки

ciršanas vecums
final felling age
возраст рубки

dabiskās atjaunošanās veicināšana
facilitating natural regeneration
содействие естественному возобновлению

dabiski atjaunojies mežs
naturally renewed forest
естественно обновленный лес

dastmērs
forest calliper
мерная вилка

dastošanas lapa
stand table
ведомость перечета деревьев

dažādvecuma audze
uneven-aged stand, all-aged stand
разновозрастное насаждение

defoliācija
defoliation
удаление листвы

dendrometrs
dendrometer
дендрометр

detrita slānis
detritus layer
слой детрита

divstāvu audze
two-stored stand, two-storeyed stand
двухярусное насаждение

dižmežs
high forest
высокоствольный лес

dominējošais augstums
dominant height
доминирующая высота

dzīvnieku bojājums
animal damage
повреждение животных

ēncietīga suga
shade tolerant species
теневыносливый вид

ēnojums
shading
затенение

faktiskais vecums
actual age
фактический возраст

fenoloģiskā fāze
phenological phase
фенологическая фаза

fizioloģiskais vecums
physiological age
физиологический возраст

formas klase
form class
класс формы

formas koeficients
form quotient
коэффициент формы

<i>gadskārta</i> annual ring, growth ring, tree ring годовое кольцо, древесный слой	<i>izcirtums</i> clear-cut area вырубка
<i>gadskārtas platums</i> tree ring width ширина годичного слоя	<i>izlases vienība, paraugkopas vienība</i> sample unit, sampling unit единица выборки
<i>gadskārtu indeksi</i> annual ring indices, growth ring indices индексы годичных колец	<i>jaukts mežs</i> mixed forest смешанный лес
<i>galotne</i> apex, top вершина	<i>jaunaudze</i> young forest stand молодняк
<i>galvenās cirtes caurmērs</i> final felling diameter диаметр главной рубки	<i>kailcirte</i> clear-cut, clear felling сплошная рубка, сплошнолесосечная рубка
<i>galvenās cirtes vecums</i> final felling age возраст главной рубки	<i>kāršu vecuma audze</i> pole-aged stand жердняк
<i>garengriezums</i> longitudinal section продольное сечение	<i>kodols, kodolkoksne</i> heartwood ядро
<i>gruntsūdens</i> groundwater грунтовая вода	<i>kokaude</i> tree stand древостой
<i>gruntsūdens līmenis</i> groundwater table уровень грунтовой воды	<i>koka vainags</i> tree crown крона дерева
<i>ģeometriskais vidējais caurmērs</i> geometric mean diameter средний геометрический диаметр	<i>kokaudes sastāvs</i> species composition состав древостоя
<i>humuss</i> humus гумус	<i>koka taksācijas rādītājs</i> tree parameter таксационный показатель дерева
<i>ieaugums</i> ingrowth врастание	<i>koka vecums</i> tree age возраст дерева
<i>indikatorsuga</i> indicator species вид-индикатор	<i>kokmateriāli</i> timber лесоматериалы
<i>infleksijas punkts, pārliekuma punkts</i> point of inflexion, turning point точка перегиба	<i>koksne</i> wood древесина
<i>introducēta suga</i> introduced species интродуцированный вид	<i>koksnes mitruma saturs</i> wood moisture content влажность древесины
<i>īpatsvars</i> specific gravity удельный вес	<i>koksnes vaina</i> wood defect, defect in timber порок древесины
<i>īslaicīgs parauglaukums</i> temporary sample plot временная пробная площадь	<i>koku skaita sadalījums</i> tree number distribution распределение числа деревьев

kopšanas cirte
thinning
рубка ухода

kopšanas cirtes intensitāte
thinning intensity
интенсивность рубки ухода, интенсивность
изреживания

krāja
stock, volume
запас

kraujmēra kubikmetrs
stocked cubic meter
складочный кубометр

kritāla
down tree, fallen dead tree
валежник

kritiskais šķērslaukums
critical basal area
критическая сумма площадей сечений

krūmājs
brushwood, brush, shrubland, bushland
кустарниковые заросли

krūms
shrub, bush
куст, кустарник

krūšaugstuma caurmērs
dbh, diameter at breast height
диаметр на высоте груди

krūšaugstuma šķērslaukums
basal area, cross-sectional area at breast height
площадь сечения на высоте груди

*krūšaugstuma šķērslaukumu summa, absolūtā
biezība*
stand basal area, absolute stand density
сумма площадей сечений древостоя на высоте
груди

krūšaugstuma vecums
brestat-high age
возраст на высоте груди

*krūšaugstuma veidskaitlis, senais veidskaitlis, neīstais
veidskaitlis*
brest height form factor
старое видовое число

krūšaugstums, augstums 1,3 m virs sakņu kakla
breast height
высота 1,3 м от корневой шейки

ksilometrs
xylometer
ксилометр

lapas
leaves
листья

lapas laukums
leaf area
площадь листа

lapotne
foliage
листва

lapkoks
deciduous tree
лиственное дерево

lauce
glade
поляна

lietkoki
timber
деловые стволы

lietkoksne
timber
деловая древесина

malka
firewood
дрова

mērenās joslas mežs
temperate forest
умеренный лес

mērījuma kļūda
measurement error
ошибка измерения

mērķa suga
target species
целевой вид

meža ainava
forest landscape
лесной пейзаж

meža atjaunošana
forest regeneration, reforestation
лесовосстановление

meža augsne
forest soil
лесная почва

meža bojājumi
forest damage
повреждение леса

meža ieaudzēšana, apmežošana
afforestation
облесение

meža ietekme
forest influence
влияние леса

mežainums
forest cover, percentage forest cover, woodiness
лесистость

meža inventarizācija
forest inventory, forest survey
инвентаризация леса

meža komponents
forest component
компонент леса

meža pasliktināšanās
forest decline
ухудшение леса

meža produktivitāte
forest productivity
продуктивность леса

meža taksācija
forest mensuration
лесная таксация, таксация леса

meža tips
forest type
тип леса

meža ugunsgrēks
forest fire
лесной пожар

meža veselība
forest health
здоровье лесов

mežizstrāde
logging
лесозаготовка

mežsaimniecība
forestry
лесное хозяйство

mežsaimnieciskais pasākums
silvicultural treatment
лесоводственное мероприятие

mežzinātne
forest science
лесная наука

mietsakne
taproot
стержневой корень

mieturis
whorl, dasher
мутовка

mikoriza
mycorrhiza
микориза

minerālaugsne
mineral soil
минеральная почва

minimālais šķērslaukums
minimum basal area
минимальная сумма площадей сечений

mistraudze
mixed stand
смешанное насаждение

mitri augšanas apstākļi
wet growing conditions
влажные условия роста

miza
bark
кора

mizas biezuma mērītājs
bark gauge
измеритель толщины коры

mizas biezums
bark thickness
толщина коры

mizas dubultbiezums
double bark thickness
двойная толщина коры

nacionālais standarts
national standard
национальный стандарт

neatjaunojams resurss
non-renewable resource
невозобновляемый ресурс

neauglīga augsne
infertile soil
бесплодная почва

nekoksnes meža produkti
nontimber forest products, non-wood forest products
недревесные лесные продукты

nepilna gadskārta
discontinuous ring
прерывистое кольцо

nobiras
litter, small woody debris, litter layer
отпад

normālais sadalījums, Gausa sadalījums
normal distribution, Gaussian distribution
нормальное распределение, распределение Гаусса

normālais veidskaitlis, Preslera veidskaitlis
normal or Pressler's form factor
нормальное видовое число

nošķelts neiloīds
frustum of neiloid
усеченный нейлоид

nošķelts paraboloīds
frustum of paraboloid
усеченный параболоид

organikas sadalīšanās
break-down, decomposition
разложение

organiska augsne
organic soil
органическая почва

paaudze
generation
поколение

paauga
regrowth
подрост

pamežs
underwood, undergrowth
подлесок

papildus pieaugums
additional increment
дополнительный прирост

papīrmalka
pulpwood
баланс

paraugkoks
sample tree
модельное дерево

paraugkopa
sample
выборочная совокупность

parauglaukums
sample plot, trial plot
пробная площадь

paraugs
sample, specimen
образец

paraugu ievākšana, paraugu ņemšana, datvāce
sampling
отбор проб, отбор образцов

pāraugusi audze
over-mature stand
перестойное насаждение

pārejas koeficients
expansion factor
коэффициент расширения

pārejas zona, ekotons
transition zone
переходная зона

pastāvīgs parauglaukums
permanent sample plot
постоянная пробная площадь

pašizretināšanās
self-thinning
самоизреживание

pēccirtes audze
residual stand, remaining stand
оставшийся древостой

periodiskais ikgadējais pieaugums
periodic annual increment PAI
периодический годичный прирост

periodiskais pieaugums
periodic increment
периодический прирост

pieauguma āmurs
increment hammer
приростной молоток

pieauguma līkne
growth curve
кривая прироста

pieauguma mainīgums
growth variability
изменчивость роста

pieauguma procents
increment percent
процент прироста

pieauguma serdenis, serdenis
increment core
керн

pieauguma serdeņa urbšana
increment boring, coring
взятие керна

pieauguma svārpsts
increment borer
приростной бурав, возрастной бурав

pieaugums
increment, accretion, growth, accession
прирост

pieaugusi audze
mature stand
спелое насаждение

pietiekamā platība
detection area
площадь выявления

pirmais stāvs
overstorey
первый ярус

pirmais zaļais zars
lowest live branch
первая зеленая ветвь

plantāciju meži
plantation forests
плантационные леса

platība, laukums
area
площадь, участок

puns, apaudzis zars
knot
сучок, нарост

puskrūms, sīkkrūms
dwarf shrub
кустарничек

rādītājs
parameter
показатель

raukums
taper
сбег

ražā
yield, harvest
урожай

ražīgs mežs, produktīvs mežs
productive forest
продуктивный лес

relaskops, spoguļrelaskops
relascope, Spiegelrelaskop
зеркальный реласкоп

resgalis
butt, butt-end
комель

resgaļa balķis
butt log
бревно комлевое

resgaļa caurmērs
butt diameter
нижний диаметр

reta suga
rare species
редкий вид

retrospekcijas intervāls
retrospective interval
ретроспективный интервал

rotācijas ķermenis
body of rotation
вращательное тело

sakne
root
корень

sakņu atvase
stem sprout
корневой побег

sakņu kakls
root collar
корневая шейка

sākotnējais biežums
initial density
начальная плотность

sala plaisa
frost crack
морозная трещина

sanitārā cirte
sanitation cutting, sanitary felling
санитарная рубка

sastāva veidošanas cirte, smalcīre
cleaning
осветление, прочистка

saulmīle suga, gaismu prasīga suga
light demanding species
светлолюбивый вид

sausoknis, sausnis
snag, standing dead tree
сухостойное дерево

savvaļas dzīvnieki
wild animals
дикие животные

segaudze
shelterwood
насаждение покрова

sēkļu gads
seed year, mast year
семенной год

sēkļu koks
seed tree
семенное дерево

sēkļu plantācija
seed orchard
лесосеменная плантация

serde
pith, core
сердцевина

siltumnīcas efekts
greenhouse effect
парниковый эффект

sinūzija
synusia
синузия

skrejuguns
surface fire
низовый пожар

skujas
needles
хвоя

skujkoks
coniferous tree, conifer
хвойное дерево

slēgums
canopy closure
сомкнутость полога

snieglauze
snow breakage, snowbrake
снеголом

snieggāze, sniegliece
snow bending
снеговал

sortimentu iznākums
assortiment outcome
выход сортиментов

spiekis, nūja
stick, rod
стержень

starpcirte
intermediate cutting, intermediate felling
промежуточная рубка

starpizmantošana
intermediate treatment
промежуточное пользование

starpkoridoru josla
remaining strip
полоса между коридорами

stāvs
storey, story, floor, layer
ярус

sters, kraujmēra kubikmetrs
stacked cubic meter
складочный кубометр

strukturāls elements
structural element
структурный элемент

stumbra analīze
stem analysis
анализ ствола

stumbra caurmērs
stem diameter
диаметр ствола, диаметр дерева

stumbra forma
form of stem, shape of stem
форма ствола

stumbra sekcija
stem section
секция ствола

stumbra tilpums
stem volume
объем ствола

stumbra tilpums ar mizu
volume over bark
объем в коре

stumbra tilpums bez mizas
underbark volume
объем без коры

stumbra veidule
stem curve, stem profile
образующая древесного ствола

stumbrs
stem, bole, trunk
ствол

stumbru tilpuma tabula
stem volume table
таблица объемов стволов

sugas sastopamība
species occurrence
встречаемость вида

sugu daudzums, sugu bagātība
species richness, abundance of species
обилие видов

sugu invāzija
species invasion
вторжение видов

sugu saraksts
species list
список видов

sugu sastāvs
species composition
видовой состав

svešzemju suga
alien species
чужеродный вид

šķērsgriezums
cross-section
поперечное сечение, поперечный разрез

taksatora prizma
glass wedge
призма Анучина

tehnoloģiskais koridors
strip road, technological corridor
технологический коридор

tekošais periodiskais pieaugums
current periodic increment
текущий периодический прирост

tekošais pieaugums
current increment
текущий прирост

tekošais ikgadējais pieaugums
current annual increment, CAI
текущий годичный прирост

tekošais vidēji periodiskais pieaugums
mean periodic increment
средний периодический прирост

tievgaļa caurmērs
top diameter
верхний диаметр

tilpīguma koeficients
capacity coefficient
коэффициент полндревесности

tīraudze
pure stand
чистое насаждение

ūdenszars
epicormic branch
эпикормическая ветвь

uguns rēta
fire scar, fire wound
огневая рана

urbuma serdenis
increment core, increment borer chip
образец древесины

vainaga garums
crown length
длина кроны

vainaga platums
crown width
ширина кроны

vainaga vertikālā projekcija
crown vertical projection
вертикальная проекция кроны

vainagu klājs
canopy, crown layer
полог древостоя

vainagu pārsedze
crown overlapping
перекрывание крон

vainaguguns
crown fire
верховый пожар

valdošā koku suga
dominant tree species
доминирующий вид деревьев

vecumgrupa
age group
группа возраста

vecumklase
age class
класс возраста

vecums
age
возраст

veidaugstums
form height
видовая высота

veidskaitlis
form factor
видовое число

veidule, raukuma līkne
stem curve, stem profile, taper curve
образующая древесного ствола

vējgāze
windthrow, windfall
ветровал

vējlauze
blowdown, wind breakage
ветролом

velēna
sod
дерн

vēlīnā koksne
late wood, latewood, summerwood
поздняя древесина

vērtēšanas intervāls
evaluation interval
интервал оценки

vidējā koka augstums
height of mean tree, height of average tree
высота среднего дерева

vidējais koks
mean tree, average tree
среднее дерево

vidējais kvadrātiskais caurmērs
quadratic mean diameter
средний квадратический диаметр

vidējais pieaugums
mean increment
средний прирост

vidējais ikgadējais pieaugums
MAI, mean annual increment
средний годичный прирост

vidējais svērtais augstums
weighted average height
средневзвешенная высота

vidēja vecuma audze
middle-aged stand
приспевающее насаждение

vides ietekme
environmental impact
влияние окружающей среды

vidus caurmērs
mid-diameter
диаметр в середине

vienstāva audze, vienkārša audze
single-storeyed stand
одноярусное насаждение

vienvecuma audze
even-aged stand
одновозрастное насаждение

vietējā koku suga
indigenous tree species, native tree species, local tree species
местный древесный вид

viltus gadskārta
false ring
ложное кольцо

viršājs
heath
верещатник

virsaugstums
top height
верхняя высота

vitalitāte, dzīvīgums
vitality
жизнеспособность

vizūras līnija
line of sight
линия визирования

vizūrleņķu metode
angle count method
способ Биттерлиха

zāģbaļķis
sawlog
пиловочник

zāģmateriāli
sawnwood, sawn timber, lumber
пиломатериалы

zāģmateriālu paka
lumber package
пакет пиломатериалов

zālenis
woody greens
древесная зелень

zars
branch
ветвь

zemdega
ground fire
подземный пожар

zemes izmantošana
land use
землепользование

zemsedze
ground cover, field layer
напочвенный покров

zemsega
forest floor
лесная подстилка

zibens plaisa
Flurijs lightning crack
молниеносная трещина

AUTORU SARAKSTS

Akka A. (Akça A.)
Aļohins A. (Алёхин А.)
Antanaitis V. (Antanaitis V.)
Anučins N. (Анучин Н.)
Arhimēds (Archimedes)
Arlausks L. (Arlauskas L.)
Asmans E. (Assmann E.)
Babakins A. (Бабакин А.)
Baginskis V. (Багинский В.)
Baiers G. (Byer G.)
Bakmans G. (Backman G.)
Blija T.
Borgreve B. (Borggreve B.)
Borovikovs A. (Боровиков А.)
Braun–Blankē Ž. (Braun–Blanquet J.)
Broks J.
Burkharts H. (Burkhart H.)
Bušs K.
Butenas J. (Butenas J.)
Čapmans H. (Chapman H.)
Daugaviete M.
Daugavietis M.
Davidovs M. (Давидов М.)
Dementjevs N. (Дементьев Н.)
Dencins (Denzin)
Didkovskis V. (Дидковский В.)
Donis J.
Drakins V. (Дракин В.)
Draudts A. (Draudt A.)
Drude O. (Drude O.)
Dubrovskis D.
Duglass A. (Douglass A.)
Dvoreckis M. (Дворецкий М.)
Eihhorns F. (Eichhorn F.)
Eklunds B. (Eklund B.)
Enanders V. (Enander V.)
Eriksons H. (Eriksson H.)
Ertelds V. (Erteld W.)
Faustmans M. (Faustmann M.)
Fedosimovs A. (Федосимов А.)
Fišers F. (Fischer F.)
Flurijs Ph. (Flury Ph.)
Fogels K. (Vogel K.)
Francs F. (Franz F.)
Gadovs K. (Gadow K.)
Gafrejs (Gaffrey)
Gaross V.
Gauss K. (Gauss C.)
Gerdings H. (Gerding H.)

Gērhardts E. (Gehrhardt E.)
 Gogošidze I. (Гогошидзе И.)
 Golojads B. (Голояд Б.)
 Gorskis P. (Горский П.)
 Grantingers G. (Grantinger G.)
 Grundners F. (Grundner F.)
 Gualdi V. (Gualdi V.)
 Ģērķis G.
 Hakslijs J. (Huxley J.)
 Halajs J. (Halaj J.)
 Hammels F. (Hummel F.)
 Hartigs G. L. (Hartig G. L.)
 Hartigs R. (Hartig R.)
 Hartigs T. (Hartig T.)
 Hašs B. (Husch B.)
 Heiers E. (Heyer E.)
 Heiers K. (Heyer C.)
 Hengsts E. (Hengst E.)
 Hilmi G. (Хильми Г.)
 Hohenadls V. (Hohenadl W.)
 Holsteners–Jorgensens H. (Holstener–Jørgensen H.)
 Hosfelds J. (Hossfeld J.)
 Hubers F. (Huber F.)
 Hui G. (Hui G.)
 Ilvessalo I. (Ylvessalo Y.)
 Jakas P. (Jakas P.)
 Jefremovs J. (Ефремов Е.)
 Jodvaļķis A. (Juodvalkis A.)
 Kairiūkštis L. (Kairiūkštis L.)
 Kangas A. (Kangas A.)
 Karmanova I. (Карманова И.)
 Karpovs A. (Карпов А.) 45
 Kenstavičius J. (Kenstavičius J.)
 Keršovs J. (Kershaw J.)
 Kimmins J. (Kimmins J.)
 Kiseļovs A. (Киселёв А.)
 Kiviste A. (Кивисте А.)
 Klaters J. (Clutter J.)
 Klauprehts I. (Klauprecht I.)
 Kleins F. (Klein F.)
 Kobranovs N. (Кобранов Н.)
 Kofmans G. (Кофман Г.)
 Konklings B. (Conkling B.)
 Kopeckis R. (Kopezky R.)
 Korfs V. (Korf V.)
 Korsuņs F. (Korsuň F.)
 Kotta H. (von Cotta H.)
 Kozļenko A. (Козленко А.)
 Kozicins P. (Козицын П.)
 Kozuliņš V.
 Krafts G. (Kraft G.)
 Krens K. (Krenn K.)
 Krīdeners A. (Крюденер А.)
 Kristi J. (Christie J.)
 Kulakovs G. (Кулаков Г.)
 Kuliešis A. (Kuliešis A.)

Kunce M. (Kunze M.)
Kurts H. (Kurth H.)
Kuzmičovs V. (Кузьмичев В.)
Langs A. (Lang A.)
Lārs A. (Laar van A.)
Liepa I.
Līpiņš L.
Ločs F. (Loetsch F.)
Lorejs T. (Lorey A.)
Magaznieks J.
Makipā R. (Mäkipää R.)
Maltamo M. (Maltamo M.)
Markuss R.
Māss A. (Maas A.)
Matīsens A. (Mathiesen A.)
Matuzānis J.
Meijers H. (Meyer H.)
Mendeļējevs D. (Менделеев Д.)
Metcgers K. (Metzger C.)
Mežals H.
Miezīte O.
Millers M.
Mitčerlihs G. (Mitscherlich G.)
Moisejenko F. (Моисеенко Ф.)
Moškaļovs A. (Мошкaлёв А.)
Mūkonens P. (Muukkonen P.)
Mūrnieks P.
Naumenko I. (Науменко И.)
Nikodemus O.
Ņikitins K. (НИКИТИН К.)
Ņūtons Ī. (Newton I.)
Orlovs M. (Орлов М.)
Ostvalds E.
Ozoliņš R.
Paulsens J. (Paulsen J.)
Pešels V. (Peschel W.)
Petrini S. (Petrini S.)
Pretčs H. (Pretzsch H.)
Preslers M. (Pressler M.)
Priesols A. (Priesol A.)
Princis R.
Prodans M. (Prodan M.)
Raunkiers K. (Raunkaier C.)
Razins G. (Разин Г.)
Reomīrs R. (de Réaumur R.)
Repšis J. (Repšys J.)
Ričards F. (Richards F.)
Rīke K. (Riecke C.)
Rinikers H. (Riniker H.)
Robertsons T. (Robertson T.)
Rothkegels V. (Rothkegel V.)
Rozēns A.
Rubenis A.
Rubenis T.
Sarma P.
Semeņuta F. (Семенюта Ф.)

Sibircevs D. (Сибирцев Д.)
Simonis O. (Simony O.)
Simpsons T. (Simpson T.)
Spalviņa I.
Svalovs N. (Свалов Н.)
Šelfords V. (Schelford V.)
Šilings L. (Schilling L.)
Šneiders F. (Schneider F.)
Šroiders P. (Schreuder P.)
Šveingrūbers F. (Schweingruber F.)
Švidenko A. (Швиденко А.)
Taraškēvičs A. (Тарашкевич А.)
Tauriņš J.
Tebera A. (Tebéra A.)
Terskova M. (Терскова М.)
Terskovs I. (Терсков И.)
Tišendorfs V. (Tischendorf W.)
Tjurins A. (Тюрин А.)
Tomē M. (Tomé M.)
Tovstoļes D. (Товстолес Д.)
Tretjakovs N. (Третьяков Н.)
Truļs O. (Труль О.)
Turskis G. (Турский Г.)
Ugoļevs B. (Уголев Б.)
Urihs P. (Urich P.)
Usoļcevs V. (Усольцев В.)
Utkins A. (Уткин А.)
Vagins A. (Вагин А.)
Vanclejs J. (Vanclay J.)
Van der Vliets A. (Vliet Van der A.)
Vargas de Bedemars A. (Vargas de Bedemar)
Vēbers R. (Weber R.)
Veibuls V. (Weibull W.)
Veiskitels A. (Weiskittel A.)
Veize V. (Weise W.)
Vests P. (West P.)
Vīdemans E. (Wiedemann E.)
Vimmenauers K. (Wimmenauer K.)
Vuļevskis V. (Вуевский В.)
Zagrējevs V. (Загреев В.)
Zaharovs V. (Захаров В.)
Zālītis P.
Zaļkalns O.
Zviedris A.
Žakards P. (Jaccar P.)
Žirards J. (Girard J.)