

**Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”**



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

Līgums 5.5.-5.1./000p/120/10/5

Starpatskaite II  
(2.etaps)

Projekta vadītājs. J.Donis

Salaspils

2010

## Kopsavilkums

Atbilstoši metodikai otrajā posmā paredzēti sekojoši darba uzdevumi:

1.1. Koksnes pieauguma prognožu modeļu izstrāde, balstoties uz 1 gada MSI pārmērījuma datiem atbilstoši metodikai. MSI datu atlase un apstrāde. Iepriekš ievākto radiālo pieaugumu mērījumu veikšana. Atbilstošo vienādojumu izstrāde atbilstoši 1.1. etapā izstrādātajai metodikai.

Šī pētījuma vajadzībām ievadīti datorā 481 MSI parauglaukuma atkārtoto mērījumu dati (201 priežu, 96 egļu, 117 bērzu parauglaukumi) un aprēķināti visu meža elementu taksācijas rādītāji, kā arī atmiruma krāja. Parauglaukumu kopa nav veidota kā reprezentatīva ģenerālkopai – LVM mežiem, bet nodrošina plašu bonitāšu un vecumklašu pārstāvniecību paraugkopā. Veikta 4034 koksnes paraugu radiālo pieaugumu mērījumi. 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.

Konstatēts, ka parauglaukumu aritmētiskā vidējā krājas diference P, B ir pozitīva, savukārt egļu audzēs – negatīva. Tas visticamākais ir saistīts ar 2005.g. vētru. Sugu ietvaros nav būtiskas atšķirības starp dažādām bonitātēm, bet ir būtiskas atšķirības starp dažādām vecuma grupām.

Krājas tekošais pilnais periodiskais (5 gadu) pieaugums vislielākais paraugkopā ir egļu audzēs ( $+26,1 \pm 2,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), bet mazākais bērzu parauglaukumos ( $18,9 \pm 1,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). Vislielākie pieaugumi visām sugām, konstatēti jaunaudzēs, un tie ir statistiski būtiski atšķirīgi no pieaugušu un pāraugušu audžu pieaugumiem. Atšķirības būtiskas arī starp dažādām bonitātēm.

Krājas tekošais faktiskais periodiskais pieaugums kopumā ir līdzīgs vai nedaudz lielāks nekā krājas tekošais pilnais periodiskais pieaugums.

Pēc gadskārtu urbuma skaidām aprēķinātie faktiskās audzes krājas reducētā tekošā potenciālā periodiskā pieauguma lielumi (Liepa, 1996) salīdzināti ar I. Liepas (2008., 2009.) izstrādāto izlīdzināto faktiskās audzes krājas reducēto tekošo potenciālo pieaugumu. Priedei kopumā, bet it īpaši zemākajās bonitātēs parauglaukumos, pēc urbuma skaidām konstatētais pieaugums ir lielāks nekā pēc izlīdzinātās līknes aprēķinātais. Savukārt E un B izlīdzinātās līknes vērtības ir augstākas nekā pēc urbumu skaitām aprēķinātās.

1.2. Augšanas gaitas prognožu modeļu izstrāde, balstoties uz 1 gada pārmērījuma datiem (sugām - priede, egle, bērzs). MSI datu atlase un apstrāde. Atbilstošo vienādojumu izstrāde atbilstoši 1.2. etapā izstrādātajai metodikai.

Salīdzinātas sekojošu lielumu izmaiņas:

Augstuma pieaugumi (I stāva valdošajai sugai) salīdzinot reālos augstuma pieaugumus ar pēc vienreiz uzmērīto parauglaukumu datiem prognozētajiem augstuma pieaugumiem Orlova bonitāšu skalas ietvaros, meža tipa ietvaros (Donis, 2009), augstuma pieaugumu, kas prognozēts pēc I. Liepas (1996) vienādojuma. Aproximētas sakarības starp audzes vidējo augstumu, valdaudzes augstumu un virsaugstumu.

Aproximētas koku skaita izmaiņas parauglaukumos, kuros nav konstatēta koku ciršana vai masveida koku bojāeja (atmirums < 20%).

Aproximēts caurmēra pieauguma vienādojums.

Pārbaudīta šķērslaukuma pieauguma vienādojuma atbilstība reālajām izmaiņām pārmērītājos parauglaukumos.

Konstatēts, ka faktiskie augstuma pieaugumi kā priedei, tā arī eglei un bērzam ir lielāki nekā prognozēts pēc aproksimētajiem augstumiem pēc Orlova bonitāšu skalām vienreiz uzņēmītos MSI parauglaukumos (Donis, 2009), t.i., koki auguši straujāk nekā tas tiek prognozēts. Augstuma pieaugumi pēc I.Liepas (1996) vienādojuma paraugkopai neatšķiras būtiski no faktiski konstatētā, taču skuju kokiem visās bonitātēs uzrāda sistemātiski zemākas vērtības.

Pārbaudāmie vienādojumi precīzāk atspoguļo sakarību starp vidējo augstumu, valdaudzes augstumu un virsaugstumu nekā agrākajos gados izstrādātie.

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 modeli.

### **Rekomendācijas**

Tā kā pēc izlīdzināta vienādojuma reducētā pieauguma maksimumu sugas ietvaros neatkarīgi no bonitātēs sasniedz vienā un tajā pašā vecumā, bet teorētiski apsvērumi liecina, ka vismaz priedei ir dažādas tekošā pieauguma standarta rindas, būtu nepieciešams pārbaudīt vai nav kāds labāks aproksimācijas vienādojums.

Pašreiz par piesardzīgām vērtējamās prognozes augstuma pieauguma noteikšanai, kas balstītas uz Ričarda-Čapmana funkciju (Donis, 2009). Nepieciešams pilnveidot modeli vai izstrādāt jaunu bonitāšu skalu.

Caurmēra, koku skaita izmaiņu modeļu vienādojumu parametru aproksimācijai nepieciešams palielināt parauglaukumu skaitu, kā arī pārbaudīt izvēlētos modeļus uz neatkarīgu parauglaukumu datiem.

# Saturs

<b>KOPSAVILKUMS .....</b>	<b>2</b>
<b>IEVADS.....</b>	<b>5</b>
<b>1. DEFINĪCIJAS UN TERMINI.....</b>	<b>6</b>
<b>2. MATERIĀLS UN METODIKA.....</b>	<b>8</b>
2.1. KOKSNES PIEAUGUMA PROGNOŽU MODEĻU IZSTRĀDE.....	8
2.1.1. <i>Gadskārtu platumu mērījumi .....</i>	8
2.1.2. <i>MSI datu atlase un apstrāde .....</i>	8
2.1.3. <i>Audzēs krājas pieauguma veidi un to statistisko parametru aprēķins.....</i>	9
2.2. AUGŠANAS GAITAS PROGNOŽU MODEĻU IZSTRĀDE .....	12
2.2.1. <i>MSI datu atlase un apstrāde .....</i>	12
2.2.2. <i>Vienādojumu parametru aprēķins.....</i>	12
<b>3. REZULTĀTI .....</b>	<b>16</b>
3.1. KOKSNES PIEAUGUMA PROGNOŽU MODEĻU IZSTRĀDE.....	16
3.1.1. <i>Krājas tekošā periodiskā diference.....</i>	16
3.1.2. <i>Krājas tekošais pilnais periodiskais pieaugums .....</i>	16
3.1.3. <i>Krājas tekošais faktiskais periodiskais pieaugums .....</i>	17
3.1.4. <i>Faktiskās audzes krājas reducētā tekošā potenciālā periodiskā pieauguma aproksimācija.....</i>	22
3.2. AUGŠANAS GAITAS PROGNOŽU MODEĻU IZSTRĀDE .....	27
3.2.1. <i>Augstuma pieaugums .....</i>	27
3.2.3. <i>Koku skaita izmaiņas .....</i>	37
3.2.4. <i>Caurmēra pieaugums.....</i>	42
3.2.4. <i>Šķērslaukuma pieaugums.....</i>	45
<b>SECINĀJUMI.....</b>	<b>46</b>
<b>LITERATŪRA .....</b>	<b>47</b>

## 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, Saceniņš, 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 diference 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 modelēšanai dažādu mežsaimniecisko darbību alternatīvu ietekmē, kas ir pamats saimniecisko lēmumu (gan stratēģiskajā, gan taktiskajā līmenī) pieņemšanai. Līdz šim Latvijā lietotie modeļi pamatā ir balstīti uz vienreiz uzmērītu parauglaukumu datu bāzes, kas ierobežo ilglaicīgu prognožu izstrādi.

Otrajā posmā definēti sekojoši darba uzdevumi:

1. Koksnes pieauguma prognožu modeļu izstrāde, balstoties uz 1 gada MSI pārmērījuma datiem atbilstoši metodikai. MSI datu atlase un apstrāde. Iepriekš ievākto radiālo pieaugumu mērījumu veikšana. Atbilstošo vienādojumu izstrāde atbilstoši 1.1. etapā izstrādātajai metodikai.
2. Augšanas gaitas prognožu modeļu izstrāde, balstoties uz 1 gada pārmērījuma datiem (sugām - priede, egle, bērzs). MSI datu atlase un apstrāde. Atbilstošo vienādojumu izstrāde atbilstoši 1.2. etapā izstrādātajai metodikai.

# 1. Definīcijas un termini

Šajā pārskatā apkopotas tās definīcijas un termini, kas izmantoti vienādojumu izstrādē (N.B! Tie var atšķirties no normatīvajos aktos noteiktajiem). Literatūrā un normatīvajos aktos dotais definīciju un terminu plašāks uzskaitījums dots projekta pirmā posma starpatskaitē.

## *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 mežaudzē 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 - virsvaldkoki – 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.

## 2. Materiāls un metodika

### 2.1. Koksnes pieauguma prognožu modeļu izstrāde

#### 2.1.1. Gadskārtu platumu mērījumi

2009. gadā uzmērītajos 444 MSI parauglaukumos MAF projekta „Latvijas meža resursu ilgtspējīgas, ekonomiski pamatotas izmantošanas prognozēšanas modeļu izstrāde” ietvaros ar Preslera svārpstu iegūti koksnes paraugi koku radiālā pieauguma noteikšanai.

Radiālā pieauguma mērījumi 2010. gadā veikti 4034 koksnes paraugiem (priedes – 1225; egles – 1203; bērzi – 913; citi (A; Ba; Os; Oz) - 693), no kuriem 3383 ir I stāva koki (priedes – 1208; egles – 707; bērzi – 844, citi – 624).

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

#### 2.1.2. MSI datu atlase un apstrāde

Datorprogrammā MS Excel 2007 ievadīti dati par 481 MSI 2009. gadā atkārtoti uzmērīto parauglaukumu (priežu audzes – 201; egļu audzes – 96; bērzu audzes – 117; citas audzes – 67), aprēķināti šo parauglaukumu katra meža elementa gan 2004. gada, gan 2009. gada taksācijas rādītāji atbilstoši MSI metodikai tajā skaitā atmiruma krāja. Parauglaukumi šajā posmā atlasīti galvenokārt no mežainākajos rajonos esošajiem parauglaukumiem bez nolūka reprezentēt ģenerālkopu - LVM mežus kopumā, bet gan iespējami plašu bonitāšu un vecumklašu pārstāvniecību paraugkopā. To sadalījums pa valdošajām sugām, meža tipiēm, bonitātēm un vecuma desmitgadēm atspoguļots 1.1.-1.3. tabulās.

1.1. tabula

**Parauglaukumu sadalījums pa valdošajām sugām un vecuma desmitgadēm**

Vecuma 10-gade	Istāva valdošā koku suga							Kopā
	P	E	B	M	A	Ba	Citas	
1	12		8	1	9	1		31
2	3	3	7	1	1	2	1	18
3	5	11	9	1	1	5	1	33
4	9	19	17			8	1	54
5	13	11	23	5	4	2	1	59
6	24	11	19	1	5		1	61
7	29	10	23	5	3		2	72
8	22	10	7	2	1			42
9	20	10	2					32
10	21	1	1					23
11	20	3	1				1	25
12	10	4			1			15
12<	13	3						16
<b>Kopā</b>	<b>201</b>	<b>96</b>	<b>117</b>	<b>16</b>	<b>25</b>	<b>18</b>	<b>8</b>	<b>481</b>



1.2. tabula

**Parauglaukumu sadalījums pa valdošajām sugām un meža tiptiem**

Meža tips	I stāva valdošā koku suga							Kopā
	P	E	B	M	A	Ba	Citas	
Sl	10							10
Mr	27		2					29
Ln	29	1						30
Dm	53	16	9		2	1		81
Vr	2	29	26	1	12	12	4	86
Gr		4	4		2	1	1	12
Gs			1					1
Mrs	10	1	4					15
Dms	6	7	2					15
Vrs		6	6		1	1	1	15
Grs			2					2
Pv	14							14
Nd	7	1	9		1			18
Db	1		4	3			1	9
Lk			1	2				3
Av								0
Am	6							6
As	6	19	21	3	5	1		55
Ap	1	2	7	2	2	2	1	17
Kv								0
Km	16	1	5					22
Ks	13	4	10	1				28
Kp		5	4	4				13
<b>Kopā</b>	<b>201</b>	<b>96</b>	<b>117</b>	<b>16</b>	<b>25</b>	<b>18</b>	<b>8</b>	<b>481</b>

1.3. tabula

**Parauglaukumu sadalījums pa valdošajām sugām un bonitātēm**

Bonitāte	I stāva valdošā koku suga							Kopā
	P	E	B	M	A	Ba	Citas	
Ia	24	24	59	8	15	14	1	145
I	63	33	28	7	10	3	3	147
II	52	25	21				4	102
III	36	12	4	1		1		54
IV	11	1	5					17
V	6	1						7
VI	9							9
<b>Kopā</b>	<b>201</b>	<b>96</b>	<b>117</b>	<b>16</b>	<b>25</b>	<b>18</b>	<b>8</b>	<b>481</b>

**2.1.3. Audzes krājas pieauguma veidi un to statistisko parametru aprēķins**

Analīzē izmanto datus par 283 atkārtoti pārmērītajiem MSI (meža statistiskā inventarizācija) parauglaukumiem, kuros valdošā koku suga ir priede (146 parauglaukumi), egļe (69) un bērzs (68) un kuros audzes vecums pirmajā uzmērīšanas reizē 2004. gadā ir lielāks par 10 gadiem. Analīzē aprēķināts un salīdzināts tikai I stāva valdošās koku sugas krājas pieaugums, sadalījumā pa vecuma grupām un bonitātēm (izmantotas tikai tās bonitātes, kurās atbilstošajai sugai ir vismaz 9 parauglaukumi). 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.

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), analizē izmanto tikai tos kokus, kas konstatēti 2004. gada uzmērīšanā, un to reprezentācijas klases nemaina.

Parauglaukumiem, aprēķināti sekojoši krājas (stumburu tilpumu) pieaugumi:

**Tekošā periodiskā diference**

$$\Delta_M^p = M_A - M_{A-n}, \tag{1}$$

$M_A$  - 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**

$$\Delta_M^{vp} = \frac{M_A - M_{A-n}}{n} \tag{2}$$

**Tekošais pilnais periodiskais pieaugums**

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

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

**Tekošais pilnais vidēji periodiskais pieaugums**

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

**Tekošais faktiskais periodiskais pieaugums**

$$Z_{Mf}^p = M_A - m_{A-n} \tag{5}$$

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

**Tekošais faktiskais vidēji periodiskais pieaugums**

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

**Faktiskās (audzes) tekošais potenciālais vidēji periodiskais pieaugums**

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

$\psi; \alpha; \beta; \varphi - z$  – 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.

Aprēķināto pieaugumu vidējos lielumus un to atšķirības dažāda vecuma grupu audzēm novērtē izmantojot vienfaktora dispersijas analīzi datorprogrammā SPSS14. Atšķirības starp gradācijas klasēm aprēķinātas izmantojot Games-Howell testu.

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,  $m^3$  (x.1.7. formula);

$G$  – audzes krūšaugstuma šķērslaukums,  $m^2$ .

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

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

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

$A$  – 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).

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)  $VR = \frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}$ ; (16)

- Determinācijas indekss ( $R^2$ ).

Formulās 11. – 16. izmantotie apzīmējumi:

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

## 2.2. Augšanas gaitas prognožu modeļu izstrāde

### 2.2.1. MSI datu atlase un apstrāde

Izmantotais datu apjoms un raksturojošie rādītāji atspoguļoti 2.1.2. nodaļā.

### 2.2.2. Vienādojumu parametru aprēķins

#### 2.2.2.1. Augstuma pieauguma vienādojumu parametru aprēķins

Analīzē izmanto tikai tos MSI parauglaukumus, kuros:

- abos gados sakrīt valdošā koku suga;
- abos gados koku augstumi mērīti vismaz sešiem valdošās koku sugas I stāva kokiem;
- uzmērītā augstuma starpība ir lielāka nekā 0m.

Kopā izmantoti dati par 163 MSI parauglaukumiem, no kuriem priežu audzēs ir 90 parauglaukumi, egļu audzēs 34, bērzu audzēs – 39.

Augstuma pieauguma analīzē izmanto datus par I stāva valdošās koku sugas augstuma izmaiņām.

Veikts reālā augstuma pieauguma salīdzinājums ar:

- 1) vienreiz uzmērīto MSI parauglaukumu I stāva valdošās koku sugas augstuma atbilstības Orlova bonitāšu skalai aproksimācija ar Ričardsa-Čapmana funkciju (Donis, 2009);
- 2) vienreiz uzmērīto MSI parauglaukumu I stāva valdošās koku sugas augstumlīkņu dažādos meža tipos aproksimācijas modelis ar Ričardsa-Čapmana funkciju (Donis, 2009);
- 3) Liepas izstrādāto augstuma pieauguma vienādojumu (Liepa, 1996);

$$Z_H = \frac{2iH(aD+b)}{cD+100}; \quad (17)$$

$D$  – koku caurmērs, cm;

$i$  – 5 gadu radiālais pieaugums;

$H$  koka augstums;

$a, b, c$  – no koku sugas atkarīgi koeficienti.

### Sakarības starp audzes vidējo augstumu, valdaudzes augstumu un virsaugstumu

Analīzē izmanto datus par 340 MSI parauglaukumiem, kuros valdošā koku suga ir priede (167 parauglaukumi), egle (67) un bērzs (96). Meža elementa augstumlīknes aprēķina pēc prof. R.Ozoliņa algoritma (Ozoliņš, 1997). Salīdzina uzmērīto  $H_g$  ar aprēķinātajām vērtībām pēc J. Matuzāņa izstrādātajiem vienādojumiem (Matuzānis, 1983 un Matuzānis, 1986):

$$H_g = a_1 + a_2 H_{dom} + a_3 H_{dom}^2 + a_4 H_{100} \quad (18)$$

$a_1; a_2; a_3; a_4$  – atbilstošās sugas koeficienti;

$H_g$  – vidējais augstums;

$H_{dom}$  – virsaugstums (100 uz hektāra resnāko koku augstums);

$H_{100}$  – virsaugstuma bonitāte (Matuzānis, 1983).

$$H_g = a_1 + a_2 H_{dom} + a_3 H_{dom}^2 \quad (19)$$

$a_1; a_2; a_3$  – atbilstošās sugas koeficienti;

$H_g$  – vidējais augstums;

$H_{dom}$  – virsaugstums (100 uz hektāra resnāko koku augstums) (Matuzānis, 1986).

Aproksimēti sekojoši vienādojumi:

$$H_g = a_1 H_{dom}^{a_2} N^{a_3} \quad (20)$$

$a_1; a_2; a_3$  – atbilstošās sugas koeficienti;

$H_g$  – audzes vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošs augstums;

$H_{dom}$  – virsaugstums (100 uz hektāra resnāko koku augstums);

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

$$H_{vald} = a_1 H_{dom}^{a_2} N^{a_3} \quad (21)$$

$a_1; a_2; a_3$  – atbilstošās sugas koeficienti,

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

$H_{dom}$  – virsaugstums (100 uz hektāra resnāko koku augstums);

$N$  – valdošās koku sugas valdaudzes koku skaits uz hektāra.

### 2.2.2.2. Koku skaita izmaiņu vienādojumu parametru aprēķins

Datu analīzē (22. un 23. formula) izmanto datus par MSI 2009. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- parauglaukumā valdošā koku suga ir priede, egļe 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), analīzē izmanto tikai tos kokus, kas konstatēti 2004. gada uzmērīšanā, un to reprezentācijas klases nemaina.

Analīzē pašizretināšanās lielums modelēts I stāva kokiem izmantojot sekojošus vienādojumus:

$$N_{Gmax} = \frac{\beta_0}{\alpha_0} (2\beta_0)^{\frac{\alpha_1-1}{\beta_1}} D_{Gmax}^{\frac{\alpha_1-1}{\beta_1}} \quad (22)$$

$N_{Gmax}$  - 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.

$$N_2 = \left[ N_1^a + \left( b + \frac{c}{H_{100}} \right) \left( \left( \frac{t_2}{10} \right)^d - \left( \frac{t_1}{10} \right)^d \right) \right]^{\frac{1}{a}} \quad (23)$$

$N_1$  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 22. vienādojumam aprēķina pēc sekojošas formulas:

$$D_g = \frac{1}{\alpha_0 H^{a_1} N + \beta_0 H^{\beta_1}} \quad (24)$$

$D_g$  - 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 24. 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 (22 un 23) statistiskie rādītāji aprēķināti atbilstoši 11.- 16. vienādojumam.

### 2.2.2.3. Caurmēra pieauguma vienādojumu parametru aprēķins

Datu analīzē izmanto datus par 305 MSI 2009. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- parauglaukumā valdošā koku suga ir priede (162 parauglaukumi), egle (62) vai bērzs(81);
- parauglaukumā nav veikta kailcirte;
- I stāva valdošās koku sugas nav mainījusies;
- I stāva valdošās koku sugas uzmērītais vidējais kvadrātiskais caurmērs 2009. gadā ir lielāks vai vienāds ar 2004. gadā uzmērīto;
- I stāva valdošās koku sugas koku skaits uz hektāra ir 100 vai vairāk koki.

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:

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

$z_g$  – 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

Audzēs 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.

#### 2.2.2.4. Šķērslaukuma pieauguma vienādojumu parametru aprēķins

Datu analīzē izmanto datus par 255 MSI 2009. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuri vienlaicīgi atbilst 2.2.2.2. un 2.2.2.3. punktā aprakstītajiem nosacījumiem. Kopā izmantoti dati par 139 priežu audzēm, 46 egļu audzēm un 70 bērzu audzēm.

Nākošā perioda šķērslaukuma aprēķina kā funkciju no nākošā perioda audzes I stāva vidējā kvadrātiskā caurmēra un I stāva koku skaita pēc sekojoša vienādojuma:

$$G = \frac{\pi D^2 N}{4000} \quad (29)$$

Nākošā perioda audzes I stāva vidējā kvadrātiskā caurmēra un I stāva koku skaita aprēķināšanas modeļi aproksimēti iepriekšējās sadaļās.

### 3. Rezultāti

#### 3.1. Koksnes pieauguma prognožu modeļu izstrāde

##### 3.1.1. Krājas tekošā periodiskā diference

Analizētajos parauglaukumos aritmētiski vidējā krājas tekošā periodiskā diference (5 gadu periodam) priežu audzēs ir  $+9,7 \pm 3,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  ( $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ ), egļu audzēs -  $-13,3 \pm 9,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , bērzu audzēs -  $+1,0 \pm 6,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (3.1.1. tabula).

Negatīva aritmētiski vidējā krājas diference priežu audzēs ir sākot ar vecuma grupu virs 80 gadiem (briestaudzēs un pieaugušas audzes), egļu un bērzu audzēm jau sākot ar vecuma grupu virs 40 gadiem (vidēja vecuma audzes un vecākas). Pieaugušajās un pāraugušajās audzēs negatīvā krājas diference izskaidrojama galvenokārt ar saimniecisko darbību (galvenās cirtes veikšana), bet vidēja vecuma audzēs negatīvā krājas diference galvenokārt ir 2005. gada vētras rezultāts, protams, negatīvā krājas diference ir arī pēc krājas kopšanu cirtēm.

Veicot dispersijas analīzi, konstatēts, ka paraugkopā statistiski būtiskas (šeit un turpmāk, ja nav norādīts citādi, būtiskuma līmenis  $\alpha=0,05$ ) ir atšķirības gan priedei, gan eglei ir starp jaunaudzēm un pieaugušām, pāraugušām audzēm (atbilstoši Games-Howell testam būtiskums ir 0,009 un 0,003), savukārt bērzam atšķirības starp vecuma gradācijas klasēm nav būtiskas (3.1.3. – 3.1.5. tabula).

Priežu audzēs aritmētiski vidējā krājas tekošā periodiskā diference Ia - IV bonitātēs audzēs savstarpēji ir vienas standartklūdas robežās, bet V bonitātes audzēs krājas tekošā periodiskā diference vairāk nekā par vienu standartklūdu atšķiras tikai no I bonitātes audzēm. Egļu audzēs pozitīva aritmētiski vidējā krājas tekošā periodiskā diference ir tikai Ia bonitātes audzēs. Ia bonitātes audzēm aritmētiski vidējā tekošā periodiskā krājas diference atšķiras vairāk par vienu standartklūdu no zemākas bonitātes audzēm, bet zemākas bonitātes audzēs šī aritmētiski vidējā krājas diference ir vienas standartklūdas robežās. Bērzu audzēs visās analizētajās bonitātēs (Ia-II) aritmētiski vidējā tekošā periodiskā krājas diference savstarpēji atšķiras mazāk nekā par vienu standartklūdu, bet pozitīva tā ir tikai I bonitātes audzēs (3.1.2. tabula). Dispersijas analīze parādīja, ka nav būtisku atšķirību starp bonitāšu grupām nevienai no 3 sugām (3.1.6.-3.1.8 tabula).

##### 3.1.2. Krājas tekošais pilnais periodiskais pieaugums

Aritmētiski vidējais krājas tekošais pilnais periodiskais pieaugums priežu audzēs ir  $+22,7 \pm 1,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , egļu audzēs -  $+26,1 \pm 2,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , bērzu audzēs -  $+18,9 \pm 1,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (3.1.1. tabula).

Priežu audzēs visaugstākais aritmētiski vidējais krājas tekošais pilnais periodiskais pieaugums ir jaunaudzēs ( $37,6 \pm 5,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), bet viszemākais pieaugušās audzēs ( $14,3 \pm 1,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), un no pārējām vecuma klasēm tie atšķiras vairāk nekā par vienu standartklūdu. Pārējām vecuma grupām priežu audzēs šis pieauguma rādītājs savstarpēji neatšķiras vairāk nekā par vienu standartklūdu. Egļu audzēs aritmētiski vidējais krājas tekošais pilnais periodiskais pieaugums vecuma grupās līdz 60 gadiem ir  $33,8 \pm 3,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (audzes vecums 11-40 gadi) un  $32,5 \pm 4,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (41-60), kas savstarpēji ir vienas standartklūdas robežās, bet abas šīs grupas no vecākajām audzēm atšķiras vairāk nekā par vienu standartklūdu. Abās vecākajās audžu grupās aritmētiski vidējie krājas tekošie pilnie periodiskie pieaugumi savstarpēji ir vienas standartklūdas robežās, lai gan vecuma grupā no 61 līdz 80 gadiem šis rādītājs ir par  $6,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  lielāks nekā audzēs virs 80 gadiem (attiecīgi  $18,9 \pm 5,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$   $10,2 \pm 2,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). Bērzu audzēs aritmētiski vidējais krājas tekošais pilnais



periodiskais pieaugums vislielākais ir audzes vecuma grupā līdz 40 gadiem ( $23,0 \pm 3,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). Šīs vecuma grupas aritmētiski vidējais krājas tekošais pilnais periodiskais pieaugums no vecuma grupas 41-60 gadi ( $17,5 \pm 2,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) atšķiras mazāk nekā par vienu standartklūdu, bet no vecuma grupas virs 60 gadiem ( $15,3 \pm 3,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) atšķirība ir lielāka par vienu standartklūdu. Abas vecākās grupas bērzu audzēs savstarpēji ir vienas standartklūdas robežās (3.1.1. tabula un 3.1.1. attēls).

Dispersijas analīzē priežu audzēs statistiski būtiskas atšķirības konstatētas starp jaunaudzēm un briaudzēm (būtiskums 0,047) un pieaugušām audzēm (0,005), kā arī starp pieaugušām audzēm un vidēja vecuma audzēm (0,026 un 0,004). Egļu audzēs būtiskas atšķirības ir starp pieaugušām audzēm un jaunaudzēm (0,000) un vidēja vecuma audzēm (0,001), bet bērzu audzēs būtiskas atšķirības starp vecuma grupām nav konstatētas (3.1.3.-3.1.5 tabula).

Priežu audzēs aritmētiski vidējais krājas tekošais pilnais periodiskais pieaugums Ia - II bonitātē ir vienas standartklūdas robežās un mainās no 24,7 līdz  $27,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Arī III un IV bonitātē šis krājas pieauguma rādītājs ir vienas standartklūdas robežās, un atšķiras vairāk nekā par vienu standartklūdu no I un II bonitātes audzēm. Savukārt V bonitātes audzēs šis krājas pieauguma rādītājs ir aptuveni 4 reizes mazāks nekā Ia – II bonitātes audzēm un aptuveni 3 reizes mazāks nekā III-IV bonitātes audzēm, un no visām pārējām bonitātēm atšķirība ir lielāka par vienu standartklūdu (3.1.2. tabula).

Dispersijas analīzē priežu audzēs statistiski būtiskas atšķirības konstatētas starp V bonitātes audzēm un Ia (būtiskums 0,001); I (0,000); II (0,000) un III (0,019) bonitātes audzēm, bet bērzu audzēs starp Ia un II bonitātes audzēm (0,000). Savukārt egļu audzēs būtiskas atšķirības starp bonitātēm nav konstatētas (3.1.6.-3.1.8. tabula).

### 3.1.3. Krājas tekošais faktiskais periodiskais pieaugums

Aritmētiski vidējais krājas tekošais faktiskais periodiskais pieaugums priežu audzēs ir  $+23,2 \pm 1,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , egļu audzēs -  $+26,1 \pm 2,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , bērzu audzēs -  $+19,3 \pm 1,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (3.1.1. tabula).

Sakarības starp aritmētiski vidējo krājas tekošo faktisko periodisko pieaugumu un audzes vecumu (vecuma grupas), kā arī ar audzes bonitāti ir tādas pašas kā krājas tekošajam pilnajam periodiskajam pieaugumam (3.1.1.- 3.1.8. tabula).

#### **Krājas tekošā faktiskā vidēji periodiskā pieauguma salīdzinājums ar faktiskās audzes tekošo potenciālo vidēji periodisko pieaugumu**

Šajā analīzē kā faktisko krājas pieaugumu izmanto krājas tekošo faktisko vidēji periodisko pieaugumu (6. formula). Kā prognozētais krājas pieaugums ir izmantots faktiskās audzes krājas tekošais potenciālais vidēji periodiskais pieaugums, kas aprēķināts pēc 7. formulas (Liepa, 1996), balstoties uz MSI 2004. gada datiem.

Aritmētiski vidējais krājas faktiskais un prognozētais pieaugums priežu audzēs attiecīgi ir  $4,6 \pm 0,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  un  $6,6 \pm 0,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , egļu audzēs -  $5,2 \pm 0,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  un  $7,0 \pm 0,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  un bērzu audzēs -  $3,9 \pm 0,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  un  $5,1 \pm 0,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (3.1.1. tabula).

Priežu audzēs aritmētiski vidējais faktiskais krājas pieaugums visās vecuma grupās ir mazāks nekā aritmētiski vidējais prognozētais krājas pieaugums, un visās vecuma grupās, izņemot vecuma grupu līdz 40 gadiem, šo rādītāju atšķirība ir lielāka par vienu standartklūdu. Egļu audzēs aritmētiski vidējais faktiskais krājas pieaugums vecuma grupā līdz 40 gadiem ir lielāks nekā aritmētiski vidējais prognozētais krājas pieaugums, bet abas šīs vērtības ir vienas standartklūdas robežās. Vecākajās egļu audzēs aritmētiski vidējais faktiskais krājas pieaugums ir vairāk nekā par vienu standartklūdu mazāks nekā aritmētiski vidējais prognozētais krājas pieaugums. Bērzu audzēs sakarības ir līdzīgas kā iepriekšējām sugām - audzes vecumā līdz 40 gadiem faktiskais un prognozētais krājas pieaugums neatšķiras, bet

vecākajās audzēs prognozētais krājas pieaugums ir vairāk nekā par vienu standartklūdu lielāks nekā faktiskais (3.1.1. tabula).

Priežu audzēs visās bonitātēs aritmētiski vidējais faktiskais krājas pieaugums ir mazāks nekā aritmētiski vidējais prognozētais krājas pieaugums. Augstākajās bonitātēs atšķirība starp faktisko un prognozēto krājas pieaugumu ir lielāka nekā zemākajās bonitātēs, pie tam Ia-II bonitāšu audzēs atšķirība ir lielāka par vienu standartklūdu. Egļu audzēs visās analizētajās bonitātēs aritmētiski vidējais faktiskais krājas pieaugums ir mazāks nekā aritmētiski vidējais prognozētais krājas pieaugums, pie tam visās bonitātēs atšķirība ir lielāka par vienu standartklūdu. Bērzu audzēs arī visās analizētajās bonitātēs aritmētiski vidējais faktiskais krājas pieaugums ir mazāks par aritmētiski vidējo prognozēto krājas pieaugumu. Šo abu rādītāju atšķirība Ia un II bonitātē ir lielāka par vienu standartklūdu, bet I bonitātē starpība ir mazāka par vienu standartklūdu (3.1.2. tabula).

3.1.1. tabula

**Audzēs I stāva valdošās koku sugas krājas izmaiņas un pieaugums atkarībā no valdošās koku sugas un vecuma grupas**

Suga	Audzes vecums	PL skaits	Krājas pieauguma veids													
			$\Delta^p_M$		$\Delta^{vp}_M$		$Z^p_{Mp}$		$Z^{vp}_{Mp}$		$Z^p_{Mf}$		$Z^{vp}_{Mf}$		$Z_M$	
			$\bar{x}$	$s_{x^-}$	$\bar{x}$	$s_{x^-}$	$\bar{x}$	$s_{x^-}$	$\bar{x}$	$s_{x^-}$	$\bar{x}$	$s_{x^-}$	$\bar{x}$	$s_{x^-}$	$\bar{x}$	$s_{x^-}$
Priede	11-40	12	32,7	4,8	6,5	1,0	37,6	5,0	7,5	1,0	37,0	4,9	7,4	1,0	7,7	1,6
	41-60	29	14,3	4,5	2,9	0,9	24,7	2,8	4,9	0,6	26,0	2,6	5,2	0,5	7,5	0,9
	61-80	41	17,2	3,6	3,4	0,7	25,7	2,4	5,1	0,5	26,0	2,4	5,2	0,5	7,0	0,6
	81-100	32	-1,6	12,3	-0,3	2,5	19,9	3,1	4,0	0,6	20,6	3,1	4,1	0,6	6,6	0,8
	101-160	32	-1,4	8,4	-0,3	1,7	14,3	1,9	2,9	0,4	14,5	1,9	2,9	0,4	4,7	0,5
<b>Kopā</b>	<b>146</b>	<b>9,7</b>	<b>3,6</b>	<b>1,9</b>	<b>0,7</b>	<b>22,7</b>	<b>1,3</b>	<b>4,5</b>	<b>0,3</b>	<b>23,2</b>	<b>1,3</b>	<b>4,6</b>	<b>0,3</b>	<b>6,6</b>	<b>0,3</b>	
Egļe	11-40	26	29,2	4,5	5,8	0,9	33,8	3,6	6,8	0,7	34,3	3,5	6,9	0,7	6,2	1,2
	41-60	17	-6,5	16,9	-1,3	3,4	32,5	4,5	6,5	0,9	32,0	4,4	6,4	0,9	10,2	1,2
	61-80	12	-30,2	23,4	-6,0	4,7	18,9	5,9	3,8	1,2	18,3	5,7	3,7	1,1	6,9	1,4
	81-160	14	-85,9	25,2	-17,2	5,0	10,2	2,6	2,0	0,5	10,4	2,8	2,1	0,6	4,5	0,9
	<b>Kopā</b>	<b>69</b>	<b>-13,3</b>	<b>9,3</b>	<b>-2,7</b>	<b>1,9</b>	<b>26,1</b>	<b>2,4</b>	<b>5,2</b>	<b>0,5</b>	<b>26,1</b>	<b>2,3</b>	<b>5,2</b>	<b>0,5</b>	<b>7,0</b>	<b>0,7</b>
Bērzs	11-40	24	19,0	3,0	3,8	0,6	23,0	3,0	4,6	0,6	23,0	3,0	4,6	0,6	4,6	0,9
	41-60	29	-5,7	14,1	-1,1	2,8	17,5	2,6	3,5	0,5	19,1	2,4	3,8	0,5	5,7	0,6
	61-110	15	-14,9	13,3	-3,0	2,7	15,3	3,1	3,1	0,6	13,6	2,9	2,7	0,6	4,6	0,5
	<b>Kopā</b>	<b>68</b>	<b>1,0</b>	<b>6,9</b>	<b>0,2</b>	<b>1,4</b>	<b>18,9</b>	<b>1,7</b>	<b>3,8</b>	<b>0,3</b>	<b>19,3</b>	<b>1,6</b>	<b>3,9</b>	<b>0,3</b>	<b>5,1</b>	<b>0,4</b>

$\Delta^p_M$  - krājas tekošā periodiskā diference,  $m^3 ha^{-1} 5$  gados

$\Delta^{vp}_M$  - krājas tekošā vidēji periodiskā diference,  $m^3 ha^{-1}$  gadā

$Z^p_{Mp}$  - krājas tekošais pilnais periodiskais pieaugums,  $m^3 ha^{-1} 5$  gados

$Z^{vp}_{Mp}$  - krājas tekošais pilnais vidēji periodiskais pieaugums,  $m^3 ha^{-1}$  gadā

$Z^p_{Mf}$  - krājas tekošais faktiskais periodiskais pieaugums,  $m^3 ha^{-1} 5$  gados

$Z^{vp}_{Mf}$  - krājas tekošais faktiskais vidēji periodiskais pieaugums,  $m^3 ha^{-1}$  gadā

$Z_M$  - faktiskās audzes krājas tekošais potenciālais vidēji periodiskais pieaugums,  $m^3 ha^{-1}$  gadā

$\bar{x}$  un  $s_{x^-}$  - aritmētiski vidējā vērtība un standartklūda

### Audzes I stāva valdošās koku sugas krājas izmaiņas un pieaugums atkarībā no valdošās koku sugas un bonitātes

Suga	Bonitāte	PL skaits	Krājas pieauguma veids													
			$\Delta^p_M$		$\Delta^{vp}_M$		$Z^p_{Mp}$		$Z^{vp}_{Mp}$		$Z^p_{Mf}$		$Z^{vp}_{Mf}$		$Z_M$	
			$\bar{x}$	$s_{x^-}$	$\bar{x}$	$s_{x^-}$	$\bar{x}$	$s_{x^-}$	$\bar{x}$	$s_{x^-}$	$\bar{x}$	$s_{x^-}$	$\bar{x}$	$s_{x^-}$	$\bar{x}$	$s_{x^-}$
Priede	0	18	8,0	5,7	1,6	1,1	24,7	3,0	4,9	0,6	25,0	2,9	5,0	0,6	9,4	1,3
	1	39	17,8	4,2	3,6	0,8	27,5	2,6	5,5	0,5	27,7	2,5	5,5	0,5	8,0	0,5
	2	40	8,5	10,2	1,7	2,0	26,2	2,8	5,2	0,6	26,3	2,8	5,3	0,6	6,7	0,7
	3	27	6,6	8,0	1,3	1,6	18,6	2,7	3,7	0,5	19,9	2,7	4,0	0,5	5,1	0,6
	4	9	-0,2	19,8	0,0	4,0	18,4	3,8	3,7	0,8	19,5	3,6	3,9	0,7	5,0	0,9
	5	13	4,9	2,5	1,0	0,5	6,5	2,3	1,3	0,5	7,1	2,1	1,4	0,4	2,1	0,4
<b>Kopā</b>	<b>146</b>	<b>9,7</b>	<b>3,6</b>	<b>1,9</b>	<b>0,7</b>	<b>22,7</b>	<b>1,3</b>	<b>4,5</b>	<b>0,3</b>	<b>23,2</b>	<b>1,3</b>	<b>4,6</b>	<b>0,3</b>	<b>6,6</b>	<b>0,3</b>	
Egle	0	16	12,7	13,2	2,5	2,6	34,8	5,2	7,0	1,0	34,3	4,9	6,9	1,0	12,2	1,5
	1	23	-35,1	19,4	-7,0	3,9	22,0	4,2	4,4	0,8	21,9	4,3	4,4	0,9	5,6	0,9
	2	19	-25,1	19,3	-5,0	3,9	22,7	4,2	4,5	0,8	22,8	4,2	4,6	0,8	6,6	0,9
	<b>Kopā</b>	<b>58</b>	<b>-18,6</b>	<b>10,7</b>	<b>-3,7</b>	<b>2,1</b>	<b>25,8</b>	<b>2,7</b>	<b>5,2</b>	<b>0,5</b>	<b>25,6</b>	<b>2,6</b>	<b>5,1</b>	<b>0,5</b>	<b>7,8</b>	<b>0,7</b>
Bērzs	0	33	-0,6	13,2	-0,1	2,6	25,3	2,3	5,1	0,5	25,0	2,4	5,0	0,5	6,6	0,6
	1	18	3,2	9,3	0,6	1,9	15,9	3,3	3,2	0,7	15,6	3,0	3,1	0,6	4,3	0,8
	2	11	-2,1	7,6	-0,4	1,5	9,8	2,6	2,0	0,5	13,1	2,2	2,6	0,4	3,7	0,4
	<b>Kopā</b>	<b>62</b>	<b>0,2</b>	<b>7,6</b>	<b>0,0</b>	<b>1,5</b>	<b>19,8</b>	<b>1,8</b>	<b>4,0</b>	<b>0,4</b>	<b>20,2</b>	<b>1,7</b>	<b>4,0</b>	<b>0,3</b>	<b>5,4</b>	<b>0,4</b>

$\Delta^p_M$  - krājas tekošā periodiskā diference,  $m^3 ha^{-1} 5$  gados

$\Delta^{vp}_M$  - krājas tekošā vidēji periodiskā diference,  $m^3 ha^{-1}$  gadā

$Z^p_{Mp}$  - krājas tekošais pilnais periodiskais pieaugums,  $m^3 ha^{-1} 5$  gados

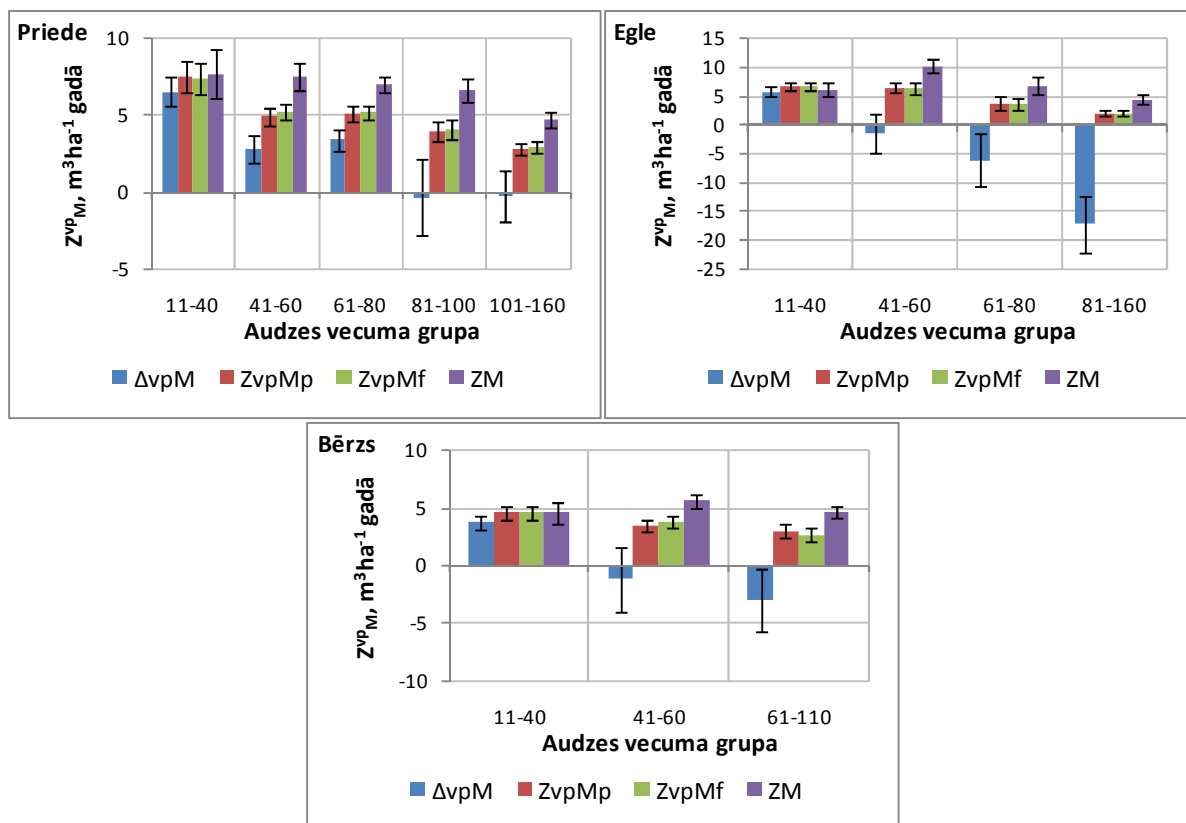
$Z^{vp}_{Mp}$  - krājas tekošais pilnais vidēji periodiskais pieaugums,  $m^3 ha^{-1}$  gadā

$Z^p_{Mf}$  - krājas tekošais faktiskais periodiskais pieaugums,  $m^3 ha^{-1} 5$  gados

$Z^{vp}_{Mf}$  - krājas tekošais faktiskais vidēji periodiskais pieaugums,  $m^3 ha^{-1}$  gadā

$Z_M$  - faktiskās audzes krājas tekošais potenciālais vidēji periodiskais pieaugums,  $m^3 ha^{-1}$  gadā

$\bar{x}$  un  $s_{x^-}$  - aritmētiski vidējā vērtība un standartklūda



3.1.1. attēls. Audzes I stāva valdošās koku sugas aritmētiski vidējās krājas izmaiņas un pieaugums atkarībā no valdošās koku sugas un vecuma grupas.

$\Delta vp_M$  – aritmētiski vidējā krājas piecu gadu tekošā vidēji periodiskā diference,  $m^3 ha^{-1}$ ;

$Z vp_{Mp}$  – aritmētiski vidējais krājas piecu gadu tekošais pilnais vidēji periodiskais pieaugums,  $m^3 ha^{-1}$ ;

$Z vp_{Mf}$  - aritmētiski vidējais krājas piecu gadu tekošais faktiskais vidēji periodiskais pieaugums,  $m^3 ha^{-1}$ ;

$Z_M$  - faktiskās audzes krājas tekošais potenciālais vidēji periodiskais pieaugums,  $m^3 ha^{-1}$ .

3.1.3. tabula

Dispersijas analīzes atbilstoši *Games-Howell* testam būtiskuma rādītāji atkarībā no krājas pieauguma veida un vecuma grupas priežu audzēs

Pieauguma veids	Vecuma grupa	Vecuma grupa				
		11-40	41-60	61-80	81-100	101-160
$\Delta^p_M$	11-40	1				
	41-60	0,061	1			
	61-80	0,101	0,987	1		
	81-100	0,090	0,740	0,587	1	
	101-160	0,009	0,475	0,269	1,000	1
$Z^p_{Mp}$	11-40	1				
	41-60	0,202	1			
	61-80	0,251	0,999	1		
	81-100	0,047	0,769	0,567	1	
	101-160	0,005	0,026	0,004	0,552	1
$Z^p_{Mf}$	11-40	1				
	41-60	0,319	1			
	61-80	0,308	1,000	1		
	81-100	0,071	0,670	0,636	1	
	101-160	0,006	0,006	0,003	0,438	1

$\Delta^p_M$  - krājas tekošā periodiskā diference,  $m^3ha^{-1}$  5 gados

$Z^p_{Mp}$  - krājas tekošais pilnais periodiskais pieaugums,  $m^3ha^{-1}$  5 gados

$Z^p_{Mf}$  - krājas tekošais faktiskais periodiskais pieaugums,  $m^3ha^{-1}$  5 gados

3.1.4. tabula

Dispersijas analīzes atbilstoši *Games-Howell* testam būtiskuma rādītāji atkarībā no krājas pieauguma veida un vecuma grupas egļu audzēs

Pieauguma veids	Vecuma grupa	Vecuma grupa			
		11-40	41-60	61-80	81-160
$\Delta^p_M$	11-40	1			
	41-60	0,210	1		
	61-80	0,114	0,845	1	
	81-160	0,003	0,067	0,386	1
$Z^p_{Mp}$	11-40	1			
	41-60	0,996	1		
	61-80	0,172	0,290	1	
	81-160	0,000	0,001	0,549	1
$Z^p_{Mf}$	11-40	1			
	41-60	0,975	1		
	61-80	0,112	0,258	1	
	81-160	0,000	0,002	0,617	1

$\Delta^p_M$  - krājas tekošā periodiskā diference,  $m^3ha^{-1}$  5 gados

$Z^p_{Mp}$  - krājas tekošais pilnais periodiskais pieaugums,  $m^3ha^{-1}$  5 gados

$Z^p_{Mf}$  - krājas tekošais faktiskais periodiskais pieaugums,  $m^3ha^{-1}$  5 gados

3.1.5. tabula

Dispersijas analīzes atbilstoši *Games-Howell* testam būtiskuma rādītāji atkarībā no krājas pieauguma veida un vecuma grupas bērzu audzēs

Pieauguma veids	Vecuma grupa	Vecuma grupa		
		11-40	41-60	61-110
$\Delta^p_M$	11-40	1		
	41-60	0,219	1	
	61-110	0,062	0,883	1
$Z^p_{Mp}$	11-40	1		
	41-60	0,352	1	
	61-110	0,183	0,851	1
$Z^p_{Mf}$	11-40	1		
	41-60	0,568	1	
	61-110	0,074	0,310	1

$\Delta^p_M$  - krājas tekošā periodiskā diference,  $m^3ha^{-1}$  5 gados

$Z^p_{Mp}$  - krājas tekošais pilnais periodiskais pieaugums,  $m^3ha^{-1}$  5 gados

$Z^p_{Mf}$  - krājas tekošais faktiskais periodiskais pieaugums,  $m^3ha^{-1}$  5 gados

3.1.6. tabula

Dispersijas analīzes atbilstoši *Games-Howell* testam būtiskuma rādītāji atkarībā no krājas pieauguma veida un bonitātes priežu audzēs

Pieauguma veids	Bonitāte	Bonitāte					
		Ia	I	II	III	IV	V
$\Delta^p_M$	Ia	1					
	I	0,746	1				
	II	1,000	0,959	1			
	III	1,000	0,813	1,000	1		
	IV	0,998	0,939	0,998	0,999	1	
	V	0,995	0,107	0,999	1,000	1,000	1
$Z^p_{Mp}$	Ia	1					
	I	0,980	1				
	II	0,999	0,999	1			
	III	0,672	0,189	0,394	1		
	IV	0,776	0,385	0,568	1,000	1	
	V	0,001	0,000	0,000	0,019	0,141	1
$Z^p_{Mf}$	Ia	1					
	I	0,981	1				
	II	1,000	0,999	1			
	III	0,794	0,298	0,580	1		
	IV	0,833	0,445	0,671	1,000	1	
	V	0,000	0,000	0,000	0,007	0,085	1

$\Delta^p_M$  - krājas tekošā periodiskā diference,  $m^3ha^{-1}$  5 gados

$Z^p_{Mp}$  - krājas tekošais pilnais periodiskais pieaugums,  $m^3ha^{-1}$  5 gados

$Z^p_{Mf}$  - krājas tekošais faktiskais periodiskais pieaugums,  $m^3ha^{-1}$  5 gados

Dispersijas analīzes atbilstoši *Games-Howell* testam būtiskuma rādītāji atkarībā no krājas pieauguma veida un bonitātes egļu audzēs

Pieauguma veids	Bonitāte	Bonitāte		
		Ia	I	II
$\Delta^p_M$	Ia	1		
	I	0,117	1	
	II	0,253	0,928	1
$Z^p_{Mp}$	Ia	1		
	I	0,151	1	
	II	0,185	0,991	1
$Z^p_{Mf}$	Ia	1		
	I	0,154	1	
	II	0,186	0,990	1

$\Delta^p_M$  - krājas tekošā periodiskā diference,  $m^3ha^{-1}$  5 gados

$Z^p_{Mp}$  - krājas tekošais pilnais periodiskais pieaugums,  $m^3ha^{-1}$  5 gados

$Z^p_{Mf}$  - krājas tekošais faktiskais periodiskais pieaugums,  $m^3ha^{-1}$  5 gados

Dispersijas analīzes atbilstoši *Games-Howell* testam būtiskuma rādītāji atkarībā no krājas pieauguma veida un bonitātes bērzu audzēs

Pieauguma veids	Bonitāte	Bonitāte		
		Ia	I	II
$\Delta^p_M$	Ia	1		
	I	0,969	1	
	II	0,995	0,898	1
$Z^p_{Mp}$	Ia	1		
	I	0,066	1	
	II	0,000	0,334	1
$Z^p_{Mf}$	Ia	1		
	I	0,050	1	
	II	0,003	0,784	1

$\Delta^p_M$  - krājas tekošā periodiskā diference,  $m^3ha^{-1}$  5 gados

$Z^p_{Mp}$  - krājas tekošais pilnais periodiskais pieaugums,  $m^3ha^{-1}$  5 gados

$Z^p_{Mf}$  - krājas tekošais faktiskais periodiskais pieaugums,  $m^3ha^{-1}$  5 gados

Turpmākaos pētījumos, papildinot datu bāzes apjomu (ar visiem 2009. un 2010. gada atkārtoti uzmērītajiem MSI parauglaukumiem), iepriekšminētās sakarības tiks pārbaudītas un tiks veikta šo krājas pieaugumu sīkāka analīze.

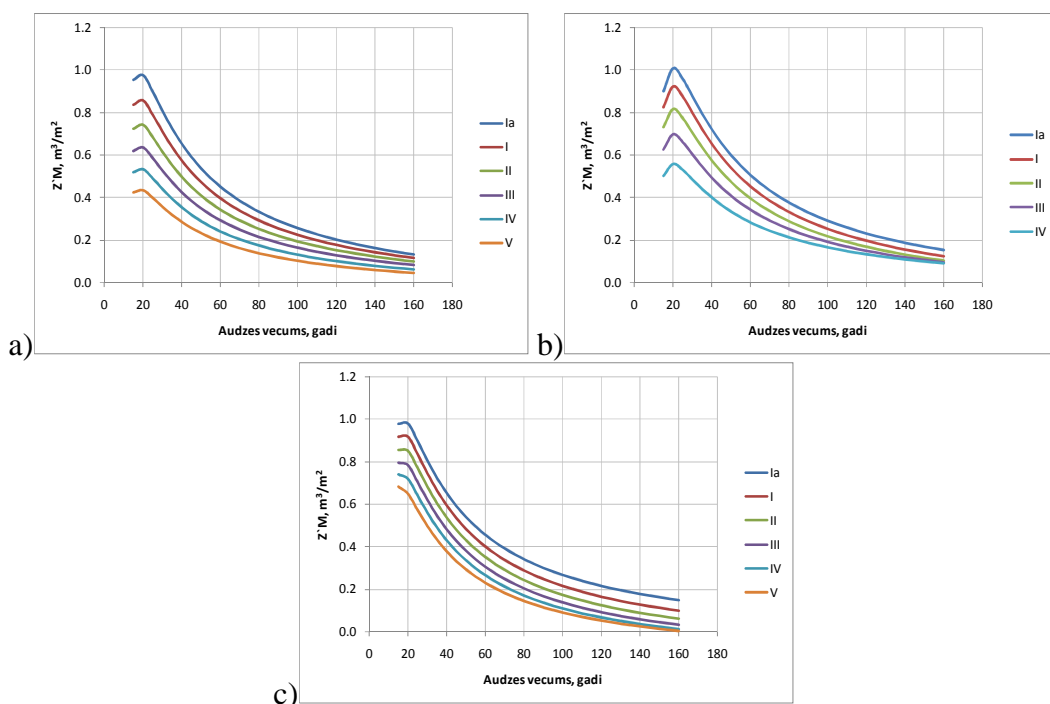
### 3.1.4. Faktiskās audzes krājas reducētā tekošā potenciālā periodiskā pieauguma aproksimācija

Analīzē izmanto datus par 192 MSI parauglaukumiem, kuros 2009. gadā ir iegūti urbumu skaidu paraugi un 2010. gadā veikti radiālā pieauguma mērījumi un kuros valdošā koku suga ir priede, egle vai bērzs.

#### I. Liepas izlīdzinātā vienādojuma faktiskās audzes krājas reducētā tekošā potenciālā pieauguma aprēķināšanai (Liepa, 2009) raksturojums un statistiskie rādītāji

Lai arī pēc vecuma pa bonitātes klasēm izlīdzinātais faktiskās audzes krājas reducētā tekošā potenciālā pieauguma aprēķināšanas vienādojums (9. formula) ir polimorfisks, tomēr atbilstoši tam tiek prognozēts, ka visām sugām šis krājas pieaugums kulminē (sasniedz maksimālo vērtību) vienā un tajā pašā vecumā (priedēm – 18 gadi, eglēm – 20, bērziem – 17)

(3.1.2. attēls), kas atšķiras no citu autoru pētījumu rezultātiem, ka tekošā pieauguma kulminācija ir atkarīga no augšanas gaitas tipa (Антанайтис, 1981).



3.1.2. attēls. Izlīdzinātais faktiskās audzes krājas reducētais tekošais potenciālais pieaugums (9. formula).  
a) priede; b) egle; c) bērzs

### Faktiskā un I. Liepas (Liepa, 2009) izlīdzinātā faktiskās audzes krājas reducētā tekošā potenciālā pieauguma salīdzinājums

Faktiskā un izlīdzinātā faktiskās audzes krājas reducētā tekošā potenciālā pieauguma (turpmāk tekstā faktiskais un izlīdzinātais pieaugums) salīdzinājums veikts tikai parauglaukuma I stāva valdošajai koku sugai.

**Priede.** Aritmētiski vidējais krājas faktiskais pieaugums ( $0,311 \pm 0,014$ ) ir lielāks nekā aritmētiski vidējais krājas izlīdzinātais pieaugums ( $0,283 \pm 0,013$ ), un starpība starp šiem abiem rādītājiem ir lielāka par vienu standartklūdu (3.1.9. tabula). Faktiskā un izlīdzinātā pieauguma aritmētiski vidējās vērtības analizētajiem datiem Ia un I bonitātē praktiski ir vienādas, jo atšķirība ir mazāka par vienu standartklūdu. Bet zemākajās bonitātēs (II un III) šo abu rādītāju aritmētiski vidējās vērtības atšķiras vairāk nekā par vienu standartklūdu, pie tam izlīdzinātās pieauguma vērtības ir sistemātiski zemākas par faktiskajām pieauguma vērtībām (3.1.2. attēls).

**Egle.** Aritmētiski vidējais krājas faktiskais pieaugums ( $0,513 \pm 0,043$ ) ir mazāks nekā aritmētiski vidējais krājas izlīdzinātais pieaugums ( $0,521 \pm 0,036$ ), bet starpība starp šiem abiem rādītājiem ir vienas standartklūdas robežās. Atšķirības starp faktiskā un izlīdzinātā pieauguma aritmētiski vidējām vērtībām analizētajiem datiem visās bonitātēs ir mazākas par vienu standartklūdu (3.1.9. tabula). Izlīdzinātā pieauguma aritmētiski vidējā vērtība Ia bonitātē ir ievērojami lielāka (18,8%) nekā faktiskā pieauguma aritmētiski vidējā vērtība. Abās zemākajās bonitātēs atšķirības starp abiem pieauguma veidiem ir mazākas (I bonitātē 13,6%; II bonitātē 7,4%), pie tam lielākas vērtības ir faktiskajam pieaugumam.

**Bērzs.** Aritmētiski vidējais krājas faktiskais pieaugums ( $0,405 \pm 0,031$ ) ir mazāks nekā aritmētiski vidējais krājas izlīdzinātais pieaugums ( $0,492 \pm 0,021$ ), un starpība starp šiem

abiem rādītājiem ir lielāka par vienu standartkļūdu (3.1.9. tabula). Izlīdzinātās pieauguma aritmētiski vidējās vērtības visās bonitātēs ir lielākas nekā faktiskās pieauguma aritmētiski vidējās vērtības, pie tam Ia un I bonitātēs šī starpība atšķiras vairāk nekā par vienu standartkļūdu un ir ievērojami lielākas (16,2% un 34,4%) nekā II bonitātē (5,8%), kurā atšķirība ir mazāka par vienu standartkļūdu. Izlīdzinātās krājas pieauguma vērtības ir sistemātiski augstākas nekā faktiskās pieauguma vērtības (3.1.2. attēls).

Visām analizētajām sugām starp izlīdzināto krājas pieaugumu un faktisko krājas pieaugumu ir konstatēta vidēji cieša korelācija ( $R_{\text{priede}}=0,666$ ;  $R_{\text{egle}}=0,647$ ;  $R_{\text{bērzs}}=0,706$ ). Visprecīzāk izlīdzinātais krājas pieaugums noteikts egļu audzēm, jo vidējā novirze ir -0,007 (1,4% no aritmētiski vidējās faktiskā pieauguma vērtības), bet vislielākā vidējā novirze konstatēta bērzu audzēs -0,087 (21.5%) (3.1.10. tabula).

Tā kā pēc izlīdzināta vienādojuma reducētā pieauguma maksimumu sugas ietvaros neatkarīgi no bonitātēs sasniedz vienā un tajā pašā vecumā, bet teorētiski apsvērumi liecina, ka vismaz priedei ir dažādas tekošā pieauguma standarta rindas, būtu nepieciešams pārbaudīt vai nav kāds labāks aproksimācijas vienādojums.



**Faktiskā un izlīdzinātā faktiskās audzes krājas reducētā tekošā potenciālā pieauguma statistiskie rādītāji atkarībā no audzes bonitātes**

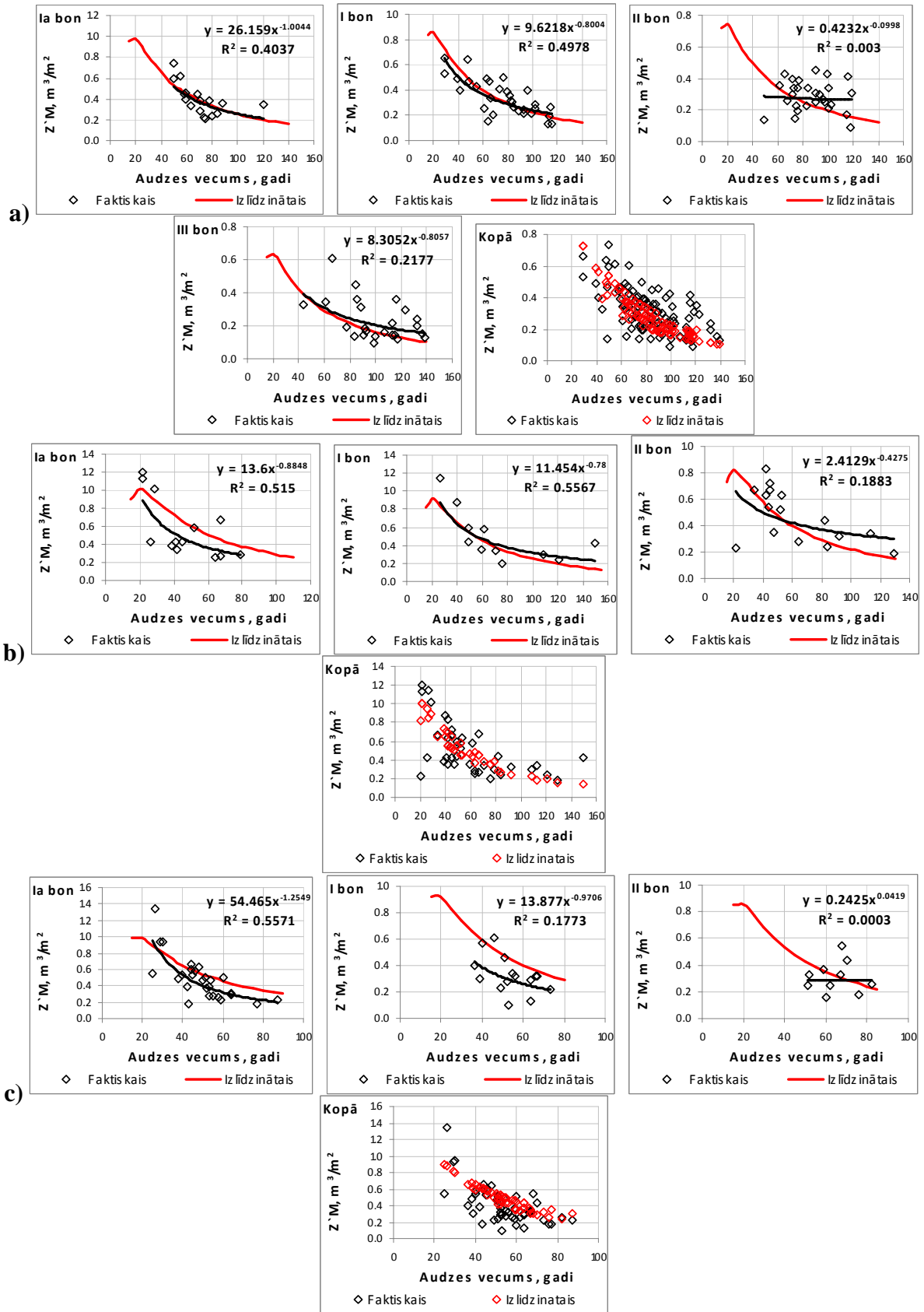
Suga	Rezultatīvie rādītāji	Statistiskie rādītāji	Bonitāte				Kopā
			Ia	I	II	III	
Priede	Z <sub>Mf</sub>	Aritmētiski vidējais	0,395	0,343	0,290	0,234	0,311
		Minimums	0,216	0,128	0,089	0,093	0,089
		Maksimums	0,738	0,657	0,456	0,606	0,738
		Standartnovirze	0,146	0,141	0,096	0,124	0,136
		Skaitis	17	31	28	24	100
		Standartklūda	0,035	0,025	0,018	0,025	0,014
	Z <sub>Mapr</sub>	Aritmētiski vidējais	0,396	0,345	0,240	0,175	0,283
		Minimums	0,200	0,186	0,155	0,103	0,103
		Maksimums	0,538	0,725	0,417	0,391	0,725
		Standartnovirze	0,090	0,147	0,061	0,066	0,129
		Skaitis	17	31	28	24	100
		Standartklūda	0,022	0,026	0,011	0,014	0,013
Egle	Z <sub>Mf</sub>	Aritmētiski vidējais	0,572	0,499	0,476		0,513
		Minimums	0,252	0,201	0,191		0,191
		Maksimums	1,202	1,145	0,830		1,202
		Standartnovirze	0,334	0,288	0,201		0,270
		Skaitis	13	11	16		40
		Standartklūda	0,093	0,087	0,050		0,043
	Z <sub>Mapr</sub>	Aritmētiski vidējais	0,690	0,435	0,442		0,521
		Minimums	0,382	0,140	0,152		0,140
		Maksimums	0,997	0,845	0,814		0,997
		Standartnovirze	0,217	0,210	0,179		0,229
		Skaitis	13	11	16		40
		Standartklūda	0,060	0,063	0,045		0,036
Bērzs	Z <sub>Mf</sub>	Aritmētiski vidējais	0,485	0,325	0,308		0,405
		Minimums	0,170	0,098	0,154		0,098
		Maksimums	1,348	0,609	0,548		1,348
		Standartnovirze	0,263	0,141	0,119		0,224
		Skaitis	27	15	10		52
		Standartklūda	0,051	0,036	0,038		0,031
	Z <sub>Mapr</sub>	Aritmētiski vidējais	0,571	0,460	0,327		0,492
		Minimums	0,311	0,321	0,234		0,234
		Maksimums	0,896	0,648	0,421		0,896
		Standartnovirze	0,147	0,099	0,061		0,152
		Skaitis	27	15	10		52
		Standartklūda	0,028	0,025	0,019		0,021

Z<sub>Mf</sub> - faktiskais (uzmērītais) faktiskās audzes krājas reducētais tekošais potenciālais vidēji periodiskais pieaugums, m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>

Z<sub>Mapr</sub> - izlīdzinātais faktiskās audzes krājas reducētais tekošais potenciālais vidēji periodiskais pieaugums, m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>

**Izlīdzinātā vienādojuma faktiskās audzes krājas reducētā tekošā potenciālā vidēji periodiskā pieauguma aprēķināšanai (9. formula) statistiskie rādītāji**

Statistiskie rādītāji	Apzīmējums	Ideālā vērtība	Priede	Egle	Bērzs
Vidējā novirze	MRES	0	0,027	-0,007	-0,087
Vidējā absolūtā novirze	AMRES	0	0,086	0,168	0,142
Standartklūda	RMSE	0	0,114	0,222	0,187
Vidējā kvadrātiskā kļūda	MSE	0	0,013	0,048	0,034
Determinācijas indekss	R <sup>2</sup>	1	0,443	0,418	0,499
Modeļa efektivitāte	MEF	0	0,724	0,868	1,066
Dispersijas attiecība	VR	1	0,957	0,999	0,750



3.1.2. attēls. Faktiskais un izlīdzinātais faktiskās audzes krājas reducētais tekošais potenciālais vidēji periodiskais pieaugums analizētajos MSI parauglaukumos.

a) priežu audzes; b) egļu audzes; c) bērzu audzes

## 3.2. Augšanas gaitas prognožu modeļu izstrāde

### 3.2.1. Augstuma pieaugums

#### 3.2.1.1. Salīdzinājums ar *Richard-Chapman* bonitāšu modeli

##### Priede

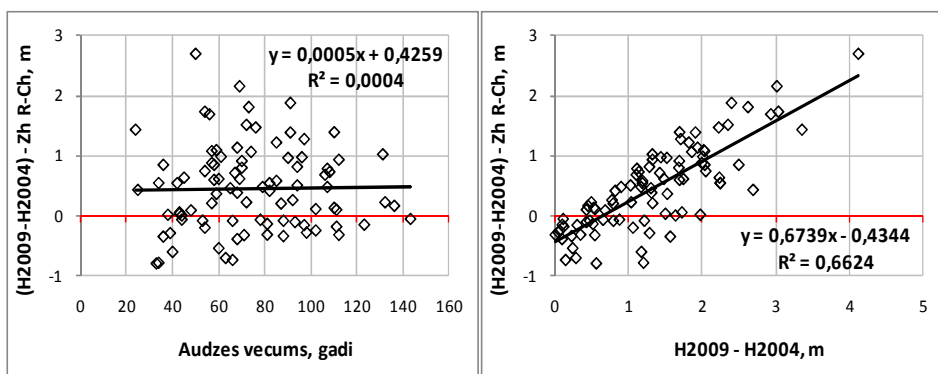
Visās vecuma klasēs aritmētiski vidējais augstuma pieaugums ( $Z_{hR-Ch}$ ), kas aprēķināts, izmantojot Ričardsa-Čapmana funkciju, kas iegūta no vienreiz uzmērīto parauglaukumu statistiskajiem datiem atbilstoši Orlova bonitāšu līkņu aproksimācijai, ir mazāks nekā pārmērījuma rezultātā konstatētais augstuma pieaugums ( $Z_h$ ). Vecumā virs 40 gadiem atšķirības starp augstuma pieaugumiem atšķiras vairāk nekā par vienu standartklūdu, un vecākajās audzēs (virs 80 gadiem) prognozētais aritmētiski vidējais augstuma pieaugums ir aptuveni divas reizes mazāks nekā uzmērītais aritmētiski vidējais augstuma pieaugums (3.2.1. tabula).

3.2.1. tabula

#### Pārmērījuma rezultātā konstatētais 5 gadu augstuma pieaugums un pēc Ričardsa-Čapmana Orlova bonitāšu skalas aproksimētajiem vienādojumiem prognozētais augstuma pieaugums sadalījumā pa vecuma klasēm priežu audzēs

Zh veids	Vecuma klase	Aritmētiski vidējais	Minimums	Maksimums	Standartnovirze	PL skaits	Standartklūda
H2009 - H2004	21-40	1,86	0,56	3,36	0,849	10	0,27
	41-60	1,82	0,24	4,12	0,836	22	0,18
	61-80	1,41	0,10	3,02	0,809	21	0,18
	81-100	1,01	0,05	2,40	0,647	20	0,14
	101-120	0,75	0,01	1,69	0,546	12	0,16
	>120	0,50	0,10	1,32	0,498	5	0,22
<b>Kopā</b>		<b>1,33</b>	<b>0,01</b>	<b>4,12</b>	<b>0,849</b>	<b>90</b>	<b>0,09</b>
Zh pēc Richards-Chapman	21-40	1,81	1,35	2,26	0,255	10	0,08
	41-60	1,22	0,59	1,70	0,288	22	0,06
	61-80	0,82	0,48	1,02	0,114	21	0,02
	81-100	0,53	0,32	0,66	0,087	20	0,02
	101-120	0,36	0,29	0,43	0,053	12	0,02
	>120	0,25	0,16	0,30	0,054	5	0,02
<b>Kopā</b>		<b>0,87</b>	<b>0,16</b>	<b>2,26</b>	<b>0,494</b>	<b>90</b>	<b>0,05</b>

Aritmētiski vidējā augstuma pieauguma starpība starp  $Z_h$  un  $Z_{hR-Ch}$  ( $Z_h - Z_{hR-Ch}$ ) ir 0,5m, bet minimālā un maksimālā starpība ir attiecīgi -0,8m un +2,7m. Starpība starp abiem augstuma pieaugumiem nav atkarīga no audzes vecuma, jo lineārās regresijas korelācijas koeficients ir ( $R=+0,020$ ) mazāks par korelācijas koeficienta kritisko vērtību ( $R_{0,05;90}=0,206$ ). Būtiska sakarība ( $R=+0,814$ ) konstatēta starp abu augstuma pieaugumu starpību un uzmērīto augstuma pieaugumu (3.2.1. attēls).



3.2.1. attēls. Starpība starp pārmērījuma rezultātā konstatēto 5 gadu augstuma pieaugumu un pēc Ričardsa-Čapmana Orlova bonitāšu skalas aproksimētajiem vienādojumiem prognozēto augstuma pieaugumu atkarībā no audzes vecuma un pārmērījuma rezultātā konstatētā 5 gadu augstuma pieauguma priēžu audzēs.

Tātad koki priēžu audzēs aug straujāk nekā to paredz Orlova bonitāšu skala, līdz ar to iepriekš izstrādātā Ričardsa-Čapmana funkcija, kas iegūta no vienreiz uzņēmīto parauglaukumu statistiskajiem datiem atbilstoši Orlova bonitāšu līkņu aproksimācijai, priēžu audzēs nav piemērojama augstuma pieauguma prognozēšanai.

#### Egle

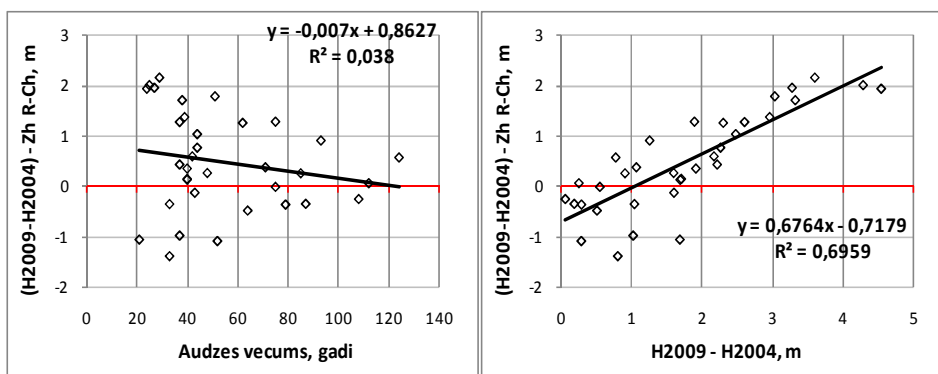
Arī egļu audzēs līdzīgi kā priēžu audzēs visās vecuma klasēs aritmētiski vidējais augstuma pieaugums ( $Z_{hR-Ch}$ ), kas aprēķināts, izmantojot Ričardsa-Čapmana funkciju, kas iegūta no vienreiz uzņēmīto parauglaukumu statistiskajiem datiem atbilstoši Orlova bonitāšu līkņu aproksimācijai, ir mazāks nekā pārmērījuma rezultātā konstatētais augstuma pieaugums ( $Z_h$ ). Audzēs līdz 60 gadu vecumam aritmētiski vidējo augstuma pieaugumu starpība ir lielāka nekā viena standartklūda (3.2.2. tabula).

3.2.2. tabula

#### Pārmērījuma rezultātā konstatētais 5 gadu augstuma pieaugums un pēc Ričardsa-Čapmana Orlova bonitāšu skalas aproksimētajiem vienādojumiem prognozētais augstuma pieaugums sadalījumā pa vecuma klasēm egļu audzēs

Zh veids	Vecuma klase	Aritmētiski vidējais	Minimums	Maksimums	Standartnovirze	PL skaits	Standartklūda
H2009 - H2004	21-40	2,45	0,81	4,54	1,181	15	0,31
	41-60	1,92	0,30	3,04	0,874	7	0,33
	61-80	1,11	0,30	2,31	0,821	6	0,34
	81-100	0,79	0,19	1,26	0,545	3	0,31
	>100	0,37	0,07	0,78	0,370	3	0,21
	<b>Kopā</b>	<b>1,77</b>	<b>0,07</b>	<b>4,54</b>	<b>1,191</b>	<b>34</b>	<b>0,20</b>
Zh pēc Ričardsa-Čapman	21-40	1,80	1,32	2,74	0,458	15	0,12
	41-60	1,46	1,25	1,73	0,160	7	0,06
	61-80	0,76	0,56	1,04	0,205	6	0,08
	81-100	0,51	0,35	0,65	0,151	3	0,09
	>100	0,24	0,19	0,31	0,065	3	0,04
	<b>Kopā</b>	<b>1,29</b>	<b>0,19</b>	<b>2,74</b>	<b>0,658</b>	<b>34</b>	<b>0,11</b>

Aritmētiski vidējā augstuma pieauguma starpība starp  $Z_h$  un  $Z_{hR-Ch}$  ( $Z_h - Z_{hR-Ch}$ ) ir 0,5m, bet minimālā un maksimālā starpība ir attiecīgi -1,4m un +2,2m. Starpība starp abiem augstuma pieaugumiem nav atkarīga no audzes vecuma, jo lineārās regresijas korelācijas koeficients ir ( $R=-0,195$ ) mazāks par korelācijas koeficienta kritisko vērtību ( $R_{0,05;34}=0,338$ ). Būtiska sakarība ( $R=+0,834$ ) konstatēta starp abu augstuma pieaugumu starpību un uzņēmīto augstuma pieaugumu (3.2.2. attēls).



3.2.2. attēls. Starpība starp pārmērījuma rezultātā konstatēto 5 gadu augstuma pieaugumu un pēc Ričarda-Čapmana Orlova bonitāšu skalas aproksimētajiem vienādojumiem prognozēto augstuma pieaugumu atkarībā no audzes vecuma un pārmērījuma rezultātā konstatētā 5 gadu augstuma pieauguma egļu audzēs.

Tātad arī egļu audzēs koki aug straujāk nekā to paredz Orlova bonitāšu skala. Līdz ar to iepriekš izstrādātā Ričarda-Čapmana funkcija, kas iegūta no vienreiz uzmērīto parauglaukumu statistiskajiem datiem atbilstoši Orlova bonitāšu līkņu aproksimācijai, egļu audzēs arī nav piemērojama augstuma pieauguma prognozēšanai.

### Bērzs

Bērzu audzēs uzmērītā 5 gadu augstuma starpība ( $Z_h$ ) starp vecuma klasēm atšķiras mazāk nekā par vienu standartklūdu un ir robežās no 1,53m līdz 1,81m, pie tam vecākajā vecuma klasē tā ir vislielākā. Minētā sakarība starp audzes vecumu un uzmērīto augstuma pieaugumu nav statistiski būtiska, jo lineārās regresijas korelācijas koeficients ir mazāks par korelācijas koeficientu kritisko vērtību ( $R=+0,044 < R_{0,05;39}=0,314$ ).

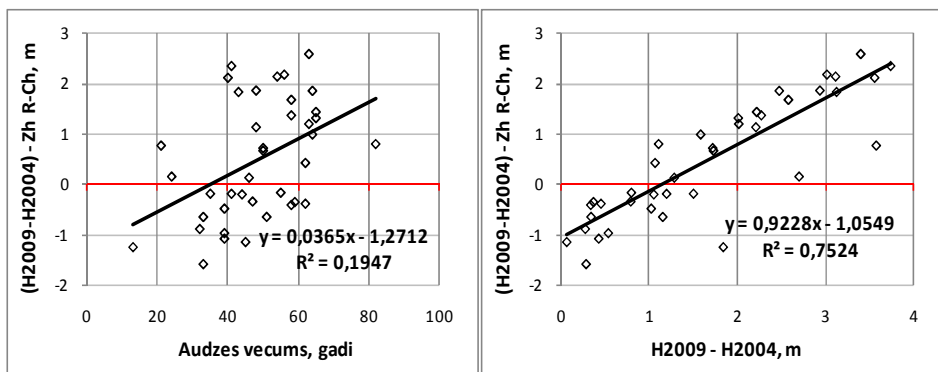
Audzēs virs 40 gadiem aritmētiski vidējais vecuma klases uzmērītais augstuma pieaugums ir ievērojami lielāks (audzēs virs 60 gadiem gandrīz 3 reizes) nekā aritmētiski vidējais augstuma pieaugums ( $Z_{hR-Ch}$ ), kas aprēķināts, izmantojot Ričarda-Čapmana funkciju, kas iegūta no vienreiz uzmērīto parauglaukumu statistiskajiem datiem atbilstoši Orlova bonitāšu līkņu aproksimācijai (3.2.3. tabula).

3.2.3. tabula

### Pārmērījuma rezultātā konstatētais 5 gadu augstuma pieaugums un pēc Ričarda-Čapmana Orlova bonitāšu skalas aproksimētajiem vienādojumiem prognozētais augstuma pieaugums sadalījumā pa vecuma klasēm bērzu audzēs

Zh veids	Vecuma klase	Aritmētiski vidējais	Minimums	Maksimums	Standartnovirze	PL skaits	Standartklūda
H2009 - H2004	21-40	1,53	0,27	3,57	1,246	11	0,38
	41-60	1,71	0,06	3,74	1,143	19	0,26
	>60	1,81	0,45	3,40	0,879	9	0,29
<b>Kopā</b>		<b>1,68</b>	<b>0,06</b>	<b>3,74</b>	<b>1,096</b>	<b>39</b>	<b>0,18</b>
Zh pēc Ričarda-Čapmann	21-40	1,88	1,14	3,06	0,628	11	0,19
	41-60	1,03	0,69	1,37	0,195	19	0,04
	>60	0,66	0,28	0,81	0,168	9	0,06
<b>Kopā</b>		<b>1,18</b>	<b>0,28</b>	<b>3,06</b>	<b>0,586</b>	<b>39</b>	<b>0,09</b>

Aritmētiski vidējā augstuma pieauguma starpība starp  $Z_h$  un  $Z_{hR-Ch}$  ( $Z_h - Z_{hR-Ch}$ ) ir 0,5m, bet minimālā un maksimālā starpība ir attiecīgi -1,6m un +2,6m. Statistiski būtiska lineārā korelācija augstumu pieaugumu starpībai starp  $Z_h$  un  $Z_{hR-Ch}$  ir ar audzes vecumu ( $R=+0,441$ ) un arī ar uzmērīto augstuma pieaugumu ( $R=+0,867$ ) (3.2.3. attēls).



3.2.3. attēls. Starpība starp pārmērījuma rezultātā konstatēto 5 gadu augstuma pieaugumu un pēc Ričardsa-Čapmana Orlova bonitāšu skalas aproksimētajiem vienādojumiem prognozēto augstuma pieaugumu atkarībā no audzes vecuma un pārmērījuma rezultātā konstatētā 5 gadu augstuma pieauguma bērzu audzēs.

Bērzu audzēs iepriekš izstrādātā Ričardsa-Čapmana funkcija, kas iegūta no vienreiz uzmērīto parauglaukumu statistiskajiem datiem atbilstoši Orlova bonitāšu līkņu aproksimācijai, nav piemērojama augstuma pieauguma prognozēšanai.

### 3.2.2.2. Salīdzinājums ar Richard-Chapman meža tipu modeli

#### Priede

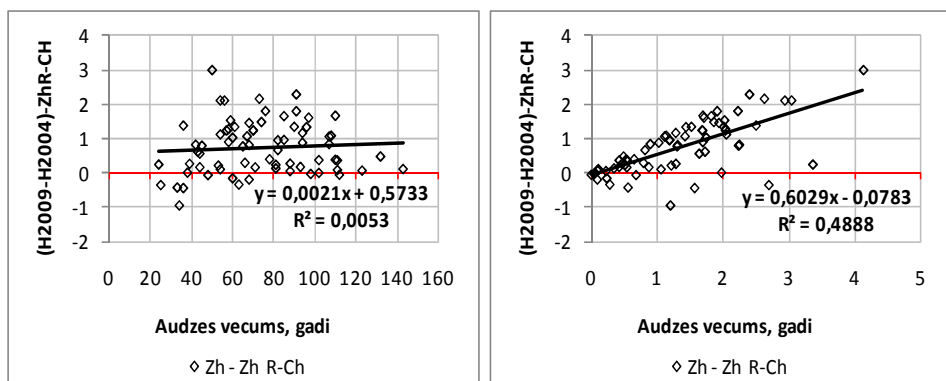
Aritmētiski vidējais uzmērītais augstuma pieaugums ir  $1,33 \pm 0,11$  m, kas ir apmēram 2 reizes lielāks nekā prognozētais pēc Ričardsa-Čapmana funkcijas, kas iegūta no vienreiz uzmērīto parauglaukumu statistiskajiem datiem atbilstoši augstuma līkņu aproksimācijai meža tipu ietvaros –  $0,61 \pm 0,08$ . Vecuma klasēs virs 40 gadiem aritmētiski vidējais augstuma pieaugums ( $Z_{hR-Ch}$ ), kas aprēķināts, izmantojot Ričardsa-Čapmana funkciju, kas iegūta no vienreiz uzmērīto parauglaukumu statistiskajiem datiem atbilstoši augstuma līkņu aproksimācijai meža tipu ietvaros, ir mazāks nekā pārmērījuma rezultātā konstatētais augstuma pieaugums ( $Z_h$ ), un atšķirības šajās vecuma klasēs starp abiem rādītājiem ir lielākas par vienu standartklūdu. Vecuma klasē no 21 līdz 40 gadiem nedaudz lielāka aritmētiski vidējā vērtība ir  $Z_{hR-Ch}$ , bet atšķirība ir vienas standartklūdas robežās (3.2.4. tabula).

3.2.4. tabula

#### Pārmērījuma rezultātā konstatētais 5 gadu augstuma pieaugums un pēc Ričardsa-Čapmana meža tipa ietvaros aproksimētās funkcijas prognozētais augstuma pieaugums sadalījumā pa vecuma klasēm priežu audzēs

Zh veids	Vecuma klase	Aritmētiski vidējais	Minimums	Maksimums	Standartnovirze	PL skaits	Standartklūda
H2009 - H2004	21-40	1,89	0,56	3,36	0,916	8	0,32
	41-60	1,87	0,24	4,12	0,914	18	0,22
	61-80	1,36	0,10	2,62	0,747	15	0,19
	81-100	1,08	0,05	2,40	0,674	17	0,16
	101-120	0,65	0,01	1,69	0,550	10	0,17
	>120	0,24	0,10	0,49	0,224	3	0,13
	<b>Kopā</b>	<b>1,33</b>	<b>0,01</b>	<b>4,12</b>	<b>0,886</b>	<b>71</b>	<b>0,11</b>
Zh pēc Richards-Chapman	21-40	1,94	1,00	3,12	0,850	8	0,30
	41-60	0,92	0,41	1,46	0,273	18	0,06
	61-80	0,47	0,27	0,69	0,112	15	0,03
	81-100	0,19	0,09	0,29	0,059	17	0,01
	101-120	0,09	0,05	0,19	0,047	10	0,01
	>120	0,03	0,01	0,04	0,015	3	0,01
	<b>Kopā</b>	<b>0,61</b>	<b>0,01</b>	<b>3,12</b>	<b>0,650</b>	<b>71</b>	<b>0,08</b>

Aritmētiski vidējā augstuma pieauguma starpība starp  $Z_h$  un  $Z_{hR-Ch}$  ( $Z_h - Z_{hR-Ch}$ ) ir 0,7m, bet minimālā un maksimālā starpība ir attiecīgi -1,0m un +3,0m. Starpība starp abiem augstuma pieaugumiem nav atkarīga no audzes vecuma, jo lineārās regresijas korelācijas koeficients ir ( $R=+0,073$ ) mazāks par korelācijas koeficienta kritisko vērtību ( $R_{0,05;71}=0,233$ ). Būtiska sakarība ( $R=+0,699$ ) konstatēta starp abu augstuma pieaugumu starpību un uzmērīto augstuma pieaugumu (3.2.4. attēls).



3.2.4. attēls. Starpība starp pārmērījuma rezultātā konstatēto 5 gadu augstuma pieaugumu un pēc Ričarda-Čapmana meža tipu ietvaros aproksimētajiem vienādojumiem prognozēto augstuma pieaugumu atkarībā no audzes vecuma un pārmērījuma rezultātā konstatētā 5 gadu augstuma pieauguma priežu audzēs.

Iepriekš izstrādātā Ričarda-Čapmana funkcijas, kas iegūta no vienreiz uzmērīto parauglaukumu statistiskajiem datiem atbilstoši augstuma līkņu aproksimācijai meža tipu ietvaros, nav piemērojama augstuma pieaugumu prognozēšanai, jo prognozētie augstuma pieaugumi ir sistemātiski zemāki par reālajiem augstuma pieaugumiem.

#### Egle

Egļu audzēs aritmētiski vidējais prognozētais augstuma pieaugums ( $Z_{hR-Ch}$ ) ir mazāks nekā reāli uzmērītais ( $Z_h$ ), kas attiecīgi ir  $1,34 \pm 0,18m$  un  $1,61 \pm 0,24m$ , bet atšķirības nav statistiski būtiskas, jo starpība ir mazāka par vienu standartklūdu. Sīkāka analīze tiks veikta tālākajos pētījumos, jo pagaidām analīzei atbilstošo parauglaukumu skaits ir par mazu (19 parauglaukumi). Augstuma pieaugumu starpības starp uzmērīto un prognozēto ( $Z_h - Z_{hR-Ch}$ ) tendences ir tādas pašas kā priežu audzēs – starpība nav atkarīga no audzes vecuma ( $R=+0,073 < R_{0,05;19}=0,456$ ), bet ir statistiski būtiski atkarīga no uzmērītā augstuma pieauguma ( $R=+0,696$ ).

#### Bērzs

Bērzu audzēs aritmētiski vidējais prognozētais augstuma pieaugums ( $Z_{hR-Ch}$ ) ir ievērojami mazāks nekā reāli uzmērītais ( $Z_h$ ), kas attiecīgi ir  $1,12 \pm 0,14m$  un  $1,84 \pm 0,27m$ , pie tam atšķirība ir lielāka par vienu standartklūdu. Sīkāka analīze tiks veikta tālākajos pētījumos, jo pagaidām analīzei atbilstošo parauglaukumu skaits ir par mazu (17 parauglaukumi). Arī bērzu audzēs starpība starp abiem augstuma pieaugumiem ( $Z_h - Z_{hR-Ch}$ ) nav atkarīga no audzes vecuma ( $R=+0,049 < R_{0,05;17}=0,482$ ), bet ir statistiski būtiski atkarīga no uzmērītā augstuma pieauguma ( $R=+0,848$ ).

### 3.2.2.3. Salīdzinājums ar I. Liepas modeli

#### Priede

Priežu audzēs visās vecuma klasēs aritmētiski vidējais augstuma pieaugums, kas aprēķināts pēc I. Liepas izstrādātā augstuma pieauguma vienādojuma (Liepa, 1996), ir lielāks nekā pārmērījuma rezultātā konstatētais. Lai gan atšķirības vecuma klases robežās savstarpēji neatšķiras vairāk nekā par vienu standartklūdu, visu analizēto parauglaukumu aritmētiski

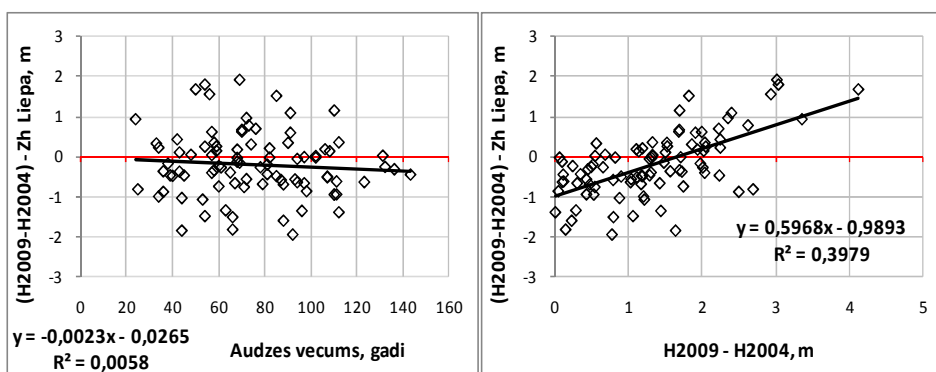
vidējās augstuma pieauguma vērtības atšķiras vairāk nekā par vienu standartklūdu (3.2.5. tabula).

3.2.5. tabula

**Pārmērījuma rezultātā konstatētais 5 gadu augstuma pieaugums un pēc I. Liepas izstrādātā augstuma pieauguma vienādojuma (Liepa, 1996) prognozētais augstuma pieaugums sadalījumā pa vecuma klasēm priežu audzēs**

Zh veids	Vecums	Aritmētiski vidējais	Minimums	Maksimums	Standartnovirze	PL skaits	Standartklūda
H2009 - H2004	21-40	1,86	0,56	3,36	0,849	10	0,27
	41-60	1,82	0,24	4,12	0,836	22	0,18
	61-80	1,41	0,10	3,02	0,809	21	0,18
	81-100	1,01	0,05	2,40	0,647	20	0,14
	101-120	0,75	0,01	1,69	0,546	12	0,16
	>120	0,50	0,10	1,32	0,498	5	0,22
	<b>Kopā</b>	<b>1,33</b>	<b>0,01</b>	<b>4,12</b>	<b>0,849</b>	<b>90</b>	<b>0,09</b>
Zh pēc I.Liepas	21-40	2,13	0,24	3,51	0,916	10	0,29
	41-60	1,86	0,48	3,49	0,701	22	0,15
	61-80	1,53	0,23	2,31	0,490	21	0,11
	81-100	1,34	0,32	2,80	0,617	20	0,14
	101-120	1,01	0,09	1,64	0,468	12	0,13
	>120	0,83	0,57	1,31	0,280	5	0,13
	<b>Kopā</b>	<b>1,53</b>	<b>0,09</b>	<b>3,51</b>	<b>0,711</b>	<b>90</b>	<b>0,07</b>

Augstumu pieauguma starpības starp pārmērījuma rezultātā konstatēto un pēc I. Liepas vienādojuma prognozētajām vērtībām ( $Z_h - Z_{hL}$ ) atsevišķiem parauglaukumiem svārstās robežās no -1,9m līdz +1,9m, bet aritmētiski vidējā vērtība ir -0.2m. Augstuma pieauguma atšķirības nav atkarīgas no audzes vecuma, jo lineārās regresijas korelācijas koeficients ( $R = -0,076$ ) ir mazāks par korelācijas koeficienta kritisko vērtību ( $R_{0,05;90} = 0,206$ ). Statistiski būtiska korelācija ( $R = +0,631$ ) konstatēta starp uzmērīto augstuma pieaugumu un starpību starp uzmērīto augstuma pieaugumu un pēc I. Liepas izstrādātā vienādojuma prognozēto augstuma pieaugumu (3.2.5. attēls).



3.2.5. attēls. Starpības starp pārmērījuma rezultātā konstatēto 5 gadu augstuma pieaugumu un pēc I. Liepas izstrādātā augstuma pieauguma vienādojuma (Liepa, 1996) prognozēto augstuma pieaugumu atkarībā no audzes vecuma un pārmērījuma rezultātā konstatētā 5 gadu augstuma pieauguma priežu audzēs.

Tātad priežu audzēs I. Liepas izstrādātais augstuma pieauguma vienādojums nav īsti piemērots, lai prognozētu atsevišķas audzes augstuma pieaugumu.

**Egle**

Egļu audzēs vecuma klasēs virs 40 gadiem aritmētiski vidējais augstuma pieaugums, kas aprēķināts pēc I. Liepas izstrādātā augstuma pieauguma vienādojuma ( $Z_{hL}$ ), ir lielāks nekā pārmērījumu rezultātā konstatētais ( $Z_h$ ). Aritmētiski vidējās visu analizēto parauglaukumu



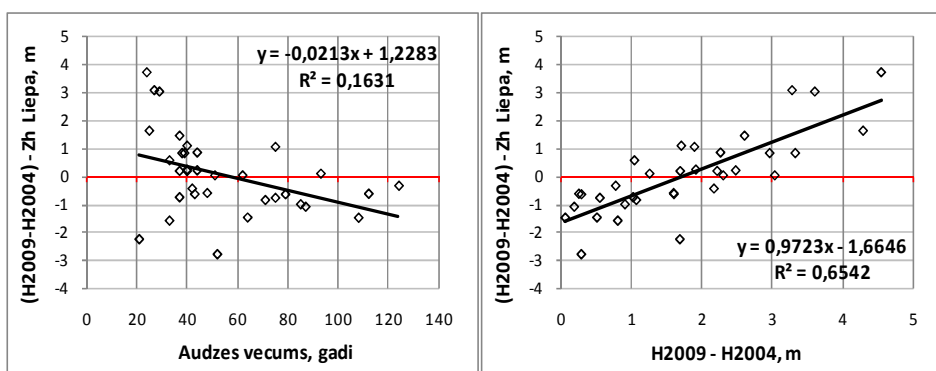
augstumu pieauguma vērtības ir praktiski vienādas ( $Z_h=1,77\pm 0,20$  un  $Z_{hL}=1,71\pm 0,14$ ), jo neatšķiras vairāk nekā par vienu standartklūdu (3.2.6. tabula).

3.2.6. tabula

**Pārmērījuma rezultātā konstatētais 5 gadu augstuma pieaugums un pēc I. Liepas izstrādātā augstuma pieauguma vienādojuma (Liepa, 1996) prognozētais augstuma pieaugums sadalījumā pa vecuma klasēm egļu audzēs**

Zh veids	Vecuma klase	Aritmētiski vidējais	Minimums	Maksimums	Standartnovirze	PL skaits	Standartklūda
H2009 - H2004	21-40	2,45	0,81	4,54	1,181	15	0,31
	41-60	1,92	0,30	3,04	0,874	7	0,33
	61-80	1,11	0,30	2,31	0,821	6	0,34
	81-100	0,79	0,19	1,26	0,545	3	0,31
	>100	0,37	0,07	0,78	0,370	3	0,21
<b>Kopā</b>		<b>1,77</b>	<b>0,07</b>	<b>4,54</b>	<b>1,191</b>	<b>34</b>	<b>0,20</b>
Zh pēc I.Liepas	21-40	1,62	0,20	3,93	1,020	15	0,26
	41-60	2,40	1,41	3,07	0,565	7	0,21
	61-80	1,54	0,84	2,26	0,595	6	0,24
	81-100	1,45	1,16	1,91	0,402	3	0,23
	>100	1,18	0,88	1,54	0,336	3	0,19
<b>Kopā</b>		<b>1,71</b>	<b>0,20</b>	<b>3,93</b>	<b>0,843</b>	<b>34</b>	<b>0,14</b>

Aritmētiski vidējā augstuma pieauguma starpība starp  $Z_h$  un  $Z_{hL}$  ( $Z_h - Z_{hL}$ ) ir 0.1m, bet minimālā un maksimālā starpība ir attiecīgi -2,8m un +3,7m. Statistiski būtiska lineārā korelācija augstumu pieaugumu starpībai starp  $Z_h$  un  $Z_{hL}$  ir gan ar audzes vecumu ( $R=-0,404 > R_{0,05;34}=0,338$ ), gan arī ar uzmērīto augstuma pieaugumu ( $R=+0,809$ ) (3.2.6. attēls).



3.2.6. attēls. Starpības starp pārmērījuma rezultātā konstatēto 5 gadu augstuma pieaugumu un pēc I. Liepas izstrādātā augstuma pieauguma vienādojuma (Liepa, 1996) prognozēto augstuma pieaugumu atkarībā no audzes vecuma un pārmērījuma rezultātā konstatētā 5 gadu augstuma pieauguma egļu audzēs.

Tātad vecākajās egļu audzēs ( $A > 60$ ) vai audzēs, kurās augstuma pieaugums ir līdz 1,7m, I. Liepas izstrādātais augstuma pieauguma vienādojums pārvērtē augstuma pieaugumus. Līdz ar to arī egļu audzēs šis vienādojums nav īsti piemērojams, lai prognozētu atsevišķas audzes augstuma pieaugumu, bet kādai lielākai audžu kopai šo vienādojumu var izmantot, jo aritmētiski vidējie uzmērītie un prognozētie augstuma pieaugumi neatšķiras būtiski.

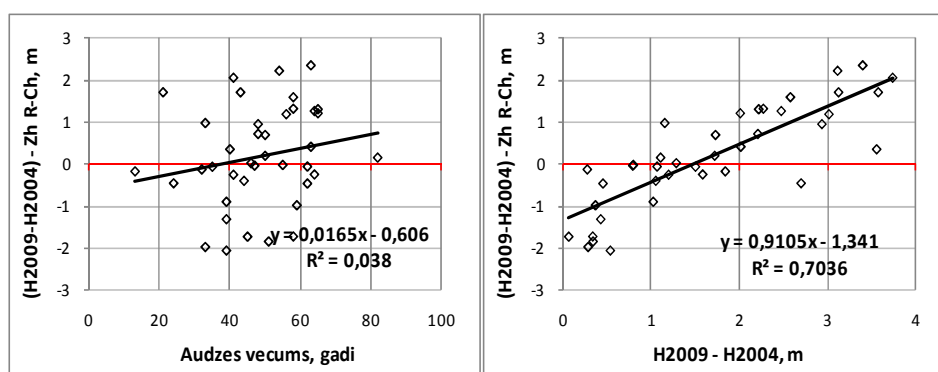
**Bērzs**

Bērzu audzēs vecuma klasēs virs 40 gadiem aritmētiski vidējais augstuma pieaugums, kas aprēķināts pēc I. Liepas izstrādātā augstuma pieauguma vienādojuma ( $Z_{hL}$ ), ir mazāks nekā pārmērījumu rezultātā konstatētais ( $Z_h$ ). Aritmētiski vidējā visu analizēto parauglaukumu augstumu pieauguma vērtība lielāka ir uzmērītajiem datiem ( $Z_h=1,68\pm 0,18$  un  $Z_{hL}=1,49\pm 0,10$ ), bet tās neatšķiras vairāk nekā par vienu standartklūdu (3.2.7. tabula).

**Pārmērījuma rezultātā konstatētais 5 gadu augstuma pieaugums un pēc I. Liepas izstrādātā augstuma pieauguma vienādojuma (Liepa, 1996) prognozētais augstuma pieaugums sadalījumā pa vecuma klasēm bērzu audzēs**

Zh veids	Vecuma klase	Aritmētiski vidējais	Minimums	Maksimums	Standart-novirze	PL skaits	Standart-klūda
H2009 - H2004	21-40	1,53	0,27	3,57	1,246	11	0,38
	41-60	1,71	0,06	3,74	1,143	19	0,26
	>60	1,81	0,45	3,40	0,879	9	0,29
	<b>Kopā</b>	<b>1,68</b>	<b>0,06</b>	<b>3,74</b>	<b>1,096</b>	<b>39</b>	<b>0,18</b>
Zh pēc I.Liepas	21-40	1,89	0,18	3,21	0,961	11	0,29
	41-60	1,42	0,81	2,17	0,423	19	0,10
	>60	1,16	0,80	1,82	0,344	9	0,11
	<b>Kopā</b>	<b>1,49</b>	<b>0,18</b>	<b>3,21</b>	<b>0,655</b>	<b>39</b>	<b>0,10</b>

Aritmētiski vidējā augstuma pieauguma starpība starp  $Z_h$  un  $Z_{hL}$  ( $Z_h - Z_{hL}$ ) ir 0,2m, bet minimālā un maksimālā starpība ir attiecīgi -2,0m un +2,3m. Augstuma pieauguma starpība starp  $Z_h$  un  $Z_{hL}$  ( $Z_h - Z_{hL}$ ) nav atkarīga no audzes vecuma, jo lineārās regresijas korelācijas koeficients ( $R=+0,195$ ) ir mazāks par korelācijas koeficienta kritisko vērtību ( $R_{0,05;39}=0,314$ ). Statistiski būtiska korelācija ( $R=+0,839$ ) konstatēta starp uzmērīto augstuma pieaugumu un starpību starp uzmērīto augstuma pieaugumu un pēc I. Liepas izstrādātā vienādojuma prognozēto augstuma pieaugumu (3.2.7. attēls).



3.2.7. attēls. Starpības starp pārmērījuma rezultātā konstatēto 5 gadu augstuma pieaugumu un pēc I. Liepas izstrādātā augstuma pieauguma vienādojuma (Liepa, 1996) prognozēto augstuma pieaugumu atkarībā no audzes vecuma un pārmērījuma rezultātā konstatētā 5 gadu augstuma pieauguma bērzu audzēs.

Tātad bērzu audzēs, kurās ir mazs augstuma pieaugums ( $Z_h < 1,5m$ ) I. Liepas izstrādātais augstuma pieauguma vienādojums pārvērtē augstuma pieaugumus, kas nozīmē, ka šis vienādojums bērzu audzēs nav īsti piemērojams, lai prognozētu atsevišķas audzes augstuma pieaugumu, bet kādai lielākai audžu kopai šo vienādojumu var izmantot, jo aritmētiski vidējie uzmērītie un prognozētie augstuma pieaugumi neatšķiras būtiski.

### 3.2.2.4. Sakarība starp audzes vidējo augstumu, valdaudzes augstumu un virsaugstumu

J. Matuzāņa 1983. gadā izstrādātie vienādojumi ir paredzēti tikai priežu un egļu audzēm. Abām sugām aritmētiski vidējā starpība starp uzmērīto un aproksimēto  $H_g$  priedēm ir 1.66m (min=-1,10; max=3,30) un eglēm -1,48m (-1,36; 3,51) (3.2.8.tabula). Pēc J. Matuzāņa 1983. gadā izstrādātā vienādojuma aproksimētās vērtības ir sistemātiski mazākas nekā uzmērītās (3.2.8.attēls). Priedēm pie lielākām audzes virsaugstuma vērtībām starpības starp

aproximētajiem un uzmērītajām  $H_g$  ir mazākas, bet eglēm otrādāk – pie lielākām audzes virsaugstuma vērtībām starpības ir lielākas.

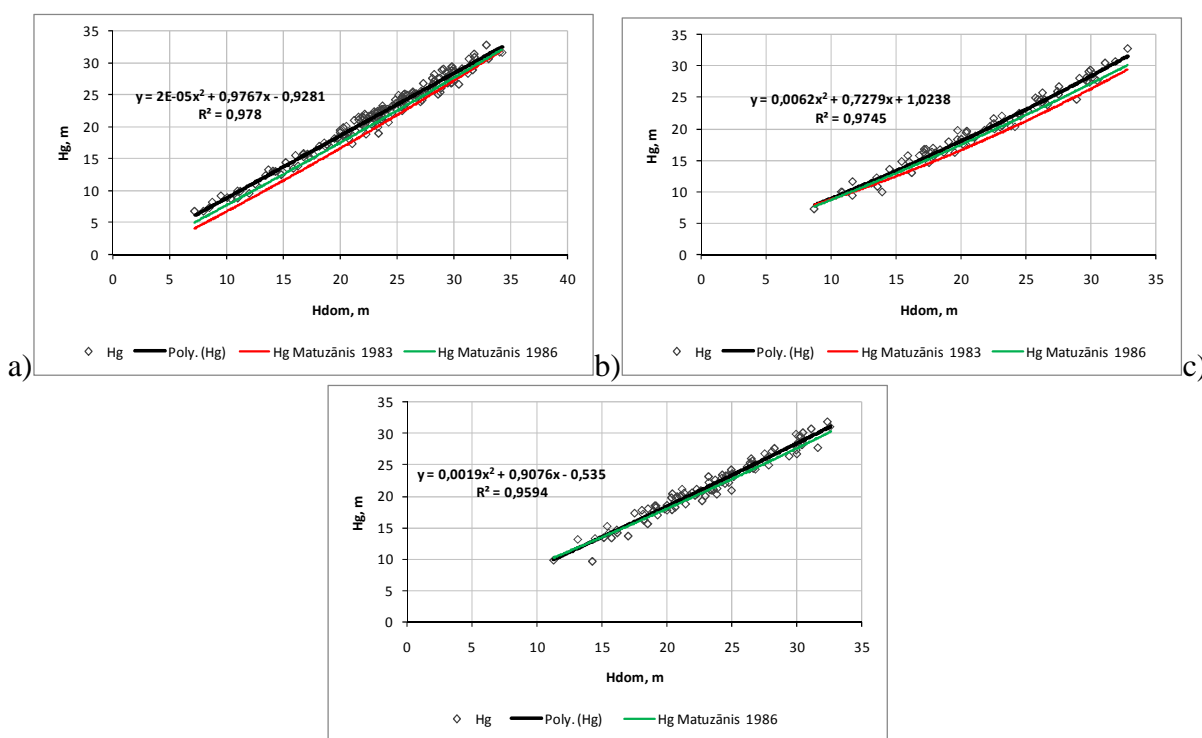
J. Matuzāņa 1986. gadā izstrādātajiem vienādojumiem starpības starp aproximētajiem un uzmērītajām  $H_g$  ir mazākas nekā 1983. gada vienādojumiem. Priežu audzēs aritmētiski vidējā šī starpība ir 0,94m (min=-1,87; max=2,46), egļu audzēs 0,73m (-2,16; 2,68) un bērzu audzēs 0,51m (-3,22; 2,36) (3.2.8.tabula). Līdzīgi, kā iepriekšējam vienādojumam tā arī šim priežu un egļu audzēs aproksimētās vērtības ir sistemātiski mazākas, bet bērzu audzēs šāda sakarība nav novērojama (3.2.8. attēls).

3.2.8. tabula.

**Vidējā kvadrātiskā koka augstuma ( $H_g$ ) starpība ar aprēķinātajām vērtībām**

Suga	J. Matuzāņa vienādojums	Aritmētiski vidējais	Mīnimums	Maksimums	Standartnovirze	PL skaits	Standartklūda
Priede	1983*	1,66	-1,10	3,30	0,949	167	0,07
	1986**	0,94	-1,87	2,46	0,888	167	0,07
Egļe	1983	1,48	-1,36	3,51	1,176	77	0,13
	1986	0,73	-2,16	2,68	0,987	77	0,11
Bērzs	1986	0,51	-3,22	2,36	1,016	96	0,10

\* - 18. formula, \*\* - 19. formula



3.2.8. attēls. Uzmērītie vidējā kvadrātiskā koka caurmēram atbilstošie augstumi ( $H_g$ ) un pēc J. Matuzāņa vienādojumiem aproksimētās vērtības atkarībā no audzes virsaugstuma.  
a) priede, b) egļe, c) bērzs

J. Matuzāņa (Matuzānis, 1983; Матузанис, 1986) izstrādātajos vienādojumos nav ņemts vērā audzē augošo koku skaits, bet tikai virsaugstums ( $H_{dom}$ ). Līdz ar to, ja audzē ir 100 vai 1000 koki uz hektāra, pēc J. Matuzāņa vienādojumiem audzes vidējais augstums ( $H_g$ ) abos gadījumos ir vienāds un mazāks nekā  $H_{dom}$ . Kaut gan reāli ja audzē ir 100 koki tad  $H_g=H_{dom}$ , bet palielinoties koku skaitam  $H_g$  samazinās. Tādēļ, lai aprēķinātu  $H_g$  atkarībā no  $H_{dom}$ , izstrādāts jauns vienādojums (20), kuru koeficientu vērtības atspoguļotas 3.2.9. tabulā.

Tāds pats vienādojums ir izveidots, lai aproksimētu sakarības starp valdaudzes koku augstumu ( $H_{\text{vald}}$ ) un virsaugstumu ( $H_{\text{dom}}$ ) (21), kuru koeficientu vērtības atspoguļotas 3.2.9. tabulā.

Vienādojumiem visām sugām  $H_{\text{dom}}$  ierobežojumu praktiski nav (2-40m), bet koku skaita ierobežojums priedei un eglei ir virs 100 kokiem uz hektāra, bet bērzam virs 170. Šādi koku skaita ierobežojumi ir tādēļ, ka teorētiski pie 100 kokiem uz hektāra  $H_g = H_{\text{dom}}$ , ko šāda veida vienādojums nespēj prognozēt.

3.2.9. tabula.

**Formulu (20 un 21) koeficientu vērtības un lietošanas ierobežojumi**

Suga	$H_g = f(H_{\text{dom}}; N)$					$H_{\text{vald}} = f(H_{\text{dom}}; N)$				
	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$H_{\text{dom}}$	N	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$H_{\text{dom}}$	N
<b>Priede</b>	1,14455	1,01418	-0,04142	$2 \leq \dots \leq 40$	$100 <$	1,13686	0,99679	-0,02781	$2 \leq \dots \leq 40$	$100 <$
<b>Egle</b>	1,28727	0,99932	-0,05738	$2 \leq \dots \leq 40$	$100 <$	1,18754	0,99060	-0,03316	$2 \leq \dots \leq 40$	$100 <$
<b>Bērzs</b>	1,20308	1,03856	-0,06426	$2 \leq \dots \leq 40$	$170 \leq$	1,18402	0,99910	-0,03709	$2 \leq \dots \leq 40$	$170 \leq$

$H_g$  - vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošs augstums

$H_{\text{vald}}$  - valdaudzes vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošs augstums

$H_{\text{dom}}$  - virsaugstums, kas aprēķināts kā 100 resnāko koku ha-1 vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošs augstums

$a_1; a_2; a_3$  - atbilstošās sugas koeficienti

Vienādojumu atbilstības izvērtēšanai izmantotie statistiskie rādītāji aprēķināti atbilstoši 11. – 16. formulai.

Iegūtie vienādojumi  $H_g$  un  $H_{\text{vald}}$  aprēķināšanai atkarībā no  $H_{\text{dom}}$  un N ir ar augstu precizitāti, jo vienādojumu statistiskie rādītāji ir tuvi statistisko rādītāji ideālajām vērtībām (3.2.10. tabula). Tā piemēram, abiem vienādojumiem starp uzmērītajām un aprēķinātajām vērtībām ir cieša korelācija ( $R > 0,800$ ), bet vidējās novirzes ir mazākas par 0,1% no aritmētiski vidējās uzmērītās vērtības, bet vidējās absolūtās novirzes ir mazākas par 3% (mainās robežās 1,0-2,8%).

3.2.10. tabula.

**Formulu (20 un 21) statistiskie rādītāji**

Statistiskie rādītāji	Apzīmējums	Ideālā vērtība	$H_g = f(H_{\text{dom}}; N)$			$H_{\text{vald}} = f(H_{\text{dom}}; N)$		
			Priede	Egle	Bērzs	Priede	Egle	Bērzs
Vidējā novirze	MRES	0	0,010	0,014	0,007	0,005	0,006	0,004
Vidējā absolūtā novirze	AMRES	0	0,550	0,561	0,515	0,256	0,212	0,245
Standartklūda	RMSE	0	0,696	0,753	0,684	0,339	0,271	0,340
Vidējā kvadrātiskā klūda	MSE	0	0,482	0,560	0,463	0,114	0,072	0,115
Determinācijas indekss	$R^2$	1	0,989	0,981	0,978	0,998	0,998	0,995
Modeļa efektivitāte	MEF	0	0,014	0,016	0,019	0,003	0,002	0,005
Dispersijas attiecība	VR	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Iegūtie vienādojumi uzskatāmi par pagaidu vienādojumiem, kurus turpmākajā pētījuma gaitā, palielinot datu apjomu, paredzēts precizēt.

### 3.2.3. Koku skaita izmaiņas

Lai aprēķinātu maksimālo koku skaitu atkarībā no audzes I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā caurmēra (22. formula), koeficientu vērtības tiek aprēķinātas no 24. vienādojuma (3.2.11. tabula), kas balstīts uz sakarību starp audzes I stāva valdošās koku sugas vidējo kvadrātisko caurmēru un tam atbilstošo augstumu un I stāva koku skaitu.

Iegūtais 24. vienādojums ir ar augstu precizitāti, jo vienādojuma statistiskie rādītāji ir tuvi to ideālajām vērtībām. Tā piemēram, determinācijas indekss atkarībā no sugas ir robežās no 0,919 līdz 0,965, kas nozīmē, ka starp aprēķinātajām un uzmērītajām vērtībām ir cieša korelācija. Vienādojuma vidējā novirze (starpība starp uzmērīto un aprēķināto vērtību) visām sugām ir mazāka nekā uzmērīšanas precizitāte (0,1 mm): priežu audzēs -0,050cm (-0,2% no aritmētiski vidējās uzmērītās vērtības), egļu audzēs 0,001cm (0,0%) un bērzu audzēs -0,093cm(0,8%). Tomēr vidējā absolūtā novirze visām sugām ir lielāka par 1,0cm (3.2.12. tabula).

3.2.11. tabula.

**Formulas 24 koeficientu vērtības**

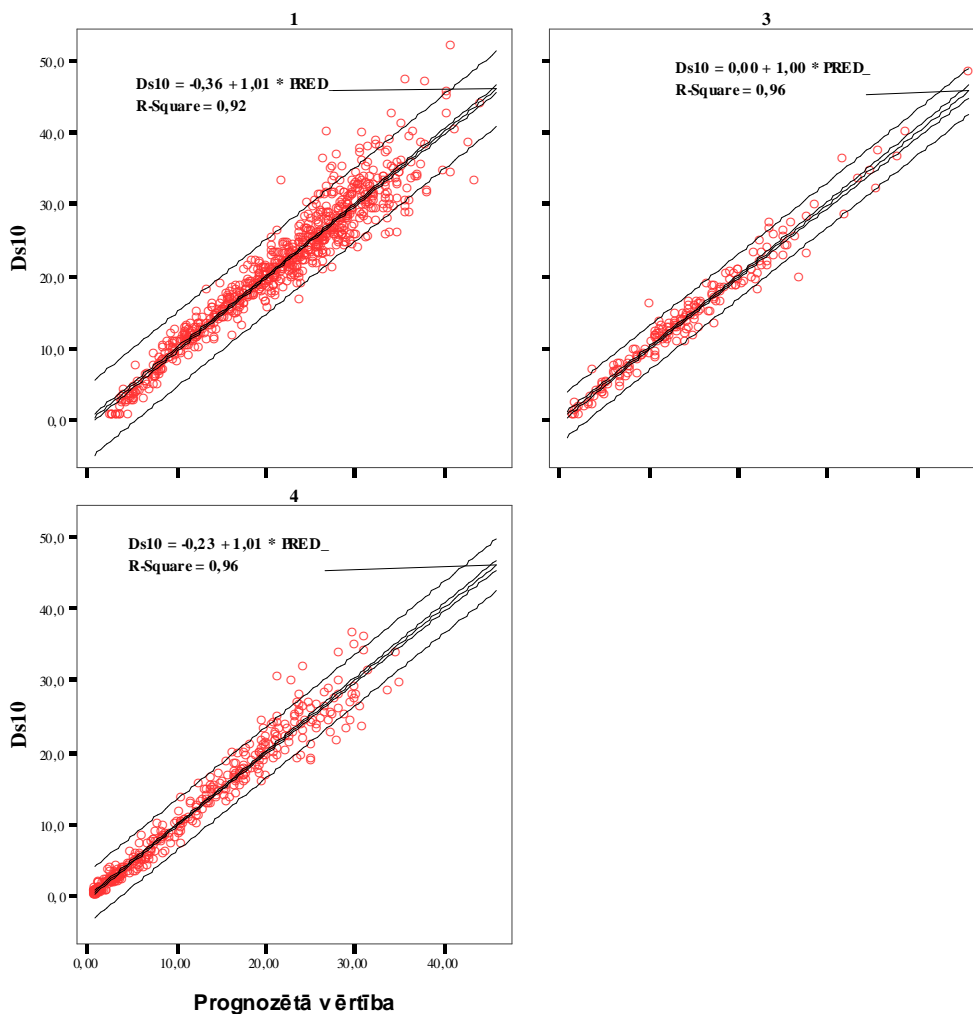
Suga	Koeficienti			
	$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\beta_0$	$\beta_1$
Priede	5,91E-06	0,42279	0,49535	-0,93209
Egle	3,60E-06	0,46971	0,87686	-1,07054
Bērzs	1,60E-07	1,54393	1,86402	-1,26158

3.2.12. tabula.

**Formulu (24) statistiskie rādītāji**

Statistiskie rādītāji	Apzīmējums	Ideālā vērtība	Priede	Egle	Bērzs
Vidējā novirze	MRES	0	-0,050	0,001	-0,093
Vidējā absolūtā novirze	AMRES	0	1,858	1,123	1,170
Standartklūda	RMSE	0	2,640	1,578	1,816
Vidējā kvadrātiskā kļūda	MSE	0	6,960	2,478	3,289
Determinācijas indekss	$R^2$	1	0,919	0,965	0,964
Modeļa efektivitāte	MEF	0	0,090	0,037	0,039
Dispersijas attiecība	VR	1	1,000	1,000	1,000

Visām koku sugām pēc 24. vienādojuma aprēķināto audzes I stāva valdošās koku sugas vidējo kvadrātisko caurmēru izkliede lielākām uzmērītajām vērtībām ir lielāka (3.2.9 attēls).

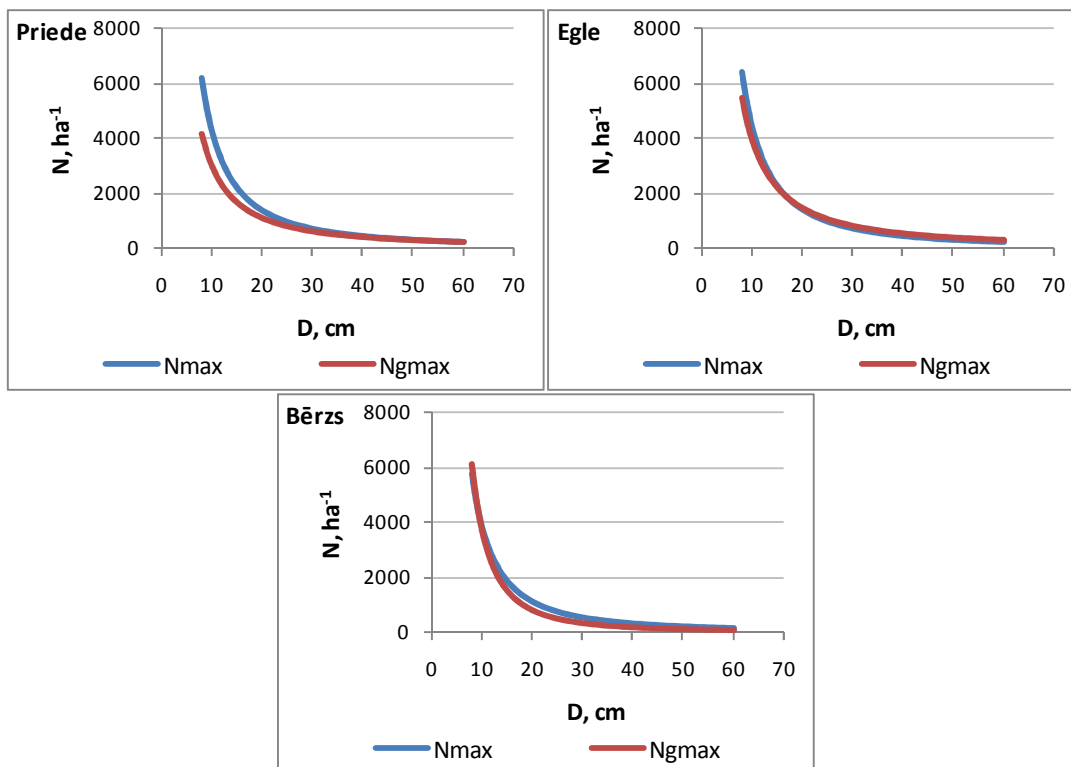


3.2.9. attēls. Pēc 24. vienādojuma aprēķinātais (prognozētais) un uzņēmētās audzes I stāva valdošās koku sugas vidējais kvadrātiskais caurmērs.

1 – priežu audzes, 3 - egļu audzes; 4 – bērzu audzes.

Maksimālo I stāva koku skaitu ( $N_{gmax}$ ) atkarībā no audzes I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā caurmēra, kas aprēķināts pēc 22. vienādojuma, salīdzina ar iepriekšējos pētījumos izstrādāto šī rādītāja ( $N_{max}$ ) aproksimācijas modeli (Donis, 2009).

Pēc 22. vienādojuma aprēķinātās  $N_{gmax}$  vērtības priežu audzēs ir sistemātiski mazākas par  $N_{max}$  vērtībām, atšķirības svārstās no 5 (2,4%) līdz 2043 (39,6%) kokiem uz hektāra attiecīgi pie caurmēra 60cm un 8cm. Egļu audzēs līdz caurmēram 17cm  $N_{gmax}$  ir mazāks par  $N_{max}$ , bet resnākajās caurmēra audzēs otrādāk. Absolūtās starpības egļu audzēs ir no 0 kokiem ( $D=17cm$ ) līdz 947 kokiem ( $D=8cm$ ), bet relatīvās starpības ir robežās no -26,5% ( $D=60cm$ ) līdz 16,0% ( $D=8cm$ ). Bērzu audzēs principā  $N_{gmax}$  ir sistemātiski lielāks nekā  $N_{max}$ , izņemot audzes, kurās I stāva valdošās koku sugas vidējais kvadrātiskais caurmērs ir mazāks par 10cm. Relatīvās starpības starp abiem rādītājiem svārstās robežās no -5,9% līdz 78,5% attiecīgi pie caurmēriem 8cm un 60cm (3.2.10. attēls).



3.2.10. attēls. Maksimālais I stāva koku skaits atkarībā no I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā caurmēra.

$N_{max} - N = a * \ln(D)^b$  (Donis, 2009);  $N_{gmax} - 22$ . vienādojums.

Starp  $N_{gmax}$  un  $N_{max}$  konstatēta cieša korelācija, jo korelācijas koeficients visām sugām ir lielāks nekā 0,800 ( $P$  0,999;  $E$  0,999;  $B$  0,995). Lai gan rādītāju savstarpēja korelācija visām sugām ir ļoti augsta, tomēr datu izkliede priedēm un bērziem ir liela, jo vidējā novirze ir attiecīgi +251 (22,4% no aritmētiski vidējās  $N_{max}$  vērtības) un +189 (20,1%), savukārt eglēm šis rādītājs ir -8 (0,7%). Vienādojuma relatīvā vidējā absolūtā novirze priedēm ir 22,4%, eglēm 10,7% un bērziem 21,6% (3.2.13. tabula).

3.2.13. tabula.

#### Formulu (22) statistiskie rādītāji

Statistiskie rādītāji	Apzīmējums	Ideālā vērtība	Priede	Egle	Bērzs
Vidējā novirze	MRES	0	251	-8	189
Vidējā absolūtā novirze	AMRES	0	251	121	203
Standartklūda	RMSE	0	513	207	235
Vidējā kvadrātiskā klūda	MSE	0	257630	41857	54044
Determinācijas indekss	$R^2$	1	0,998	0,997	0,990
Modeļa efektivitāte	MEF	0	0,295	0,030	0,033
Dispersijas attiecība	VR	1	0,922	1,000	0,976

Pašizretināšanās lielums aproksimēts pēc 23. vienādojuma un iegūtie koeficienti atspoguļoti 3.2.14. tabulā. Modelis tiek balstīts uz pieņēmumiem, ka koku relatīvā atmiršana ir proporcionāla vecuma pakāpes funkcijai, kas reizināta ar sākotnējo koku skaita pakāpes funkciju un ka dažādu bonitāšu audzēs pie vienāda vecuma spēj izdzīvot atšķirīgs koku skaits.

Lai gan iegūtā vienādojuma determinācijas indeksi ir ļoti augsti ( $R=0,984-0,995$ ), iegūto koeficientu standartklūdas ir ļoti lielas, un koeficientu vērtības intervāls pie ticamības 95% ( $\pm$  divas standartklūdas) sevī ietver nulles vērtību (3.2.14. tabula), kas nozīmē, ka attiecīgie parametri ir statistiski nebūtiski. Pie tam izmantojot 23. vienādojumu koku skaits 5

gadu perioda beigās ir sistemātiski lielāks nekā šī paša perioda beigās uzmērītais koku skaits (3.2.11. attēls).

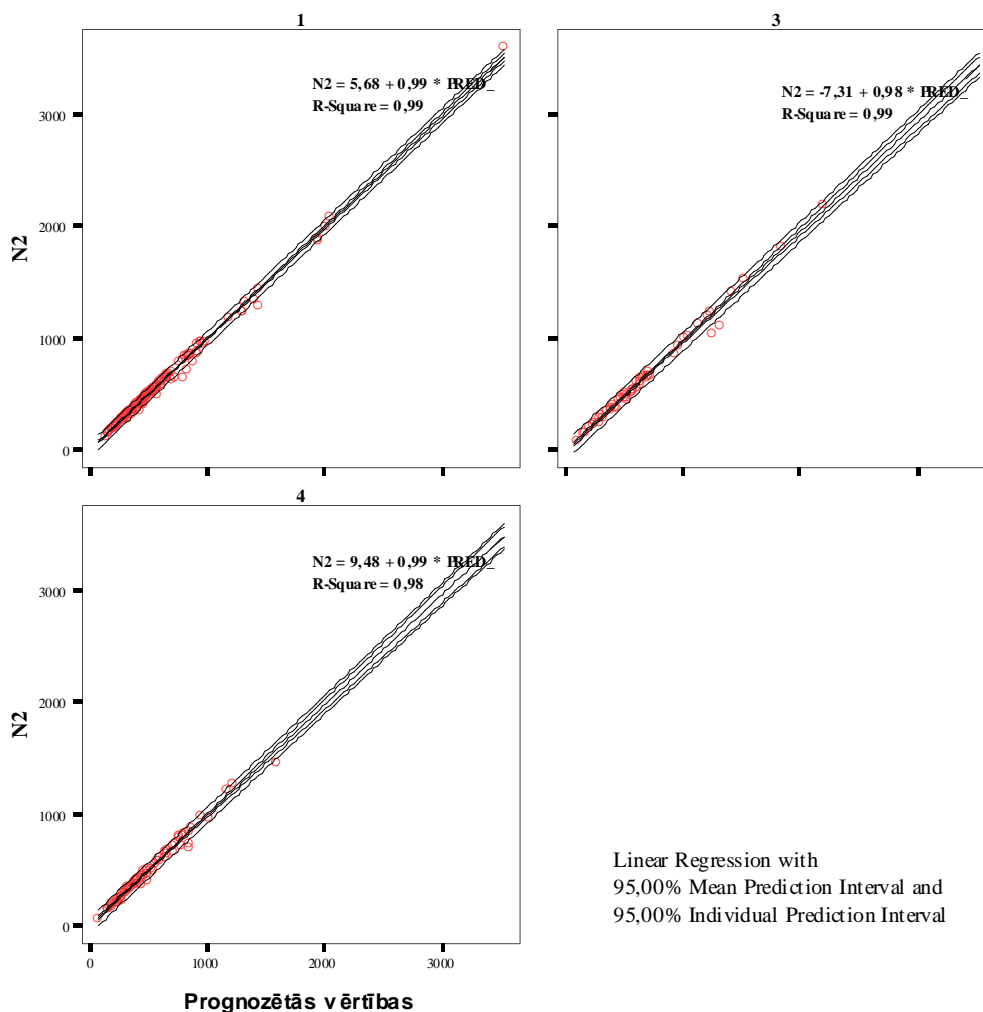
Iegūtā 23. vienādojuma relatīvā vidējā novirze no aritmētiski vidējās uzmērītās vērtības priežu audzēs ir +0,4%, egļu audzēs -2,7% un bērzu audzēs +0,4%, bet relatīvās absolūtās novirzes attiecīgi 3,8%, 3,1% un 4,7%.

Lai gan modeļa statistiskie rādītāji ir pietiekoši augsti (3.2.15. tabula) (rādītāji ir tuvi to ideālajām vērtībām), tomēr atšķirību diapazons starp prognozēto un reālo koku skaitu perioda beigās priežu audzēs ir robežās no -92 līdz +141 kokam uz hektāra, egļu audzēs no -9 līdz +205 un bērzu audzēs no -66 līdz +136.

3.2.14. tabula.

**Formulas 23 koeficientu vērtības**

Suga	Koeficienti				Standartklūda			
	a	b	c	d	a	b	c	d
Priede	0,03446	-0,00163	0,01420	1,43894	0,23548	0,01496	0,13003	0,38951
Egļe	0,43925	-0,14313	3,99349	1,55983	3,52286	5,50743	153,675	5,81107
Bērzs	0,00340	-0,00009	0,00026	1,65630	0,28207	0,00788	0,02193	0,55947



3.2.11. attēls. Pēc 23. vienādojuma aprēķinātais (prognozētais) un uzmērītās audzes I stāva koku skaits perioda beigās.

1 – priežu audzes, 3 - egļu audzes; 4 – bērzu audzes.



**Formulu (23) statistiskie rādītāji**

Statistiskie rādītāji	Apzīmējums	Ideālā vērtība	Priede	Egle	Bērzs
Vidējā novirze	MRES	0	2	-18	2
Vidējā absolūtā novirze	AMRES	0	22	20	24
Standartklūda	RMSE	0	32	39	36
Vidējā kvadrātiskā kļūda	MSE	0	1022	1475	1300
Determinācijas indekss	$R^2$	1	0,995	0,988	0,984
Modeļa efektivitāte	MEF	0	0,005	0,008	0,016
Dispersijas attiecība	VR	1	1,000	0,998	1,000

### 3.2.4. Caurmēra pieaugums

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 (3.2.16. tabula).

3.2.16. tabula.

**Formulas 25 koeficientu vērtības**

Suga	Koeficienti									
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>6</sub>	a <sub>7</sub>	a <sub>8</sub>	a <sub>9</sub>	a <sub>10</sub>
Priede	-10,13559	1,43993	30,85789	-206,63607	2,47013	-0,00056	32,19942	0,50294	-0,38445	0,18969
Egle	13,72648	0,88688	63,15600	-82,91013	-4,43013	0,00281	-73,17365	-0,72235	-0,92563	0,24593
Bērzs	-11,82100	1,95792	54,18728	-216,29347	2,63456	-0,00081	10,39234	-0,11695	-1,79526	0,03842

Iegūtā 25. vienādojuma aprēķinātās vērtības salīdzinātas ar reāli uzmērītajām vērtībām. Visām sugām starp abiem šiem rādītājiem konstatēta vidēji cieša korelācija (3.2.17. tabula). Lai gan vidējā novirze visām sugām ir 0, tomēr vidējā absolūtā novirze priedei ir 0,466 (12,6% no aritmētiski vidējās uzmērītās vērtības), eglei – 0,333 (8,4%) un bērzam 0,459 (12,6%).

3.2.17. tabula.

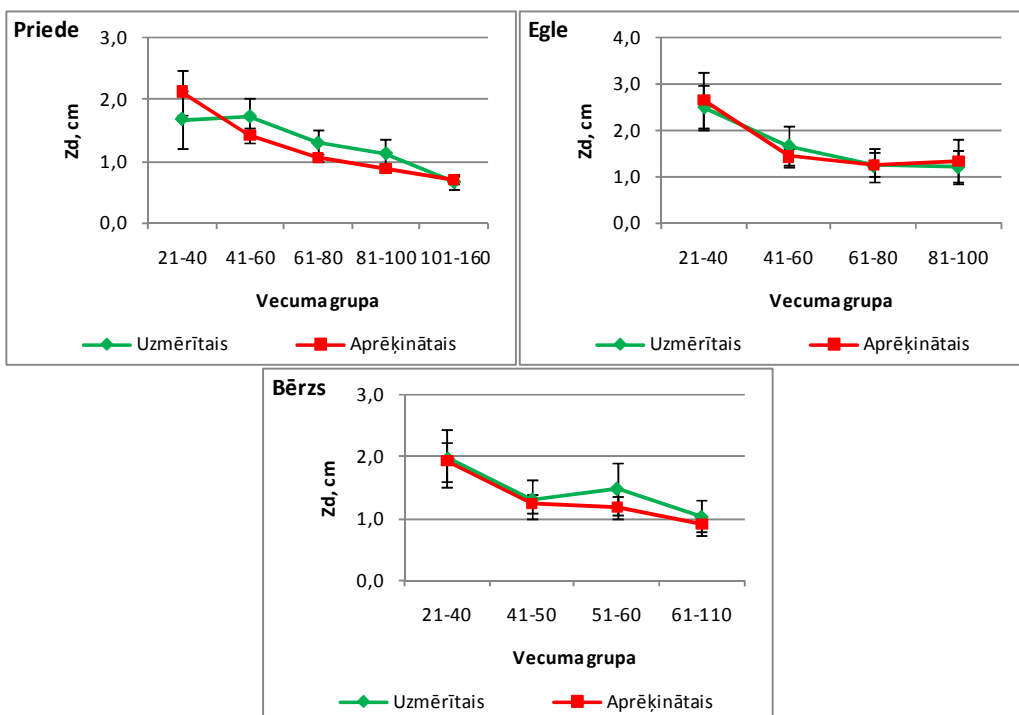
**Formulu (25) statistiskie rādītāji**

Statistiskie rādītāji	Apzīmējums	Ideālā vērtība	Priede	Egle	Bērzs
Vidējā novirze	MRES	0	0,000	0,000	0,000
Vidējā absolūtā novirze	AMRES	0	0,466	0,333	0,459
Standartklūda	RMSE	0	0,636	0,462	0,603
Vidējā kvadrātiskā klūda	MSE	0	0,420	0,238	0,394
Determinācijas indekss	R <sup>2</sup>	1	0,286	0,501	0,357
Modeļa efektivitāte	MEF	0	2,491	0,995	1,800
Dispersijas attiecība	VR	1	1,000	1,000	1,000

Aprēķinātais aritmētiski vidējais audzes I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā caurmēra piecu gadu tekošais periodiskais pieaugums ( $z_D$ ) ir mazāks (priedei un bērzam) vai tāds pats (eglei) kā uzmērītais, pie tam šīs vērtības savstarpēji neatšķiras vairāk nekā par divām standartklūdām, kas nozīmē, ka atšķirības nav statistiski būtiskas (pie rezultātu būtiskuma līmeņa  $\alpha=0.05$ ). Tāpat visām analizētajām sugām visās vecuma grupās nav konstatēta būtiska atšķirība starp uzmērīto un aprēķināto  $z_D$  (3.2.18. tabula 3.2.12. attēls).

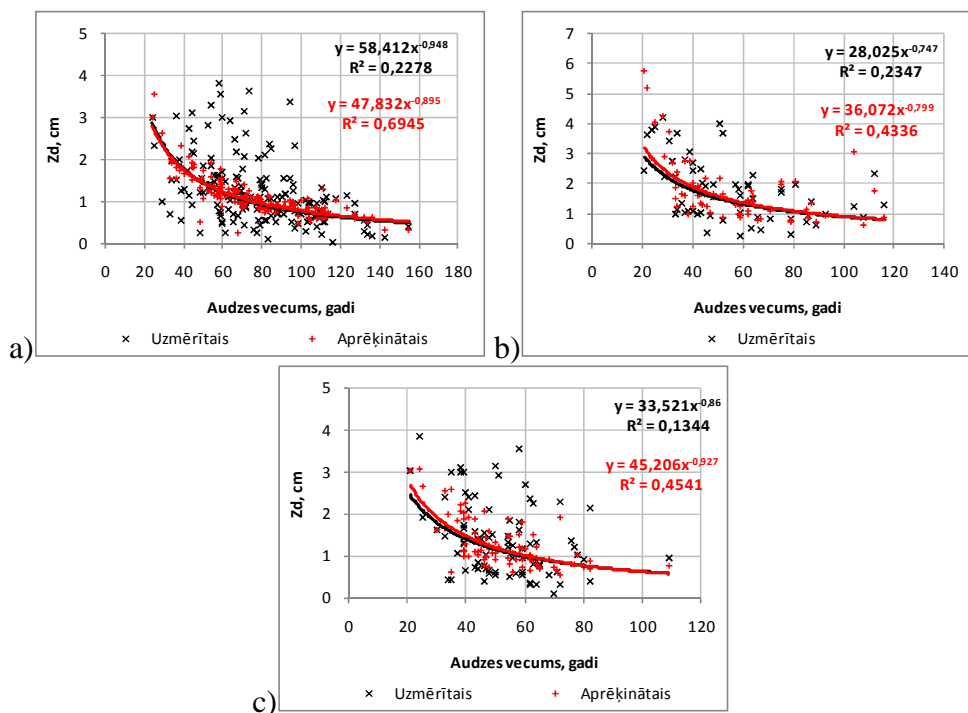
**Audzes I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā caurmēra 5 gadu uzmērītais un aprēķinātais tekošais periodiskais pieaugums, cm**

Suga	Zd veids	Vecums	Aritmētiski vidējais	Minimums	Maksimums	Standartnovirze	PL skaits	Standart-klūda
Priede	uzmērītais	21-40	1,68	0,54	3,05	0,810	12	0,23
		41-60	1,72	0,26	3,83	0,896	36	0,15
		61-80	1,29	0,24	3,65	0,760	45	0,11
		81-100	1,12	0,12	3,37	0,683	35	0,12
		101-160	0,66	0,04	1,31	0,338	34	0,06
	<b>Kopā</b>		<b>1,25</b>	<b>0,04</b>	<b>3,83</b>	<b>0,799</b>	<b>162</b>	<b>0,06</b>
	aprēķinātais	21-40	2,13	1,55	3,55	0,625	12	0,18
		41-60	1,42	0,50	2,07	0,328	36	0,05
		61-80	1,07	0,26	1,49	0,193	45	0,03
		81-100	0,88	0,48	1,15	0,121	35	0,02
101-160		0,71	0,32	1,28	0,188	34	0,03	
<b>Kopā</b>		<b>1,11</b>	<b>0,26</b>	<b>3,55</b>	<b>0,464</b>	<b>162</b>	<b>0,04</b>	
Egle	uzmērītais	21-40	2,50	1,01	4,22	1,088	20	0,24
		41-60	1,68	0,27	4,01	0,968	19	0,22
		61-80	1,25	0,31	2,27	0,653	13	0,18
		81-100	1,23	0,61	2,34	0,550	10	0,17
		<b>Kopā</b>		<b>1,78</b>	<b>0,27</b>	<b>4,22</b>	<b>1,027</b>	<b>62</b>
	aprēķinātais	21-40	2,67	0,98	5,74	1,329	20	0,30
		41-60	1,44	0,86	2,20	0,411	19	0,09
		61-80	1,27	0,69	2,07	0,476	13	0,13
		81-100	1,34	0,60	3,06	0,764	10	0,24
		<b>Kopā</b>		<b>1,78</b>	<b>0,60</b>	<b>5,74</b>	<b>1,054</b>	<b>62</b>
Egle	uzmērītais	21-40	1,98	0,43	3,86	1,010	19	0,23
		41-50	1,31	0,40	3,17	0,751	22	0,16
		51-60	1,48	0,53	3,55	0,873	17	0,21
		61-110	1,02	0,12	2,38	0,679	23	0,14
		<b>Kopā</b>		<b>1,42</b>	<b>0,12</b>	<b>3,86</b>	<b>0,884</b>	<b>81</b>
	aprēķinātais	21-40	1,93	0,62	3,09	0,693	19	0,16
		41-50	1,25	0,74	2,07	0,367	22	0,08
		51-60	1,18	0,64	1,90	0,357	17	0,09
		61-110	0,92	0,56	1,93	0,304	23	0,06
		<b>Kopā</b>		<b>1,30</b>	<b>0,56</b>	<b>3,09</b>	<b>0,579</b>	<b>81</b>



3.2.12. attēls. Aritmētiski vidējais audzes I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā caurmēra 5 gadu tekošais periodiskais pieaugums atkarībā no audzes vecuma grupas.

Tāpat par abu pieaugumu nebūtiskajām atšķirībām liecina tas, ka aproksimētās pakāpes funkcijas līknes atkarībā no audzes vecuma praktiski ir vienādas (3.2.13. attēls). Vērtības, kas tiek aprēķinātas pēc šīm līknēm, priedei vecumā 20-160 gadiem atšķiras mazāk nekā par 1mm (<7%), eglei vecumā 20-160 gadiem – 3mm (<10%), bērzam vecumā 20-120 gadiem – 3mm (<10%).



3.2.13. attēls. Audzes I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā caurmēra 5 gadu tekošais periodiskais pieaugums atkarībā no audzes vecuma.

a) priede; b) egle; c) bērzs

Lai gan no 25. vienādojuma aprēķināti audzes I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā caurmēra piecu gadu tekošais periodiskais pieaugums tiek prognozēts precīzi (nav konstatētas būtiskas atšķirības starp prognozēto un reāli uzņēmto), tomēr šā vienādojuma izmantošana nav īsti korekta, jo lielākā daļa no vienādojumā izmantotajiem parametriem pēc lineārās regresijas analīzes pie 95% ticamības ( $\alpha=0.05$ ) nav statistiski būtiski (3.2.19. tabula). Iespējams palielinoties datu apjomam situācija varētu uzlaboties.

3.2.19. tabula.

**Formulu (25) parametru lineārās regresijas būtiskuma (p-vērtības) rādītāji**

Parametri	Kopā	Intercept	ln(H100)	1/Hdom	1/Hdom^2	ln(d)	d^2	1/(d+0,1)	ln(cr)	RDF	Thin
Priede	<b>0,000</b>	0,349	<b>0,000</b>	0,152	0,078	0,379	0,412	0,465	0,128	0,289	0,241
Egle	<b>0,000</b>	0,234	<b>0,030</b>	<b>0,049</b>	0,715	0,148	<b>0,009</b>	0,057	0,130	0,052	0,148
Bērzs	<b>0,000</b>	0,454	<b>0,002</b>	0,259	0,582	0,538	0,547	0,863	0,784	<b>0,002</b>	0,903

H100 - virsausgustuma bonitāte, m

Hdom - virsausgustums, m

d - audzes I stāva valdošās koku sugas vidējais kvadrātiskais caurmērs, cm

cr - vainaga proporcija

Thin - fiktīvais mainīgais, ja periodā veikta kopšana

### 3.2.4. Šķērslaukuma pieaugums

Audzēs I stāva 5 gadu perioda beigās reāli uzmērītā un prognozētā (29. formula) šķērslaukuma ( $G_{uzm}$  un  $G_{apr}$ ) aritmētiski vidējā starpība (vidējā novirze) analizētajiem parauglaukumiem priežu audzēs ir  $-1,3 \pm 5,3$  (standartklūda)  $m^2 ha^{-1}$ , egļu audzēs ir  $-2,8 \pm 8,3 m^2 ha^{-1}$ , bērzu audzēs ir  $-0,1 \pm 2,8 m^2 ha^{-1}$  (3.2.20. tabula). Starp  $G_{uzm}$  un  $G_{apr}$  priežu un bērzu audzēs konstatēta cieša korelācija ( $R > 0,800$ ), bet egļu audzēs konstatēta vidēji cieša korelācija ( $R = 0,500 - 0,800$ ).

3.2.20. tabula.

**Formulas (29) statistiski rādītāji**

Statistiskie rādītāji	Apzīmējums	Ideālā vērtība	Priede	Egļe	Bērzs
Vidējā novirze	MRES	0	-1,3	-2,8	-0,1
Vidējā absolūtā novirze	AMRES	0	2,7	4,5	1,7
Standartklūda	RMSE	0	5,3	8,3	2,8
Vidējā kvadrātiskā klūda	MSE	0	27,7	67,3	7,5
Determinācijas indekss	$R^2$	1	0,718	0,396	0,841
Modeļa efektivitāte	MEF	0	0,308	0,682	0,168
Dispersijas attiecība	VR	1	0,980	0,914	1,000

Neatkarīgi no I stāva valdošās koku sugas lielākas starpības starp  $G_{uzm}$  un  $G_{apr}$  ir mistrotās audzēs ar mazāku valdošās koku sugas īpatsvaru (3.2.21. tabula). Skuju koku audzēs atšķirības ir lielākas nekā bērzu audzēs, kas izskaidrojams ar to, ka parasti skuju kokiem HD attiecība ir mazāka nekā lapu kokiem, kas nozīmē, ka I stāvā esošajiem lapu kokiem šķērslaukums ir mazāks nekā tas būtu tādām pašām valdošās koku sugas (skuju koku) koku skaitam.

Līdz ar to, lai varētu precīzāk prognozēt šķērslaukumu piecu gadu perioda beigās ir: vai nu šķērslaukums jāprognozē katram I stāva elementam atsevišķi (kas nozīmē, ka jāmaina koku skaita izmaiņu modelis un caurmēra pieauguma modelis), vai arī jāatrod korekcijas koeficients, kas atkarīgs no I stāva valdošās koku sugas un tās īpatsvara un no piemistrotu sugu sastāva (kas pagaidām nav iespējams nelielā analizē iekļauto parauglaukumu skaita dēļ).

3.2.21. tabula.

**Starpības starp piecu gadu perioda beigās uzmērīto un prognozēto šķērslaukumu atkarībā no I stāva valdošās koku sugas īpatsvara,  $m^2 ha^{-1}$**

Suga	Īpatsvars, %	Aritmētiski vidējais	Minimums	Maksimums	Standartnovirze	PL skaits	Standartklūda
Priede	36-64	6,3	0,3	35,0	8,1	17	2,0
	65-94	3,2	0,0	30,7	5,0	54	0,7
	95-100	1,4	0,1	5,2	1,0	68	0,1
	<b>kopā</b>	<b>2,7</b>	<b>0,0</b>	<b>35,0</b>	<b>4,5</b>	<b>139</b>	<b>0,4</b>
Egļe	36-64	5,4	0,1	28,5	7,1	17	1,7
	65-94	4,8	0,0	35,2	7,8	20	1,7
	95-100	1,8	0,1	3,9	1,2	9	0,4
	<b>kopā</b>	<b>4,5</b>	<b>0,0</b>	<b>35,2</b>	<b>6,7</b>	<b>46</b>	<b>1,0</b>
Bērzs	36-64	2,8	0,7	7,7	2,5	6	1,0
	65-94	2,0	0,0	13,9	2,4	42	0,4
	95-100	0,9	0,0	3,3	0,8	22	0,2
	<b>kopā</b>	<b>1,7</b>	<b>0,0</b>	<b>13,9</b>	<b>2,1</b>	<b>70</b>	<b>0,3</b>

## Secinājumi

1. Aritmētiski vidējā krājas tekošā periodiskā diference (2004.-2009.g.) parauglaukumos priežu audzēs ir  $+9,7 \pm 3,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  ( $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ ), egļu audzēs -  $-13,3 \pm 9,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , bērzu audzēs -  $+1,0 \pm 6,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Negatīvā diference egļu audzēs galvenokārt izskaidrojama ar 2005. gada vētras sekām.

2. Aritmētiski vidējais krājas tekošais pilnais periodiskais pieaugums (2004.-2009.g.) parauglaukumos priežu audzēs ir  $+22,7 \pm 1,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , egļu audzēs -  $+26,1 \pm 2,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , bērzu audzēs -  $+18,9 \pm 1,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ .

3. Aritmētiski vidējais krājas tekošais faktiskais periodiskais pieaugums (2004.-2009.g.) parauglaukumos priežu audzēs ir  $+23,2 \pm 1,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , egļu audzēs -  $+26,1 \pm 2,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , bērzu audzēs -  $+19,3 \pm 1,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ .

4. Priedei kopumā, bet it īpaši zemākajās bonitātēs parauglaukumos, pēc urbuma skaidām konstatētais faktiskās audzes krājas reducētais tekošais potenciālais periodiskais pieaugums ir lielāks nekā pēc izlīdzinātās līknes aprēķinātais. Savukārt E un B izlīdzinātās līknes vērtības ir augstākas nekā pēc urbumu skaitām aprēķinātās.

5. Faktiskie augstuma pieaugumi (2004.-2009.g.) kā priedei, tā arī eglei un bērzam ir lielāki nekā prognozēti pēc aproksimētajiem augstumiem kā pēc Orlova bonitāšu skalām, tā arī pa meža tipiēm attiecīgajās vecuma grupās vienreiz uzmērītos MSI parauglaukumos (Donis, 2009). Nepieciešams pārskatīt izstrādātos vienādojumus, kā arī Latvijā izmantojamo bonitāšu skalu.

6. Augstuma pieaugumi, kas modelēti pēc prof. I.Liepas izstrādātā vienādojuma (Liepa, 1996) kopumā paraugkopai neatšķiras būtiski no vidējām uzmērītajām augstuma pieauguma vērtībām, bet skuju kokiem prognozētie augstuma pieaugumi ir sistemātiski lielāki.

7. Aprēķinātie empīrisko vienādojumu koeficienti sakarības raksturošanai starp audzes vidējo augstumu, valdaudzes augstumu un virsaugstumu nodrošina labāku atbilstību empīriskajam materiālam nekā agrāk izstrādātās sakarības (Matuzānis, 1983).

8. Maksimālā koku skaita aproksimācija atkarībā no valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā caurmēra, kas aprēķināta pēc pārbaudāmā vienādojuma priedei ir sistemātiski mazāks nekā maksimālais konstatētais koku skaits, kāds aproksimēts pēc MSI mērījumos konstatētajiem maksimālajiem koku skaitiem dažāda  $D_g$  un  $H_g$  lielumiem, savukārt eglei un bērzam tie uzrāda nesistemātiskas atšķirības atkarībā no  $D_g$ . Nepieciešami detalizētāki vērtējumi un lielāks parauglaukumu skaits.

9. Izvēlētais modelis koku skaita pašizretināšanās modelēšanai 5 gadu periodam ir statistiski būtisks, bet atsevišķu neatkarīgo mainīgo koeficienti nav statistiski būtiski, un pie atsevišķām mainīgo lielumu kombinācijām „vienādojumu uzvedība” nav adekvāta, tādēļ nepieciešams palielināt parauglaukumu skaitu.

10. Pārbaudāmais caurmēra pieauguma modelis kopumā adekvāti atspoguļo faktiski uzmērīto caurmēra pieaugumu, bet ne visi regresijas vienādojuma koeficienti bija statistiski būtiski, tādēļ nepieciešams izvērtēt vienādojumus saglabājamo regresoru skaitu.

11. Aproksimētais šķērslaukuma pieaugums salīdzinājumā ar reāli konstatēto korelē vidēji cieši (eglei) vai cieši (priedei, bērzam). Redzama tendence, ka mistrotās audzēs aproksimācija ir ievērojami mazāka. Nepieciešams veikt papildus uzmanību mistrotu audžu augšanas gaitas 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](http://www.zm.gov.lv/doc_upl/2009_12.pdf) – Resurss aprakstīts 2010. gada 25.maijā
- 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.
- Sacenieks, 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.