

Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”



**Mežaudžu augšanas gaitas un pieauguma noteikšana,
izmantojot pārmērītos meža statistiskās
inventarizācijas datus**

Līgums 5.5.-5.1/000z/101/11/13

Starpskaite I
(1.etaps)

Projekta vadītājs. J.Donis

Salaspils

2011

Kopsavilkums

Atbilstoši metodikai 1.etapā paredzēti sekojoši darba uzdevumi:

- 1.1. Precizēt šķērslaukuma, augstuma, caurmēra augšanas gaitas un pieauguma noteikšanas modeļus.
- 1.2. Radiālā pieauguma mērījumi, izmantojot gadskārtu platuma mērīšanas ierīces.
- 1.3. Šķērslaukuma augšanas gaitas modeli veidot, lai no jebkuras šķērslaukuma vērtības būtu iespējams modelēt augšanas gaitu pa koku sugām un bonitātēm (Izstrādē izmantot meža statistiskās inventarizācijas datus un nelineāro daudzfaktoru regresijas analīžu metodes).
- 1.4. Augstuma augšanas gaitas modeļus veidot gan vidējam augstumam, gan virsaugstumam pa koku sugām un bonitātēm. (Izstrādē izmantot meža statistiskās inventarizācijas datus un nelineāro daudzfaktoru regresijas analīžu metodes).
- 1.5. Caurmēra augšanas gaitas modeļus veidot pa koku sugām un bonitātēm. (Izstrādē izmantot meža statistiskās inventarizācijas datus un nelineāro daudzfaktoru regresijas analīžu metodes).
- 1.6. Matemātiski sasaistīt kokaudzes koku skaitu un šķērslaukuma augšanas gaitas modeļus pa koku sugām un bonitātēm
- 1.7. Izstrādāt vienkārši lietojumus koksnes pieauguma, atmiruma un krājas diferences prognožu modeļus pa koku sugām un bonitātēm

Precizēti šķērslaukuma, augstuma, caurmēra augšanas gaitas un pieauguma noteikšanas modeļi.

Vienādojumu izstrādei izmantoti 1175 atkārtoti pārmērītu MSI parauglaukumu dati un aprēķināti visu meža elementu taksācijas rādītāji, kā arī atmiruma krāja.

Pieaugumi un to statistiskie parametri aprēķināti I stāva valdošajai sugai – P, E, B, kas pēc tam analizēti sadalījumā pa vecuma grupām un bonitātēm.

Aprēķināti sekojoši pieaugumu veidi:

- Tekošā periodiskā diference;
- Tekošais pilnais periodiskais pieaugums;
- Tekošais faktiskais periodiskais pieaugums;
- Faktiskās (audzes) tekošais potenciālais vidēji periodiskais pieaugums.

Ņemot vērā, ka nocirsto un atmirušo koku pieaugums netiek noteikts, krājas tekošais faktiskais periodiskais pieaugums ir pieņemts identisks krājas tekošais pilnajam periodiskajam pieaugumam.

Pēc pārmērījumu datiem aprēķinātie faktiskās audzes krājas reducētā tekošā potenciālā periodiskā pieauguma lielumi salīdzināti ar I. Liepas (2008., 2009.). Gan P, E, B konstatēta cieša lineāra pozitīva korelācija starp abiem rādītājiem, bet konstatēta sistemātiskas atšķirības starp dažādām bonitātēm. Izveidots jauns vienādojums faktiskās audzes reducētā tekošā vidēji periodiskā pieauguma aprēķināšanai, kas tiks precizēts turpmākā darba gaitā.

Aproksimētas reducētā dabiskā atmiruma ($m^3 m^{-2} g^{-1}$) sakarības. Pašreizējais datu paraugkopas apjoms pagaidām ir nepietiekams galīgo koeficientu aprēķināšanai, jo ir relatīvi liels parauglaukumu skaits, kuros 5 gadu laikā nav pirmajā stāvā dabiski atmiruši koki.

Krājas vidējo periodisko diferenci tiek piedāvāts aprēķināt kā aproksimēto faktiskā vidēji periodiskā pieauguma un vidējā periodiskā atmiruma krājas starpību.

Aprēķinātas precizētās koeficientu vērtības, lai aprakstītu sakarību starp vidējā kvadrātiskā caurmēra koka augstumu, virsaugstumu un valdaudzes augstumu.

Caurmēra pieauguma aproksimācijai precizēti iepriekš izstrādāto vienādojumu koeficienti.

Aproksimētas koku skaita izmaiņas parauglaukumos, kuros nav konstatēta koku ciršana vai masveida koku bojāeja (atmirums < 20%). Kā koku maksimālā koku skaita, tā arī pašizretināšanās un caurmēra pieauguma pārbaudītie modeļi ir statistiski būtiski, bet atsevišķu regresijas vienādojumu koeficientu vērtības ir statistiski nebūtiskas, tādēļ nepieciešams palielināt datu apjomu vai pilnveidot modeļi.

Rekomendācijas

Pašreiz par piesardzīgām vērtējamās prognozes augstuma pieauguma noteikšanai, kas balstītas uz Čapmana –Ričardsa funkciju (Donis, 2009). Nepieciešams pilnveidot modeli vai izstrādāt jaunu bonitāšu skalu. Tiek piedāvāts modelēt virsaugstuma izmaiņas, kas aproksimētas, kā bāzes vecuma neatkarīgas, proti, zinot vecumu un augstumu var prognozēt augstuma augšanas gaitu. Atbilstoši šai metodei aproksimētas arī J. Matuzāņa izstrādātas virsaugstuma bonitātes P, E, B, A, tās iekļaujot vienotā sistēmā. Pašreiz tiek ieteikts izmantot J. Matuzāņa virsaugstuma bonitāšu skalu, lai arī tās nav polimorfiskas, taču pašreiz tās rada mazāku iespēju pārvērtēt pieauguma potenciālu.

Caurmēra, koku skaita izmaiņu modeļu vienādojumu parametru aproksimācijai vēl joprojām nepieciešams palielināt parauglūkumu skaitu, jo ir liels parauglūkumu skaits, kuros 5 gadu laikā koku skaits nav samazinājies. Nepieciešams arī pārbaudīt izvēlētos modeļus uz neatkarīgu parauglūkumu datiem.

Saturs

KOPSAVILKUMS	2
IEVADS	5
1. DEFINĪCIJAS UN TERMINI	6
2. MATERIĀLS UN METODIKA	8
2.1. MEŽA STATISTISKĀS INVENTARIZĀCIJAS (MSI) DATU ATLASE UN APSTRĀDE	8
2.2. RADIĀLĀ PIEAUGUMA MĒRĪJUMI	9
2.3. PIEAUGUMA NOTEIKŠANAS MODEĻA PRECIZĒŠANA	9
2.3.1. <i>Vispārējās pieaugumu aprēķināšanas likumsakarības</i>	9
2.3.2. <i>Faktiskās audzes tekošā pieauguma modelis</i>	10
2.3.3. <i>Atmiruma modelis</i>	12
2.3.4. <i>Krājas diferences modelis</i>	12
2.4. AUGSTUMA AUGŠANAS GAITAS MODEĻA PRECIZĒŠANA	12
2.4.1. <i>Sakarība starp vidējā kvadrātiskā caurmēra koka augstumu un virsaugstumu</i>	12
2.4.2. <i>Virsaugstuma un vidējā augstuma augšanas gaita</i>	13
2.5. CAURMĒRA AUGŠANAS GAITAS MODEĻA PRECIZĒŠANA	14
2.6. KOKAUDZES KOKU SKAITA UN ŠĶĒRSLAUKUMA MODEĻA PRECIZĒŠANA.....	15
2.7. ŠĶĒRSLAUKUMA AUGŠANAS GAITAS MODEĻA PRECIZĒŠANA	16
3. REZULTĀTI	17
3.1. PIEAUGUMU MODEĻI	17
3.1.1. <i>Vispārējās pieaugumu aprēķināšanas likumsakarības</i>	17
3.1.2. <i>Faktiskās audzes tekošā pieauguma modelis</i>	21
3.1.3. <i>Atmiruma modelis</i>	24
3.1.4. <i>Krājas diferences modelis</i>	27
3.2. AUGSTUMA AUGŠANAS GAITAS MODELIS	27
3.2.1. <i>Sakarība starp audzes vidējo augstumu, valdaudzes augstumu un virsaugstumu</i>	27
3.2.2. <i>Virsaugstuma un vidējā augstuma augšanas gaitas modelis</i>	30
3.3. CAURMĒRA AUGŠANAS GAITAS MODELIS	32
3.4. KOKU SKAITA IZMAIŅU UN ŠĶĒRSLAUKUMA AUGŠANAS GAITAS MODELIS	34
SECINĀJUMI	35
LITERATŪRA	36

Ievads

Adekvātas augšanas gaitas prognozes ir būtiska mežsaimnieciskās darbības seku prognozēšanai un lēmumu pieņemšanai plānojot mežsaimnieciskās darbības. Līdz šim Latvijā izmantotie pieaugumu noteikšanas modeļi (Liepa, 1996, Матузанис, 1988) pamatā ir balstīti uz 1960.tajos un 70.gados vienreiz uzmērītu parauglaukumu datiem, kuros tekošais pieaugums noteikts pēc urbumu metodes. Ar šo metodi nav iespējams iegūt ticamu informāciju par atmirumu (koku skaita izmaiņām) un augšanas gaitu kopumā. Arī augšanas gaitas tabulas (Ozols, 1926, Sarma, 1948, Sacenieks, Matuzānis, 1964), neatspoguļo reālu audžu augšanas gaitu, bet gan dažādu vecumu „normālo audžu” statiku. Ir konstatēts, ka pēdējos gadu desmitos koku augšanas gaita Eiropā ir mainījusies (Spiecker, 1999), tādējādi agrāk izstrādātie modeļi varētu arī neatbilst mūsdienu situācijai. 2004. gadā Latvijā tika uzsākta meža statistiskā inventarizācija, kuras pirmā cikla (2004.-2008.) laikā Latvijas teritorijā regulārā tīklā iekārtoti vairāki tūkstoši parauglaukumu. Daļu no šiem parauglaukumiem plānots atkārtoti pārmērīt ik pa 5 gadiem, tādējādi iegūstot arī informāciju par dimensiju izmaiņām, skaita izmaiņām laika gaitā - atmiršanu, kā nociršanu. Tas sniedz ievades informāciju, lai izstrādātu jaunus modeļus, kuri atspoguļo augšanas gaitu konkrētā laika periodā.

Projekta gaitā plānots izveidot matemātiskos modeļus:

- Koksnes pieaugumu prognožu modeļi – tekošais pieaugums, atmirums, krājas difference pa sugām, bonitātēm, vecuma klasēm;
- Augšanas gaitas prognožu modeļi – šķērslaukums vai koku skaits, caurmērs, vidējais augstums pa valdošajām sugām, bonitātēm, vecuma klasēm.

Izstrādātie modeļi būs izmantojami audžu attīstības dažādu mežsaimniecisko darbību alternatīvu ietekmē modelēšanai.

1.etapam definēti sekojoši darba uzdevumi:

- 1.1. Precizēt šķērslaukuma, augstuma, caurmēra augšanas gaitas un pieauguma noteikšanas modeļus.
- 1.2. Radiālā pieauguma mērījumi, izmantojot gadskārtu platuma mērīšanas ierīces.
- 1.3. Šķērslaukuma augšanas gaitas modeļi veidot, lai no jebkuras šķērslaukuma vērtības būtu iespējams modelēt augšanas gaitu pa koku sugām un bonitātēm (Izstrādē izmantot meža statistiskās inventarizācijas datus un nelineāro daudzfaktoru regresijas analīžu metodes).
- 1.4. Augstuma augšanas gaitas modeļus veidot gan vidējam augstumam, gan virsaugstumam pa koku sugām un bonitātēm. (Izstrādē izmantot meža statistiskās inventarizācijas datus un nelineāro daudzfaktoru regresijas analīžu metodes).
- 1.5. Caurmēra augšanas gaitas modeļus veidot pa koku sugām un bonitātēm. (Izstrādē izmantot meža statistiskās inventarizācijas datus un nelineāro daudzfaktoru regresijas analīžu metodes).
- 1.6. Matemātiski sasaistīt kokaudzes koku skaitu un šķērslaukuma augšanas gaitas modeļus pa koku sugām un bonitātēm
- 1.7. Izstrādāt vienkārši lietojumus koksnes pieauguma, atmiruma un krājas difference prognožu modeļus pa koku sugām un bonitātēm.

Darba loģiskam izklāstam augstākminētie punkti atspoguļoti atšķirīgā secībā, jo vispirms tiek aprēķināti rādītāju atšķirības tieši uzmērīto dimensiju – caurmēra un augstuma pieaugumi, bet tikai tad sekundāri aprēķinātie šķērslaukums, bonitātēs, krājas utt.

1. Definīcijas un termini

Zemāk apkopotas tās definīcijas un termini, kas izmantoti vienādojumu izstrādē (N.B! Tie var atšķirties no normatīvajos aktos noteiktajiem).

Vispārējie termini un definīcijas

Koks – daudzgadīgs augs, kas parasti veido vienu pārkoksnējušos stumbru un skaidri noteiktu vainagu. Koks sastāv no sekojošām daļām: stumbrs, laterālā daļa -zari, lapotne, saknes un sīksaknes.

Koka virszemes un pazemes daļa tiek dalīta pēc augsnes/grunts virskārtas līnijas.

Koka virszemes daļu veido stumbrs, laterālā daļa un lapotne.

Stumbrs (angļu val. stem) – koka galvenā dzinuma virszemes daļa ar apikālo dominanci. Stumbrs tiek iedalīts: celma daļa (stump), stumbra vidusdaļa (bole), galotnes daļa (stem top).

Miza – koka stumbra un laterālās daļas, kā arī pazemes daļas audi, kas atrodas starp ksilēmu (koksni) un fellēmas (korķa kārta) epidermu.

Kokaudze (audze) ir mežaudzes koku kopa.

Kokaudzes veids – vienkārša vai salikta:

- vienkārša audze – audze, kuras koki izvietoti vienā stāvā (augstuma atšķirība no vidējā nepārsniedz 20%);
- salikta audze – audze, kuras koki izvietoti divos vai vairāk stāvos.

Kokaudzes sastāvs – tīras (tīraudzes) un mistrotas (mistraudzes):

- tīraudze – audze, kuras valdošās sugas krāja veido vairāk par 95% no kopējās krājas;
- mistraudze – audze, kuras valdošās sugas krāja veido 95% vai mazāk.

Valdošā koku suga - koku suga, kurai mežaudzes I stāvā ir vislielākā koksnes krāja.

Valdaudze - mežaudzes koki ar lielāko koksnes krāju, kuru augstums neatšķiras vairāk par 10 procentiem no to vidējā augstuma.

Mežaudze - meža platība ar viendabīgiem meža augšanas apstākļiem, līdzīgu koku sugu sastāvu un vecumu struktūru, kas ievērojami atšķiras no blakus esoša meža platībām

Meža elements – vienādos augšanas apstākļos augšanā un attīstībā savstarpēji mijiedarbojušos vienas sugas, vienas paaudzes, vienādas izcelsmes un vienlīdz attīstītu koku kopums. Pie vienas paaudzes pieskaita kokus, kuru vecums atšķiras ne vairāk kā par 2 vecumklasēm.

Kokaudzes biežība - faktiskā koku skaita attiecība pret normālo koku skaitu vai faktiskā šķērslaukuma attiecība pret normālo šķērslaukumu.

Kokaudzes biežums – koku skaits uz ha.

Relatīvais kokaudzes biežības faktors – attiecīgās audzes biežības un maksimāla biežuma tāda paša caurmēra audzes biežības attiecība.

Normālas biežības audze – tāda audze, kuras šķērslaukums ir vienāds ar normālo šķērslaukumu.

Šķērslaukums - viena hektāra platībā augošo koku stumbru šķērslaukumu summa (kvadrātmetros) 1,3 metru augstumā no sakņu kakla.

Bonitāte - iedalījuma vienība mežaudzes ražīguma raksturošanai, ko nosaka pēc koku augstuma noteiktā vecumā.

Virsaugstuma bonitāte - iedalījuma vienība mežaudzes ražīguma raksturošanai, ko nosaka pēc I stāva valdošās koku sugas virsaugstuma noteiktā vecumā.

Mežaudzes stāvs - koku kopa, kuras 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 sešiem metriem.

Koku klasifikācija **Krafta klasēs** (Kraft, 1884 citēts pēc *Skudra, Dreimanis, 1993*):

I klase - virsvalkoki – audzes garākie un resnākie koki, kam ir labi attīstīts vainags un kuru galotnes paceļas virs kopējā vainagu klāja;

II klase- valdkoki - veido galveno audzes vainaga klāju, to stumbriem ir nedaudz mazākas dimensijas nekā I klases kokiem;

III klase - līdzvaldkoki – koku vainagi relatīvi vājāk attīstīti, šaurāki, iespiesti starp I un II klases koku vainagiem un atrodas kopējā vainagu klāja apakšējā daļā;

IV klase - nomāktie koki – vainagi ir īsāki un šaurāki nekā III klases kokiem. Ar galotnēm tie iesniedzas galvenā vainagu klāja apakšējā daļā. Koki pēc izmēriem ievērojami atpaliek no I-III klases kokiem. Kokus iedala 2 apakšklasēs: IV a apakšklase – koki ar šauriem, bet vienmērīgi veidotiem vainagiem un brīvu logu audzes vainaga klājā; IV b apakšklase - koki, kam vienpusīgs vainags vai kas atrodas zem audzes vainagu klāja un kuriem vainaga apakšējā daļa ir stipri noēnota vai atmirusi;

V klase -stipri nomāktie koki – atrodas zem valdošā audzes vainagu klāja. Va klasē ieskaita kokus ar nelielu atmirstošu vainagu, bet Vb klasē – īpatņus, kam vainagi atmiruši.

Audzes (meža elementa) krūšaugstuma caurmēra definīcijas

d – atsevišķa koka caurmērs 1.3 virs sakņu kakla (bāzes punkta);

D_g - **vidējais kvadrātiskais caurmērs** (vidējam šķērslaukumam atbilstoša koka caurmērs), kur vidējais

šķērslaukums $\overline{(g)} = \frac{\sum g}{n} = \frac{G}{N}$;

D_{vald} - **valdaudzes koku vidējais kvadrātiskais caurmērs**;

D_{dom} – **kokaudzes I stāva valdošās koku sugas 100 resnāko koku uz ha koku vidējais kvadrātiskais caurmērs**;

Audzes (meža elementa) vai to daļu augstuma definīcijas

Analīzē izmantotie saīsinājumi un to termini un definīcijas:

H_g – I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošs augstums;

H_{vald} – valdaudzes vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošs augstums;

H_{dom} – virsaugstums, kas aprēķināts kā 100 resnāko koku ha^{-1} vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošs augstums.

Audzes (meža elementa) vecuma definīcijas

A - **bioloģiskais jeb hronoloģiskais vecums** – laiks no sēklas dīgšanas vai atvašu pumpura saplaukšanas.

$A_{1.3}$ - **krūšaugstuma vecums** - laiks no brīža, kad tika sasniegts augstums 1.3 m virs sakņu kakla vai augsnes virsmas.

Parauglaukumu sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām un vecuma desmitgadēm atkarībā no atkārtotās uzmērīšanas gada

Vecuma desmitgads	I stāva valdošā koku suga																		Kopā						
	Priede			Egle			Bērzs			Melnalksnis			Apse			Baltalksnis				Citas					
	2009	2010	kopā	2009	2010	kopā	2009	2010	kopā	2009	2010	kopā	2009	2010	kopā	2009	2010	kopā		2009	2010	kopā			
1	12	9	21		2	2	8	11	19	1		1	9	12	21	1	8	9							73
2	3	4	7	3	3	6	7	14	21	1	2	3	1	3	4	2	9	11	1						53
3	5	9	14	11	18	29	9	14	23	1	5	6	1	5	6	5	14	19	1						98
4	9	6	15	19	32	51	17	33	50		5	5		3	3	8	10	18	1	2	3				145
5	13	19	32	11	10	21	23	43	66	5	10	15	4	8	12	2	1	3	1						150
6	24	30	54	11	13	24	19	45	64	1	8	9	5	5	10				1	1	2				163
7	28	39	67	10	9	19	24	26	50	5	1	6	3	7	10				2		2				154
8	22	31	53	10	18	28	7	12	19	2	1	3	1	3	4										107
9	20	27	47	10	4	14	2	1	3					2	2										66
10	21	21	42	1	5	6	1	1	2																50
11	20	17	37	3	6	9	1		1										1						48
12	10	17	27	4	2	6							1		1										34
12<	13	13	26	3	5	8																			34
Kopā	200	242	442	96	127	223	118	200	318	16	32	48	25	48	73	18	42	60	8	3	11				1175

2.2. Radiālā pieauguma mērījumi

2010. gadā uzmēritajos 323 MSI (meža statistiskā inventarizācija) parauglaukumos MAF (Meža attīstības fonds) finansētā projekta „Latvijas meža resursu ilgtspējīgas, ekonomiski pamatotas izmantošanas prognozēšanas modeļu izstrāde” ietvaros ar Preslera svārpstu iegūti koksnes paraugi koku radiālā pieauguma noteikšanai. Koksnes paraugi radiālā pieauguma noteikšanai veikti parauglaukumos, kuros valdošā koku suga ir priede, egļe, bērzs, melnalksnis, apse un baltalksnis, katrā parauglaukumā iegūti 10-15 valdošās koku sugas koksnes paraugi.

Radiālā pieauguma mērīšana veikta izmantojot iekārtu LINTAB IV. Datu pirmapstrādei izmantota datorprogramma TSAP Win Scientific 0.55.

2.3. Pieauguma noteikšanas modeļa precizēšana

2.3.1. Vispārējās pieaugumu aprēķināšanas likumsakarības

Analīzē izmantoti dati par 451 MSI 2009. un 2010. gadā atkārtoti uzmēritajiem parauglaukumiem. Analīzē izmanto datus tikai par tiem parauglaukumiem, kuriem:

- abās uzmērīšanas reizēs sakrīt I stāva valdošā koku suga;
- I stāva valdošā koku suga ir priede (224 parauglaukumi), egļe(93) un bērzs(134);
- I stāva valdošās koku sugas vecums 1. uzmērīšanas reizē ir lielāks par 10 gadiem;
- I stāva valdošās koku sugas koku skaits ir vismaz 100 koki uz hektāra;
- uzmērīto I stāva un/vai kopējais koku skaits ir vismaz 10 koki;
- caurmēra pieaugums ir pozitīvs;
- augstuma starpība ir pozitīva un nav lielāka par pieciem (audzēs līdz 100 gadiem) vai trīs (audzēs virs 100 gadiem) metriem;
- dabiskais atmirums nav lielāks par 20% no 1. uzmērīšanas reizē konstatētās krājas;
- starpuzmērīšanas periodā nav konstatēta koku ciršana (2. uzmērīšanas reizē nav konstatēti cirsti koki);
- tekošais faktiskais vidēji periodiskais pieaugums ir pozitīvs un neatšķiras vairāk kā trīs standartnovirzes no atbilstošās vecuma desmitgades aritmētiski vidējās vērtības.

Lai izvairītos no krājas izmaiņas kļūdām, kas MSI metodikas dēļ rodas kokiem ieaugoties (pārsniedzot 2.0cm krūšaugstuma caurmēru) vai pārejot uz citu reprezentācijas klasi (pārsniedzot 6.0cm un 14.0cm krūšaugstuma caurmēru), analīzē izmanto tikai tos kokus, kas konstatēti pirmajā uzmērīšanas reizē 2004. gadā vai 2005. gadā, un to reprezentācijas klases nemaina.

Analīzē aprēķināts un salīdzināts I stāva valdošās koku sugas un I stāva krājas pieaugums, sadalījumā pa vecuma grupām un bonitātēm. Tālāk tekstā, lai pielāgotos vispārējai terminoloģijai, uz parauglaukumu pamata aprēķinātie lielumi tiek dēvēti par „audzes” attiecīgajiem lielumiem, piem., parauglaukuma krāja tiek dēvēta par audzes krāju.

Parauglaukumiem aprēķināti sekojoši krājas (stumburu tilpumu) pieaugumi:

Tekošā periodiskā diference

$$\Delta_M^p = M_A - M_{A-n}, \quad (1)$$

M_A - audzes krāja vecumā A (augošo koku krāja);

M_{A-n} - audzes krāja pirms n gadiem (pirms n gadiem augošo koku krāja).

Tekošā vidēji periodiskā diference

$$\Delta_M^{vp} = \frac{M_A - M_{A-n}}{n} \quad (2)$$

Tekošais pilnais periodiskais pieaugums

$$Z_{Mp}^p = M_A - M_{A-n} + M_n^a \quad (3)$$

M_n^a - atmiruma krāja (n gadu laikā atmirušo koku krāja perioda beigās).

Tekošais pilnais vidēji periodiskais pieaugums

$$Z_{Mp}^{vp} = \frac{M_A - M_{A-n} + M_n^a}{n} \quad (4)$$

Tekošais faktiskais periodiskais pieaugums

$$Z_{Mf}^p = M_A - m_{A-n} \quad (5)$$

m_{A-n} - intervāla n beigās audzē augošo koku krāja A-n gadu vecumā.

Tekošais faktiskais vidēji periodiskais pieaugums

$$Z_{Mf}^{vp} = \frac{M_A - m_{A-n}}{n} \quad (6)$$

2.3.2. Faktiskās audzes tekošā pieauguma modelis

Faktiskās (audzes) tekošo potenciālo vidēji periodisko pieaugumu aprēķina atbilstoši 6.formulai un I. Liepas (1996) izstrādātajai formulai (skat. 7.formulu). Šajā gadījumā koku vidējā kvadrātiskā caurmēra pieaugums aprēķināts kā 1. un 2. perioda vidējā kvadrātiskā caurmēra starpība.

Faktiskās (audzes) tekošais potenciālais vidēji periodiskais pieaugums

$$Z_M = 12732.4 \psi G H^\alpha D^{\beta \lg H + \varphi - 2} \left[\frac{Z_H (\alpha + \beta \lg D)}{H} + \frac{Z_D (\varphi + \beta \lg H)}{10D} \right] \quad (7)$$

$\psi; \alpha; \beta; \varphi$ – koeficienti;

G – audzes krūšaugstuma šķērslaukums;

H - vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošs augstums;

D - vidējais kvadrātiskais caurmērs;

Z_H – vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošā augstuma periodiskais pieaugums;

Z_D – vidējā kvadrātiskā caurmēra periodiskais pieaugums.

Faktiskās audzes krājas reducēto tekošo potenciālo pieaugumu aprēķināšanai izmanto 8. un 9. formulu (Liepa, 2009), kuru rezultāti savstarpēji tiek salīdzināti:

Faktiskais $Z_M = \frac{Z_M}{G}$ (8)

Z_M - faktiskās audzes krājas reducētais tekošais potenciālais pieaugums, $m^3 m^{-2}$;

Z_M - faktiskās audzes krājas tekošais potenciālais pieaugums, m^3 (7. formula);

G – audzes krūšaugstuma šķērslaukums, m^2 .

Izlīdzinātais $Z_M = a_1 + b_1 B + c_1 B^2 + \frac{a_2 + b_2 B + c_2 B^2}{A} + \frac{a_3 + b_3 B + c_3 B^2}{A^2}$ (9)

Z_M - faktiskās audzes krājas reducētais tekošais potenciālais pieaugums, $m^3 m^{-2}$;

B – bonitātes klase ($l=0; l=1...V=5$);

A – vecums, gadi;

$a_i; b_i; c_i$ - izlīdzināšanas koeficienti.

Visi pieaugumi aprēķināti ar mizu. Lai aprēķinātu bezmizas jeb koksnes pieaugumu iegūtais Z_M jādala ar mizas tilpīguma koeficientu s (Liepa, 2009):

$$s = \frac{pD + q}{wD + 100} \quad (10)$$

Kur koeficienti p, q, w pieņemti atbilstoši (Liepa, 1996) un atspoguļoti 2.4.tabulā.

2.4. tabula

Empīrisko koeficientu vērtības

Koku suga	Augstuma pieauguma			Mizas tilpuma			u
	a	b	c	p	q	w	
Priede	-0.0642	6.356	27.105	20.60	143.9	19.53	1.103
Egle	-0.0256	1.693	5.794	5.25	117.6	5.00	1.046
Bērzs	-0.0728	-1.51	-35.71	0.20	110.2	0.02	1.095

Vienādojumu atbilstības izvērtēšanai izmantoti sekojoši statistiskie rādītāji:

- **Vidējā novirze (MRES)** $MRES = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)}{n}$; (11)

- **Vidējā absolūtā novirze (AMRES)** $AMRES = \frac{\sum|y_i - \hat{y}_i|}{n}$; (12)

- **Standartklūda (RMSE)** $RMSE = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 1 - p}}$; (13)

- **Vidējā kvadrātiskā klūda (MSE)** $MSE = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}$; (14)

- **Modeļa efektivitāte (MEF)** $MEF = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2}$; (15)

- **Dispersijas attiecība (VR)** $VR = \frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2}$; (16)

- **Determinācijas indekss (R^2).**

Formulās 11. – 16. izmantotie apzīmējumi:

y_i - uzmērītais rādītājs; \hat{y}_i - aprēķinātais rādītājs; \bar{y} - aritmētiski vidējais uzmērītais rādītājs; $\bar{\hat{y}}$ - aritmētiski vidējais aprēķinātais rādītājs; p – vienādojuma parametru skaits.

2.3.3. Atmiruma modelis

Pētījumos mēdz nodalīt dabisko atmirumu, kas sevī neietver krājas zudumus, kuru cēlonis ir dabiskie traucējumi (vējgāzes, ugunsgrēki utt.) vai cilvēka darbība (Liepa, 2009). Taču jāatzīst, ka nodalīt dabisko traucējumu radītos zudumus no dabiskā atmiruma ne vienmēr ir iespējams. Tādēļ pašreiz uzskaitīti visi dabiskie zudumi kopā.

Tā kā otrajā ciklā nav uzmērīts starpinventarizācijas laikā atmirušo koku pieaugums (pieņemts, ka tie nav veidojuši pieaugumu), to dimensijas pieņemtas par tādām, kādas tās bija 1. cikla uzmērījumā. Aprēķinu kopā netiek iekļauti parauglaukumi, kuros pēc 1. cikla mērījuma ir veikta cirte, t.i., 2.ciklā konstatēti jauni celmi.

Krājas ikgadējā dabiskā atmiruma aproksimēšanai Liepa (2008) iesaka izmantot sekojošu sakarību:

$$Z_{(-)} = G * ((k_1 B + k_2) * A^3 + (k_3 B + k_4) A^2 + (k_5 B + k_6) A + k_7 B + k_8) \quad (17)$$

kur

A – vecums gados, g ;

B – bonitāte (Ia bonitāte $B=0$, I bonitāte $B=1, \dots, V^p$ bonitātei $B=6$);

K_i – izlīdzināšanas koeficienti.

Papildus pārbaudīts jauns vienādojums

$$Z'_m = a_1 (B + 1)^{a_2} A^{a_3} \quad (18)$$

Z'_m – faktiskās audzes reducētais tekošais vidēji periodiskais pieaugums, $m^3 m^{-2} ha^{-1}$;

B – audzes bonitāte (Ia=0; I=1...IV=4; V=5);

A – audzes vecums, gadi;

$a_1; a_2; a_3$ – koeficienti atkarībā no sugas (3.1.6. tabula).

2.3.4. Krājas differences modelis

Krājas difference parauglaukumiem aprēķināta atbilstoši 1. formulai.

Vienādojumu izstrādei izmantoti parauglaukumi, kuros NAV veikta koku ciršana.

$$Z_{dab} = Z_M - Z_{(-)} \quad (19)$$

2.4. Augstuma augšanas gaitas modeļa precizēšana

2.4.1. Sakarība starp vidējā kvadrātiskā caurmēra koka augstumu un virsaugstumu

Analīzē izmantoti dati par 814 MSI parauglaukumiem, kuros valdošā koku suga ir priede (365 parauglaukumi), egļe (181) un bērzs (268), un kuros valdošās koku sugas I stāva koku skaits ir vismaz 100 koki uz hektāra.

Analīzē pieņem:

- audzes vidējais augstums ir parauglaukuma vidējā kvadrātiskā caurmēram atbilstošā valdošās koku sugas koka augstums;
- audzes virsaugstums ir parauglaukumā esošo 100 uz hektāra pēc krājas lielāko valdošās koku sugas koku aritmētiski vidējais augstums;
- audzes valdaudzes augstums ir aritmētiski vidējais augstums no parauglaukumā esošajiem valdošās koku sugas kokiem, kuru aprēķinātais augstums (pēc R. Ozoliņa augstumlīknes) neatšķiras vairāk nekā par 10% no to vidējās vērtības.

Analīzē veikts reālo augstumu salīdzinājums ar aprēķinātajām vērtībām pēc iepriekšējā gadā izstrādātajiem vienādojumiem (Donis, 2010):

$$H_g = a_1 H_{dom}^{a_2} N^{a_3} \text{ jeb } H_{dom} = \left(\frac{H_g}{a_1 N^{a_3}} \right)^{\frac{1}{a_2}} \quad (21)$$

H_g – audzes vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošais augstums, m

H_{dom} – audzes virsaugstums (100 uz hektāra lielāko koku augstums), m

N – valdošās koku sugas I stāva koku skaits uz hektāra.

$$H_{vald} = a_1 H_{dom}^{a_2} N^{a_3} \text{ jeb } H_{dom} = \left(\frac{H_{vald}}{a_1 N^{a_3}} \right)^{\frac{1}{a_2}} \quad (22)$$

H_{vald} – audzes valdaudzes augstums, m

H_{dom} – audzes virsaugstums (100 uz hektāra lielāko koku augstums), m

N – valdošās koku sugas I stāva koku skaits uz hektāra.

Abiem iepriekšminētajiem vienādojumiem (21. un 22. vienādojums), balstoties uz lielāku datu apjomu, aprēķinātas jaunas koeficientu vērtības, pie tam šajā gadā 22. vienādojumā valdošās koku sugas valdaudzes koku skaits aizstāts ar valdošās koku sugas I stāva koku skaitu. Vienādojumu koeficientu vērtības aproksimētas balstoties uz 2. uzmērīšanas datiem.

2.4.2. Virsaugstuma un vidējā augstuma augšanas gaita

Augstuma pieaugums aprēķināts kā starpība starp pirmā cikla aprēķināto augstumu un 2.cikla aprēķināto augstumu 1.stāva valdošajai sugai.

Augstuma pieaugums aprēķināts vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam, kā arī dominējošo koku aritmētiskajam vidējā caurmēram atbilstošā koka augstumam.

Modelim jāatbilst sekojošām prasībām:

- Tam jābūt polimorfiskam – t.i. augstumu atšķirībām starp bonitātēm nav jābūt proporcionālām visos vecumos.
- Sigmoidāla augšanas forma ar pārliekuma punktu,
- Horizontāla asimptota lielā vecumā
- Augstumam 0 gados jābūt 0.
- Vēlams, lai tas būtu neatkarīgs no bāzes vecuma.

Chapman-Richard's (C_R) funkcija, kas izmantota mūsu iepriekšējos pētījumos, ir viena no tām, kas šādām prasībām atbilst.

Lai atspoguļotu augstuma augšanas gaitu pa bonitātēm C_R vienādojumiem jāietver sevī arī faktori, kas saistīti ar augstumu konkrētā vecumā. Tādēļ aprēķinos izmantota bāzes vecuma neatkarīga augstumlīknes algebriskās starpības aprēķināšanas metode (Czieszewski, Bailey 2000).

Izmantota sekojoša sakarība (Dieuez-Aranda, et al., 2005)

$$H_2 = H_1 * (1 - \exp(-b_1 * A_2)) / (1 - \exp(-b_1 * A_1))^{(b_2 + b_3 / X_0)}, \text{ kur} \quad (23)$$

$$X_0 = \frac{1}{2} (\ln H_1 - b_2 * (\ln(-1 \exp(-b_1 * A_1))) + ((\ln H_1 - b_2 * (\ln(-1 \exp(-b_1 * A_1)))^2 - 4 * b_3 * (\ln(-1 \exp(-b_1 * A_1)))^{0.5} \quad (24)$$

Kur A_1 – vecums pirmajā uzmērīšanas reizē

A_2 – vecums otrajā uzmērīšanas reizē

H_1 augstums pirmajā uzmērīšanas reizē

H_2 augstums otrajā uzmērīšanas reizē

Modelēts tiek virsaugstuma pieaugums, bet vidējā kvadrātiskā koka augstums tiek aprēķināts izmantojot izstrādātos vienādojumu 21 vai 22, tādēļ, ka elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra koka diametrs ir atkarīgs no pašizretināšanās kā arī no veiktajām kopšanas cirtēm un to intensitātes.

Latvijā lielākajā daļā gadījumu kopšana tiek veikta no apakšas, tādēļ virsaugstums uzskatāms par stabilāku rādītāju nekā vidējā kvadrātiskā koka augstums.

Darbības veicamas sekojoši:

- 1) No augstumlīknes aprēķina vidējā kvadrātiskā koka augstumu vai ņem jau aprēķināto H_g
- 2) Pēc sakarības 21 aprēķina virsaugstumu H_{dom} .
- 3) Modelē H_{dom} pieaugumu.
- 4) Atkarībā no koku skaita aprēķina D_g un attiecīgo H_g .

2.5. Caurmēra augšanas gaitas modeļa precizēšana

Datu analīzē izmanto datus par 775 MSI 2009. un 2010.g. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- parauglaukumā valdošā koku suga ir priede (361 parauglaukumi), egles (167) vai bērzs (247);
- parauglaukumā nav veikta kailcirte;
- I stāva valdošās koku sugas nav mainījušies;
- I stāva valdošās koku sugas uzmērītais vidējais kvadrātiskais caurmērs otrajā ciklā ir lielāks vai vienāds ar pirmajā ciklā uzmērīto;

Lai izvairītos no parauglaukuma I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņas kļūdām, kas MSI metodikas dēļ rodas kokiem ieaugoties (pārsniedzot 2.0cm krūšaugstuma caurmēru) vai pārejot uz citu reprezentācijas klasi (pārsniedzot 6.0cm un 14.0cm krūšaugstuma caurmēru), analīzē izmanto tikai tos kokus, kas konstatēti 2004. gada uzmērīšanā, un to reprezentācijas klases nemaina.

Analīzē audzes caurmēra izmaiņas tiek modelētas kā I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā krūšaugstuma caurmēra koka šķērslaukuma izmaiņas izmantojot sekojošu vienādojumu (Hynnyen et al., 2002):

$$\ln(z_g) = a_1 + a_2 \ln(H_{100}) + a_3 \frac{1}{H_{dom}} + a_4 \frac{1}{H_{dom}^2} + a_5 \ln(D_g) + a_6 D_g^2 + a_7 \frac{1}{(D_g + 0.1)} + a_8 \ln(cr) + a_9 RDF + a_{10} Thin_{0-5} \quad (25)$$

z_g – vidējā kvadrātiskā caurmēra 5 gadu tekošais periodiskais šķērslaukuma pieaugums, cm^2 ;

H_{100} – I stāva valdošās koku sugas virsaugstuma bonitāte, m;

H_{dom} – I stāva valdošās koku sugas virsaugstums, m;

D_g – I stāva valdošās koku sugas vidējais kvadrātiskais caurmērs, cm;

cr – vidējā kvadrātiskā caurmēra koka vainaga proporcija;

RDF – relatīvā biežības faktors;

$Thin_{0-5}$ – fiktīvais mainīgais, ja 0-5 gadu periodā veikta kopšana;

a_1 - a_{10} – koeficienti.

Relatīvās biežības faktors tiek aprēķināts kā parauglaukumā esošo dzīvo koku minimālās augšanas telpas summa, kur koka minimālo augšanas telpu aprēķina pēc sekojoša vienādojuma:

$$ga_i = \frac{D_i^{-\beta_1}}{\beta_0} \quad (26)$$

ga_i – koka minimālā augšanas telpa;

D_i – koka krūšaugstuma caurmērs, cm;

$\beta_0; \beta_1$ – koeficienti atkarībā no sugas.

Koeficientu vērtības 26. vienādojumam izmanto no iepriekšējos pētījumos izstrādātajiem vienādojumiem (Donis, 2009):

$$N_{max} = \beta_0 D_g^{\beta_1} \quad (27)$$

N_{max} – maksimālais I stāva koku skaits, ha^{-1} ;
 D_g – I stāva valdošās koku sugas vidējais kvadrātiskais caurmērs, cm;
 $\beta_0; \beta_1$ – koeficienti atkarībā no sugas

Audzies I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā caurmēra 5 gadu tekošais periodiskais pieaugums aprēķināts pēc sekojoša vienādojuma (Liepa, 1996):

$$z_D = \frac{2z_g}{\pi D} \quad (28)$$

z_D – I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā caurmēra 5 gadu tekošais periodiskais pieaugums, cm;

z_g – I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā caurmēra koka šķērslaukuma 5 gadu tekošais periodiskais pieaugums, cm^2 ;

D – I stāva valdošās koku sugas vidējais kvadrātiskais caurmērs, cm.

Vienādojuma (25) statistiskie rādītāji aprēķināti atbilstoši 11.- 16. vienādojumam.

2.6. Kokaudzes koku skaita un šķērslaukuma modeļa precizēšana

Dabiskā atmiršanas modelim jāatbilst sekojošām prasībām:

- Pakāpeniskums
- Asimptotiska tiekšanās uz 0, kad koku vecums palielinās
- Tiek pieņemts, ka ieaugšanās ir neievērojama.

Pieņemts, ka koku skaita samazināšanās ir proporcionāla vecuma eksponenciālajai funkcijai.

Datu analizē (29. un 30. formula) izmanto datus par MSI 2009. un 2010. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- parauglaukumā valdošā koku suga ir priede, egle vai bērzs;
- parauglaukumā nav konstatēta koku ciršana;
- parauglaukumā nav konstatēta koku masveida bojāeja dabisko traucējumu rezultātā (atmirums $\leq 20\%$);
- audzes vecums 1. uzmērīšanas reizē ir vairāk nekā 10 gadi.

Lai izvairītos no koku skaita izmaiņas kļūdām, kas MSI metodikas dēļ rodas kokiem ieaugoties (pārsniedzot 2.0cm krūšaugstuma caurmēru) vai pārejot uz citu reprezentācijas klasi (pārsniedzot 6.0cm un 14.0cm krūšaugstuma caurmēru), analizē izmanto tikai tos kokus, kas konstatēti 2004. gada uzmērīšanā, un to reprezentācijas klases nemaina.

Analizē pašizretināšanās lielums modelēts I stāva kokiem izmantojot sekojošus vienādojumus:

$$N_{Gmax} = \frac{\beta_0}{\alpha_0} (2\beta_0)^{\frac{\alpha_1-1}{\beta_1}} D_{Gmax}^{\frac{\alpha_1-1}{\beta_1}} \quad (29)$$

N_{Gmax} – koku skaits ha^{-1} pie maksimālā šķērslaukuma;

D_{Gmax} – vidējais kvadrātiskais caurmērs pie maksimālā šķērslaukuma;

$\alpha_0; \beta_0; \alpha_1; \beta_1$ – koeficienti, kas tiek aprēķināti pēc 22 vienādojuma.

$$N_2 = \left[N_1^a + \left(b + \frac{c}{H_{100}} \right) \left(\left(\frac{t_2}{10} \right)^d - \left(\frac{t_1}{10} \right)^d \right) \right]^{\frac{1}{a}} \quad (30)$$

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

H_{100} – virsaugstuma bonitāte, m;

$a; b; c; d$ – empīriskie parametri.

Koeficientu vērtības 29. vienādojumam aprēķina pēc sekojošas formulas:

$$D_g = \frac{1}{\alpha_0 H^{\alpha_1} N + \beta_0 H^{\beta_1}} \quad (31)$$

D_g - vidējais kvadrātiskais caurmērs;

H - vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošs augstums;

N - koku skaits ha^{-1} ;

$\alpha_0; \beta_0; \alpha_1; \beta_1$ – koeficienti.

Lai aproksimētu 31. Vienādojumu, izmantoti dati par 1336 MSI vienreiz uzmērītiem parauglaukumiem, kuros I stāva valdošā koku suga ir priede (743), egle (187) vai bērzs (406) un sastāva koeficients ir 10,0.

Vienādojumu statistiskie rādītāji aprēķināti atbilstoši 11.- 16. vienādojumam.

2.7. Šķērslaukuma augšanas gaitas modeļa precizēšana

1.stāva valdošās koku sugas šķērslaukuma izmaiņas aprēķinātas:

- 1) kā starpība starp divu periodu rādītājiem;
- 2) aproksimējot pirmās uzmērīšanas reizes šķērslaukumu un tā prognozi otrai uzmērīšanas reizei.

Nākošā perioda audzes I stāva vidējā kvadrātiskā caurmēra un I stāva koku skaita aprēķināšanas modeļi aproksimēti iepriekšējās nodaļās. Proti, caurmēra pieaugums (2.5. nodaļa) aprēķināts, kā funkcija un šķērslaukuma pieauguma, ņemot vērā virsaugstuma bonitāti un augstumu.

3.Rezultāti

3.1. Pieaugumu modeļi

3.1.1.Vispārējās pieaugumu aprēķināšanas likumsakarības

Tekošā vidēji periodiskā krājas difference

Parauglaukumu aritmētiski vidējā I stāva tekošā vidēji periodiskā krājas difference ir $+6,4 \pm 0,2$ (standartklūda) m^3ha^{-1} , bet aritmētiski vidējā audzes (parauglaukuma) tekošā vidēji periodiskā krājas difference ir $+7,1 \pm 0,2 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ (3.1.1. un 3.1.2. tabula).

Parauglaukumos priežu audzēs aritmētiski vidējā I stāva un audzes tekošā vidēji periodiskā krājas difference attiecīgi ir $+5,7 \pm 0,2 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ un $+6,5 \pm 0,3 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ (3.1.1. un 3.1.2. tabula). Priežu audzēs konstatēta cieša lineāri negatīva korelācija audzes valdošās koku sugas vecuma desmitgadei ar I stāva ($R=-0,951$) un audzes ($R=-0,949$) tekošo vidēji periodisko krājas diferenci (3.1.1. attēls). Audzes bonitātei konstatēta cieša lineāri negatīva korelācija ar I stāva tekošo vidēji periodisko krājas diferenci ($R=-0,982$) un audzes tekošo vidēji periodisko krājas diferenci ($R=-0,981$).

Parauglaukumos egļu audzēs aritmētiski vidējā I stāva un audzes tekošā vidēji periodiskā krājas difference attiecīgi ir $+8,3 \pm 0,5 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ un $+8,6 \pm 0,5 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ (3.1.1. un 3.1.2. tabula). Egļu audzēs konstatēta cieša lineāri negatīva korelācija starp audzes valdošās koku sugas vecuma desmitgadi un I stāva ($R=-0,807$) un audzes ($R=-0,875$) tekošo vidēji periodisko krājas diferenci (3.1.1. attēls). Audzes bonitātei konstatēta cieša lineāri negatīva korelācija ar I stāva tekošo vidēji periodisko krājas diferenci ($R=-0,877$) un ar audzes tekošo vidēji periodisko krājas diferenci ($R=-0,807$).

Parauglaukumos bērzu audzēs aritmētiski vidējā I stāva un audzes tekošā vidēji periodiskā krājas difference attiecīgi ir $+6,3 \pm 0,4 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ un $+7,1 \pm 0,4 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ (3.1.1. un 3.1.2. tabula). Bērzu audzēs konstatēta cieša lineāri negatīva korelācija starp audzes valdošās koku sugas vecuma desmitgadi un I stāva tekošo vidēji periodisko krājas diferenci ($R=-0,829$) un vidēji cieša lineāri negatīva korelācija starp audzes tekošo vidēji periodisko krājas diferenci ($R=-0,737$) un valdošās koku sugas vecuma desmitgadi (3.1.1. attēls). Audzes bonitātei konstatēta cieša lineāri negatīva korelācija ar I stāva tekošo vidēji periodisko krājas diferenci ($R=-0,854$) un ar audzes tekošo vidēji periodisko krājas diferenci ($R=-0,879$).

3.1.1. tabula

Tekošā vidēji periodiskā krājas difference atkarībā no audzes vecuma, $m^3 ha^{-1}$ gadā

Audzes elements	Vecuma 10-gade	I stāva valdošā koku suga									Kopā		
		Priede			Egle			Bērzs					
		Vid	Stder	N	Vid	Stder	N	Vid	Stder	N	Vid	Stder	N
I stāvs	2	0,0		0	14,9	0,8	2	9,7	1,1	6	11,0	1,2	8
	3	8,6	1,7	6	9,9	1,3	9	10,0	1,4	9	9,6	0,8	24
	4	7,0	0,6	11	9,5	0,7	32	7,3	0,9	25	8,3	0,5	68
	5	7,5	0,9	19	7,2	1,2	13	5,3	0,5	31	6,3	0,5	63
	6	7,0	0,7	27	8,5	2,0	11	5,9	0,7	33	6,7	0,5	71
	7	6,1	0,6	37	8,1	2,2	8	4,5	0,7	22	5,8	0,5	67
	8	6,2	0,7	31	5,4	1,2	8	7,0	2,0	7	6,2	0,6	46
	9	4,8	0,6	27	2,1	2,4	3	0,0		1	4,4	0,6	31
	10	4,3	0,8	24	5,1	1,4	2				4,3	0,7	26
	11	3,5	0,6	14	6,6	2,9	3				4,1	0,7	17
	12	4,2	0,6	14	11,4		1				4,7	0,7	15
	13	3,9	1,7	5							3,9	1,7	5
	14	3,2	1,1	5							3,2	1,1	5
	15	3,6	1,2	4	5,1		1				3,9	1,0	5
	Kopā		5,7	0,2	224	8,3	0,5	93	6,3	0,4	134	6,4	0,2
Kopā	2	0,0		0	14,9	0,8	2	10,2	1,1	6	11,4	1,1	8
	3	8,6	1,7	6	10,4	1,3	9	9,1	1,6	9	9,4	0,9	24
	4	7,4	0,7	11	10,1	0,8	32	8,0	0,9	25	8,9	0,5	68
	5	8,1	0,9	19	7,9	1,2	13	5,9	0,6	31	7,0	0,5	63
	6	7,6	0,7	27	8,2	2,1	11	7,1	0,8	33	7,4	0,6	71
	7	7,0	0,7	37	7,7	2,3	8	5,7	0,9	22	6,7	0,6	67
	8	7,2	0,8	31	4,8	1,7	8	8,7	1,9	7	7,0	0,7	46
	9	5,7	0,7	27	3,2	2,8	3	2,2		1	5,3	0,7	31
	10	5,5	1,0	24	4,2	2,4	2				5,4	0,9	26
	11	4,2	0,8	14	6,3	2,3	3				4,6	0,7	17
	12	5,0	0,8	14	12,5		1				5,5	0,9	15
	13	5,0	1,7	5							5,0	1,7	5
	14	3,7	1,3	5							3,7	1,3	5
	15	4,1	1,3	4	8,7		1				5,0	1,4	5
	Kopā		6,5	0,3	224	8,6	0,5	93	7,1	0,4	134	7,1	0,2

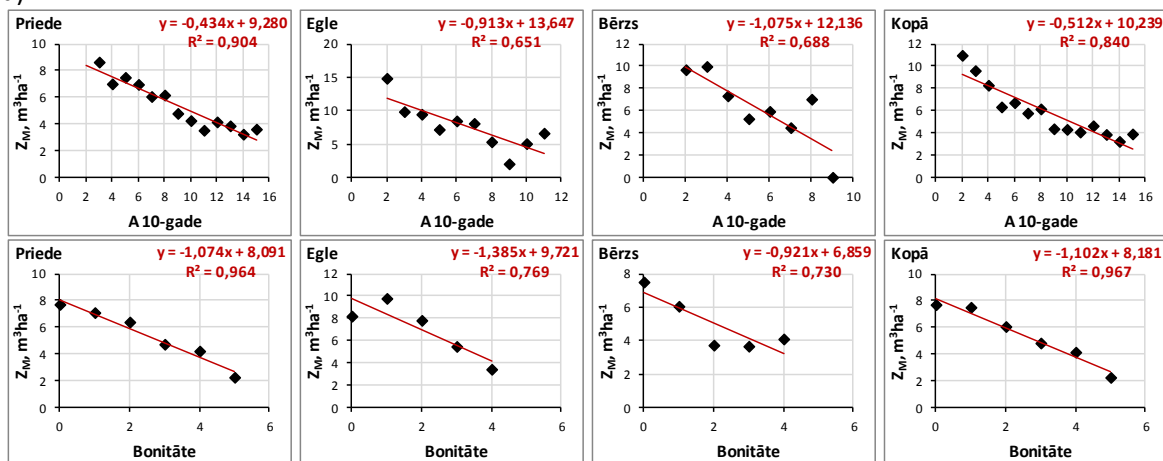
Vid - aritmētiski vidējā vērtība; Stder - standartklūda; N - parauglaukumu skaits

3.1.2. tabula

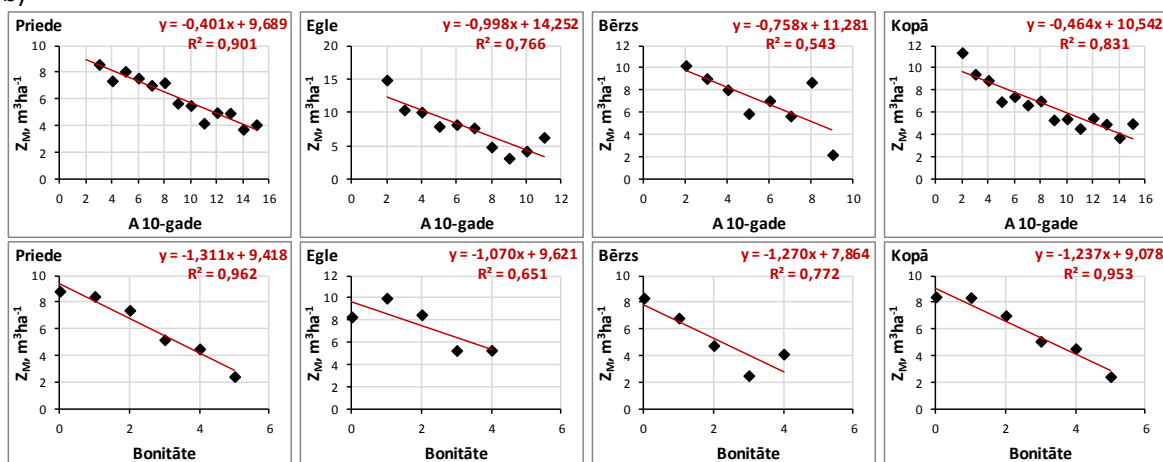
Tekošā vidēji periodiskā krājas difference atkarībā no audzes bonitātes, $m^3 ha^{-1}$ gadā

Audzes elements	Bonitāte	I stāva valdošā koku suga									Kopā		
		Priede			Egle			Bērzs					
		Vid	Stder	N	Vid	Stder	N	Vid	Stder	N	Vid	Stder	N
I stāvs	0	7,7	0,8	24	8,2	0,9	27	7,5	0,5	68	7,7	0,4	119
	1	7,1	0,5	48	9,8	0,9	31	6,1	0,8	35	7,5	0,4	114
	2	6,4	0,4	65	7,8	1,0	24	3,7	0,6	27	6,1	0,4	116
	3	4,7	0,6	34	5,5	0,7	9	3,7	1,6	2	4,8	0,5	45
	4	4,2	0,7	22	3,4	1,7	2	4,1	2,6	2	4,2	0,6	26
	5	2,3	0,3	31							2,3	0,3	31
Kopā		5,7	0,2	224	8,3	0,5	93	6,3	0,4	134	6,4	0,2	451
Kopā	0	8,8	0,9	24	8,3	1,1	27	8,3	0,5	68	8,4	0,4	119
	1	8,4	0,5	48	10,0	1,0	31	6,8	0,8	35	8,4	0,4	114
	2	7,4	0,5	65	8,5	1,0	24	4,8	0,7	27	7,0	0,4	116
	3	5,2	0,7	34	5,3	1,0	9	2,5	0,3	2	5,1	0,6	45
	4	4,5	0,6	22	5,3	3,3	2	4,1	2,5	2	4,5	0,6	26
	5	2,4	0,3	31							2,4	0,3	31
Kopā		6,5	0,3	224	8,6	0,5	93	7,1	0,4	134	7,1	0,2	451

a)



b)



3.1.1. attēls. Tekošā vidēji periodiskā krājas diference atkarībā no audžu vecuma un bonitātes

a) I stāva valdošās koku sugas tekošā vidēji periodiskā krājas diference; b) I stāva tekošā vidēji periodiskā krājas diference

Tekošais vidēji periodiskais krājas pilnais pieaugums

Audzis tekošais vidēji periodiskais krājas pilnais pieaugums aprēķināts balstoties uz pieņēmumu, ka atmirušo koku krāja 2. uzmērīšanas reizē ir tāda pati kā 1. uzmērīšanas reizē, jo:

- dabiski atmirušie koki (kritālas, stumbeņi) metodikas specifikas dēļ tiek uzmērīti atšķirīgi no dzīvajiem kokiem;
- nocirstajiem kokiem nav zināms to pieaugums no to uzmērīšanas brīža 1. ciklā līdz to nociršanai.

Šī pieņēmuma dēļ audzis tekošais vidēji periodiskais krājas pilnais pieaugums praktiski ir vienāds ar audzis tekošo vidēji periodisko krājas faktisko pieaugumu. Līdz ar to analizēts tiek tikai audzis tekošais vidēji periodiskais krājas faktiskais pieaugums, jo šis krājas pieaugums nav atkarīgs no atmirušo (nocirsto) koku krājas pieauguma.

Tekošais vidēji periodiskais krājas faktiskais pieaugums

Parauglaukumos aritmētiski vidējais I stāva valdošās koku sugas tekošā vidēji periodiskais krājas faktiskais pieaugums ir $+7,5 \pm 0,2 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$, bet aritmētiski vidējais I stāva tekošais vidēji periodiskais krājas faktiskais pieaugums ir $+8,7 \pm 0,2 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$ (3.1.3. un 3.1.4. tabula).

Parauglaukumos priežu audzēs aritmētiski vidējais I stāva un audzis tekošais vidēji periodiskais krājas faktiskais pieaugums attiecīgi ir $+6,6 \pm 0,2 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$ un $+7,7 \pm 0,3 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$. Priežu audzēs konstatēta cieša lineāri negatīva korelācija starp audzis valdošās koku sugas vecuma desmitgadi un I stāva ($R=-0,949$) un audzis ($R=-0,887$) tekošo vidēji periodisko krājas faktisko pieaugumu (3.1.2.

attēls). Audzes bonitātei konstatēta cieša lineāri negatīva korelācija ar I stāva ($R=-0,986$) un ar audzes tekošo vidēji periodisko krājas faktisko pieaugumu ($R=-0,987$).

Parauglaukumos egļu audzēs aritmētiski vidējais I stāva un audzes tekošais vidēji periodiskais krājas faktiskais pieaugums attiecīgi ir $+9,6\pm 0,4 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ un $+10,6\pm 0,4 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$. Egļu audzēs konstatēta vidēji cieša lineāri negatīva korelācija starp audzes valdošās koku sugas vecuma desmitgadi un I stāva ($R=-0,760$) un audzes ($R=-0,767$) tekošo vidēji periodisko krājas faktisko pieaugumu (3.1.2. attēls). Audzes bonitātei konstatēta cieša lineāri negatīva korelācija ar I stāva ($R=-0,942$) un ar audzes tekošo vidēji periodisko krājas faktisko pieaugumu ($R=-0,865$).

Parauglaukumos bērzu audzēs aritmētiski vidējais I stāva un audzes tekošais vidēji periodiskais krājas faktiskais pieaugums attiecīgi ir $+7,5\pm 0,3 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ un $+9,1\pm 0,4 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$. Bērzu audzēs konstatēta vidēji cieša lineāri negatīva korelācija starp audzes valdošās koku sugas vecuma desmitgadi un I stāva ($R=-0,716$) un audzes ($R=-0,574$) tekošo vidēji periodisko krājas faktisko pieaugumu (3.1.2. attēls). Audzes bonitātei konstatēta cieša lineāri negatīva korelācija ar I stāva ($R=-0,925$) un ar audzes tekošo vidēji periodisko krājas faktisko pieaugumu ($R=-0,976$).

3.1.3. tabula

Tekošais vidēji periodiskais krājas faktiskais pieaugums atkarībā no audzes vecuma, m^3ha^{-1} gadā

Audzes elements	Vecuma 10-gade	I stāva valdošā koku suga									Kopā		
		Priede			Egļe			Bērzs					
		Vid	Stder	N	Vid	Stder	N	Vid	Stder	N	Vid	Stder	N
I stāvs	2	0,0		0	14,9	0,8	2	8,1	1,6	6	9,8	1,6	8
	3	9,0	1,5	6	9,4	1,5	9	11,4	1,2	9	10,0	0,8	24
	4	7,8	0,7	11	10,4	0,7	32	8,4	0,8	25	9,2	0,5	68
	5	8,2	1,0	19	8,5	1,0	13	6,4	0,4	31	7,4	0,4	63
	6	8,1	0,7	27	10,9	1,3	11	7,4	0,7	33	8,2	0,5	71
	7	7,0	0,6	37	10,4	1,4	8	6,4	0,8	22	7,2	0,5	67
	8	7,5	0,7	31	7,1	0,7	8	7,9	2,0	7	7,5	0,6	46
	9	5,9	0,6	27	8,0	4,2	3	3,9		1	6,0	0,6	31
	10	5,8	0,8	24	6,1	0,4	2				5,8	0,7	26
	11	4,1	0,6	14	7,9	2,0	3				4,8	0,7	17
	12	4,4	0,6	14	11,4		1				4,9	0,8	15
	13	5,3	0,8	5							5,3	0,8	5
	14	3,9	1,1	5							3,9	1,1	5
	15	3,6	1,2	4	7,1		1				4,3	1,2	5
	Kopā	6,6	0,2	224	9,6	0,4	93	7,5	0,3	134	7,5	0,2	451
Kopā	2	0,0		0	14,9	0,8	2	8,7	1,8	6	10,2	1,6	8
	3	9,3	1,6	6	10,0	1,5	9	12,2	1,2	9	10,6	0,8	24
	4	8,2	0,7	11	11,7	0,8	32	10,2	0,9	25	10,6	0,5	68
	5	8,9	1,0	19	9,7	1,0	13	7,9	0,6	31	8,6	0,5	63
	6	8,8	0,7	27	11,2	1,2	11	9,3	0,8	33	9,4	0,5	71
	7	8,3	0,7	37	11,4	1,3	8	8,1	0,9	22	8,6	0,5	67
	8	8,7	0,9	31	7,5	1,0	8	9,7	1,9	7	8,6	0,7	46
	9	7,3	0,7	27	9,2	4,9	3	6,1		1	7,5	0,8	31
	10	7,3	1,0	24	8,2	0,1	2				7,4	0,9	26
	11	4,8	0,8	14	8,2	2,0	3				5,4	0,8	17
	12	5,5	0,9	14	12,5		1				6,0	1,0	15
	13	7,0	1,0	5							7,0	1,0	5
	14	5,0	1,7	5							5,0	1,7	5
	15	4,3	1,4	4	10,7		1				5,5	1,7	5
	Kopā	7,7	0,3	224	10,6	0,4	93	9,1	0,4	134	8,7	0,2	451

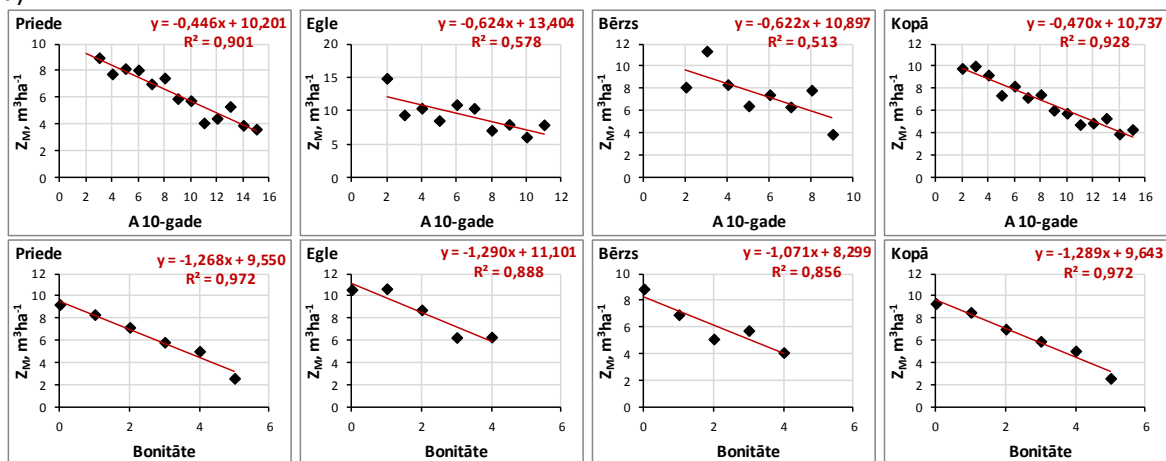
Vid - aritmētiski vidējā vērtība; Stder - standartkļūda; N - parauglaukumu skaits

3.1.4. tabula

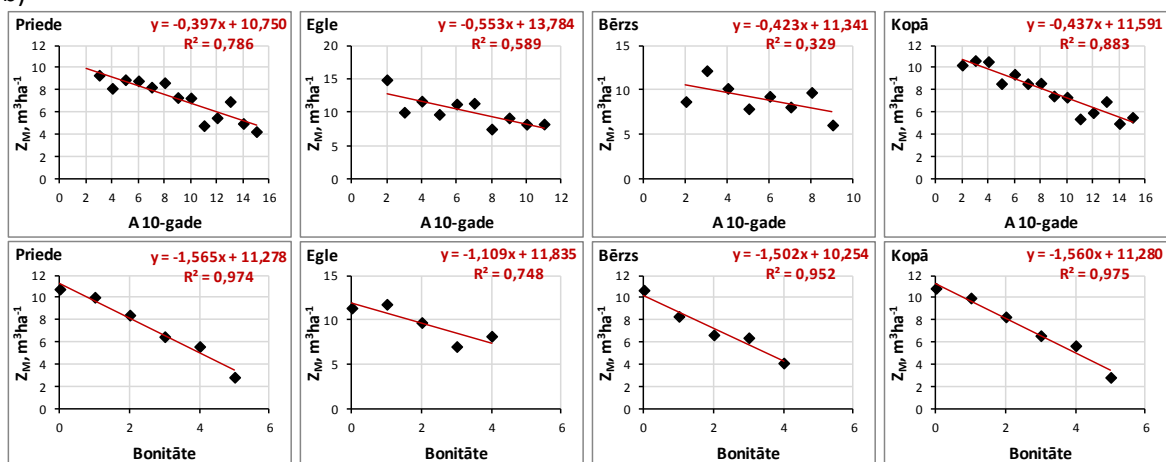
Tekošais vidēji periodiskais krājas faktiskais pieaugums atkarībā no audzes bonitātes, m^3ha^{-1} gadā

Audzes elements	Bonitāte	I stāva valdošā koku suga									Kopā		
		Priede			Egļe			Bērzs					
		Vid	Stder	N	Vid	Stder	N	Vid	Stder	N	Vid	Stder	N
I stāvs	0	9,2	0,6	24	10,6	0,6	27	8,9	0,4	68	9,3	0,3	119
	1	8,3	0,5	48	10,7	0,8	31	6,9	0,7	35	8,5	0,4	114
	2	7,2	0,4	65	8,8	0,8	24	5,1	0,5	27	7,0	0,3	116
	3	5,9	0,6	34	6,3	1,0	9	5,8	0,9	2	5,9	0,5	45
	4	5,0	0,6	22	6,3	0,8	2	4,1	2,6	2	5,1	0,5	26
	5	2,6	0,3	31							2,6	0,3	31
Kopā	6,6	0,2	224	9,6	0,4	93	7,5	0,3	134	7,5	0,2	451	
Kopā	0	10,8	0,6	24	11,4	0,7	27	10,7	0,5	68	10,9	0,3	119
	1	10,0	0,5	48	11,8	0,8	31	8,3	0,8	35	10,0	0,4	114
	2	8,4	0,4	65	9,7	0,8	24	6,7	0,6	27	8,3	0,3	116
	3	6,5	0,7	34	7,0	1,1	9	6,4	0,3	2	6,6	0,6	45
	4	5,6	0,6	22	8,2	2,5	2	4,1	2,5	2	5,7	0,6	26
	5	2,9	0,3	31							2,9	0,3	31
Kopā	7,7	0,3	224	10,6	0,4	93	9,1	0,4	134	8,7	0,2	451	

a)



b)



3.1.2. attēls. Tekošais vidēji periodiskais krājas faktiskais pieaugums atkarībā no audzes vecuma un bonitātes

a) I stāva valdošās koku sugas tekošais vidēji periodiskais krājas faktiskais pieaugums; b) I stāva tekošais vidēji periodiskais krājas faktiskais pieaugums

3.1.2. Faktiskās audzes tekošā pieauguma modelis

Analīzē faktiskās audzes tekošais pieaugums aproksimēts kā faktiskās audzes reducētais tekošais vidēji periodiskais pieaugums (turpmāk tekstā uzņēmītais (8. formula) un izlīdzinātais (9. formula) pieaugums).

Priede. Starp uzņēmīto un izlīdzināto pieaugumu konstatēta vidēji cieša lineāri pozitīva korelācija ($R=+0,610$). Izlīdzinātā pieauguma modeļa vidējā novirze ir $-0,02 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{ha}^{-1}$, bet vidējā absolūtā novirze ir $0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{ha}^{-1}$ (3.1.5. tabula). Augstākajās bonitātēs izlīdzinātie pieaugumi ir sistemātiski lielāki par uzņēmītajiem pieaugumiem, bet zemākajās bonitātēs izlīdzinātie pieaugumi ir mazāki par uzņēmītajiem pieaugumiem (3.1.3. attēls).

Egle. Starp uzņēmīto un izlīdzināto pieaugumu konstatēta vidēji cieša lineāri pozitīva korelācija ($R=+0,577$). Izlīdzinātā pieauguma modeļa vidējā novirze ir $-0,07 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{ha}^{-1}$, bet vidējā absolūtā novirze ir $0,19 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{ha}^{-1}$ (3.1.5. tabula). Augstākajās bonitātēs izlīdzinātie pieaugumi ir sistemātiski lielāki par uzņēmītajiem pieaugumiem, bet zemākajās bonitātēs izlīdzinātie pieaugumi ir mazāki par uzņēmītajiem pieaugumiem (3.1.4. attēls).

Bērzs. Starp uzņēmīto un izlīdzināto pieaugumu konstatēta vidēji cieša lineāri pozitīva korelācija ($R=+0,505$). Izlīdzinātā pieauguma modeļa vidējā novirze ir $-0,14 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{ha}^{-1}$, bet vidējā absolūtā novirze ir $0,20 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{ha}^{-1}$ (3.1.5. tabula). Visās analizētajās bonitātēs izlīdzinātie pieaugumi ir sistemātiski lielāki par uzņēmītajiem pieaugumiem (3.1.5. attēls).

Vienādojuma faktiskās audzes reducētā tekošā vidēji periodiskā pieauguma aprēķināšanai (9. formula) statistiskie rādītāji

Suga	Vienādojumu statistiskie rādītāji							
	MRES	AMRES	RMSE	MSE	MEF	VR	R ²	N
Priede	-0,024	0,099	0,132	0,017	0,915	1,280	0,380	223
Egle	-0,073	0,192	0,249	0,061	0,761	0,541	0,333	93
Bērzs	-0,138	0,199	0,247	0,060	1,228	0,643	0,255	132

MRES - vidējā novirze

AMRES - vidējā absolūtā novirze

RMSE - standartkļūda

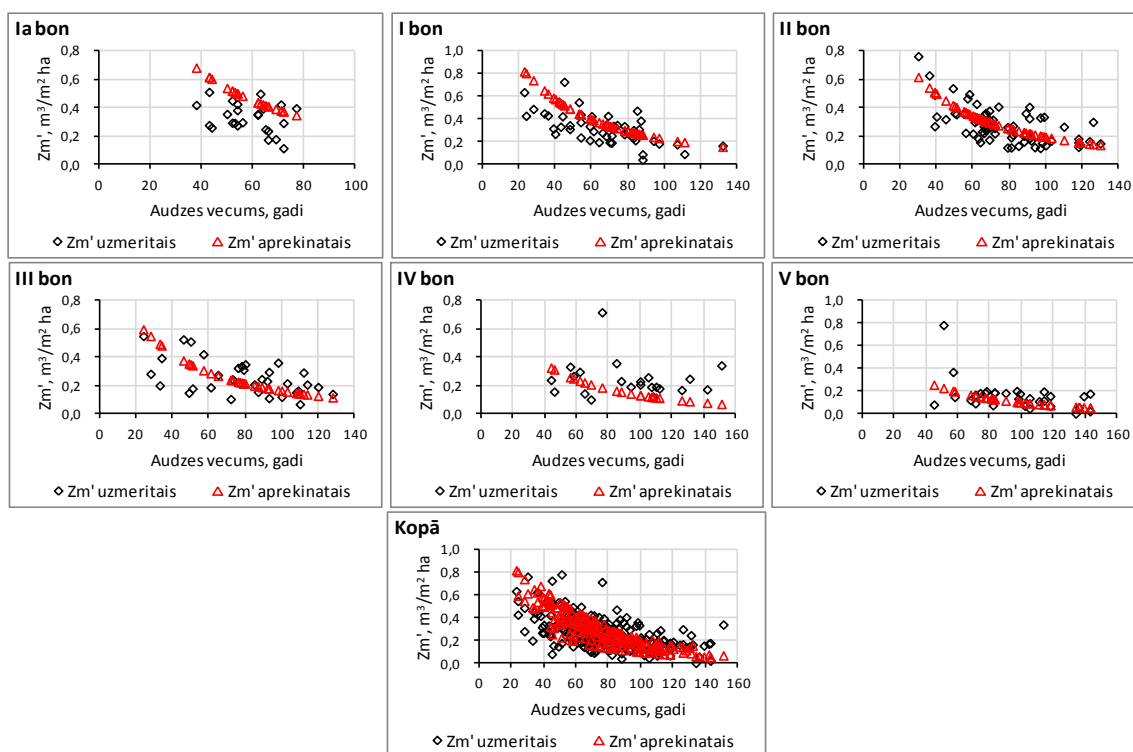
MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda

MEF - modeļa efektivitātes indekss

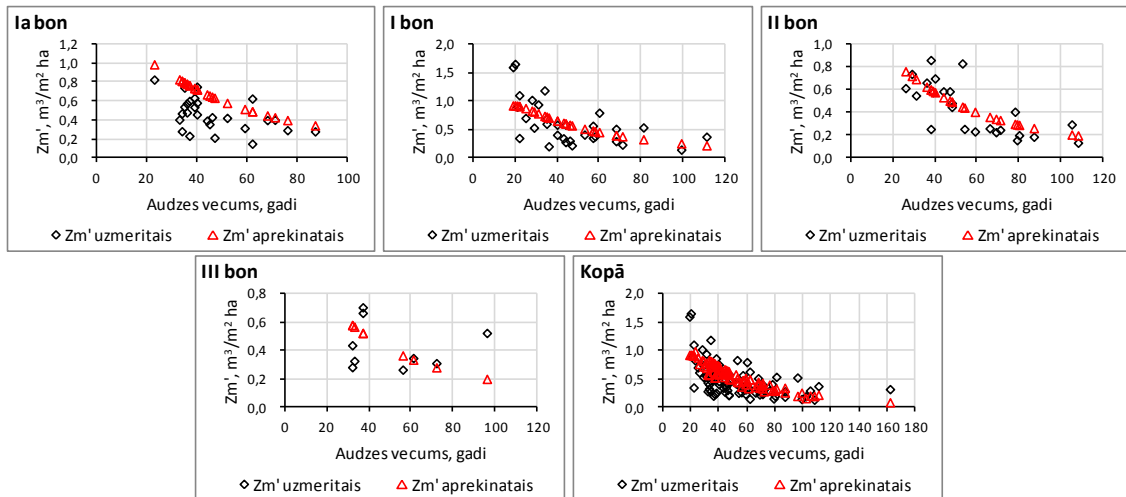
VR - dispersijas attiecība

R² - determinācijas indekss

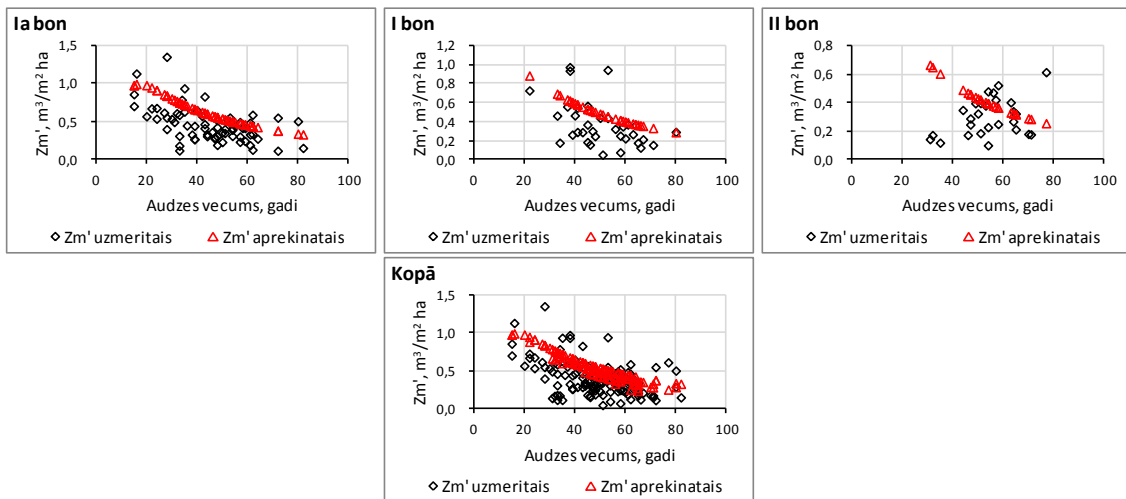
N - parauglaikumu skaits



3.1.3. attēls. Faktiskās audzes reducētais tekošais vidēji periodiskais pieaugums atkarībā no audzes bonitātes un vecuma priežu audzēs (parauglaukumos)
Zm' uzmeritais – 8. formula; Zm' aprekinatais – 9. formula



3.1.4. attēls. Faktiskās audzes reducētais tekošais vidēji periodiskais pieaugums atkarībā no audzes bonitātes un vecuma egļu audzēs (parauglaukumos)
 Z_m' uzmeritais – 8. formula; Z_m' aprekinatais – 9. formula



3.1.5. attēls. Faktiskās audzes reducētais tekošais vidēji periodiskais pieaugums atkarībā no audzes bonitātes un vecuma bērzu audzēs (parauglaukumos)
 Z_m' uzmeritais – 8. formula; Z_m' aprekinatais – 9. formula

Ir izveidoti jauni vienādojumi faktiskās audzes reducētā tekošā vidēji periodiskā pieauguma aprēķināšanai:

$$Z'_m = a_1(B + 1)^{a_2} A^{a_3} \quad (30)$$

Z'_m - faktiskās audzes reducētais tekošais vidēji periodiskais pieaugums, $m^3 m^{-2} ha^{-1}$;

B – audzes bonitāte ($Ia=0$; $I=1$... $IV=4$; $V=5$);

A – audzes vecums, gadi;

a_1 ; a_2 ; a_3 – koeficienti atkarībā no sugas (3.1.6. tabula).

Jaunais vienādojums (18) ir uzskatāms par pagaidu vienādojumu, kuru nepieciešams pārbaudīt uz neatkarīgas datu kopas un kuru paredzēts uzlabot papildinot paraugkopas lielumu. Pašreizējā variantā (pie pašreizējiem koeficientiem) eglei aprēķinātais faktiskās audzes reducētais tekošais vidēji periodiskais pieaugums praktiski neatšķiras starp bonitātēm (3.1.6. attēls).

Vienādojuma faktiskās audzes reducētā tekošā vidēji periodiskā pieauguma aprēķināšanai (30. formula) koeficienti un statistiskie rādītāji

Suga	Koeficienti			Ierobežojumi		Vienādojumu statistiskie rādītāji							
	a1	a2	a3	Bonitāte	Vecums	MRES	AMRES	RMSE	MSE	MEF	VR	R ²	N
Priede	8,84053	-0,24406	-0,79012	Ia...V	20...160	0,020	0,081	0,112	0,012	0,661	0,483	0,369	223
Egle	10,13700	0,01044	-0,82569	Ia...III	20...120	0,040	0,154	0,218	0,047	0,581	0,298	0,457	92
Bērzs	3,94659	-0,24692	-0,60940	Ia...II	10...100	0,043	0,138	0,196	0,038	0,754	0,223	0,288	128

MRES - vidējā novirze

AMRES - vidējā absolūtā novirze

RMSE - standartkļūda

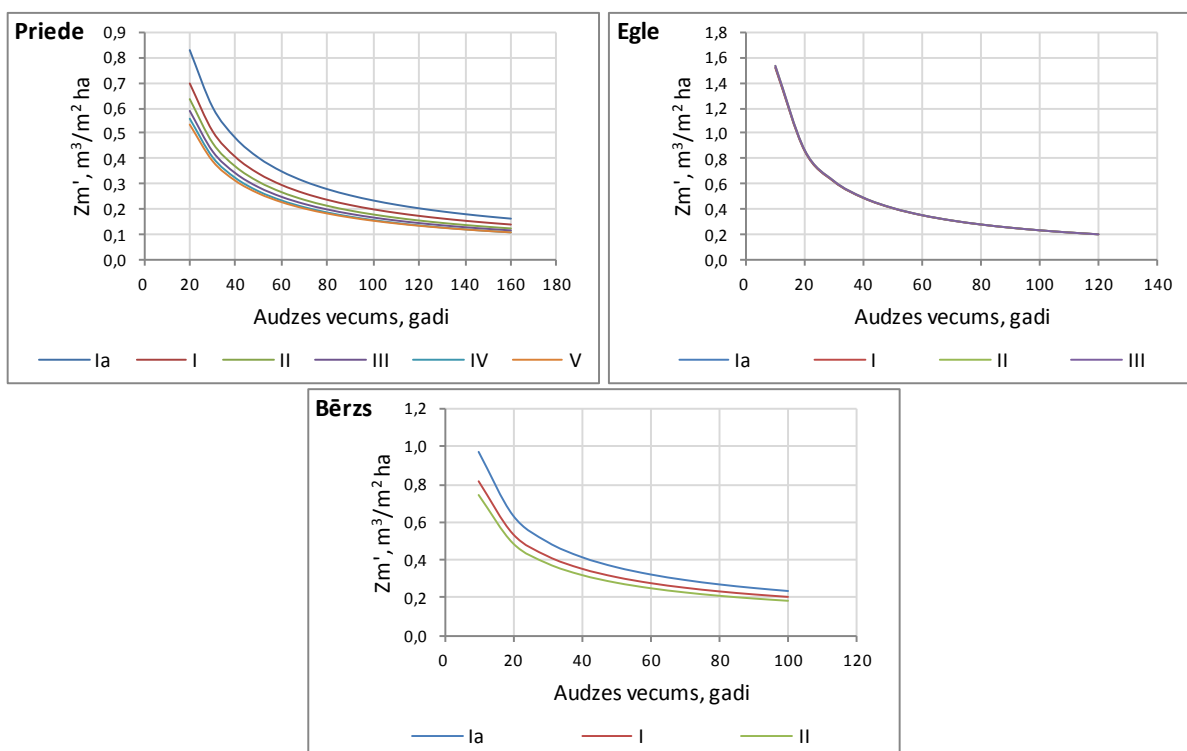
MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda

MEF - modeļa efektivitātes indekss

VR - dispersijas attiecība

R² - determinācijas indekss

N - parauglaukumu skaits



3.1.6. attēls. Aproximētais faktiskās audzes reducētais tekošais vidēji periodiskais pieaugums (30. formula) atkarībā no audzes bonitātes un vecuma

3.1.3. Atmiruma modelis

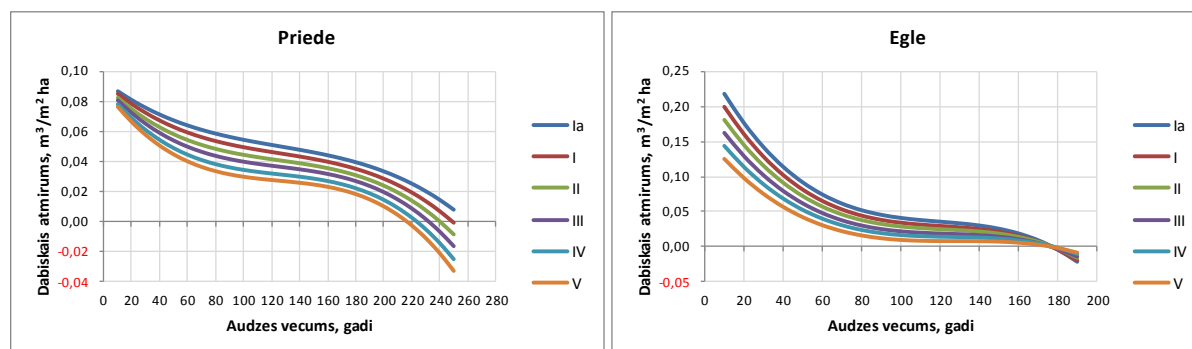
I. Liepas izstrādātā krājas ikgadējā reducētā atmiruma vienādojuma (18. formula) raksturojums:

- Izstrādātais vienādojums paredzēts audžu kopas dabiskā atmiruma prognozēšanai. Vienādojums paredz, ka katru gadu atmirst daļa audzes.
- Izstrādātais vienādojums balstās uz pieņēmumu, ka dabiskais atmirums ir proporcionāls audzes šķērslaukumam. Pēc MSI atkārtoti uzņēmītajiem datiem krājas reducētais audzes atmirums biežākās audzēs ir ievērojami lielāks nekā retākajās audzēs (3.1.7. tabula).
- Izstrādātajam vienādojumam maksimālais vecuma ierobežojums atkarībā no bonitātes priedēm ir 217 (V bonitāte) – 261 (Ia bonitāte) gadi, bet eglēm visām bonitātēm 178 gadi, jo vecākās audzēs krājas ikgadējais reducētais pieaugums ir negatīvs (3.1.7. attēls), kas nozīmē, ka vienādojums ir izmantojams normāla mežsaimniecības cikla modelēšanai.

Krājas ikgadējais dabiskais atmirums 2009. un 2010. gadā atkārtoti uzņēmētajos MSI
parauglaukumos atkarībā no 1. uzņēmēšanā konstatētās audzes biežības

Suga	Biezība	Dabiskais atmirums, $m^3 ha^{-1}$		Dabiskais atmirums, $m^3/m^2 ha^{-1}$		PL skaits
		Vid	Stder	Vid	Stder	
Priede	0,4	0,16	0,06	0,01	0,00	24
	0,5	0,24	0,15	0,02	0,01	30
	0,6	0,43	0,12	0,02	0,01	41
	0,7	0,73	0,17	0,03	0,01	52
	0,8	1,17	0,27	0,04	0,01	40
	0,9	1,27	0,30	0,04	0,01	30
	1,0	2,25	0,38	0,06	0,01	35
	Kopā		0,91	0,10	0,03	0,00
Egle	0,4	0,02	0,02	0,00	0,00	13
	0,5	0,64	0,30	0,03	0,02	15
	0,6	0,17	0,10	0,01	0,01	16
	0,7	0,75	0,22	0,03	0,01	14
	0,8	2,16	0,64	0,08	0,02	23
	0,9	3,01	0,90	0,10	0,03	13
	1,0	3,11	1,21	0,09	0,03	12
	Kopā		1,41	0,25	0,05	0,01
Bērzs	0,4	0,25	0,13	0,03	0,02	15
	0,5	0,57	0,22	0,04	0,02	11
	0,6	0,85	0,25	0,05	0,01	26
	0,7	0,91	0,27	0,05	0,01	23
	0,8	1,35	0,40	0,06	0,02	25
	0,9	2,33	0,67	0,09	0,03	14
	1,0	2,33	0,36	0,08	0,01	38
	Kopā		1,37	0,15	0,06	0,01
Kopā		1,15	0,08	0,04	0,00	510

Vid - aritmētiski vidējā vērtība; Stder - standartklūda



3.1.7. attēls. Audzes krājas ikgadējais reducētais atmirums (18. formula) atkarībā no audzes bonitātes un vecuma

Priedēm aritmētiski vidējais uzņēmētais (dabiskais atmirums MSI atkārtoti uzņēmētajos parauglaukumos) un aproksimētais (pēc 18. formulas aprēķinātais) dabiskais krājas ikgadējais reducētais atmirums attiecīgi ir $0,031 m^3 m^{-2} ha^{-1}$ un ir $0,049 m^3 m^{-2} ha^{-1}$, bet eglēm šie paši rādītāji attiecīgi ir $0,051 m^3 m^{-2} ha^{-1}$ un ir $0,089 m^3 m^{-2} ha^{-1}$. Aproksimēto vērtību (18. formulas) vidējā novirze ir $-0,018 m^3 m^{-2} ha^{-1}$ priedēm un $-0,037 m^3 m^{-2} ha^{-1}$ eglēm, kas attiecīgi ir 58,1% un 72,5% no aritmētiski vidējās uzņēmētajās vērtības. Starp uzņēmētajām un aproksimētajām vērtībām ir vāja lineāra korelācija (3.1.8. tabula). Salīdzinoši lielās starpības starp aproksimētajām un uzņēmētajām vērtībām skaidrojamas ar to, ka izvēlētais vienādojums neparedz, ka audzē krājas dabiskais atmirums neveidojas katru gadu.

Krājas ikgadējā dabiskā atmiruma modeļa (18. vienādojums) statistiskie rādītāji

Suga	Vienādojumu statistiskie rādītāji							
	MRES	AMRES	RMSE	MSE	MEF	VR	R ²	N
Priede	-0,018	0,047	0,057	0,003	1,120	0,051	0,012	225
Egle	-0,037	0,089	0,110	0,012	1,407	0,178	0,004	93

MRES - vidējā novirze

AMRES - vidējā absolūtā novirze

RMSE - standartkļūda

MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda

MEF - modeļa efektivitātes indekss

VR - dispersijas attiecība

R² - determinācijas indekss

N - parauglūkumu skaits

Ir izveidoti jauni vienādojumi audzes dabiskā reducētā tekošā vidēji periodiskā atmiruma aprēķināšanai:

$$Z_{(-)} = a_1 A^{a_2} a_3^{\frac{A}{100}} a_4^B \quad (31)$$

$Z_{(-)}$ - faktiskās audzes reducētais tekošais vidēji periodiskais pieaugums, $m^3/m^2 ha^{-1}$;

B – audzes bonitāte ($Ia=0$; $I=1...IV=4$; $V=5$);

A – audzes vecums, gadi;

a_1 ; a_2 ; a_3 ; a_4 – koeficienti atkarībā no sugas (3.1.9. tabula).

Vienādojuma audzes dabiskā reducētā tekošā vidēji periodiskā atmiruma aprēķināšanai (31. formula) koeficienti un statistiskie rādītāji

Suga	Koeficienti				Ierobežojumi		Vienādojumu statistiskie rādītāji							
	a1	a2	a3	a4	Bonitāte	Vecums	MRES	AMRES	RMSE	MSE	MEF	VR	R ²	N
Priede	1.8552E-05	2.30597	0.03420	0.94656	Ia...V	20...160	0.004	0.012	0.016	0.000	0.968	0.088	0.097	221
Egle	9.1227E-08	3.98790	0.01486	0.84455	Ia...III	20...120	0.003	0.019	0.027	0.001	0.607	0.778	0.445	87
Bērzs	6.0937E-01	-1.01504	25.47574	0.97262	Ia...II	20...100	0.003	0.016	0.022	0.000	0.885	0.160	0.135	123

MRES - vidējā novirze

AMRES - vidējā absolūtā novirze

RMSE - standartkļūda

MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda

MEF - modeļa efektivitātes indekss

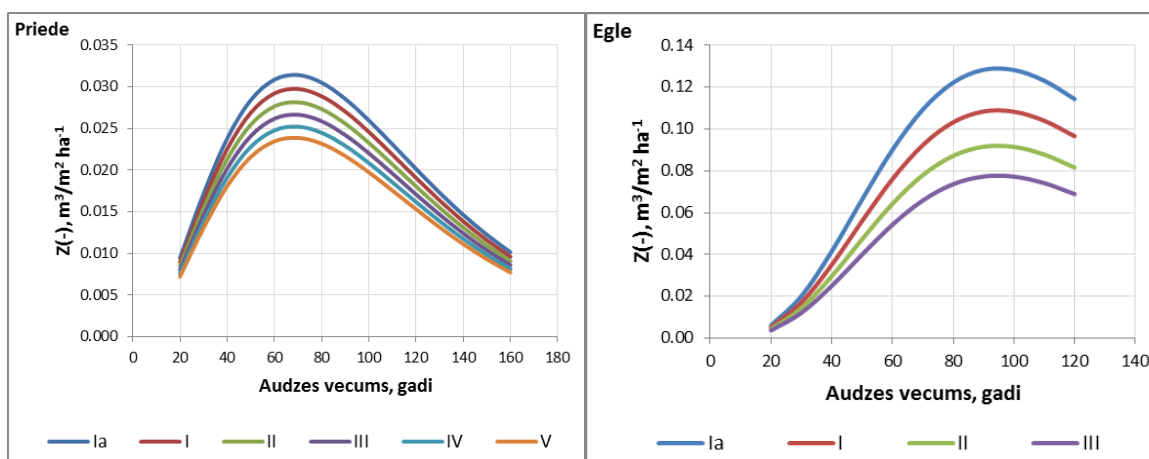
VR - dispersijas attiecība

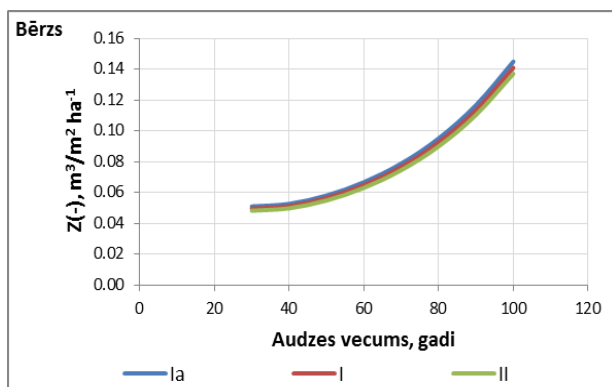
R² - determinācijas indekss

N - parauglūkumu skaits

Jaunais vienādojums ir uzskatāms par pagaidu vienādojumu, kuru nepieciešams pārbaudīt uz neatkarīgas datu kopas un kuru paredzēts uzlabot papildinot paraugkopas lielumu.

Vispārējās sakarības atspoguļotas attēlos





3.1.8. attēls. Vienādojuma audzes dabiskā reducētā tekošā vidēji periodiskā atmiruma aprēķināšanai (31. formula) koeficienti un statistiskie rādītāji

3.1.4. Krājas diferences modelis

Krājas dabisko diferenci (Z_{dab}) aprēķina kā starpību starp audzes krājas faktisko pieaugumu (Z_M) un audzes dabisko atmirumu ($Z_{(-)}$):

$$Z_{dab} = Z_M - Z_{(-)}$$

3.2. Augstuma augšanas gaitas modelis

3.2.1. Sakarība starp audzes vidējo augstumu, valdaudzes augstumu un virsaugstumu

Iepriekšējā gadā izstrādātie vienādojumi ir salīdzinoši precīzi, jo neatkarīgi no koku sugas un H_g (audzes vidējais augstums) un H_{vald} (valdaudzes augstums) aprēķināto vērtību vidējā novirze ir mazāka par 0.3 metriem un standartklūda ir mazāka par vienu metru (3.2.1. tabula). Visiem vienādojumiem starp uzmērītajām un aprēķinātajām vērtībām konstatēta cieša korelācija ($R > 0,800$).

Visām koku sugām un vienādojumiem (H_g vai H_{vald}) starpībai starp aprēķinātajām un uzmērītajām vērtībām ir konstatēta vāja lineāra korelācija ar audzes virsaugstumu (H_{dom}). Priedei un eglei visos gadījumos šīs korelācijas nav būtiskas ($R < R_{krit}$), bet bērzam starpības starp uzmērītajām un aprēķinātajām vērtībām abiem vienādojumiem ir būtiska negatīva lineārā korelācija (3.2.1. attēls).

Visām koku sugām un abiem vienādojumiem starpībām starp aprēķinātajām un uzmērītajām vērtībām ir vāja lineārā korelācija ar valdošās koku sugas I stāva (20. vienādojums) un valdaudzes (21. vienādojums) koku skaitu (3.2.2. attēls). Būtiskas korelācijas starp augstumu starpībām ($H_{uzm} - H_{apr}$) ir tikai eglei 21. vienādojumam (H_{vald}) un bērzam 20. vienādojumam (H_g), jo korelācijas koeficientu vērtības ir lielākas par korelācijas koeficientu kritiskajām vērtībām (eglei $R = 0,198 > R_{krit} = 0,152$; bērzam $R = 0,275 > R_{krit} = 0,117$).

Statistiskie rādītāji 2010. gadā izstrādāto vienādojumu audzes vidējā augstuma (H_g) un valdaudzes augstuma (H_{vald}) aprēķināšanai atkarībā no audzes virsaugstuma (H_{dom}) un valdošās koku sugas I stāva koku skaita (N) vai valdaudzes koku skaita (N_{vald})

Suga	Vienādojums	Vienādojumu statistiskie rādītāji							N
		MRES	AMRES	RMSE	MSE	MEF	VR	R	
P	$H_g=f(H_{dom};N)$	0,156	0,599	0,772	0,595	0,015	0,980	0,993	365
	$H_{vald}=f(H_{dom};N)$	-0,007	0,358	0,482	0,231	0,006	1,005	0,996	
E	$H_g=f(H_{dom};N)$	0,227	0,729	0,919	0,840	0,021	0,980	0,990	181
	$H_{vald}=f(H_{dom};N)$	0,172	0,463	0,894	0,794	0,020	0,944	0,985	
B	$H_g=f(H_{dom};N)$	0,133	0,739	0,973	0,942	0,031	1,068	0,986	268
	$H_{vald}=f(H_{dom};N)$	0,039	0,376	0,513	0,262	0,009	1,029	0,993	

MRES - vidējā novirze

AMRES - vidējā absolūtā novirze

RMSE - standartklūda

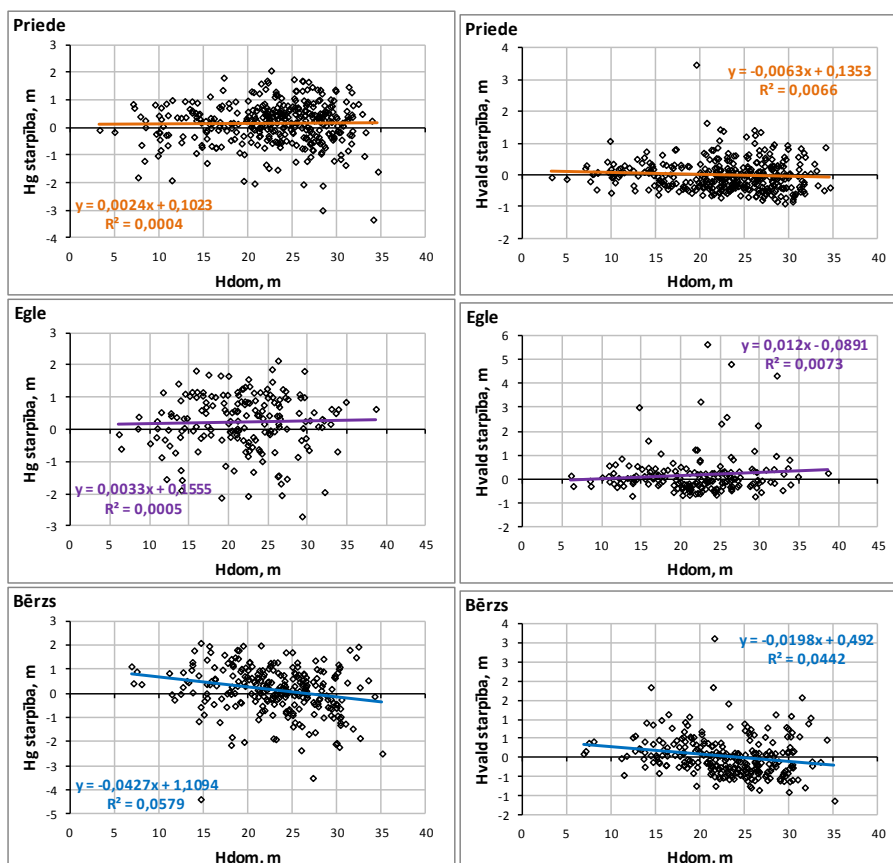
MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda

MEF - modeļa efektivitātes indekss

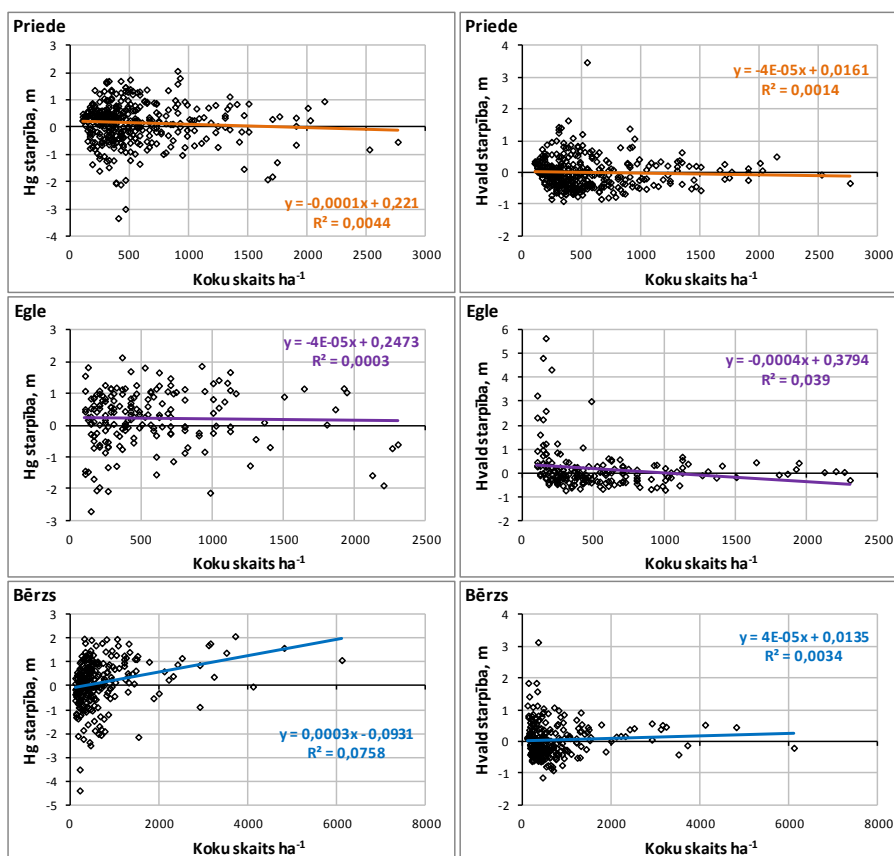
VR - dispersijas attiecība

R - korelācijas koeficients

N - parauglaukumu skaits



3.2.1. attēls. Audzes vidējā (H_g) un valdaudzes (H_{vald}) augstuma starpības starp uzņēmītajām un aprēķinātajām vērtībām atkarībā no audzes virsaugstuma.



3.2.2. attēls. Audzes vidējā (Hg) un valdaudzes (Hvald) augstuma starpības starp uzmērītajām un aprēķinātajām vērtībām atkarībā no audzes valdošās koku sugas I stāva koku skaita (Hg) vai valdaudzes koku skaita (Hvald).

Balstoties uz papildināto datu apjomu, aprēķinātas jaunas koeficientu vērtības audzes vidējā un valdaudzes augstuma aprēķināšanai atkarībā no audzes virsaugstuma un valdošās koku sugas I stāva koku skaita (3.2.2. tabula).

Statistiskie rādītāji vienādojumiem ar 2011. gadā izstrādātajiem koeficientiem ir augstāki (tuvāki statistisko rādītāju ideālajām vērtībām) nekā ar 2010. gadā izstrādātajiem koeficientiem, tomēr vienādojumus ar jaunajiem koeficientiem būtu nepieciešams pārbaudīt uz neatkarīgas datu bāzes un nepieciešamības gadījumā vēl koriģēt (3.2.3. tabula).

3.2.2. tabula

Audzes vidējā augstuma un valdaudzes augstuma aprēķināšanai atkarībā no audzes virsaugstuma vienādojumu (20. un 21. vienādojums) koeficienti un lietošanas ierobežojumi

Suga	$Hg = a_1 H_{dom} a_2 N^{a_3}$					$H_{vald} = a_1 H_{dom} a_2 N^{a_3}$				
	a1	a2	a3	Hdom	N	a1	a2	a3	Hdom	N
Priede	1,11113	1,02496	-0,04100	2...40	120...∞	1,21118	0,97813	-0,02745	2...40	100...∞
Egle	1,18916	1,01835	-0,05213	2...40	110...∞	1,54610	0,94522	-0,04975	2...40	100...∞
Bērzs	1,20652	1,00253	-0,04486	2...40	110...∞	1,28965	0,96137	-0,02850	2...40	100...∞

Hg - vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošais augstums

Hvald - valdaudzes augstums

Hdom - virsaugstums

N - valdošās koku sugas I stāva koku skaits

a1;a2;a3 - koeficienti

Statistiskie rādītāji 2011. gadā izstrādāto vienādojumu audzes vidējā augstuma (H_g) un valdaudzes augstuma (H_{vald}) aprēķināšanai atkarībā no audzes virsaugstuma (H_{dom}) un valdošās koku sugas I stāva koku skaita (N)

Suga	Vienādojums	Vienādojumu statistiskie rādītāji							
		MRES	AMRES	RMSE	MSE	MEF	VR	R	N
P	$H_g=f(H_{dom};N)$	0,006	0,572	0,762	0,579	0,015	1,009	0,993	365
	$H_{vald}=f(H_{dom};N)$	0,005	0,346	0,535	0,285	0,008	0,992	0,996	
E	$H_g=f(H_{dom};N)$	0,003	0,341	0,623	0,387	0,020	1,017	0,990	181
	$H_{vald}=f(H_{dom};N)$	0,010	0,303	0,733	0,536	0,027	0,970	0,986	
B	$H_g=f(H_{dom};N)$	0,019	0,502	0,780	0,606	0,028	0,964	0,986	268
	$H_{vald}=f(H_{dom};N)$	0,005	0,305	0,520	0,270	0,013	0,987	0,993	

MRES - vidējā novirze

AMRES - vidējā absolūtā novirze

RMSE - standartkļūda

MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda

MEF - modeļa efektivitātes indekss

VR - dispersijas attiecība

R - korelācijas koeficients

N - parauglāukumu skaits

Jaunais 20. vienādojums, kas balstīts uz 2. uzmērīšanas datiem, pietiekami precīzi raksturo arī virsaugstuma un vidējā augstuma attiecību arī 1. uzmērīšanas datiem, jo vidējā novirze atkarībā no sugas ir no -0,08m līdz -0,34m, bet standartkļūda no 0,99m līdz 1,22m (kas visos gadījumos ir mazāka par 6% no paraugkopas aritmētiski vidējās vērtības).

3.2.2. Virsaugstuma un vidējā augstuma augšanas gaitas modelis

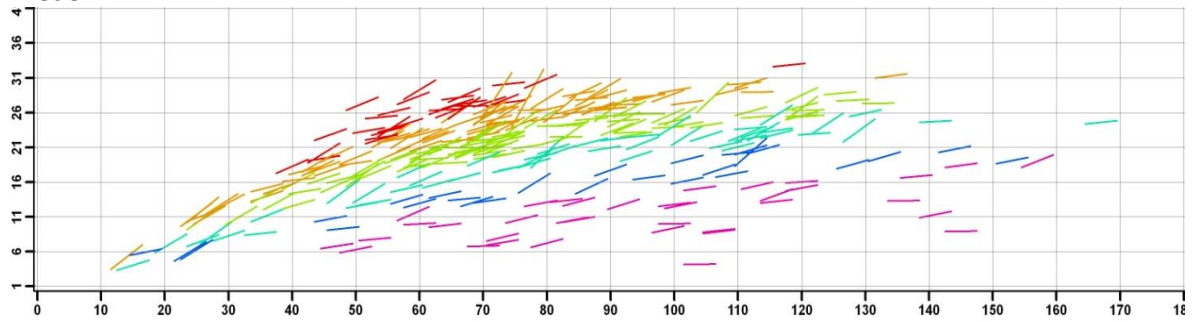
Paraugkopas virsaugstuma Z_h atkarībā no s_{10} ; A s_{10}

Augstuma pieaugumi 5 gadu laikā pēc MSI datiem atspoguļoti 3.2.3. attēlā. 3.2.4.attēlā atspoguļotas MSI datus konstatētās augstuma pieauguma vērtības un aprēķinātās vērtības. Aproximētās 23. vienādojuma koeficienti atspoguļoti 3.2.4. tabulā.

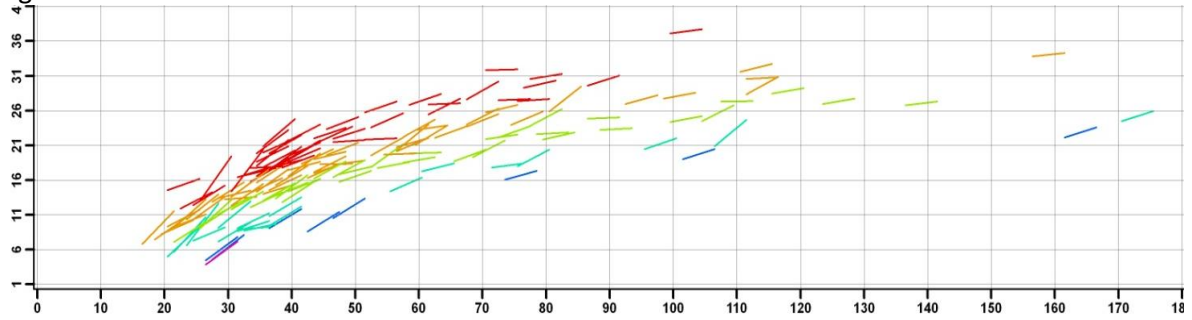
Lai arī pēc MSI pārmērījumu datiem, vienādojumu statistiskie rādītāji ir labāki, nekā koeficienti, kas iegūti apmērojot pēc J. Matuzāņa izstrādātajiem vienādojumiem (1988), tomēr pēdējie uzskatāmi par konservatīvākiem un vismaz pagaidām izmantojami modelēšanā, kamēr papildinot MSI datus nebūs iegūtas precīzētās koeficientu vērtības.

Aproximētās J.Matuzāņa virsaugstuma bonitāšu vienādojumu rezultātu vērtības pašreiz ir vienā formātā.

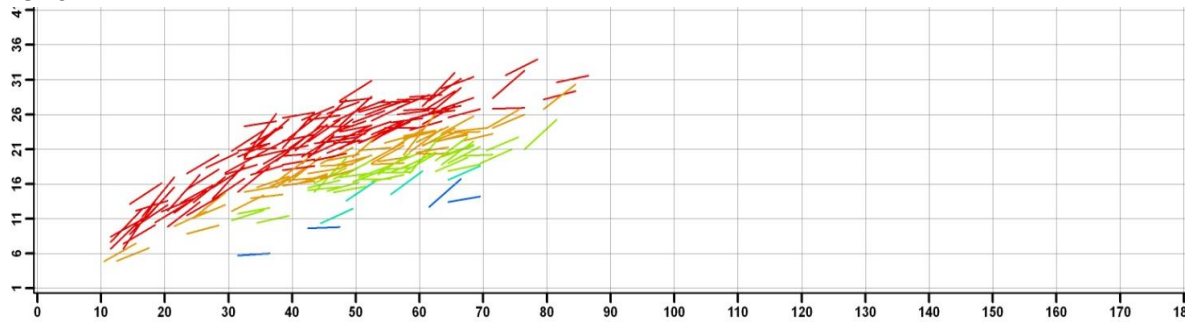
Priede



Egļe

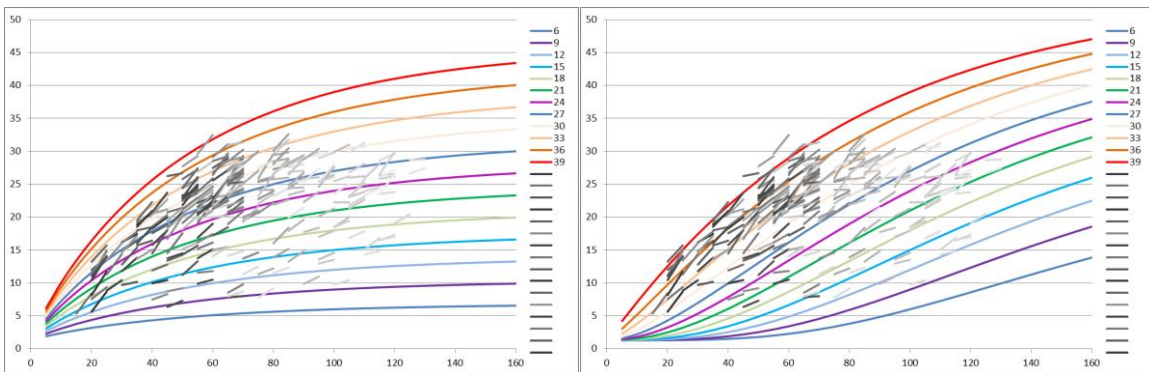


Bērzs



Bonitātes — 0 — 1 — 2 — 3 — 4 — 5

3.2.3.attēls. Paraugkopas virsaugstuma Zh atkarībā no s10; A s10 un bonitātes



a)

b)

3.2.4.attēls. Paraugkopas priežu parauglukumumu virsaugstuma Zh atkarībā no s10; A s10 un bonitātes
 a) aproksimētais Matuzāņa (1988) virsaugstuma bonitāšu skala. b) pēc MSI datiem aprēķinātā.

Aproximētās koeficientu vērtības (23. Vienādojums)

Suga	Avots	Koeficienti			Ierobežojumi		Vienādojumu statistiskie rādītāji							
		b1	b2	b3	Bonitāte	Vecums	MRES	AMRES	RMS E	MSE	MEF	VR	R ²	N
Priede	Matuzanis	0.018	0.9	0	la...V	20...160	0.689	0.837	1.082	1.166	0.032	0.997	0.98	251
Egle	Matuzanis	0.018	0.953	0	la...V	20...120	0.690	1.008	1.291	1.654	0.044	1.102	0.970	118
Bērzs	Matuzanis	0.047	1.665	0.019	la...V	20...100	0.709	1.210	1.532	2.331	0.086	0.873	0.930	143
Apse	Matuzanis	0.026	0.985	0.021	la...V	20...100								
Priede	MSI	0.01996	-10.31914	43.56506	la...V	20...160	0.206	0.662	0.858	0.734	0.020	0.960	0.98	251
Egle	MSI	0.03640	-51.76210	191.91920	la...V	20...120	0.185	0.796	1.022	1.036	0.028	0.962	0.970	118
Bērzs	MSI	0.02126	-7.5602	32.70793	la...V	20...100	0.319	0.925	1.155	1.324	0.049	0.922	0.950	143

MRES - vidējā novirze

AMRES - vidējā absolūtā novirze

RMSE - standartkļūda

MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda

MEF - modeļa efektivitātes indekss

VR - dispersijas attiecība

R² - determinācijas indekss

N - parauglaikumu skaits

3.3. Caurmēra augšanas gaitas modelis

Analīzē audzes caurmēra izmaiņas tiek modelētas kā I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā krūšaugstuma caurmēra koka šķērslaukuma izmaiņas izmantojot 25. vienādojumu. Šī vienādojuma koeficientu vērtības aprēķinātas trīs sugām – priedei, eglei un bērzam (3.3.1. tabula).

3.3.1. tabula

Formulas 25 koeficientu vērtības

Suga	Koeficienti									
	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇	a ₈	a ₉	a ₁₀
Priede	-10,82891	1,25209	7,66504	-29,71842	3,23593	-0,00079	29,61321	0,94900	0,11086	0,38766
Egle	-0,30571	0,61304	25,73695	-34,00539	0,44752	0,00054	-8,89613	0,02038	-0,50476	0,35803
Bērzs	2,52029	1,56912	0,10129	87,77628	-0,56136	0,00034	-19,88674	1,63200	-0,73345	0,33392

Starp I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā krūšaugstuma caurmēram atbilstošā koka šķērslaukuma pieauguma uzmērītajām un pēc 25. vienādojuma aprēķinātajām vērtībām visām sugām konstatētas vidēji ciešas lineāras korelācijas (R=0,636-0,668). Vidējā novirze visām sugām ir 0, bet standartkļūda ir robežās no 0,45 līdz 0,66m, kas nevienai sugai nepārsniedz vairāk kā 20% no paraugkopas aritmētiski vidējās vērtības (3.3.2. tabula).

Formulas 25 statistiskie rādītāji

Suga	Vienādojumu statistiskie rādītāji							
	MRES	AMRES	RMSE	MSE	MEF	VR	R	N
Priede	0,000	0,440	0,664	0,439	1,327	0,921	0,640	361
Egle	0,000	0,332	0,451	0,202	0,554	0,446	0,668	167
Bērzs	0,000	0,452	0,630	0,396	0,596	0,404	0,636	247

MRES - vidējā novirze

AMRES - vidējā absolūtā novirze

RMSE - standartkļūda

MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda

MEF - modeļa efektivitātes indekss

VR - dispersijas attiecība

R - korelācijas koeficients

N - parauglaukumu skaits

Visām sugām 25. vienādojuma lineārās regresijas F-testa p-vērtība ir mazāka par 0,05, kas nozīmē, ka pie 95% ticamības ($\alpha=0,05$) izvēlētais lineārās regresijas modelis izskaidro I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā krūšaugstuma caurmēram atbilstošā koka šķērslaukuma pieaugumu (3.2.3. tabula). Tomēr katrai sugai ir atsevišķi parametri, kas pie ticamības 95% ir statistiski nebūtiski (p -vērtība $>0,05$), tā piemēram, visām sugām par statistiski nebūtiskiem parametriem var uzskatīt virsaugstumu (H_{dom}).

Formulas 25 parametru lineārās regresijas būtiskuma (p-vērtības) rādītāji

Suga	Kopā	Intercept	Ln H100	1 / Hdom	1 / Hdom ²	Ln Dg	Dg ²	1 / (Dg+0,1)	Ln cr	RDF	Thin
Priede	0,000	0,013	0,000	0,497	0,242	0,006	0,044	0,045	0,006	0,652	0,000
Egle	0,000	0,927	0,004	0,067	0,531	0,553	0,014	0,275	0,982	0,044	0,001
Bērzs	0,000	0,542	0,000	0,996	0,309	0,507	0,351	0,003	0,040	0,005	0,064

Aprēķinātais aritmētiski vidējais audzes I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā krūšaugstuma 5 gadu tekošais periodiskais pieaugums visām sugām ir mazāks nekā uzmērītais, bet pie ticamības intervāla 95% starpības nav uzskatāmas par būtiskām, jo tās ir mazākas par 1,96 standartkļūdām (3.3.4. tabula). Pie tam statistiski nebūtiskas atšķirības ir visām sugām visās vecuma un bonitātes grupās.

Audzes I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā krūšaugstuma caurmēra 5 gadu uzņēmā un aprēķinātais tekošais periodiskais pieaugums sadalījumā pa vecuma grupām un bonitātem

Suga	Zd	Vecuma grupa	Bonitātes															Kopā						
			Ia			I			II			III			IV			V			Vid	StEr	N	
			Vid	StEr	N	Vid	StEr	N	Vid	StEr	N	Vid	StEr	N	Vid	StEr	N	Vid	StEr	N				
Priede	Uzmērītais	21-40	1,99		1	2,16	0,39	12	2,10	0,28	7	1,51	0,26	5	2,74	0,45	2				2,06	0,20	27	
		41-60	1,65	0,12	21	1,56	0,16	20	1,49	0,14	16	1,33	0,23	7	1,13	0,30	4	1,07	0,48	5	1,49	0,08	73	
		61-80	1,81	0,23	16	1,70	0,19	34	1,69	0,34	31	1,01	0,11	12	1,38	0,31	6	0,96	0,24	7	1,57	0,13	106	
		81-100	0,57	0,45	2	1,39	0,15	24	1,09	0,07	27	1,21	0,37	8	0,93	0,08	5	0,57	0,06	9	1,11	0,07	75	
		101-120	0,63	0,38	3	0,84	0,08	10	0,95	0,14	14	1,69	0,48	17	0,84	0,12	6	0,51	0,11	9	1,05	0,15	59	
		120<				0,54		1	1,17	0,27	4	1,29	0,13	4	1,13	0,50	4	0,41	0,10	8	0,86	0,14	21	
	Kopā	1,59	0,12	43	1,56	0,10	101	1,40	0,12	99	1,37	0,17	53	1,20	0,14	27	0,66	0,09	38	1,37	0,05	361		
	Aprēķinātais	21-40	1,79		1	2,21	0,17	12	1,97	0,23	7	1,89	0,26	5	3,65	1,21	2				2,18	0,15	27	
		41-60	1,78	0,10	21	1,47	0,06	20	1,46	0,07	16	1,14	0,04	7	0,94	0,03	4	0,86	0,04	5	1,46	0,05	73	
		61-80	1,38	0,04	16	1,44	0,05	34	1,20	0,03	31	1,10	0,06	12	0,90	0,05	6	0,62	0,04	7	1,24	0,03	106	
		81-100	1,27	0,25	2	1,14	0,04	24	1,01	0,02	27	0,97	0,03	8	0,80	0,04	5	0,61	0,04	9	0,99	0,03	75	
		101-120	1,00	0,13	3	0,88	0,03	10	0,89	0,04	14	0,99	0,05	17	0,84	0,09	6	0,58	0,04	9	0,87	0,03	59	
120<					0,84		1	0,86	0,03	4	0,75	0,03	4	0,67	0,03	4	0,50	0,05	8	0,66	0,04	21		
Kopā	1,55	0,06	43	1,40	0,05	101	1,19	0,04	99	1,10	0,05	53	1,04	0,16	27	0,61	0,02	38	1,21	0,03	361			
Egle	Uzmērītais	21-40	2,07	0,20	26	2,49	0,30	18	2,24	0,29	12	2,75	0,41	11	3,74	0,48	4				2,40	0,15	71	
		41-60	1,36	0,21	9	1,70	0,23	17	1,66	0,24	9	1,18		1	3,88	1,18	2				1,71	0,16	38	
		61-80	1,81	0,19	10	1,40	0,20	7	1,26	0,23	9	1,88	0,26	3	0,78		1				1,52	0,12	30	
		80<	2,79	0,53	4	1,74	0,25	7	1,42	0,18	10	1,31	0,24	5	1,57	0,38	2				1,69	0,15	28	
		Kopā	1,94	0,15	49	1,95	0,15	49	1,69	0,13	40	2,18	0,27	20	2,96	0,51	9				1,97	0,08	167	
		Aprēķinātais	21-40	1,95	0,10	26	2,38	0,18	18	2,28	0,23	12	3,03	0,30	11	4,65	0,56	4				2,44	0,12	71
	41-60		1,52	0,05	9	1,65	0,08	17	1,48	0,08	9	1,66		1	2,92	0,45	2				1,65	0,07	38	
	61-80		1,69	0,15	10	1,58	0,11	7	1,55	0,13	9	1,34	0,09	3	1,76		1				1,59	0,07	30	
	80<		2,42	0,70	4	1,43	0,06	7	1,48	0,05	10	1,29	0,09	5	1,17	0,10	2				1,55	0,12	28	
	Kopā		1,86	0,09	49	1,88	0,09	49	1,73	0,09	40	2,27	0,25	20	3,17	0,57	9				1,95	0,07	167	
	Bērzs		Uzmērītais	11-30	2,51	0,29	27	2,21	0,38	5													2,46	0,25
		31-50		1,75	0,12	60	1,34	0,17	24	2,18	1,15	13	1,26	1,00	2	0,69	0,05	2				1,68	0,17	101
51-70		1,44		0,10	41	1,16	0,14	24	1,11	0,12	24	0,88	0,05	3	1,09	0,07	2				1,26	0,06	94	
70<		1,62		0,41	12	0,71	0,23	4	1,00	0,09	4										1,32	0,26	20	
Kopā		1,80		0,09	140	1,30	0,11	57	1,44	0,37	41	1,03	0,33	5	0,89	0,12	4				1,59	0,09	247	
Aprēķinātais		11-30		2,55	0,24	27	2,48	0,20	5														2,54	0,20
		31-50	1,59	0,05	60	1,32	0,06	24	1,24	0,07	13	1,31	0,27	2	0,94	0,27	2				1,47	0,04	101	
		51-70	1,24	0,04	41	1,12	0,05	24	0,99	0,03	24	0,80	0,08	3	0,94	0,11	2				1,12	0,02	94	
		70<	1,13	0,15	12	1,03	0,10	4	0,75	0,08	4										1,03	0,10	20	
		Kopā	1,63	0,07	140	1,32	0,06	57	1,05	0,04	41	1,00	0,16	5	0,94	0,12	4				1,44	0,04	247	

Zd - audzes I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā krūšaugstuma 5 gadu tekošais periodiskais pieaugums, cm

Vid - aritmētiski vidējais

StEr - standartkļūda

N - parauglaikumu skaits

3.4. Koku skaita izmaiņu un šķērslaukuma augšanas gaitas modelis

Atbilstoši iepriekš izstrādātai metodikai caurmēra pieaugums tiek aprēķināts izmantojot šķērslaukuma pieaugumu.

$$G_2 = G_1 N_2^{1-a_1 H_2^{a_2}} N_1^{a_1 H_2^{a_2} - 1} \left[\frac{H_2}{H_1} \right]^{a_3}$$

Koeficienti		Estimate					
		Estimate	Standard error	t-value df = 276	p-value	Lo. Conf Limit	Up. Conf Limit
a1	Priede	0.051814	0.009414	5.50399	0.000000	0.033282	0.070347
a2		0.671681	0.041522	16.17661	0.000000	0.589942	0.753421
a3		2.537334	0.110854	22.88894	0.000000	2.319106	2.755561
a1	Egle	0.057416	0.016580	3.46299	0.000715	0.024628	0.090204
a2		0.641219	0.066962	9.57589	0.000000	0.508798	0.773640
a3		2.571174	0.177157	14.51350	0.000000	2.220834	2.921514
a1	Bērzs	0.059766	0.012605	4.74153	0.000004	0.034893	0.084639
a2		0.648144	0.047788	13.56277	0.000000	0.553842	0.742445
a3		2.698243	0.172767	15.61782	0.000000	2.357321	3.039165

Secinājumi

1. Izstrādāts jauns vienādojums faktiskās audzes tekošā pieauguma aproksimācijai. Nepieciešamas palielināt parauglaukumu apjomu un precizēt koeficientus.
2. Izstrādāts jauns vienādojums atmiruma aproksimācijai, lai varētu ievērtēt arī bonitāšu ietekmi, kas pašreiz ne visām sugām ir statistiski būtiska.
3. Precizētas sakarības starp audzes vidējā kvadrātiskā caurmēra koku augstumu, virsaugstumu un valdaudzes augstumu. Aproksimācijas ir precīzākas nekā agrāk izstrādātie vienādojumi.
4. Izstrādāts augstuma un virsaugstuma pieauguma vienādojums, kurš balstīts uz vispārinātās algebriskās diferences pieeju, tādējādi augstuma pieaugumu var prognozēt zinot tikai audzes augstumu un vecumu, bet nav nepieciešama informācija par bonitāti.
5. Lai arī uz MSI datiem aproksimētie vienādojumi ir ar labākiem statistiskajiem rādītājiem, pagaidām iesakam izmantot aproksimētos J.Matuzāņa virsaugstuma bonitāšu skalas, jo tās ir konservatīvākas.
6. Caurmēra pieaugums aproksimēts kā funkcija no šķērslaukuma pieauguma, virsaugstuma bonitātes, vidējā kvadrātiskā caurmēra u.c. rādītājiem.
7. Koku skaita aproksimācijai precizēti iepriekš izstrādāto koeficientu vērtības.
8. Šķērslaukuma aproksimācija balstīta uz to pašu vienādojumu, kas izmantots caurmēra pieauguma aproksimācijai.

Literatūra

- Donis J. (projekta vad.), (2009) Latvijas meža resursu ilgtspējīgas, ekonomiski pamatotas izmantošanas un prognozēšanas modeļu izstrāde. Pārskats. 90 lpp: http://www.zm.gov.lv/doc_upl/2009_12.pdf – Resurss aprakstīts 2010. gada 25.maijā
- Czieszewski, C.J., Bailey, R.L. 2000. Generalized algebraic difference approach: Theory based derivations with polymorphism and variable asymptotes. For.Sci 46 (1) 115-126
- Liepa, I. (1996) Pieauguma mācība. Jelgava. 123 lpp.
- Liepa, I. (2008) Latvijas skujkoku mežu krājas pieaugums. LLU raksti, 20 (315), 2008, Jelgava, 46-52 lpp.
- Liepa, I. (2009) Krājas tekošā pieauguma noteikšanas kamerālā metode. Mežzinātne, 20(53), 2009, 60.-67. lpp.
- LR Ministru kabinets. Meža inventarizācijas un Meža valsts reģistra informācijas aprites noteikumi. Rīga. 2007.gada 28.augusta Noteikumi Nr.590: <http://www.likumi.lv/doc.php?id=162676&from=off> – Resurss aprakstīts 2010. gada 25.maijā
- LR Ministru kabinets. Meža likums. Rīga. 2000.gada 16. marts. <http://www.likumi.lv/doc.php?id=2825&from=off> – Resurss aprakstīts 2010. gada 25.maijā
- Matuzānis, J. (1975) Egļu audžu augšanas gaita. Apskats. Rīga, LRZTIPI, 1975, 64 lpp.
- Matuzānis, J., (1983) Audžu augšanas gaitas un produktivitātes modeļi. Apskats. Rīga, LatZTIZPI. 32 lpp.
- Ozols, J. 1926. Meža taksācija un mežierīcība. Rokas grāmata mežkopjiem. Rīga. Mežu departamenta izdevums. 173 lpp.
- Saceniņš, R., Matuzānis, J. (1964) Mežsaimniecības tabulas. Latvijas valsts izdevniecība, Rīga, 207 lpp.
- Sarma, P., (1948) Meža taksācija. Latvijas Valsts izdevniecība, Rīga, 590 lpp.
- Skudra, P. Dreimanis, A., (1993) Mežsaimniecības pamati. - R.: Zvaigzne. 262 lpp
- Spiecker, H. 1999. Overview of recent growth trends in European forests. Water Air and Soil Pollution. 116: 33-46.
- Антанайтис В. В., Загреев В. В., Прирост леса, М., 1981
- Анучин, Н.П. (1982) Лесная таксация . Москва, Лесная промышленность, 552 с.
- Матузанис, Я.К. (ред.) (1988) Нормативы для таксации леса Латвийской ССР, Рига. ст. 176.