

**Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”**



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

Līgums 5.5.-5.1/000t/101/11/13

Starpatskaite  
(4.etaps)

Projekta vadītājs: J.Donis

Salaspils  
2014

# Kopsavilkums

Mežaudžu augšanas gaitas un pieauguma noteikšana, izmantojot pārmērītos meža statistiskās inventarizācijas (MSI) datus. Projekta vadītājs. J.Donis. Pārējie galvenie izpildītāji - G.Šņepsts, R.Šēnhofs, A.Treimane.

Atbilstoši metodikai 4.etapā veikti sekojoši darba uzdevumi:

1. Augšanas gaitas prognožu modeļu izstrāde.
  - 1.1. MSI datu atlase, ievade un primāro datu aprēķins – atlasīti un apstrādāti 2173 parauglaukumu dati.
  - 1.2. Vienādojumu koeficientu vērtību precizēšana:
    - Vienādojumi balstīti uz 4 g. MSI mērījumu datiem;
    - modelētās sugas – priede, egle, bērzs, apse, melnalksnis, baltalksnis;
    - modelētie parametri – augstums, caurmērs, šķērslaukums, koku skaits pa koku sugām un bonitātēm;
    - kokaudzes augstumu modelēt – virsaugstumam, vidējam augstumam pa koku sugām un bonitātēm.

Izstrādātie H un D augšanas gaitas vienādojumi (Čapmana-Ričardsa f-ja, un Hossfelda f-ja)) balstīti uz algebriskās starpības pieeju, tādēļ, tās ir „neatkarīgas” no bonitātes. Koku skaita izmaiņas modelētas izmantojot 1) maksimālā koku skaita modeli, kurš vienlaicīgi ņem vērā gan H, gan D, un 2) divpakāpju atmiruma modeļus, kuros atmiršanas varbūtību nosaka koku d un augstums, kā arī meža elementa koku skaits. Šķērslaukuma izmaiņas tiek piedāvāts aprēķināt atbilstoši vispārpieņemtajām sakarībām starp G, prognozēto D un N. Precizēti koeficienti sakarībai starp vidējā kvadrātiskā caurmēra koka augstumu un virsaugstumu, kas izmantotami arī H augšanas gaitas modelēšanā.

2. Pieauguma, atmiruma un krājas diferences prognožu modeļu izstrāde:
  - vienādojums balstīts uz vismaz 4 g. MSI mērījumu datiem;
  - modelējamās sugas – priede, egle, bērzs, apse, melnalksnis, baltalksnis;
  - prognožu modeļi pa koku sugām un bonitātēm.

Aproksimētas jaunas audzes krājas faktiskā vidējā periodiskā pieauguma modeļa vērtības. Arī ar paplašināto datu apjomu E,A un Ba, līdzīgi kā ar iepriekšējām datu kopām, bonitāte izstādījās statistiski nebūtisks rādītājs.

Krājas periodiskā atmiruma modelis aprēķināts kā funkcija no A un G. ņemot vērā visai zemos determinācijas indeksus, vienādojumi izmantotami, tikai paraugkopas vidējo vērtību aprēķināšanai, bet ne, lai ticami attiecinātu uz katru atsevišķu audzi (parauglaukumu). Krājas diference aprēķināma algebriski no faktiskās audzes krājas pieauguma atņemot dabisko atmirumu un izcirsto krāju.
3. Ilgtermiņa trendu, ciklisko svārstību ietekmes novērtējums (balstoties uz 2011., 2012.g. 2013.g., iegūto urbumu skaidu apstrādes rezultātiem).

Kopā apstrādāti 16.9 tūkst. paraugu. Salīdzinot gadskārtu platumus pēdējos 5 gados ar pieaugumiem pirms 10 un 20 gadiem, konstatēts, ka priedēm, kas vecākas par 50 gadiem, nav būtiskas izmaiņas augšanas gaitā (trendi), Savukārt salīdzinot atbilstoša vecuma koku pieaugumus pirms 10, 20, 30 un 40 gadiem, augstāzīgās P, E audzēs kā arī B, A un Ma, konstatēts, ka radiālie pieaugumi ir lielāki nekā tas bija agrāk atbilstoša vecuma audzēs, taču tie lielākajā daļā gadījumu nav statistiski būtiski atšķirīgi.

4. Kopšanas ciršu ietekme uz pieaugumu izmaiņām vērtējums (priede, egle, bērzs, apse –32 objekti kopā).

Analīzē izmantoti gan šī projekta ietvaros ievāktie, gan arī citos projektos ierīkoto parauglaukumu dati. Konstatēts, ka kopšanas rezultātā P audzēs koki veidojas pozitīvs caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums. 20-40 gadus vecās audzēs caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums ir statistiski būtisks, bet 41-60 gadus vecās audzēs, tas ir pozitīvs, bet nav statistiski būtisks. Arī 21-40 g.v. E audzēs veidojas statistiski būtisks caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums. B un A audzēs d papildus pieaugums pozitīvs ir tikai jaunaudzēs, bet vecākās audzēs papildus pieaugums ir neitrāls vai negatīvs.

5. Dabisko traucējumu ietekmes uz augšanas gaitu novērtējums.

Analizēti sekojoši dabiskie traucējumi – uguns, vējš, sasalstošs lietus audzes. Secināts, ka, lai to ietekmi uz augšanas gaitu iekļaut modeļos nepieciešama koncepcijas maiņa no deterministisku uz stohastisku modeļu izmantošanu.

6. Uz MSI datiem izstrādāto modeļu salīdzinājums ar ilglaicīgo parauglūkumu datiem. Salīdzinot ar ilglaicīgo parauglūkumu datiem līdz 20 gadu periodam, caurmēra un augstuma aktualizācijas modeļi nodrošina +/-10% vidējo vērtības sakritību. Koku skaita izmaiņas P, B, Ma prognozes iekļaujas +/- 10%, bet eglei prognozētās koku skaita vērtības ir 8-40% mazākas nekā uzmērītās vērtības.
7. Saimnieciski nozīmīgāko koku sugu skaita izmaiņu aproksimēšana saimnieciskās darbības (koku ciršana) rezultātā un izstrādāto regresijas modeļu kvalitātes un ticamības novērtējums. Konstatēts, ka koku ciršana līdz pieaugušu audžu vecuma sasniegšanai I ciklā laikā vidēji izcirsti atkarībā no sugas 5-15 % koku.
8. Augšanas gaitas (G, H, D) modeļi saimnieciskās darbības ietekmē. Aproksimēta sakarība par dimensiju izmaiņām tūlīt pēc kopšanas cirtes. Jaunākās vecumgrupās ir izteikti „cirte no apakšas”, savukārt vecākās vecumgrupās izcirsto un saglabāto koku caurmēri kļūst līdzīgāki, kas iespējams, saistīts ar sanitāro ciršu veikšanu briestaudžu vecumā.
9. Mistrotu audžu meža elementu augšanas gaitas (G, H, D) modeļu izstrāde, balstot uz MSI datiem. Pētījumā konstatēts, ka I stāvā nav koku augšanas gaitā nav būtiskas atšķirības vai meža elements ir valdošais vai piemistrojumā, tādēļ augšanas gaitas modelēšanai izmantojami 1. darba uzdevuma ietvaros izstrādātie modeļi.
10. Augšanas gaitas modeļi (G, H, D) II stāva kokiem, augšanas gaitu novērtējuma, izmantojot MSI parauglūkumu informāciju. Izstrādāti G,H,D modeļi izstrādāti E, jo tikai tai bija pietiekams parauglūkumu skaits.

#### Rekomendācijas:

Augstuma un caurmēra sakarību aprēķināšanai Hvald, Hdom un Hg meža elementa ietvaros izmantojamas 2014.g. precizētās koeficientu vērtības. Hossfeld IV vienādojumiem ir loģiskāki rezultāti ekstrapolējot zemākajās „bonitātēs”.

Virsaugstuma un vidējā augstuma augšanas gaitas aproksimācijai izmantojamas 2014.g. precizētās koeficientu vērtības. Šīs vērtības izmantojamas arī piemistrojumā esošo sugu augšanas gaitas modelēšanai. Pašreiz 2.stāva augšanas gaitas modelēšanai, izņemot egli, kurai izstrādāts vienādojums 2.stāvam, pārējām sugām izmantojams 1.stāva augšanas gaitas modelis. Tiek pieņemts, ka virsaugstums aprēķināms, ņemot vērā sakarības starp vidējo augstumu un virsaugstumu.

Caurmēra pieaugumu modelēšanai kā valdošajai tā piemistrojuma sugai, modelējams izmantojot koeficientus, kas iegūti balstot uz radiālā pieauguma mērījumu datiem.

Koku skaita izmaiņu modelēšanā vispirms aprēķināma prognozēto koku skaitu nākošajā periodā. Ja tas pārsniedz pašizretināšanās līniju, tad koku skaitu nākošajam periodam prognozē atbilstoši pašizretināšanās skaitām.

Faktiskās audzes tekošā pieauguma aprēķinam izmantojami precizētie vienādojumu koeficienti.

Atmiruma modelim izstrādāts jauns vienādojums.

Modelējot novēlotu kopšanas ciršu ietekmi, nav pamata prognozēt pieauguma izmaiņas (papildus pieaugumu) veicot kopšanas cirti (priedei, eglei), savukārt bērzam un apsei pieaugums pirmajā piecgadē pat samazina.

Lai ņemtu vērā potenciālos vējgāžu un ugunsgrēku ietekmi, nepieciešama koncepcijas maiņa no deterministiskiem uz stohastiskiem modeļiem.

Kopšanas ciršu tiešas ietekmes uz D un H izmaiņām izmantojamas aprakstītās sakarības starp D,H,N G un kopšanas veidu – no augšas, neitrāla vai no apakšas.

# Saturs

<b>KOPSAVILKUMS .....</b>	<b>2</b>
<b>IEVADS.....</b>	<b>5</b>
<b>1. AUGŠANAS GAITAS PROGNOŽU MODEĻU IZSTRĀDE.....</b>	<b>6</b>
1.1. MSI DATU ATLASE, IEVADE UN PRIMĀRO DATU APRĒĶINS .....	6
1.2. VIENĀDOJUMU KOEFICIENTU VĒRTĪBU PRECIZĒŠANA.....	7
1.2.1. <i>Augstuma augšanas gaitas modeļa precizēšana</i> .....	7
1.2.1.1. Sakarība starp audzes vidējā kvadrātiskā caurmēra koka augstumu un audzes virsaugstumu .....	7
1.2.1.2. Virsaugstuma un vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa precizēšana .....	10
1.2.2. <i>Caurmēra augšanas gaitas modeļa precizēšana</i> .....	20
1.2.3. <i>Kokaudzes koku skaita modeļa precizēšana</i> .....	29
1.2.4. <i>Šķērslaukuma augšanas gaitas modeļa precizēšana</i> .....	33
<b>2. PIEAUGUMA, ATMIRUMA UN KRĀJAS DIFERENCES PROGNOŽU MODEĻU IZSTRĀDE .....</b>	<b>34</b>
2.1. FAKTISKĀS AUDZES TEKOŠĀ PIEAUGUMA MODELIS .....	34
2.2. ATMIRUMA MODELIS .....	37
2.3. KRĀJAS DIFERENCES MODELIS .....	39
<b>3. ILGTERMIŅA TRENDU, CIKLISKO SVĀRSTĪBU IETEKMES NOVĒRTĒJUMS (BALSTOTIES UZ 2011.G., 2012.G. 2013.G., IEGŪTO URBUMU SKAIDU APSTRĀDES REZULTĀTIEM) .....</b>	<b>40</b>
<b>4. KOPŠANAS CIRŠU IETEKME UZ PIEAUGUMU IZMAIŅĀM VĒRTĒJUMS (PRIEDE, EGLE, BĒRZS UN APSE –32 OBJEKTI KOPĀ).....</b>	<b>51</b>
<b>5. DABISKO TRAUČĒJUMU IETEKMES UZ AUGŠANAS GAITU NOVĒRTĒJUMS .....</b>	<b>59</b>
<b>6. UZ MSI DATIEM IZSTRĀDĀTO MODEĻU SALĪDZINĀJUMS AR ILGLAICĪGO PARAUGLAUKUMU DATIEM.....</b>	<b>60</b>
<b>7. SAIMNIECISKI NOZĪMĪGĀKO KOKU SUGU KOKU SKAITA IZMAIŅU APROKSIMĒŠANA SAIMNIECISKĀS DARBĪBAS (KOKU CIRŠANA) REZULTĀTĀ UN IZSTRĀDĀTO REGRESIJAS MODEĻU KVALITĀTES UN TICAMĪBAS NOVĒRTĒJUMS .....</b>	<b>62</b>
<b>8. AUGŠANAS GAITAS (G, H, D) MODEĻI SAIMNIECISKĀS DARBĪBAS IETEKMĒ .....</b>	<b>63</b>
<b>9. MISTROTU AUDŽU MEŽA ELEMENTU AUGŠANAS GAITAS (G, H, D) MODEĻU IZSTRĀDE, BALSTOT UZ MSI DATIEM.....</b>	<b>65</b>
<b>10. AUGŠANAS GAITAS MODEĻI (G, H, D) II STĀVA KOKIEM, AUGŠANAS GAITU NOVĒRTĒJUMA, IZMANTOJOT MSI PARAUGLAUKUMU INFORMĀCIJU .....</b>	<b>66</b>
<b>SECINĀJUMI .....</b>	<b>67</b>
<b>LITERATŪRA.....</b>	<b>68</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) lielā mērā ir balstīti uz 1960.-tajos un 70.gados vienreiz uzmērītu parauglaukumu datiem, kuros tekošais pieaugums noteikts pēc urbumu metodes. Ar šo metodi nav iespējams iegūt ticamu informāciju par atmirumu (koku skaita izmaiņām) un augšanas gaitu kopumā. Arī augšanas gaitas tabulas (Ozols, 1926; Sarma, 1948; Sacenieks, Matuzānis, 1964), neatspoguļo reālu audžu augšanas gaitu, bet gan dažādu vecumu „normālo audžu” statiku. Ir konstatēts, ka pēdējos gadu desmitos koku augšanas gaita Eiropā ir mainījusies (Spiecker, 1999, Pretzsch, 2009), 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 dažādu mežsaimniecisko darbību alternatīvu izvērtēšanai.

Atbilstoši metodikai 4.etapā paredzēti sekojoši darba uzdevumi:

1. Augšanas gaitas prognožu modeļu izstrāde.
  - 1.1. MSI datu atlase, ievade un primāro datu aprēķins.
  - 1.2. Vienādojumu koeficientu vērtību precizēšana:
    - vienādojums balstīts uz vismaz 4 g. MSI mērījumu datiem;
    - modelējamās sugas – priede, egle, bērzs, apse, melnalksnis, baltalksnis;
    - modelējamie parametri – augstums, caurmērs, šķērslaukums, koku skaits pa koku sugām un bonitātēm;
    - kokaudzes augstumu modelēt – virsaugstumam, vidējam augstumam pa koku sugām un bonitātēm.
2. Pieauguma, atmiruma un krājas diferences prognožu modeļu izstrāde:
  - vienādojums balstīts uz vismaz 4 g. MSI mērījumu datiem;
  - modelējamās sugas – priede, egle, bērzs, apse, melnalksnis, baltalksnis;
  - prognožu modeļi pa koku sugām un bonitātēm.
3. Ilgtermiņa trendu, ciklisko svārstību ietekmes novērtējums (balstoties uz 2011., 2012.g. 2013.g., iegūto urbumu skaidu apstrādes rezultātiem).
4. Kopšanas ciršu ietekme uz pieaugumu izmaiņām vērtējums (priede, egle, bērzs, apse –32 objekti kopā).
5. Dabisko traucējumu ietekmes uz augšanas gaitu novērtējums.
6. Uz MSI datiem izstrādāto modeļu salīdzinājums ar ilglaicīgo parauglaukumu datiem.
7. Saimnieciski nozīmīgāko koku sugu skaita izmaiņu aproksimēšana saimnieciskās darbības (koku ciršana) rezultātā un izstrādāto regresijas modeļu kvalitātes un ticamības novērtējums.
8. Augšanas gaitas (G, H, D) modeļi saimnieciskās darbības ietekmē.
9. Mistrotu audžu meža elementu augšanas gaitas (G, H, D) modeļu izstrāde, balstot uz MSI datiem.
10. Augšanas gaitas modeļi (G, H, D) II stāva kokiem, augšanas gaitu novērtējuma, izmantojot MSI parauglaukumu informāciju.

# 1. Augšanas gaitas prognožu modeļu izstrāde

## 1.1. MSI datu atlase, ievade un primāro datu aprēķins

Meža statistiskās inventarizācijas (MSI) parauglaukumu datu bāzē atlasīti un MS Excel datorprogrammā ievadīti dati par parauglaukumiem, kuriem pirmajā uzmērīšanas ciklā zemju kategorija ir mežs (kods ir 10), iznīkusi audze (11), degums (12), vējgāzes (13), izcirtums (14) vai mežs lauksaimniecības zemē (62).

Kopā ievadīti parauglaukumu dati par 5485 (2014. gadā - 2173) MSI parauglaukumiem. Katrā parauglaukumā aprēķināti gan 1. cikla, gan 2. cikla mežaudzes, katra atsevišķa mežaudzes stāva un katra atsevišķa mežaudzes elementa galvenie taksācijas rādītāji, kā arī izcirstās un atmirušās koksnes apjoms.

MSI mērķis ir iegūt statistiski ticamu informāciju par mežu resursu stāvokli valstī kopumā, tādēļ MSI metodika paredz koku uzmērīšanu dažāda lieluma uzskaites laukumos atkarībā no to krūšaugstuma caurmēra, kas neļauj tos tieši analizēt parauglaukumu līmenī.

Lai saglabātu sakarības parauglaukumu līmenī, analizē tiek pieņemts, ka:

- nenotiek koku „ieaugšanās” (atkarībā no koka novietojuma pret parauglaukuma centru tie sasnieguši MSI metodikai atbilstošu caurmēru) - analizē tikai 1. ciklā uzmērītos kokus;
- koki saglabā savu 1. cikla reprezentācijas klasi;
- koki abās uzmērīšanas reizēs pieder vienam un tam pašam mežaudzes stāvam.

Atlasīto un ievadīto MSI parauglaukumu sadalījums pa 1. ciklā konstatētajām valdošajām koku sugām, meža tipi, bonitātēm un vecuma desmitgadēm atspoguļots 1.1.1.- 1.1.3. tabulā.

1.1.1. tabula

Parauglaukumu sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām un meža tipi

Valdošā koku suga	Meža tips																				Kopā				
	Sl	Mr	Ln	Dm	Vr	Gr	Gs	Mrs	Dms	Vrs	Grs	Pv	Nd	Db	Lk	Av	Am	As	Ap	Kv		Km	Ks	Kp	
Priede	50	189	193	382	23	4		83	78	4		167	77	1		5	65	154	4	29	92	143	2	1745	
Egle		1	7	180	274	14		10	67	36	3		10	8	1		10	202	39		14	89	20	985	
Bērzs		7	8	205	357	31	1	16	64	75	9	12	57	78	1		6	212	76	2	17	189	77	1500	
Melnalksnis					35	6			3	34	6	1	7	61	7			23	22			22	35	262	
Apse			3	58	164	23		2	6	16	3		3	1			1	58	39		2	10	2	391	
Baltalksnis				32	215	37			7	20	6			13	2			37	42				7	9	427
Citas				12	35	45			2	4	3	1		3				1	17			2	4	129	
Izcirtumi			2	12	5				1	2				3			1	8	7		1	2	2	46	
<b>Kopā</b>	<b>50</b>	<b>197</b>	<b>213</b>	<b>881</b>	<b>1108</b>	<b>160</b>	<b>1</b>	<b>111</b>	<b>228</b>	<b>191</b>	<b>30</b>	<b>181</b>	<b>154</b>	<b>168</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>83</b>	<b>695</b>	<b>246</b>	<b>31</b>	<b>126</b>	<b>464</b>	<b>151</b>	<b>5485</b>	

1.1.2. tabula

Parauglaukumu sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām un vecuma desmitgadēm

Valdošā koku suga	Vecuma desmitgade																				Kopā		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		21+	
Priede	45	58	49	66	129	185	258	235	226	152	126	83	56	34	21	12	2	4	1	1	1	2	1745
Egle	67	62	128	179	110	96	104	89	61	31	23	15	8	5		2	4	1					985
Bērzs	192	140	112	195	268	276	173	97	37	8	2												1500
Melnalksnis	20	13	35	37	59	49	36	12	1														262
Apse	114	27	24	32	67	60	43	12	7	1	3	1											391
Baltalksnis	84	81	95	103	52	11	1																427
Citas	14	10	10	16	12	11	14	12	14	5	3	1	2	1	1	1	2						129
Izcirtumi																							46
<b>Kopā</b>	<b>536</b>	<b>391</b>	<b>453</b>	<b>628</b>	<b>697</b>	<b>688</b>	<b>629</b>	<b>457</b>	<b>346</b>	<b>197</b>	<b>157</b>	<b>100</b>	<b>66</b>	<b>40</b>	<b>22</b>	<b>15</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5485</b>	

1.1.3. tabula

Parauglaukumu sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām un bonitātēm

Valdošā koku suga	Bonitāte							Kopā
	Ia	I	II	III	IV	V	Va	
Priede	263	491	408	270	146	92	75	1745
Egle	313	368	182	91	27	4		985
Bērzs	616	518	201	112	45	7	1	1500
Melnalksnis	91	93	49	26	2	1		262
Apse	245	133	4	6	3			391
Baltalksnis	172	168	42	34	5	3	3	427
Citas	16	51	31	24	7			129
Izcirtumi								46
<b>Kopā</b>	<b>1716</b>	<b>1822</b>	<b>917</b>	<b>563</b>	<b>235</b>	<b>107</b>	<b>79</b>	<b>5485</b>

## 1.2. Vienādojumu koeficientu vērtību precizēšana

### 1.2.1. Augstuma augšanas gaitas modeļa precizēšana

#### 1.2.1.1. Sakarība starp audzes vidējā kvadrātiskā caurmēra koka augstumu un audzes virsaugstumu

##### Materiāls un metodika

Analīzē izmantoti dati par 6736 MSI 1. un 2. ciklā uzmērītajiem I stāva meža elementiem, kuros:

- valdošā koku suga ir priede (2359 meža elementi), egle (1374), bērzs (1906), melnalksnis (384), apse (290) un baltalksnis (423);
- meža elementa koku skaits ir vismaz 100 koki uz hektāra;
- augstums uzmērīts vismaz 5 kokiem.

Analīzē pieņem:

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

Aprēķinātas jaunas koeficientu vērtības iepriekšējos gados izstrādātajiem vienādojumiem, kas paredzēti vidējā un valdaudzes augstuma aprēķināšanai atkarībā no audzes virsaugstuma un koka skaita:

$$H_g = b_1 H_{dom}^{b_2} N^{b_3} \text{ jeb } H_{dom} = \left( \frac{H_g}{b_1 N^{b_3}} \right)^{\frac{1}{b_2}} \quad (1.1)$$

kur  $H_g$  – audzes vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošais augstums, m;  
 $H_{dom}$  – audzes virsaugstums (100 uz hektāra lielāko koku augstums), m;  
 $N$  – valdošās koku sugas I stāva koku skaits uz hektāra.

$$H_{vald} = b_1 H_{dom}^{b_2} N^{b_3} \text{ jeb } H_{dom} = \left( \frac{H_{vald}}{b_1 N^{b_3}} \right)^{\frac{1}{b_2}} \quad (1.2)$$

kur  $H_{vald}$  – audzes valdaudzes augstums, m;  
 $H_{dom}$  – audzes virsaugstums (100 uz hektāra lielāko koku augstums), m;  
 $N$  – valdošās koku sugas I stāva koku skaits uz hektāra.

Koeficientu vērtības aprēķinātas datorprogrammā SPSS 14, izmantojot rīku advanced regression.

##### Rezultāti

Precizētas jaunas koeficientu vērtības iepriekšējos gados izstrādātajam vienādojumam meža elementa vidējā augstuma un valdaudzes augstuma aprēķināšanai atkarībā no meža elementa virsaugstuma un koku skaita (1.2.1. tabula).

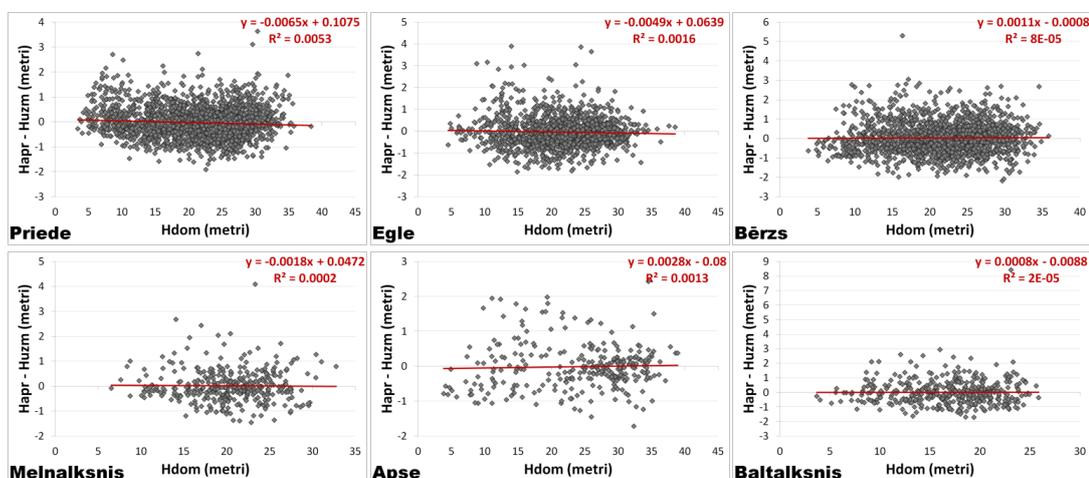
Abiem vienādojumiem ar jaunajām koeficientu vērtībām vidējā novirze visiem meža elementiem ir mazāka par 10cm (teorētiskā uzmērīšanas precizitāte), kas visos gadījumos ir mazāk nekā 0.5% no vidējā koku augstuma (1.2.1. tabula).

Audzēs vidējā augstuma un valdaudzēs augstuma aprēķināšanai atkarībā no audzes virsaugstuma un koku skaita vienādojumu (1.1. un 1.2. formulas) koeficienti, statistiskie rādītāji un lietošanas ierobežojumi

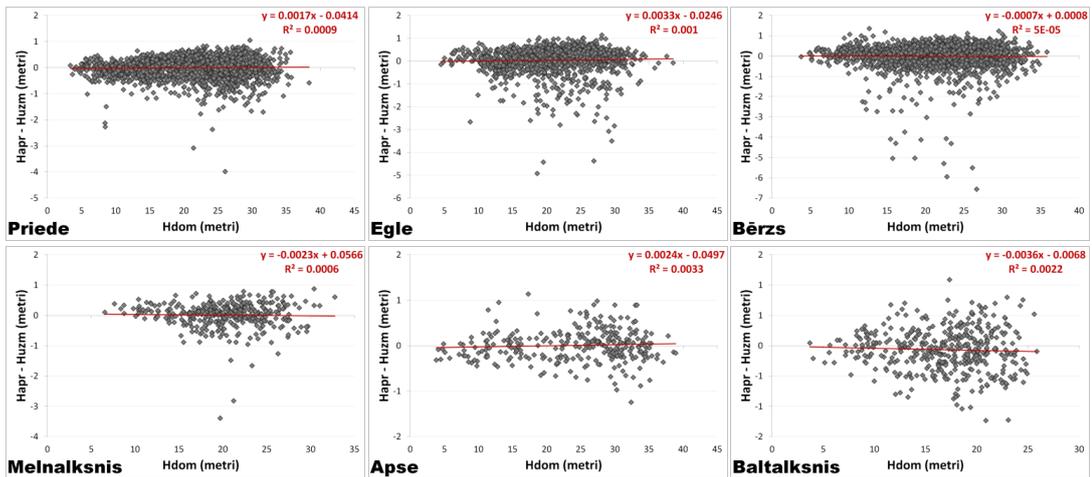
Vienādojums	Suga	Koeficients	Vērtība	Standartkļūda	95% Ticamības		Vienādojuma statistiskie rādītāji								Ierobežojumi	
					Min	Max	MRES	AMRES	RMSE	MSE	MEF	VR	R	R <sup>2</sup>		N
H <sub>g</sub> =a <sub>1</sub> H <sub>dom</sub> <sup>a<sub>2</sub></sup> N <sup>a<sub>3</sub></sup>	Priede	b1	1.094	0.014	1.067	1.120	0.033	0.447	0.590	0.348	0.008	0.980	0.996	0.992	2359	H <sub>dom</sub> =3...39 N=120...10 000
		b2	1.028	0.003	1.022	1.033										
		b3	-0.040	0.001	-0.041	-0.038										
	Egle	b1	1.176	0.023	1.130	1.221	0.040	0.518	0.702	0.492	0.014	0.977	0.993	0.986	1374	H <sub>dom</sub> =3...39 N=120...10 000
		b2	1.028	0.005	1.019	1.038										
		b3	-0.056	0.001	-0.059	-0.053										
	Bērzs	b1	1.196	0.022	1.153	1.239	-0.023	0.558	0.755	0.569	0.015	0.987	0.993	0.985	1906	H <sub>dom</sub> =3...39 N=120...10 000
		b2	1.024	0.004	1.016	1.033										
		b3	-0.055	0.001	-0.058	-0.053										
	Melnalksnis	b1	1.159	0.035	1.090	1.227	-0.010	0.453	0.643	0.413	0.019	0.977	0.990	0.981	384	H <sub>dom</sub> =3...36 N=120...10 000
		b2	1.010	0.008	0.993	1.026										
		b3	-0.039	0.002	-0.043	-0.035										
	Apse	b1	1.045	0.036	0.973	1.116	0.013	0.483	0.657	0.430	0.006	0.999	0.997	0.994	290	H <sub>dom</sub> =3...39 N=120...10 000
		b2	1.044	0.008	1.028	1.059										
		b3	-0.041	0.002	-0.045	-0.036										
	Baltalksnis	b1	1.168	0.059	1.053	1.284	-0.005	0.608	0.872	0.759	0.036	0.965	0.982	0.964	423	H <sub>dom</sub> =3...27 N=120...10 000
		b2	1.011	0.013	0.985	1.037										
		b3	-0.041	0.003	-0.047	-0.035										
H <sub>v</sub> =a <sub>1</sub> H <sub>dom</sub> <sup>a<sub>2</sub></sup> N <sup>a<sub>3</sub></sup>	Priede	b1	1.250	0.010	1.230	1.269	0.005	0.277	0.379	0.143	0.003	1.001	0.998	0.997	2359	H <sub>dom</sub> =3...39 N=100...10 000
		b2	0.980	0.002	0.977	0.984										
		b3	-0.034	0.001	-0.035	-0.033										
	Egle	b1	1.383	0.022	1.340	1.426	-0.046	0.398	0.588	0.345	0.011	0.996	0.995	0.990	1374	H <sub>dom</sub> =3...39 N=100...10 000
		b2	0.962	0.004	0.954	0.969										
		b3	-0.041	0.001	-0.044	-0.039										
	Bērzs	b1	1.305	0.019	1.268	1.343	0.015	0.377	0.629	0.395	0.011	0.987	0.994	0.989	1906	H <sub>dom</sub> =3...39 N=100...10 000
		b2	0.966	0.003	0.959	0.972										
		b3	-0.033	0.001	-0.035	-0.031										
	Melnalksnis	b1	1.220	0.024	1.174	1.267	-0.010	0.284	0.424	0.179	0.009	0.986	0.996	0.991	384	H <sub>dom</sub> =3...36 N=100...10 000
		b2	0.978	0.005	0.968	0.989										
		b3	-0.028	0.001	-0.031	-0.025										
	Apse	b1	1.183	0.022	1.140	1.225	-0.008	0.267	0.354	0.125	0.002	1.003	0.999	0.998	290	H <sub>dom</sub> =3...39 N=100...10 000
		b2	0.992	0.004	0.984	1.000										
		b3	-0.030	0.001	-0.032	-0.028										
	Baltalksnis	b1	1.137	0.022	1.094	1.181	0.067	0.275	0.357	0.127	0.006	0.987	0.997	0.994	423	H <sub>dom</sub> =3...27 N=100...10 000
		b2	0.987	0.005	0.977	0.997										
		b3	-0.022	0.001	-0.024	-0.019										

MRES - vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze; RMSE - standartkļūda; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R<sup>2</sup> - determinācijas indekss; N - elementu skaits

Gan vidējā augstuma, gan valdaudzēs augstuma aproksimēto un uzmērīto vērtību starpības nav atkarīgas no uzmērītā elementa virsaugstuma, jo konstatēta vāja un statistiski nebūtiska korelācija (1.2.1. un 1.2.2. attēls).

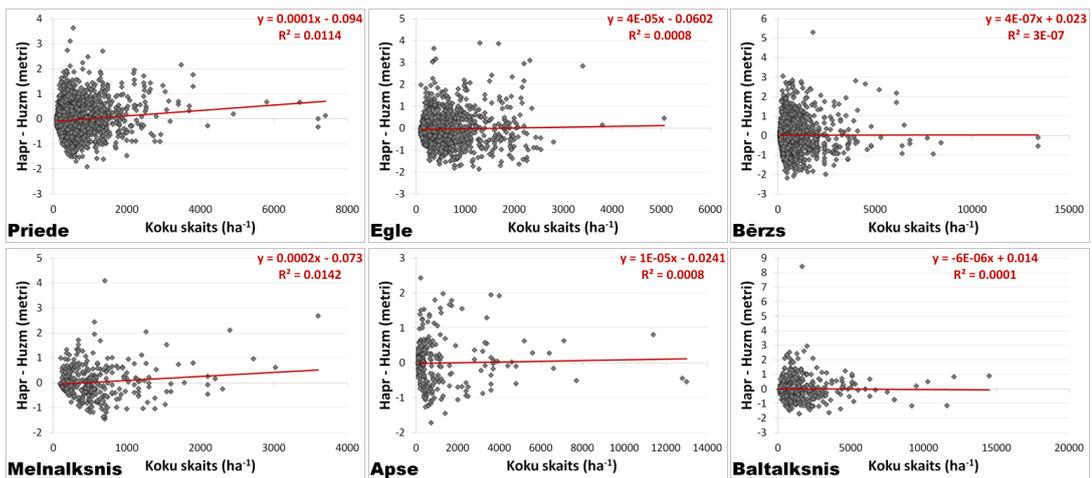


1.2.1. attēls. Meža elementa vidējā augstuma starpība starp uzmērītajām un aproksimētajām vērtībām atkarībā no meža elementa virsaugstuma.

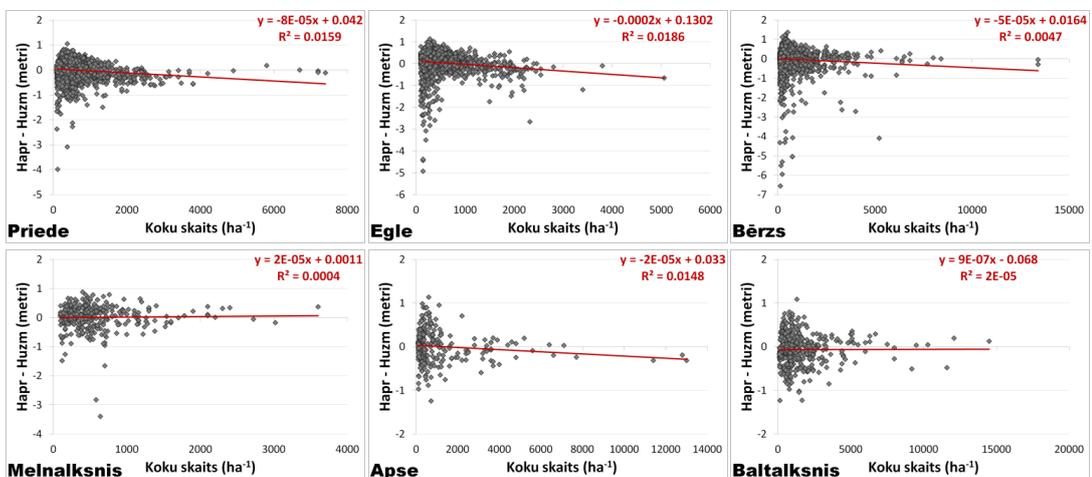


1.2.2. attēls. Meža elementa valdaudzes augstuma starpība starp uzmērītajām un aproksimētajām vērtībām atkarībā no meža elementa virsaugstuma.

Gan vidējā augstuma, gan valdaudzes augstuma aproksimēto un uzmērīto vērtību starpības atkarībā no meža elementa koku skaita principā arī var uzskatīt par nebūtiskām, jo visos gadījumos konstatēta vāja korelācija, lai gan atsevišķos gadījumos lielā novērojumu skaita pēc tā ir statistiski būtiska (1.2.3. un 1.2.4. attēls).

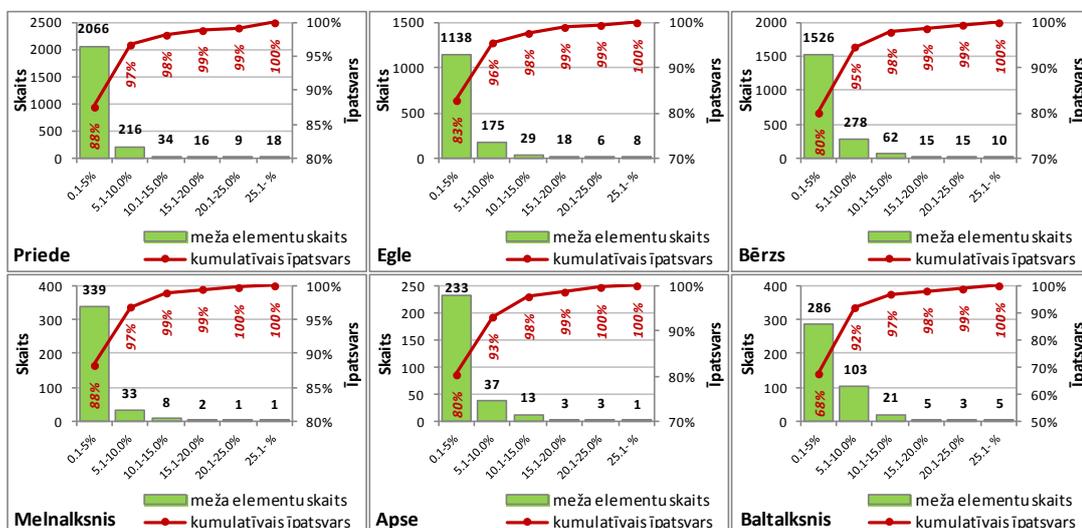


1.2.3. attēls. Meža elementa vidējā augstuma starpība starp uzmērītajām un aproksimētajām vērtībām atkarībā no meža elementa koku skaita.

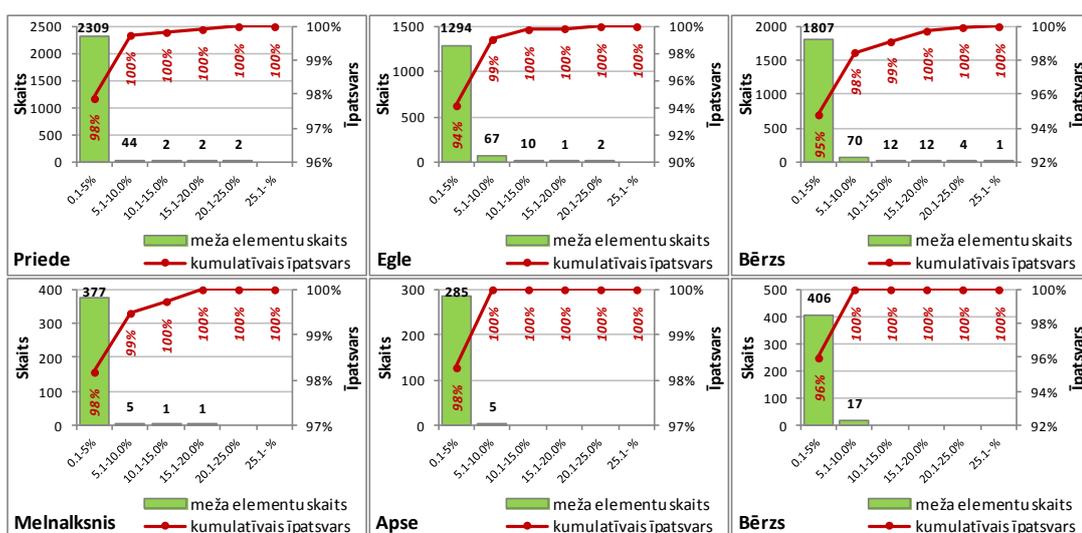


1.2.4. attēls. Meža elementa valdaudzes augstuma starpība starp uzmērītajām un aproksimētajām vērtībām atkarībā no meža elementa koku skaita.

Starpības starp vidējā augstuma uzmērītajām un aproksimētajām vērtībām mazākas par +/- 10% atkarībā no koku sugas ir 92-97% gadījumu, bet starpības starp valdaudzes augstuma uzmērītajām un aproksimētajām vērtībām mazākas par +/- 10% atkarībā no koku sugas ir 98-100% gadījumu (1.2.5. un 1.2.6. attēls).



1.2.5. attēls. Meža elementa skaits un kumulatīvais sadalījums atkarībā no meža elementa relatīvās starpības starp aproksimēto un uzmērīto vidējo augstumu.



1.2.6. attēls. Meža elementa skaits un kumulatīvais sadalījums atkarībā no meža elementa relatīvās starpības starp aproksimēto un uzmērīto valdaudzes augstumu.

### 1.2.1.2. Virsaugstuma un vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa precizēšana

#### Materiāls un metodika

Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaita aproksimēta divos variantos:

**1. variants.** MSI parauglaukumu pārmērījumu datiem kā otrā un pirmā cikla meža elementa vidējā augstuma starpība.

Datu analizē izmanto datus par 3717 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paudzes vienā stāvā esošus kokus) no 2336 MSI 2009. - 2013. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- meža elementi ir P1.st. (962 meža elementi), E1.st. (699), E2.st. (527), B1.st. (963), A1.st. (156), M1.st. (230), Ba1.st. (180);

- katrā uzmērīšanas ciklā augstums uzmērīts vismaz 3 dzīvajiem kokiem no viena meža elementa;
- abās uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums;
- nevienā no uzmērīšanas cikliem parauglaukumā nav konstatēti vecās paaudzes koki;
- parauglaukumā izcirsto un atmirušo koku skaits mazāks par 50% no pirmajā ciklā konstatētā koku skaita;
- meža elementa vidējais augstums otrajā ciklā ir lielāks nekā pirmajā ciklā;
- meža elementa pēdējo piecu gadu augstuma tekošais periodiskais pieaugums neatšķiras vairāk kā divas standartnovirzes no tam atbilstošās vecuma desmitgades aritmētiski vidējās vērtības.

## 2. variants. MSI parauglaukumos reāli uzmērīto koku augstuma starpība.

Datu analīzē izmanto datus par 19029 kokiem no 2598 MSI 2009. - 2013. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- meža elementi ir P1.st. (5265 koki), E1.st. (3699), E2.st. (2637), B1.st. (4561), A1.st. (858), M1.st. (1083), Ba1.st. (926);
- abās uzmērīšanas reizēs zināms kokiem atbilstošais meža elementa vecums;
- nevienā no uzmērīšanas cikliem parauglaukumā nav konstatēti vecās paaudzes koki;
- parauglaukumā izcirsto un atmirušo koku skaits mazāks par 50% no pirmajā ciklā konstatētā koku skaita;
- koka caurmērs ir 0.7-1.3 no tam atbilstošā meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra;
- koka augstums otrajā ciklā ir lielāks nekā pirmajā ciklā;
- kokam nav konstatēti galotnes bojājumi;
- koka pēdējo piecu gadu augstuma tekošais periodiskais pieaugums neatšķiras vairāk kā divas standartnovirzes no tam atbilstošās vecuma desmitgades aritmētiski vidējās vērtības.

Meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra koka augstuma izmaiņu aproksimācijai izmanto (pārbauda) vienādojumus, kas balstīti uz vispārinātās algebriskās diferences pieeju, tādējādi augstuma pieaugumu var prognozēt zinot tikai audzes augstumu un krūšaugstuma vecumu, bet nav nepieciešama informācija par bonitāti.

Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas aproksimācijai pārbaudīti divi vienādojumi:

### 1. Chapman-Richards vienādojuma vispārinātās algebriskās diferences pieejas modelis (Krumland & Eng, 2005):

$$H_2 = 1.3 + (H_1 - 1.3) \left( \frac{1 - \exp[-b_1 A_2]}{1 - \exp[-b_1 A_1]} \right)^{\left( b_2 + \frac{b_3}{X_0} \right)} \quad (1.3)$$

$$X_0 = \frac{1}{2} \left[ (\ln(H_1 - 1.3) - b_2 L_0) + \sqrt{(\ln(H_1 - 1.3) - b_2 L_0)^2 - 4b_3 L_0} \right] \quad (1.3.1)$$

$$L_0 = \ln(1 - \exp[-b_1 A_1]) \quad (1.3.2)$$

kur  $A_1$  – krūšaugstuma vecums pirmajā uzmērīšanas reizē, gadi;  
 $A_2$  – krūšaugstuma vecums otrajā uzmērīšanas reizē, gadi;  
 $H_1$  – augstums pirmajā uzmērīšanas reizē, metri;  
 $H_2$  – augstums otrajā uzmērīšanas reizē, metri;  
 $b_1; b_2; b_3$  – empīriskie koeficienti.

### 2. Hossfeld IV vienādojuma (Kiviste, 1988) vispārinātās algebriskās diferences pieejas modelis (Krumland & Eng, 2005):

$$H_2 = 1.3 + \frac{A_2^{b_1}}{b_2 + 100b_3 X_0 + X_0 A_2^{b_1}} \quad (1.4)$$

$$X_0 = \frac{A_1^{b_1}}{H_1 - 1.3} b_2 \quad (1.4.1)$$

$$100b_3 + A_1^{b_1}$$

kur  $A_1$  – krūšaugstuma vecums pirmajā uzmērīšanas reizē, gadi;  
 $A_2$  – krūšaugstuma vecums otrajā uzmērīšanas reizē, gadi;  
 $H_1$  - augstums pirmajā uzmērīšanas reizē, metri;  
 $H_2$  - augstums otrajā uzmērīšanas reizē, metri;  
 $b_1; b_2; b_3$  – empīriskie koeficienti.

Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modelēta datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows.

Ar 1.3. un 1.4. vienādojumiem tiek aproksimēta meža elementa vidējā kvadrātiskā koka augstuma augšanas gaita, bet audzes virsaugstumu var aprēķināt izmantojot 1.1. vienādojumu.

## Rezultāti

### Valdošā un piemistrojuma meža elementu augstuma augšanas gaitas salīdzinājums

Tā kā datu apjoms ir palielinājies atkārtoti tiek pārbaudīta hipotēze, ka tekošais augstuma pieaugums nav atkarīgs no meža elementa dominances stāvokļa (valdošais vai piemistrojuma meža elements).

Analīzē par valdošajiem meža elementiem pieņem tos meža elementus, kuru sastāva koeficients ir vismaz 6.5.

Analīzē sugas ietvaros veikta 3 faktoru dispersijas analīze, kurā kā faktoriālās vērtības bez dominances stāvokļa (valdošais vai piemistrojuma meža elements) vēl atlasītas meža elementa krūšaugstuma vecuma grupa un meža tipa grupa (1.2.2. tabula), bet kā rezultatīvā pazīme izmantota meža elementa pēdējo piecu gadu tekošais periodiskais augstuma pieaugums. Analīzē iekļautas tikai tās meža tipa-vecuma grupas, kurās ir vismaz trīs meža elementi katrā dominances stāvokļa grupā. Kopā analīzē izmantoti dati par 2220 meža elementiem (priedes 464; egles 627, bērzi 772, melnalkšņi 143, apses 78 un baltalkšņi 136).

Dispersijas analīzes rezultātā noskaidrots, ka meža elementa pēdējo piecu gadu tekošais periodiskais augstuma pieaugums nav atkarīgs no tā vai meža elements parauglaukumā ir valdošais vai piemistrojuma elements, jo visām sugām p-vērtība ir lielāka par 0.05 (1.2.3. tabula). Līdz ar to augstuma augšanas gaitas modelēšanā meža elementa stāvokli neņem vērā.

1.2.2. tabula

### **Augstuma pieauguma dispersijas analīzē izmantoto meža elementu sadalījums pa meža tipu un vecuma grupām**

Vecuma grupa*	Priede				Egļe					Bērzs					Melnalksnis					Apse				Baltalksnis				
	Dm	Mrs/Dms	As/Ks	Kopā	Dm	Vr	Dms/Vrs	As/Ks	Ap/Kp	Kopā	Dm	Vr	Dms/Vrs	Nd/Db	As/Ks	Ap/Kp	Kopā	Vr/Gr	Vrs/Grs	Db/Lk	As/Ks/Kp	Kopā	Vr/Gr	As/Ks/Kp	Kopā	Vr/Gr	As/Ks/Kp	Kopā
1	14			14	7	37	7	30	10	91	16	20					36	9	7			16	10		10	11		11
2	18	14	20	52	39	49	22	76	10	196	16	32					48			10	23	33	10	9	19	25	12	37
3	57	29	63	149	41	31	26	57	13	168	7	23	12	8	40	11	101		16	7	33	56	13		13	36	16	52
4	56	20	65	141	33	39	15	43		130	12	24	24	19	55	20	154	6		12	20	38	11	12	23	16	10	26
5	33	13	23	69	18			24		42	31	33	30	25	55	17	191						13		13	10		10
6	14		14	28							27	35	17	15	52	23	169											
7			11	11							12		10	9	20	9	60											
8	14		14	28										7	6	13												
<b>Kopā</b>	<b>192</b>	<b>76</b>	<b>196</b>	<b>464</b>	<b>138</b>	<b>156</b>	<b>70</b>	<b>230</b>	<b>33</b>	<b>627</b>	<b>121</b>	<b>167</b>	<b>93</b>	<b>76</b>	<b>229</b>	<b>86</b>	<b>772</b>	<b>15</b>	<b>23</b>	<b>29</b>	<b>76</b>	<b>143</b>	<b>57</b>	<b>21</b>	<b>78</b>	<b>98</b>	<b>38</b>	<b>136</b>

\* - skuju kokiem 20 gadu vecuma grupas, lapu kokiem - 10 gadu vecuma grupas

**MSI parauglaukumos meža elementu pēdējo piecu gadu tekošā periodiskā augstuma pieauguma dispersijas analīzes rezultāti**

Suga	Statistiskie rādītāji	Corrected Model	Intercept	Elements	MTgrupa	Agrupa	Elements MTgrupa	Elements Agrupa	MTgrupa Agrupa	Elements MTgrupa Agrupa	Error	Total	Corrected Total
Priede	Noviržu kvadrātu summa	75.34	576.89	0.10	7.83	49.78	2.32	1.06	3.76	2.62	216.28	1502.01	291.62
	Brīvības pakāpju skaits	31	1	1	2	6	2	6	7	7	432	464	463
	Dispersija	2.430	576.888	0.099	3.916	8.297	1.158	0.176	0.538	0.374	0.501		
	Faktiskā Fišera vērtība	4.854	1152.279	0.197	7.823	16.572	2.313	0.353	1.074	0.748			
	p-vērtība	0.000	0.000	0.657	0.000	0.000	0.100	0.908	0.379	0.632			
Egle	Noviržu kvadrātu summa	215.92	913.39	1.51	1.84	104.00	2.28	2.81	5.57	18.12	301.41	2585.73	517.33
	Brīvības pakāpju skaits	41	1	1	4	4	4	4	12	12	585	627	626
	Dispersija	5.266	913.391	1.511	0.459	26.001	0.570	0.704	0.465	1.510	0.515		
	Faktiskā Fišera vērtība	10.221	1772.779	2.933	0.891	50.464	1.107	1.366	0.902	2.930			
	p-vērtība	0.000	0.000	0.087	0.469	0.000	0.352	0.244	0.545	0.001			
Bērzs	Noviržu kvadrātu summa	522.28	1598.51	0.12	4.85	261.12	2.10	4.33	22.43	8.89	501.59	4044.82	1023.88
	Brīvības pakāpju skaits	69	1	1	5	7	5	7	22	22	702	772	771
	Dispersija	7.569	1598.514	0.116	0.971	37.302	0.419	0.619	1.020	0.404	0.715		
	Faktiskā Fišera vērtība	10.594	2237.178	0.163	1.359	52.206	0.587	0.866	1.427	0.566			
	p-vērtība	0.000	0.000	0.687	0.238	0.000	0.710	0.533	0.093	0.946			
Melnalksnis	Noviržu kvadrātu summa	19.36	269.69	1.13	6.64	5.42	1.19	1.10	0.70	2.88	65.77	525.28	85.13
	Brīvības pakāpju skaits	19	1	1	3	3	3	3	3	3	123	143	142
	Dispersija	1.019	269.690	1.130	2.212	1.806	0.396	0.368	0.233	0.960	0.535		
	Faktiskā Fišera vērtība	1.906	504.361	2.112	4.136	3.377	0.740	0.689	0.435	1.795			
	p-vērtība	0.019	0.000	0.149	0.008	0.021	0.530	0.561	0.728	0.152			
Apse	Noviržu kvadrātu summa	56.13	424.38	2.69	0.03	36.20	0.82	9.92	0.27	0.84	49.23	628.60	105.36
	Brīvības pakāpju skaits	13	1	1	1	4	1	4	1	1	64	78	77
	Dispersija	4.317	424.381	2.694	0.031	9.050	0.818	2.481	0.274	0.837	0.769		
	Faktiskā Fišera vērtība	5.613	551.703	3.502	0.040	11.766	1.063	3.225	0.356	1.088			
	p-vērtība	0.000	0.000	0.066	0.842	0.000	0.306	0.018	0.553	0.301			
Baltalksnis	Noviržu kvadrātu summa	51.58	433.76	0.00	0.02	37.49	0.98	3.04	0.97	2.00	92.63	807.02	144.21
	Brīvības pakāpju skaits	15	1	1	1	4	1	4	2	2	120	136	135
	Dispersija	3.439	433.757	0.001	0.017	9.372	0.980	0.761	0.483	1.001	0.772		
	Faktiskā Fišera vērtība	4.455	561.940	0.001	0.021	12.141	1.270	0.985	0.626	1.297			
	p-vērtība	0.000	0.000	0.970	0.884	0.000	0.262	0.418	0.536	0.277			

Elements – meža elementa dominances stāvoklis (valdošais vai piemistrojuma meža elements)

**Meža elementa vidējā augstuma un virsaugstuma augšanas gaitas modelēšana**

Meža elementa vidējā augstuma aktualizācijai aproksimētas jaunas koeficientu vērtības Chapman vienādojumam (1.3. formula), kā arī izstrādāts jauns Hossfeld vienādojums (1.4. formula). Abiem vienādojumiem koeficientu vērtības aproksimētas gan uz MSI pārmerīto parauglaukumu meža elementu datu bāzes, gan atsevišķu koku datu bāzes (1.2.4. -1.2.5. tabulas).

**Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas Chapman-Richards vienādojuma vispārīnātās algebriskās diferences pieejas modeļa (1.3.formula) koeficienti un to statistiskie rādītāji**

Suga	Koeficients	1. variants*				2. variants**			
		Vērtība	Standartkļūda	95% Ticamības Intervāls		Vērtība	Standartkļūda	95% Ticamības Intervāls	
				Min	Max			Min	Max
Priede	b1	.009	.001	.006	.011	.014	.001	.012	.015
	b2	-49.054	37.539	-122.721	24.614	-15.305	1.880	-18.991	-11.618
	b3	197.841	150.051	-96.626	492.308	59.900	6.898	46.377	73.423
Egle 1.stāvs	b1	.024	.002	.020	.027	.022	.001	.020	.024
	b2	-104.299	42.678	-188.091	-20.507	-60.333	10.559	-81.036	-39.630
	b3	382.387	153.123	81.749	683.025	227.276	38.435	151.917	302.635
Bērzs	b1	.027	.002	.023	.031	.033	.001	.031	.035
	b2	-11.842	2.891	-17.515	-6.168	-12.036	1.319	-14.623	-9.450
	b3	47.547	10.387	27.164	67.930	47.423	4.643	38.319	56.526
Melnalksnis	b1	.017	.005	.007	.027	.024	.003	.019	.030
	b2	-292.949	2073.446	-4378.612	3792.715	-16.391	5.694	-27.566	-5.216
	b3	1097.547	7750.786	-14175.141	16370.235	62.314	20.041	22.981	101.648
Apse	b1	.032	.004	.023	.041	.031	.002	.026	.036
	b2	-229.657	335.733	-892.928	433.614	-52.098	23.315	-97.869	-6.328
	b3	877.844	1268.124	-1627.450	3383.138	201.311	86.978	30.560	372.061
Baltalksnis	b1	.034	.005	.024	.043	.053	.003	.046	.059
	b2	-56.802	60.957	-177.097	63.493	-44.242	13.493	-70.730	-17.753
	b3	194.505	204.852	-209.761	598.770	146.912	43.379	61.753	232.070
Egle 2.stāvs	b1	.018	.004	.011	.025	.013	.002	.009	.016
	b2	-793.040	4554.001	-9739.381	8153.302	-47.733	28.430	-103.485	8.019
	b3	2775.108	15933.493	-28526.264	34076.480	177.290	104.558	-27.753	382.333

\* 1. variantā vienādojumi izstrādāti no meža elementu augstuma starpībām; \*\* 2. variantā vienādojumi izstrādāti no atsevišķu koku uzmerītajām augstuma starpībām

Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas *Hossfeld IV vienādojuma vispārinātās algebriskās diferences pieejas modeļa (1.4.formula) koeficienti un to statistiskie rādītāji*

Suga	Koeficients	1. variants*				2. variants**			
		Vērtība	Standartklūda	95% Ticamības Intervāls		Vērtība	Standartklūda	95% Ticamības Intervāls	
				Min	Max			Min	Max
Priede	b1	1.203	.035	1.134	1.271	1.113	.018	1.078	1.148
	b2	-43.181	41.353	-124.334	37.972	-44.224	29.031	-101.140	12.693
	b3	19.487	17.431	-14.720	53.694	21.107	13.243	-4.857	47.071
Egle 1.stāvs	b1	1.290	.039	1.212	1.367	1.360	.022	1.318	1.403
	b2	-35.390	31.372	-96.984	26.204	-47.284	18.709	-83.966	-10.601
	b3	14.630	11.871	-8.677	37.937	20.755	7.488	6.074	35.436
Bērzs	b1	1.218	.032	1.155	1.282	1.392	.018	1.357	1.427
	b2	-10.153	5.425	-20.800	.494	-34.054	9.278	-52.246	-15.863
	b3	4.862	2.147	.649	9.075	13.332	3.305	6.851	19.812
Melnalksnis	b1	1.023	.093	.841	1.206	1.239	.049	1.143	1.335
	b2	-13.566	54.008	-119.987	92.856	-32.693	37.882	-107.042	41.657
	b3	9.832	34.607	-58.359	78.023	13.271	14.260	-14.716	41.258
Apse	b1	1.261	.071	1.121	1.402	1.206	.039	1.128	1.258
	b2	-28.200	84.940	-196.007	139.606	-10.093	9.775	-29.282	9.097
	b3	19.426	53.006	-85.292	124.144	4.693	4.012	-3.182	12.568
Baltalksnis	b1	1.141	.062	1.019	1.264	1.254	.042	1.172	1.337
	b2	-10.404	15.294	-40.586	19.779	-10.104	6.029	-21.940	1.733
	b3	3.702	4.832	-5.835	13.238	3.494	1.785	-.011	6.999
Egle 2.stāvs	b1	1.050	.081	.892	1.209	1.260	.036	1.188	1.331
	b2	-12.819	29.426	-70.627	44.988	-62.116	47.780	-155.815	31.584
	b3	10.945	20.063	-28.469	50.359	20.677	14.963	-8.666	50.021

\*1. variantā vienādojumi izstrādāti no meža elementu augstuma starpībām; \*\*2. variantā vienādojumi izstrādāti no atsevišķu koku uzmērītajām augstuma starpībām

Abiem meža elementa vidējā augstuma aktualizācijas modeļiem, pārbaudot tos gan uz meža elementu datu bāzes, gan uz atsevišķu koku datu bāzes, statistiskie rādītāji ir līdzīgi (1.2.6. tabula).

Vidējā augstuma augšanas gaitas vienādojumu (1.3.un 1.4. vienādojumi) statistiskie rādītāji

Suga	Vienādojums	Elementu dati									Koku dati								
		MRES*	AMRES	RMSE	MSE	MEF	VR	R	R <sup>2</sup>	N	MRES	AMRES	RMSE	MSE	MEF	VR	R	R <sup>2</sup>	N
Priede	Chapman 1**	-0.09	0.52	0.64	0.40	0.009	0.989	0.996	0.991	962	-0.22	0.55	0.68	0.46	0.011	1.014	0.995	0.990	4083
	Chapman 2	0.05	0.52	0.64	0.41	0.009	0.966	0.995	0.991	962	-0.08	0.53	0.64	0.41	0.010	0.991	0.995	0.990	4083
	Hossfeld 1	0.18	0.53	0.68	0.46	0.010	0.968	0.995	0.990	962	0.06	0.52	0.65	0.43	0.011	0.996	0.995	0.989	4083
	Hossfeld 2	0.20	0.53	0.68	0.46	0.010	0.978	0.995	0.991	962	0.08	0.52	0.65	0.42	0.011	1.006	0.995	0.990	4083
Egle 1. stāvs	Chapman 1	-0.17	0.58	0.71	0.50	0.016	0.984	0.992	0.985	699	-0.09	0.67	0.82	0.67	0.021	0.970	0.990	0.979	3171
	Chapman 2	-0.23	0.60	0.73	0.53	0.017	0.993	0.992	0.985	699	-0.15	0.68	0.83	0.68	0.021	0.981	0.990	0.979	3171
	Hossfeld 1	0.27	0.62	0.76	0.58	0.019	0.972	0.992	0.984	699	0.37	0.73	0.90	0.81	0.025	0.973	0.989	0.979	3171
	Hossfeld 2	0.13	0.61	0.75	0.56	0.018	0.964	0.991	0.983	699	0.23	0.70	0.87	0.75	0.024	0.968	0.989	0.978	3171
Bērzs	Chapman 1	-0.11	0.75	0.91	0.83	0.025	0.969	0.987	0.975	963	-0.19	0.77	0.95	0.90	0.026	0.994	0.987	0.975	3491
	Chapman 2	-0.03	0.74	0.92	0.84	0.026	0.934	0.987	0.975	963	-0.11	0.76	0.94	0.88	0.026	0.961	0.987	0.975	3491
	Hossfeld 1	0.27	0.74	0.96	0.92	0.028	0.979	0.987	0.974	963	0.21	0.76	0.97	0.94	0.028	1.012	0.987	0.974	3491
	Hossfeld 2	0.22	0.74	0.97	0.94	0.029	0.931	0.987	0.973	963	0.17	0.75	0.97	0.94	0.027	0.965	0.987	0.973	3491
Melnalksnis	Chapman 1	-0.17	0.70	0.84	0.71	0.042	0.952	0.980	0.960	230	-0.29	0.80	0.97	0.95	0.051	0.984	0.977	0.954	887
	Chapman 2	-0.01	0.68	0.84	0.71	0.042	0.912	0.979	0.959	230	-0.14	0.76	0.94	0.87	0.047	0.945	0.977	0.954	887
	Hossfeld 1	0.06	0.68	0.86	0.74	0.044	0.983	0.978	0.957	230	-0.07	0.77	0.95	0.91	0.049	1.022	0.976	0.953	887
	Hossfeld 2	0.26	0.71	0.89	0.80	0.047	0.912	0.979	0.958	230	0.12	0.75	0.94	0.88	0.047	0.947	0.976	0.953	887
Apse	Chapman 1	-0.25	0.81	1.03	1.06	0.020	0.964	0.991	0.981	156	-0.46	1.08	1.33	1.77	0.035	0.980	0.985	0.970	747
	Chapman 2	0.05	0.80	1.01	1.02	0.019	0.952	0.991	0.981	156	-0.17	1.02	1.27	1.60	0.031	0.969	0.984	0.969	747
	Hossfeld 1	0.17	0.86	1.08	1.15	0.022	0.985	0.989	0.979	156	-0.10	1.09	1.45	2.09	0.041	0.995	0.980	0.960	747
	Hossfeld 2	0.94	1.13	1.40	1.95	0.037	0.965	0.990	0.980	156	0.69	1.17	1.51	2.27	0.044	0.976	0.982	0.965	747
Baltalksnis	Chapman 1	-0.27	0.63	0.77	0.60	0.033	0.944	0.986	0.971	180	-0.26	0.83	1.01	1.01	0.059	1.024	0.973	0.946	754
	Chapman 2	-0.30	0.68	0.85	0.72	0.040	0.841	0.985	0.970	180	-0.30	0.82	1.01	1.03	0.060	0.916	0.972	0.945	754
	Hossfeld 1	0.16	0.60	0.77	0.58	0.032	0.972	0.985	0.969	180	0.16	0.83	1.03	1.06	0.062	1.070	0.971	0.943	754
	Hossfeld 2	0.12	0.60	0.78	0.60	0.033	0.935	0.984	0.968	180	0.11	0.82	1.02	1.04	0.061	1.034	0.970	0.941	754
Egle 2. stāvs	Chapman 1	-0.16	0.61	0.73	0.53	0.048	0.943	0.977	0.955	527	-0.25	0.66	0.80	0.63	0.041	0.938	0.981	0.963	2191
	Chapman 2	-0.04	0.59	0.71	0.51	0.046	0.965	0.977	0.954	527	-0.13	0.63	0.76	0.58	0.038	0.961	0.981	0.963	2191
	Hossfeld 1	0.06	0.62	0.77	0.59	0.054	1.013	0.974	0.948	527	-0.03	0.64	0.80	0.64	0.042	1.020	0.979	0.959	2191
	Hossfeld 2	0.23	0.63	0.78	0.61	0.055	0.936	0.975	0.950	527	0.13	0.63	0.79	0.62	0.041	0.940	0.980	0.961	2191

\*MRES - vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze; RMSE - standartklūda; MSE - vidējā kvadrātiskā klūda; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R<sup>2</sup> - determinācijas indekss; N - parauglaikumu vai koku skaits.

\*\*Chapman 1 - 1.3 vienādojums 1. variants (elementi); Chapman 2 - 1.3 vienādojums 2. variants (koki); Hossfeld 1 - 1.4 vienādojums 1. variants (elementi); Hossfeld 2 - 1.3 vienādojums 2. variants (koki).

*Hossfeld* vienādojums (1.4. formula) salīdzinājumā ar *Chapman-Richards* vienādojumu (1.3. formula) neatkarīgi no koku sugas prognozē loģiskākas un mežsaimnieciski ticamākas augstuma izmaiņas jaunākās un zemākas bonitātes audzēs. Neatkarīgi no vienādojuma veida vienādojumi, kas izstrādāti uz atsevišķu koku augstuma starpībām (2. variants), vecākās audzēs prognozē konservatīvākas augstuma izmaiņas.

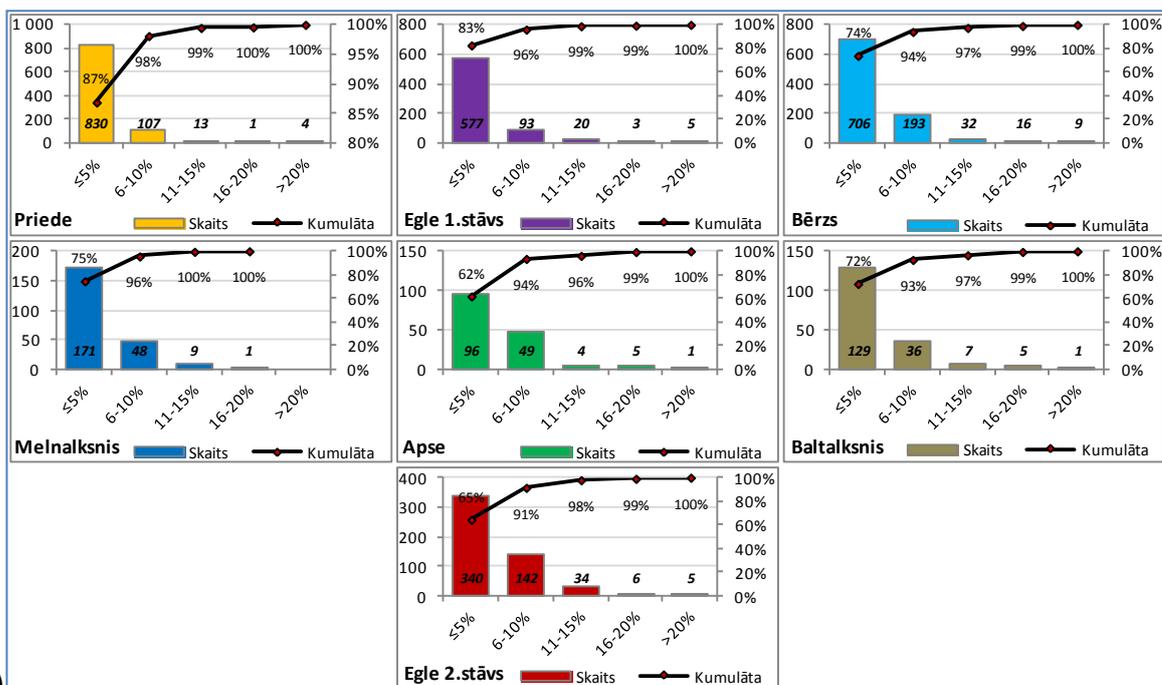
Nemot vērā spēju loģiski ekstrapolēt datus un vienādojumu statistiskos rādītājus, modelēšanā ieteicams izmantot *Hossfeld* vienādojumu. Priedes, egles 1. un 2. stāva, bērza, melnalkšņa un baltalkšņa meža elementiem ieteicams izmantot koeficientus, kas aprēķināti no atsevišķu koku augstumu starpību datu bāzes, bet apsei – koeficientus, kas aprēķināti no meža elementu datu bāzes. Šo vienādojumu būtu ieteicams lietot meža elementiem, kas sasnieguši vismaz piecu gadu krūšaugstuma vecumu.

Ieteiktajam vidējā augstuma aktualizācijas modelim ieteiktajā vecuma diapazonā starpības starp uzmērītajiem un aproksimētajiem augstumiem mazākas par 10% ir 91-98% meža elementu un 87-98% atsevišķiem kokiem (1.2.7. attēls). Savukārt šī starpība mazāka par 10% vai 1 metru ir 93-99% meža elementu un 87-99% atsevišķiem kokiem (1.2.7. tabula).

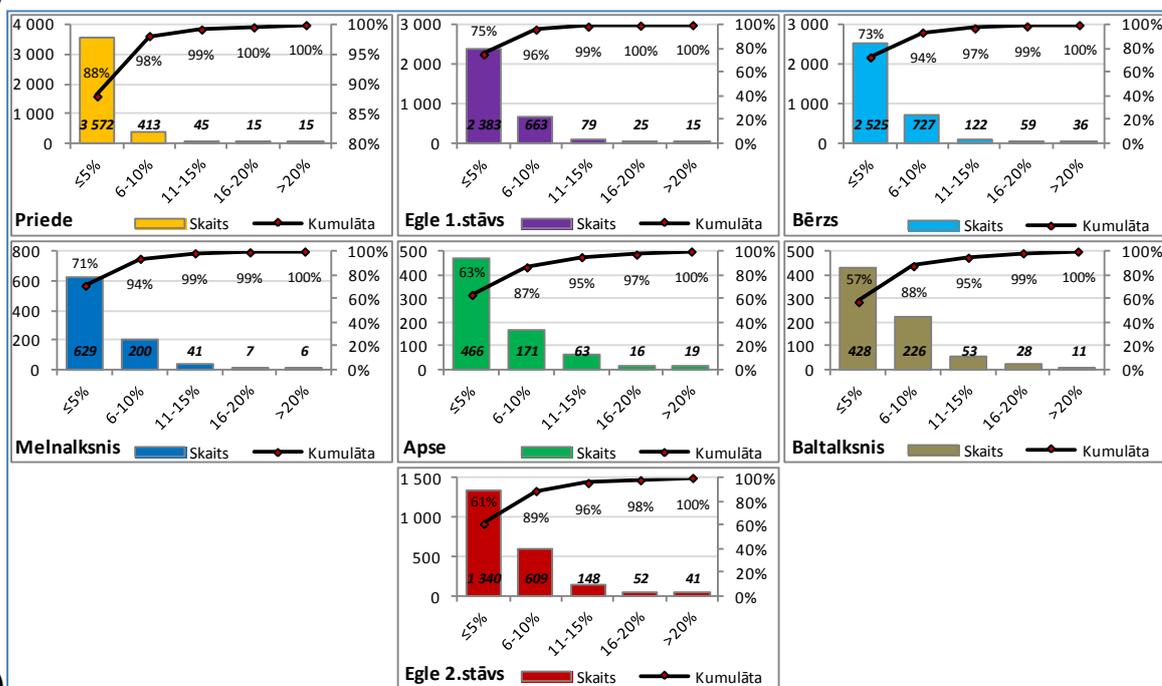
1.2.7. tabula

**Meža elementu un atsevišķu koku skaits un īpatsvars atkarībā no meža elementa relatīvās starpības starp uzmērīto un aproksimēto vidējo augstumu**

Meža elements	Elementu dati					Koku dati				
	Starpība >1m vai >10%		Starpība ≤1m vai ≤10%		Kopā	Starpība >1m vai >10%		Starpība ≤1m vai ≤10%		Kopā
	Skaits	%	Skaits	%	Skaits	Skaits	%	Skaits	%	Skaits
Priede	11	1%	944	99%	955	54	1%	4006	99%	4060
Egle 1. stāvs	27	4%	671	96%	698	110	3%	3055	97%	3165
Bērzs	54	6%	902	94%	956	209	6%	3260	94%	3469
Melnalksnis	10	4%	219	96%	229	53	6%	830	94%	883
Apse	10	6%	145	94%	155	98	13%	637	87%	735
Baltalksnis	12	7%	166	93%	178	90	12%	656	88%	746
Egle 2. stāvs	39	7%	488	93%	527	200	9%	1990	91%	2190
<b>Kopā</b>	<b>163</b>	<b>4%</b>	<b>3535</b>	<b>96%</b>	<b>3698</b>	<b>814</b>	<b>5%</b>	<b>14434</b>	<b>95%</b>	<b>15248</b>



a)

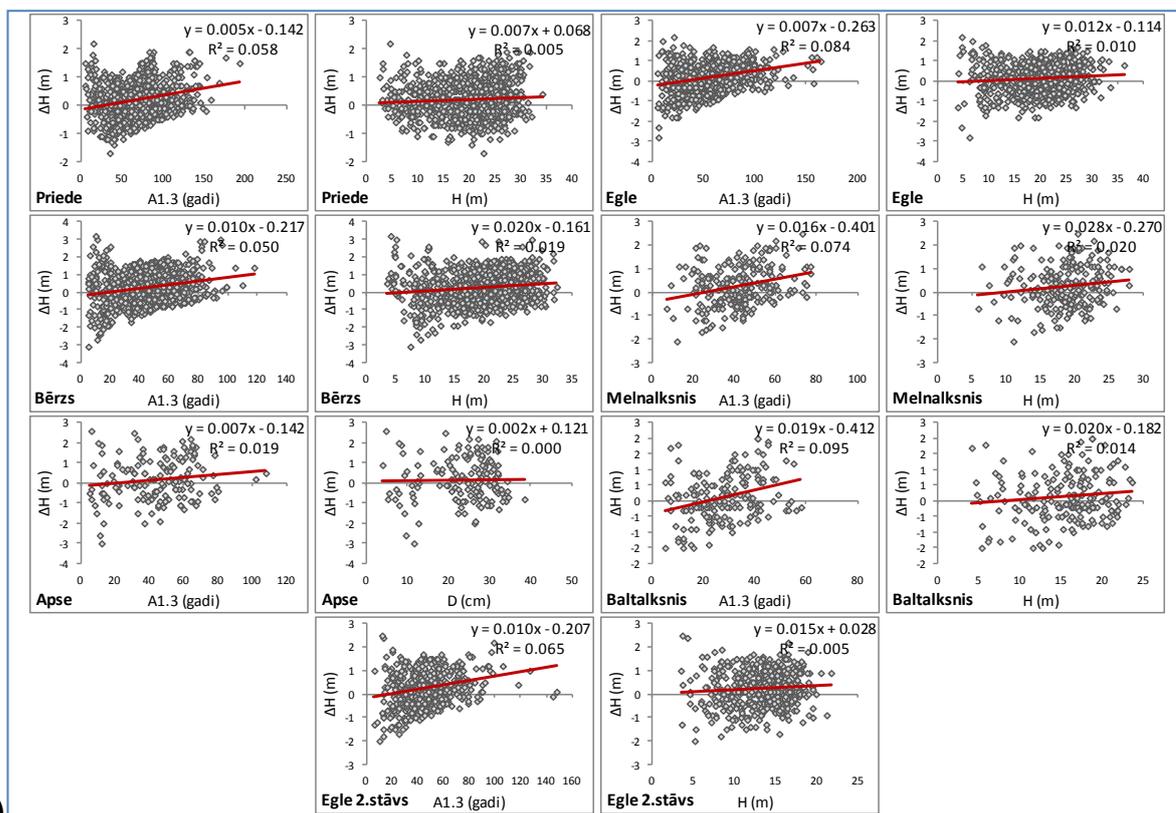


b)

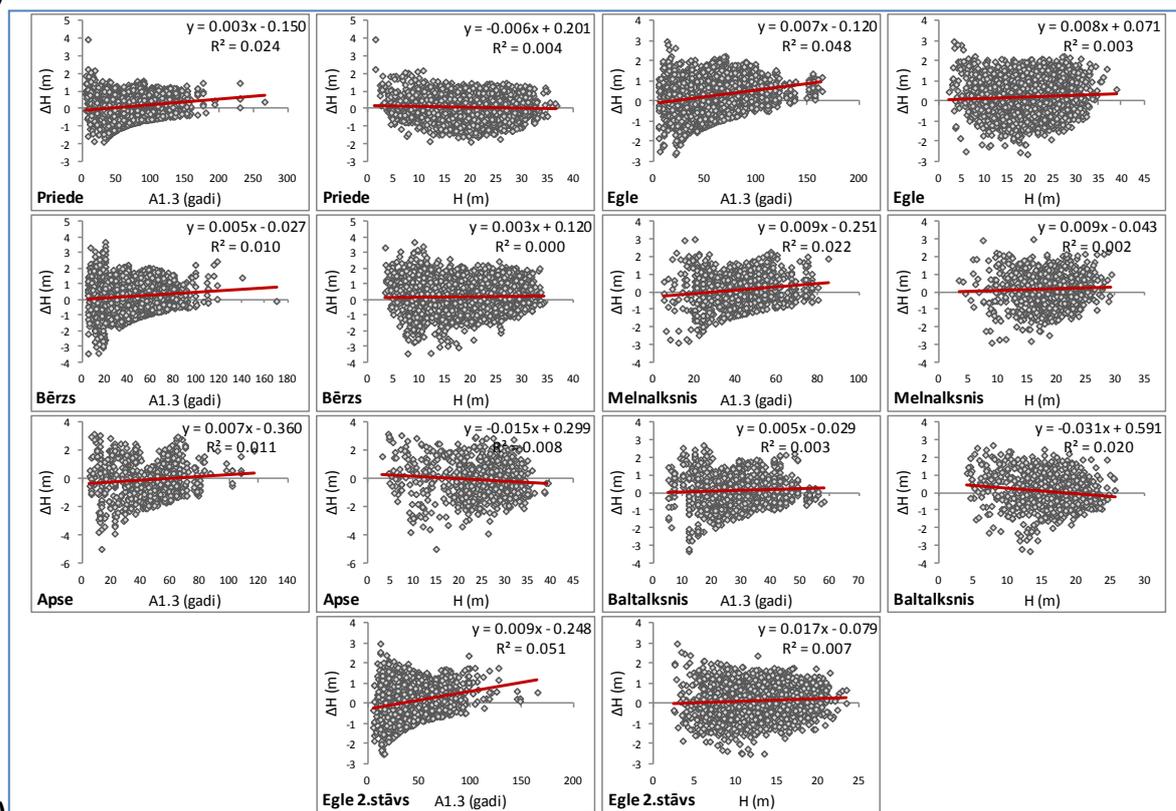
1.2.7. attēls. Meža elementu skaits un kumulatīvais sadalījums atkarībā no meža elementa relatīvās starpības starp aptuveno un uzmērīto vidējo augstumu.

a) MSI pārmērīto meža elementu dati; b) MSI pārmērīto atsevišķo koku dati.

Pārbaudot ieteikto vienādojumu uz MSI pārmērīto parauglaukumu meža elementu un atsevišķu koku datu bāzēm, starpībai starp uzmērīto un aprēķināto augstumu nav konstatētas korelatīvas sakarības ar sākotnējo meža elementa krūšaugstuma vecumu un augstumu (1.2.8. attēls), lai gan atsevišķos gadījumos šīs sakarības lielā novērojumu skaita dēļ ir pat statistiski būtiskas.



a)

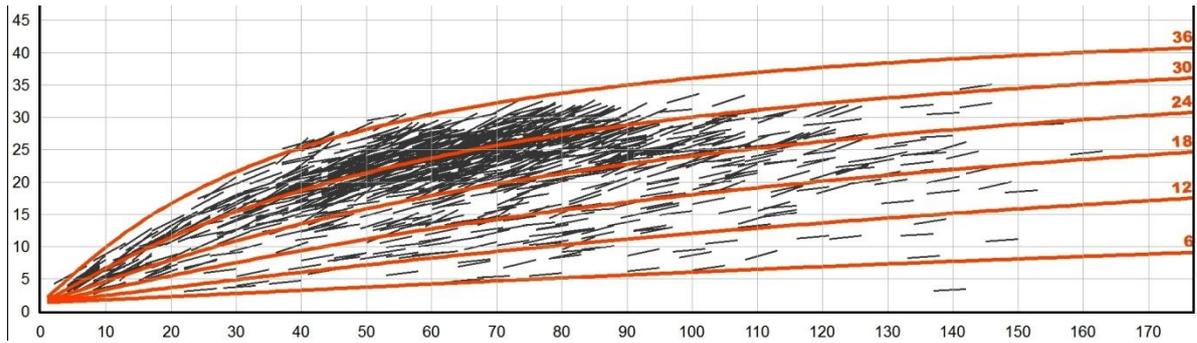


b)

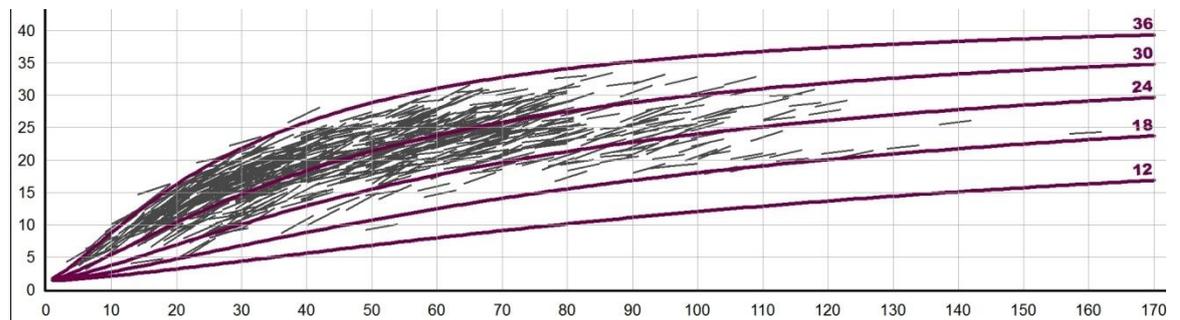
1.2.8. attēls. Starpības starp uzņēmīto un aprēķināto vidējo krūšaugstuma caurmēru perioda beigās atkarībā no krūšaugstuma vecuma un sākotnējā caurmēra.

a) MSI pārmērīto meža elementu dati; b) MSI pārmērīto atsevišķo koku dati.

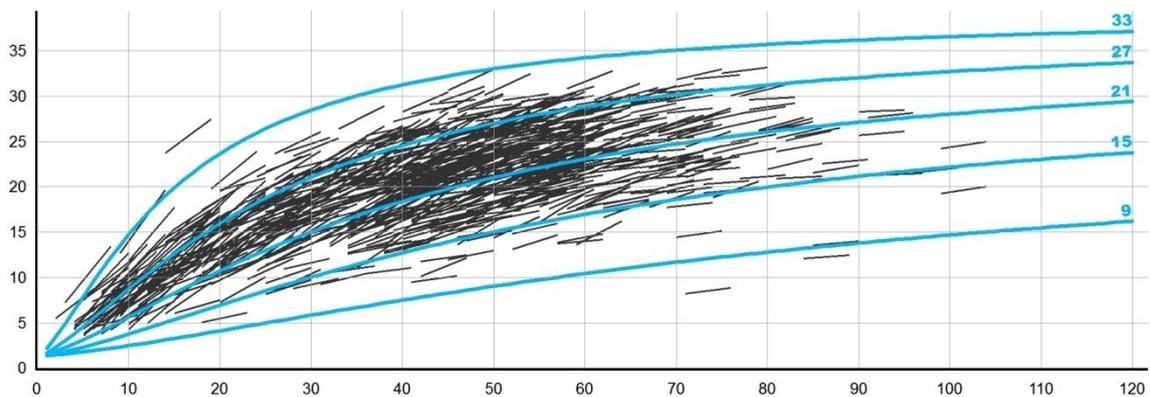
MSI atkārtoti uzņēmītajos parauglaukumos meža elementu vidējā augstuma izmaiņas salīdzinājumā ar ieteiktā meža elementa vidējā augstuma aktualizācijas modeļa prognozēto augstuma augšanas gaitu atspoguļotas 1.2.9.-1.2.15. attēlos.



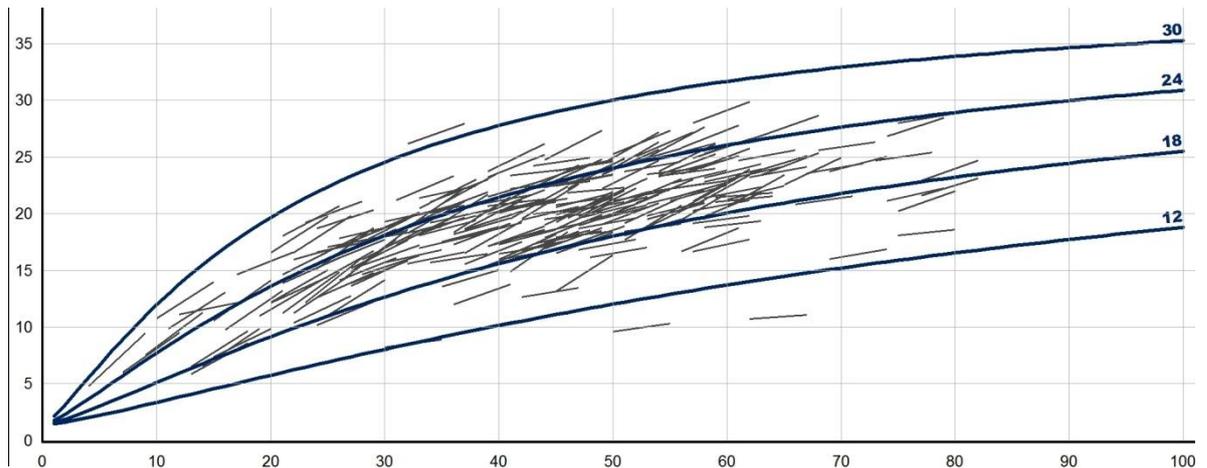
1.2.9. attēls. Priedes 1. stāva uzmērītās vidējā augstuma izmaiņas (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (1.4. vienādojums) atkarībā no augstuma 100 gados.



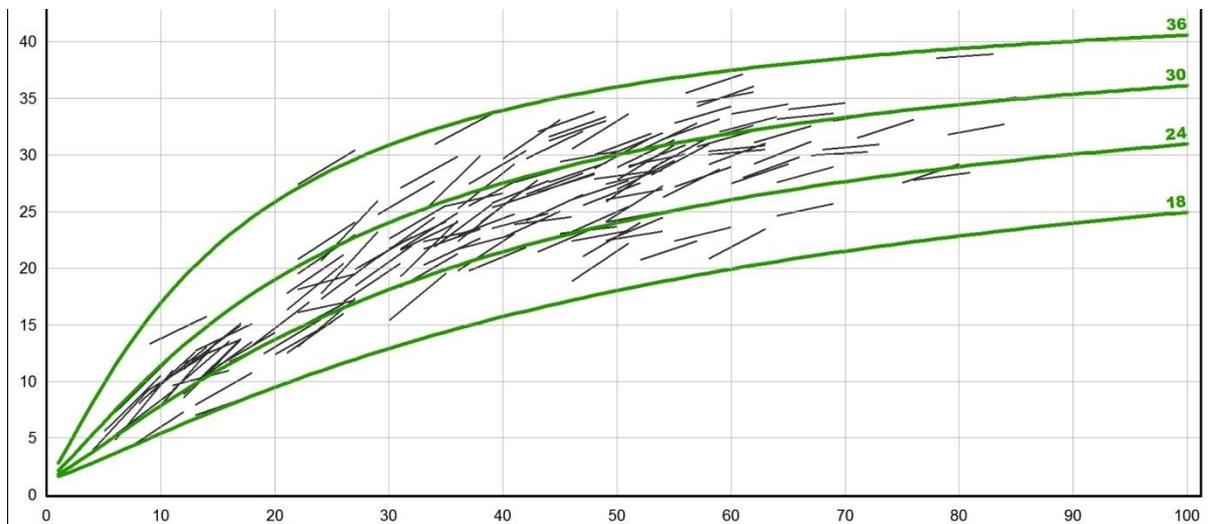
1.2.10. attēls. Egles 1. stāva uzmērītās vidējā augstuma izmaiņas (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (1.4. vienādojums) atkarībā no augstuma 100 gados.



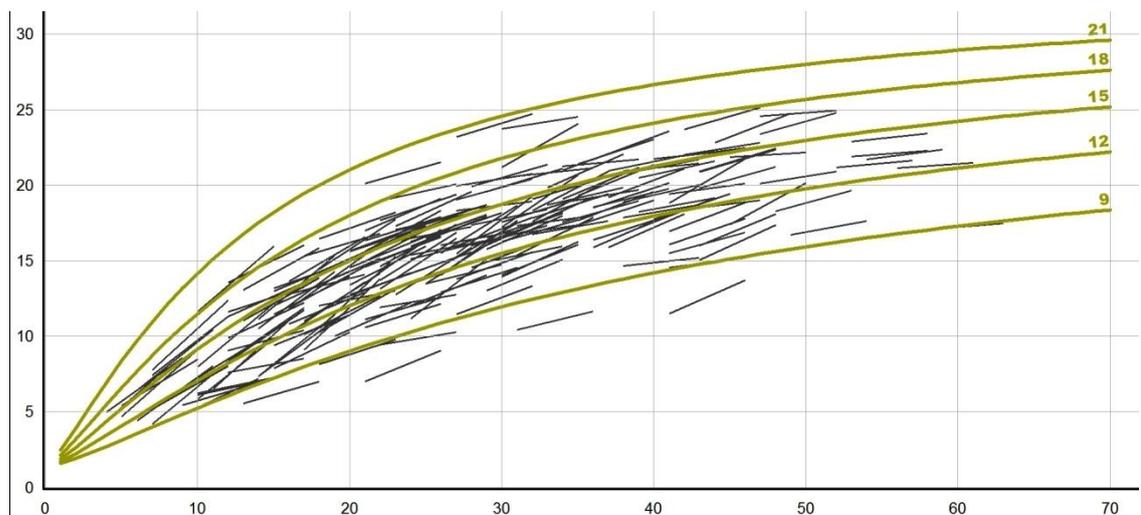
1.2.11. attēls. Bērza 1. stāva uzmērītās vidējā augstuma izmaiņas (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (1.4. vienādojums) atkarībā no augstuma 50 gados.



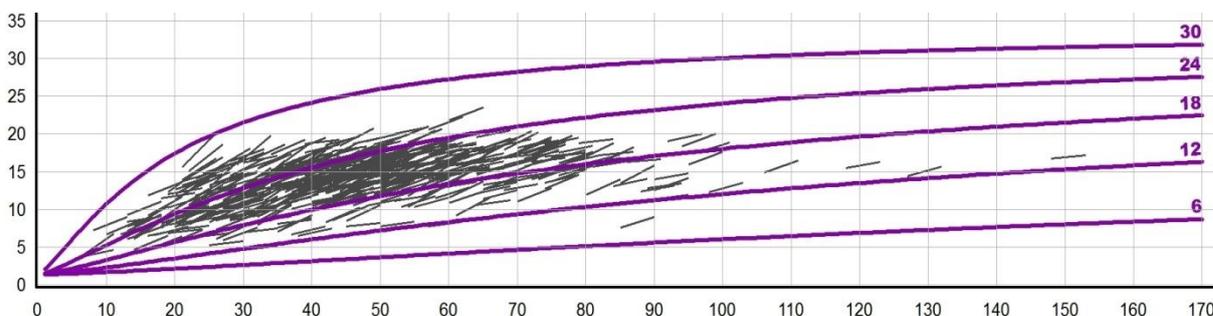
1.2.12. attēls. Melnalkšņa 1. stāva uzņēmētās vidējā augstuma izmaiņas (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aptuvinātā vidējā augstuma augšanas gaita (1.4. vienādojums) atkarībā no augstuma 50 gados.



1.2.13. attēls. Apses 1. stāva uzņēmētās vidējā augstuma izmaiņas (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aptuvinātā vidējā augstuma augšanas gaita (1.4. vienādojums) atkarībā no augstuma 50 gados.



1.2.14. attēls. Baltalkšņa 1. stāva uzņēmētās vidējā augstuma izmaiņas (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aptuvinātā vidējā augstuma augšanas gaita (1.4. vienādojums) atkarībā no augstuma 20 gados.



1.2.15. attēls. Egles 2. stāva uzņēmētās vidējā augstuma izmaiņas (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (1.4. vienādojums) atkarībā no augstuma 100 gados.

## 1.2.2. Caurmēra augšanas gaitas modeļa precizēšana

### Materiāls un metodika

Vidējā kvadrātiskā koka caurmēra augšanas gaita aproksimēta 2 variantos.

**1. variants.** MSI parauglaukumu pārmērījumu datiem kā otrā un pirmā cikla meža elementa vidējā kvadrātiskā koku caurmēru starpība.

Datu analīzē izmanto datus par 5103 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paaudzes vienā stāvā esošus kokus) no 2713 MSI 2009. - 2013. gadā atkārtoti uzņēmētajiem parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- meža elementi ir P1.st. (1235 meža elementi), E1.st. (930), E2.st. (970), B1.st. (1234), A1.st. (198), M1.st. (286), Ba1.st. (250);
- katrā uzņēmēšanas ciklā ir vismaz 3 dzīvi koki no viena meža elementa;
- abās uzņēmēšanas reizēs zināms meža elementa vecums;
- nevienā no uzņēmēšanas cikliem parauglaukumā nav vecās paaudzes koki;
- parauglaukumā izcirsto un atmirušo koku skaits mazāks par 50% no pirmajā ciklā konstatētā koku skaita;
- meža elementa vidējais kvadrātiskais krūšaugstuma caurmērs otrajā ciklā ir lielāks nekā pirmajā ciklā;
- meža elementa pēdējo piecu gadu caurmēra tekošais periodiskais pieaugums neatšķiras vairāk kā trīs reizes no ar iepriekšējā gadā izstrādāto vienādojumu aproksimētajām vērtībām.

Lai izvairītos no meža elementa 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 1. cikla uzņēmēšanā, un to reprezentācijas klases nemaina.

**2. variants.** MSI parauglaukumu tiešā tuvumā urbto koku, kuru caurmērs  $0.7 \leq D_g \leq 1.3$ , radiālo pieaugumu mērījumiem.

Datu analīzē izmanto datus par 9479 1. stāva kokiem (P-4033; E-1674; B-1964; M-670; A-541; Ba-597) no 949 MSI parauglaukumiem.

Meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņu aproksimācijai izmanto (pārbauda) vienādojumus, kas balstīti uz vispārinātās algebriskās diferences pieeju, tādējādi caurmēra pieaugumu var prognozēt zinot tikai meža elementa vidējo caurmēru un krūšaugstuma vecumu, bet nav nepieciešama informācija par bonitāti. Algebriskās diferences vienādojumi tiek papildināti vēl ar vienu ar mainīgo lielumu, kas raksturo koku savstarpējo konkurenci.

Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas aproksimācijai pārbaudīti divi vienādojumi:

1. **Chapman-Richards vienādojuma vispārinātās algebriskās diferences pieejas modelis (Krumland & Eng, 2005):**

$$D_2 = D_1 \left( \frac{1 - \exp[-b_1 A_2]}{1 - \exp[-b_1 A_1]} \right)^{\left( b_2 \frac{N_1}{N_{max}} + \frac{b_3}{X_0} \right)} \quad (1.5)$$

$$X_0 = \frac{1}{2} \left[ \left( \ln D_1 - b_2 \frac{N_1}{N_{max}} L_0 \right) + \sqrt{\left( \ln D_1 - b_2 \frac{N_1}{N_{max}} L_0 \right)^2 - 4 b_3 L_0} \right] \quad (1.5.1)$$

$$L_0 = \ln(1 - \exp[-b_1 A_1]) \quad (1.5.2)$$

*Kur*  $A_1$  – meža elementa krūšaugstuma vecums pirmajā uzmērīšanas reizē, gadi;  
 $A_2$  – meža elementa krūšaugstuma vecums otrajā uzmērīšanas reizē, gadi;  
 $D_1$  – meža elementa vidējais caurmērs pirmajā uzmērīšanas reizē, cm;  
 $D_2$  – meža elementa vidējais caurmērs otrajā uzmērīšanas reizē, cm;  
 $N_1$  – mežaudzes 1. stāva koku skaits, ha<sup>-1</sup>;  
 $N_{max}$  – mežaudzes 1. stāva maksimālais koku skaits (1.8. vienādojums); ha<sup>-1</sup>;  
 $b_1; b_2; b_3$  – empīriskie koeficienti.

2. **Hossfeld IV vienādojuma (Kiviste, 1988) vispārinātās algebriskās diferences pieejas modelis (Krumland & Eng, 2005):**

$$D_2 = \frac{A_2^{b_1}}{b_2 \frac{N_1}{N_{max}} + 100 b_3 X_0 + X_0 A_2^{b_1}} \quad (1.6)$$

$$X_0 = \frac{\frac{A_1^{b_1}}{D_1} - b_2 \frac{N_1}{N_{max}}}{100 b_3 + A_1^{b_1}} \quad (1.6.1)$$

*Kur*  $A_1$  – krūšaugstuma vecums pirmajā uzmērīšanas reizē, gadi;  
 $A_2$  – krūšaugstuma vecums otrajā uzmērīšanas reizē, gadi;  
 $D_1$  – caurmērs pirmajā uzmērīšanas reizē, cm;  
 $D_2$  – caurmērs otrajā uzmērīšanas reizē, cm;  
 $N_1$  – mežaudzes 1. stāva koku skaits, ha<sup>-1</sup>;  
 $N_{max}$  – mežaudzes 1. stāva maksimālais koku skaits (1.8. vienādojums); ha<sup>-1</sup>;  
 $b_1; b_2; b_3$  – empīriskie koeficienti.

Meža elementa vidējā krūšaugstuma caurmēra augšanas gaitas modelēta datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows.

## Rezultāti

### Valdošā un piemistrojuma meža elementu caurmēra augšanas gaitas salīdzinājums

Tā kā datu apjoms ir palielinājies atkārtoti tiek pārbaudīta hipotēze, ka tekošais krūšaugstuma caurmēra pieaugums nav atkarīgs no meža elementa dominances stāvokļa (valdošais vai piemistrojuma meža elements).

Analīzē par valdošajiem meža elementiem pieņem tos meža elementus, kuru sastāva koeficients ir vismaz 6.5.

Analīzē sugas ietvaros programmā SPSS 14.0 for Windows veikta 3 faktoru dispersijas analīze, kurā kā faktoriālās vērtības bez dominances stāvokļa (valdošais vai piemistrojuma meža elements) vēl atlasītas meža elementa krūšaugstuma vecuma grupa un meža tipa grupa (1.2.8. tabula), bet kā rezultātīvā pazīme izmantota meža elementa pēdējo piecu gadu tekošais periodiskais augstuma pieaugums. Analīzē iekļautas tikai tās meža tipa-vecuma grupas, kurās ir vismaz trīs meža elementi katrā dominances stāvokļa grupā. Kopā analīzē izmantoti dati par 2861 meža elementiem (priedes 579; egles 774, bērzi 1038, melnalkšņi 159, apses 137 un baltalkšņi 174).

Dispersijas analīzes rezultātā noskaidrots, ka meža elementa pēdējo piecu gadu tekošais periodiskais augstuma pieaugums nav atkarīgs no tā vai meža elements parauglaukumā ir valdošais vai piemistrojuma elements, jo visām sugām p-vērtība ir lielāka par 0.05 (1.2.9. tabula). Līdz ar to augstuma augšanas gaitas modelēšanā meža elementa sociālo stāvokli neņem vērā.

1.2.8. tabula

**Caurmēra pieauguma dispersijas analīzē izmantoto meža elementu sadalījums pa meža tipu un vecuma grupām**

Vecuma grupa*	Priede				Egle					Bērzs					Melnalksnis					Apse			Baltalksnis					
	Dm	Mrs-Dms	As-Ks		Dm	Vr	Dms/Vrs	As/ Ap/ Ks/ Kp	Kopā	Dm	Vr	Dms/Vrs	Nd- Db	As/ Ap/ Ks/ Kp	Kopā	Vr	Dms/Vrs	Db	As/ Ap/ Ks/ Kp	Kopā	Vr/ Gr	As/ Ap/ Ks/ Kp	Kopā	Vr/ Gr	Vrs	As/ Ap/ Ks/ Kp	Kopā	
1	13			13	7	37	7	43	94	16	21			12	49						10		10	12				12
2	19	14	21	54	40	51	24	102	217	17	34			26	77						11		11	26		11		37
3	64	40	75	179	45	36	33	87	201	6	23	12	12	55	108	10	7			17	9		9	41	7	17		65
4	76	27	72	175	55	44	26	66	191	16	30	26	30	86	188			11	25	36	17		17	26	6	13		45
5	40	15	32	87	29	10		32	71	32	43	39	30	93	237		17	10	34	61	19	15	34	15				15
6	25	15	19	59						33	48	22	20	90	213			11	24	35	24	8	32					
7			12	12						23	17	15	13	52	120				10	10	16	8	24					
8										14	14			18	46													
<b>Kopā</b>	<b>237</b>	<b>111</b>	<b>231</b>	<b>579</b>	<b>176</b>	<b>178</b>	<b>90</b>	<b>330</b>	<b>774</b>	<b>157</b>	<b>230</b>	<b>114</b>	<b>105</b>	<b>432</b>	<b>1038</b>	<b>10</b>	<b>24</b>	<b>32</b>	<b>93</b>	<b>159</b>	<b>97</b>	<b>40</b>	<b>137</b>	<b>120</b>	<b>13</b>	<b>41</b>	<b>174</b>	

\* - skuju kokiem 20 gadu vecuma grupas, lapu kokiem - 10 gadu vecuma grupas

1.2.9. tabula

**MSI parauglaukumos meža elementu pēdējo piecu gadu tekošā periodiskā krūšaugstuma caurmēra pieauguma dispersijas analīzes rezultāti**

Suga	Statistiskie rādītāji	Corrected Model	Intercept	Elements	MTgrupa	Agrupa	Elements MTgrupa	Elements Agrupa	MTgrupa Agrupa	Elements MTgrupa Agrupa	Error	Total	Corrected Total
Priede	Noviržu kvadrātu summa	99.03	757.19	0.20	2.54	75.72	2.16	4.08	3.15	1.97	320.65	1892.71	419.68
	Brīvības pakāpju skaits	33	1	1	2	6	2	6	8	8	545	579	578
	Dispersija	3.001	757.192	0.198	1.271	12.620	1.081	0.680	0.394	0.246	0.588		
	Faktiskā Fišera vērtība	5.100	1286.973	0.336	2.160	21.449	1.837	1.156	0.669	0.418			
	p-vērtība	0.000	0.000	0.562	0.116	0.000	0.160	0.328	0.719	0.911			
Egle	Noviržu kvadrātu summa	230.60	1686.67	0.15	2.02	90.11	6.44	8.00	3.49	18.32	665.23	4416.95	895.83
	Brīvības pakāpju skaits	37	1	1	3	4	3	4	11	11	736	774	773
	Dispersija	6.232	1686.667	0.153	0.674	22.528	2.146	2.000	0.317	1.665	0.904		
	Faktiskā Fišera vērtība	6.896	1866.101	0.170	0.746	24.925	2.374	2.213	0.351	1.842			
	p-vērtība	0.000	0.000	0.681	0.525	0.000	0.069	0.066	0.973	0.044			
Bērzs	Noviržu kvadrātu summa	372.94	1715.93	0.00	27.90	168.37	0.62	4.41	18.93	19.13	780.53	4273.07	1153.47
	Brīvības pakāpju skaits	67	1	1	4	7	4	7	22	22	970	1038	1037
	Dispersija	5.566	1715.928	0.002	6.976	24.053	0.155	0.630	0.861	0.869	0.805		
	Faktiskā Fišera vērtība	6.917	2132.462	0.002	8.669	29.892	0.192	0.783	1.069	1.081			
	p-vērtība	0.000	0.000	0.962	0.000	0.000	0.943	0.602	0.375	0.362			
Melnalksnis	Noviržu kvadrātu summa	9.49	220.55	0.34	0.88	1.35	1.26	1.27	0.35	0.23	118.83	530.94	128.31
	Brīvības pakāpju skaits	19	1	1	3	4	3	4	2	2	139	159	158
	Dispersija	0.499	220.547	0.345	0.294	0.338	0.420	0.317	0.174	0.113	0.855		
	Faktiskā Fišera vērtība	0.584	257.990	0.403	0.344	0.396	0.491	0.370	0.203	0.133			
	p-vērtība	0.913	0.000	0.526	0.793	0.811	0.689	0.830	0.816	0.876			
Apse	Noviržu kvadrātu summa	57.57	758.30	3.78	0.09	12.74	0.38	21.78	3.59	0.79	182.36	1419.60	239.93
	Brīvības pakāpju skaits	19	1	1	1	6	1	6	2	2	117	137	136
	Dispersija	3.030	758.304	3.785	0.089	2.124	0.378	3.629	1.793	0.397	1.559		
	Faktiskā Fišera vērtība	1.944	486.520	2.428	0.057	1.363	0.243	2.329	1.151	0.255			
	p-vērtība	0.017	0.000	0.122	0.812	0.235	0.623	0.037	0.320	0.775			
Baltalksnis	Noviržu kvadrātu summa	37.75	210.42	0.16	3.14	17.23	2.36	3.05	2.44	1.15	118.27	682.68	156.02
	Brīvības pakāpju skaits	19	1	1	2	4	2	4	3	3	154	174	173
	Dispersija	1.987	210.419	0.164	1.572	4.308	1.179	0.763	0.813	0.382	0.768		
	Faktiskā Fišera vērtība	2.587	273.993	0.213	2.047	5.610	1.535	0.994	1.059	0.497			
	p-vērtība	0.001	0.000	0.645	0.133	0.000	0.219	0.413	0.368	0.685			

**Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modelēšana**

Meža elementa vidējā kvadrātiskā krūšaugstuma caurmēra augšanas gaitas modeļiem (1.5. un 1.6. formulas) aproksimētas koeficientu vērtības (1.2.10. un 1.2.11. tabulas).

Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas *Chapman-Richards vienādojuma vispārinātās algebriskās diferences pieejas modeļa* (1.3.formula) koeficienti un to statistiskie rādītāji

Suga	Koeficients	1. variants*				2. variants**			
		Vērtība	Standartklūd a	95% Ticamības Intervāls		Vērtība	Standartklūd a	95% Ticamības Intervāls	
				Min	Max			Min	Max
Priede	b1	.001	.001	-.001	.002	.004	.001	.002	.005
	b2	-.339	.078	-.492	-.186	-.560	.047	-.652	-.468
	b3	5.048	.919	3.244	6.852	4.881	.135	4.616	5.147
Egle 1.stāvs	b1	.001	.001	-.002	.004	.004	.001	.001	.006
	b2	-1.157	.148	-1.447	-.867	-1.044	.100	-1.240	-.849
	b3	8.274	1.629	5.078	11.471	7.102	.337	6.440	7.763
Bērzs	b1	.005	.001	.002	.008	.012	.001	.010	.015
	b2	-.717	.087	-.887	-.547	-.924	.078	-1.077	-.772
	b3	5.240	.258	4.734	5.746	5.428	.183	5.069	5.787
Melnalksnis	b1	.001	.003	-.005	.008	.003	.003	-.002	.008
	b2	-.607	.184	-.969	-.245	-.465	.112	-.684	-.245
	b3	5.237	1.860	1.576	8.898	4.332	.389	3.569	5.095
Apse	b1	.002	.003	-.003	.008	.011	.002	.006	.016
	b2	-.408	.223	-.849	.032	-1.655	.189	-2.027	-1.283
	b3	7.218	1.446	4.366	10.070	9.005	.485	8.052	9.959
Baltalksnis	b1	.006	.004	-.002	.015	.037	.004	.030	.044
	b2	-.988	.175	-1.333	-.643	-1.317	.208	-1.725	-.909
	b3	5.058	.541	3.992	6.124	6.955	.559	5.856	8.054
Egle 2.stāvs	b1	.000	.001	-.001	.002				
	b2	-2.017	.346	-2.696	-1.339				
	b3	11.678	3.944	3.938	19.419				

\* 1. variantā vienādojumi izstrādāti no meža elementu augstuma starpībām; \*\* 2. variantā vienādojumi izstrādāti no atsevišķu koku uzmērītajām augstuma starpībām

Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas *Hossfeld IV vienādojuma vispārinātās algebriskās diferences pieejas modeļa* (1.3.formula) koeficienti un to statistiskie rādītāji

Suga	Koeficients	1. variants*				2. variants**			
		Vērtība	Standartklūd a	95% Ticamības Intervāls		Vērtība	Standartklūd a	95% Ticamības Intervāls	
				Min	Max			Min	Max
Priede	b1	1.113	.022	1.069	1.156	1.067	.024	1.021	1.113
	b2	-6.001	1.556	-9.054	-2.947	-9.985	1.547	-13.018	-6.952
	b3	3.602	.628	2.369	4.835	5.035	.632	3.796	6.275
Egle 1.stāvs	b1	1.013	.026	.963	1.064	1.089	.042	1.007	1.170
	b2	-15.219	11.966	-38.703	8.265	-5.698	2.012	-9.644	-1.752
	b3	8.792	6.280	-3.533	21.116	4.617	1.064	2.530	6.705
Bērzs	b1	1.001	.026	.949	1.053	1.043	.037	.971	1.116
	b2	-7.918	3.086	-13.973	-1.864	-7.793	2.153	-12.016	-3.571
	b3	3.071	1.013	1.085	5.058	3.652	.840	2.005	5.299
Melnalksnis	b1	.937	.068	.804	1.071	.912	.063	.788	1.037
	b2	-6.162	6.584	-19.122	6.798	-1.444	.935	-3.279	.391
	b3	2.733	2.475	-2.139	7.605	1.388	.459	.488	2.289
Apse	b1	1.242	.063	1.118	1.366	1.290	.071	1.151	1.429
	b2	-11.986	12.007	-35.666	11.695	-13.953	6.541	-26.802	-1.103
	b3	8.028	6.183	-4.166	20.222	9.786	3.506	2.899	16.673
Baltalksnis	b1	.924	.061	.804	1.044	1.399	.078	1.246	1.552
	b2	-8.152	9.993	-27.835	11.531	-8.395	2.464	-13.235	-3.555
	b3	2.781	3.087	-3.300	8.862	2.844	.567	1.731	3.957
Egle 2.stāvs	b1	1.043	.050	.945	1.141				
	b2	-6.993	3.553	-13.966	-.020				
	b3	3.029	1.098	.874	5.184				

\* 1. variantā vienādojumi izstrādāti no meža elementu augstuma starpībām; \*\* 2. variantā vienādojumi izstrādāti no atsevišķu koku uzmērītajām augstuma starpībām

Abiem caurmēra aktualizācijas modeļiem abos aprēķinu variantos aprēķināti vienādojumu statistiskie rādītāji, pārbaudot tos gan uz pārmērīto meža elementu datu bāzes, gan atsevišķo koku radiālo pieaugumu datu bāzes (1.2.12. tabula).

Vidējā kvadrātiskā krūšaugstuma caurmēra augšanas gaitas vienādojumu (1.5.un 1.6. vienādojumi) statistiskie rādītāji

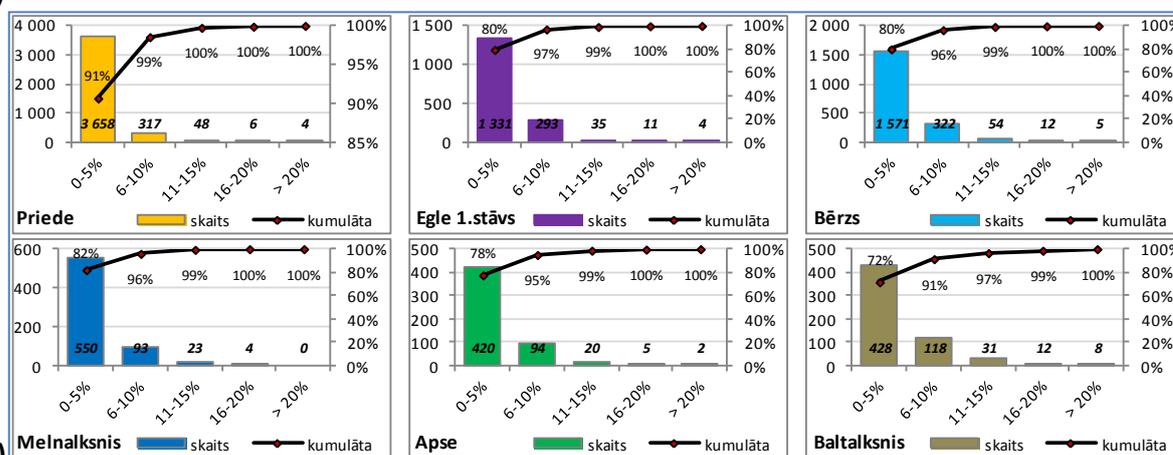
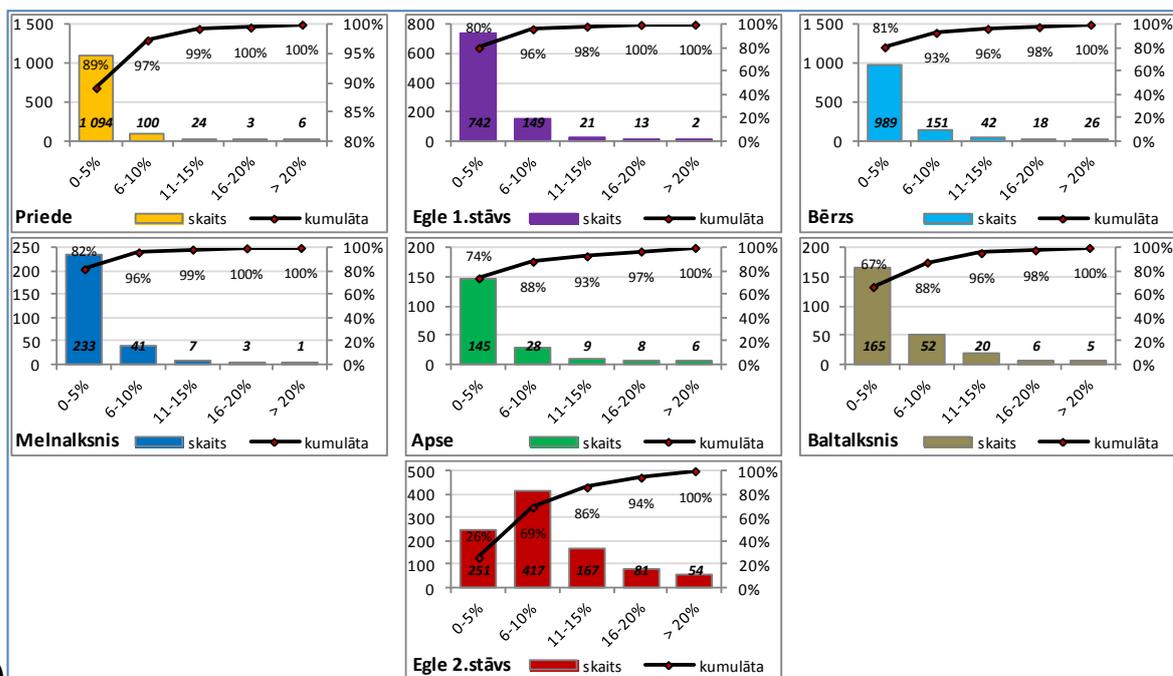
Suga	Vienādojums	Elementu dati									Koku dati								
		MRES*	AMRES	RMSE	MSE	MEF	VR	R	R <sup>2</sup>	N	MRES	AMRES	RMSE	MSE	MEF	VR	R	R <sup>2</sup>	N
Priede	Chapman 1**	0.03	0.48	0.68	0.47	0.006	0.991	0.997	0.994	1235	-0.02	0.48	0.65	0.43	0.007	1.008	0.997	0.993	4033
	Chapman 2	0.06	0.48	0.70	0.49	0.007	0.976	0.997	0.993	1235	0.01	0.48	0.65	0.42	0.006	0.997	0.997	0.994	4033
	Hossfeld 1	0.08	0.56	0.81	0.65	0.009	0.940	0.996	0.992	1235	0.08	0.49	0.67	0.44	0.007	0.973	0.997	0.993	4033
	Hossfeld 2	0.12	0.55	0.79	0.63	0.009	0.940	0.996	0.992	1235	0.09	0.49	0.67	0.44	0.007	0.970	0.997	0.993	4033
Egle 1. stāvs	Chapman 1	0.08	0.62	0.85	0.73	0.012	0.986	0.994	0.989	930	0.06	0.72	0.98	0.95	0.015	1.004	0.992	0.985	1674
	Chapman 2	0.03	0.64	0.86	0.74	0.012	0.972	0.994	0.988	930	0.03	0.72	0.97	0.95	0.015	0.994	0.992	0.985	1674
	Hossfeld 1	0.22	0.69	0.94	0.88	0.014	0.945	0.994	0.987	930	0.22	0.73	1.01	1.02	0.016	0.966	0.992	0.984	1674
	Hossfeld 2	0.05	0.72	0.97	0.94	0.015	0.942	0.993	0.986	930	0.12	0.73	1.00	1.00	0.016	0.969	0.992	0.984	1674
Bērzs	Chapman 1	0.02	0.61	0.88	0.78	0.014	0.988	0.993	0.987	1234	-0.10	0.67	0.87	0.76	0.014	1.011	0.993	0.986	1964
	Chapman 2	0.10	0.61	0.90	0.82	0.014	0.974	0.994	0.988	1234	0.01	0.64	0.86	0.74	0.014	0.985	0.993	0.985	1964
	Hossfeld 1	0.27	0.64	0.96	0.91	0.016	0.946	0.993	0.986	1234	0.17	0.64	0.89	0.78	0.015	0.968	0.993	0.986	1964
	Hossfeld 2	0.10	0.62	0.93	0.86	0.015	0.953	0.993	0.986	1234	0.01	0.64	0.87	0.75	0.014	0.978	0.993	0.986	1964
Melnalksnis	Chapman 1	0.03	0.58	0.82	0.67	0.019	0.984	0.991	0.981	286	-0.02	0.66	0.85	0.71	0.016	0.994	0.992	0.984	670
	Chapman 2	0.04	0.58	0.82	0.67	0.019	0.974	0.991	0.981	286	0.00	0.66	0.84	0.71	0.015	0.986	0.992	0.985	670
	Hossfeld 1	0.14	0.60	0.86	0.73	0.021	0.935	0.990	0.980	286	0.14	0.67	0.87	0.75	0.016	0.952	0.992	0.984	670
	Hossfeld 2	0.03	0.61	0.85	0.72	0.020	0.951	0.990	0.980	286	0.04	0.67	0.85	0.72	0.016	0.973	0.992	0.984	670
Apse	Chapman 1	0.05	0.86	1.20	1.43	0.009	0.998	0.995	0.991	198	-0.36	1.07	1.39	1.92	0.018	1.026	0.992	0.984	541
	Chapman 2	0.29	1.00	1.38	1.90	0.012	0.936	0.995	0.989	198	0.02	0.90	1.25	1.57	0.015	0.988	0.993	0.985	541
	Hossfeld 1	0.45	0.99	1.38	1.89	0.012	0.930	0.995	0.990	198	0.17	0.94	1.31	1.71	0.016	0.961	0.992	0.984	541
	Hossfeld 2	0.30	0.97	1.35	1.82	0.012	0.929	0.995	0.990	198	0.04	0.94	1.30	1.68	0.016	0.963	0.992	0.984	541
Baltalksnis	Chapman 1	0.02	0.62	0.84	0.71	0.025	1.022	0.988	0.975	250	0.12	0.72	0.98	0.95	0.047	1.043	0.977	0.955	597
	Chapman 2	-0.35	0.78	1.07	1.13	0.040	0.882	0.983	0.966	250	0.02	0.70	0.92	0.85	0.042	0.953	0.979	0.958	597
	Hossfeld 1	0.06	0.62	0.85	0.72	0.026	0.989	0.987	0.974	250	0.17	0.71	0.97	0.94	0.047	0.999	0.977	0.955	597
	Hossfeld 2	-0.33	0.78	1.07	1.13	0.040	0.886	0.982	0.965	250	0.02	0.71	0.93	0.87	0.043	0.951	0.978	0.957	597
Egle 2. stāvs	Chapman 1	0.04	0.55	0.76	0.57	0.031	0.935	0.985	0.970	970									
	Chapman 2																		
	Hossfeld 1	0.18	0.60	0.84	0.71	0.038	0.882	0.983	0.966	970									
	Hossfeld 2																		

\*MRES - vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze; RMSE – standartkļūda; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R2 - determinācijas indekss; N - parauglūkumu vai koku skaits.  
\*\*Chapman 1 - 1.5 vienādojums 1. variants (elementi); Chapman 2 - 1.5 vienādojums 2. variants (koki); Hossfeld 1 - 1.6 vienādojums 1. variants (elementi); Hossfeld 2 - 1.6 vienādojums 2. variants (koki).

Vienādojumu statistiskie rādītāji abiem vienādojumiem un abos aprēķina variantos ir līdzīgi, tomēr nedaudz precīzāk caurmēra izmaiņas tiek prognozētas ar modeļiem, kas izstrādātas uz atsevišķu koku radiālo pieaugumu datu bāzes (izņemot baltalksnim). *Hossfeld* vienādojums (1.6. formula) salīdzinājumā ar *Chapman-Richards* vienādojumu (1.5. formula) neatkarīgi no koku sugas prognozē loģiskākas un mežsaimnieciski ticamākas caurmēra izmaiņas ilgākā laika periodā.

Ņemot vērā iepriekš minētos faktoros, meža elementa vidējā kvadrātiskā koku krūšaugstuma caurmēra izmaiņu modelēšanai ieteicams izmantot *Hossfeld IV* vienādojuma vispārinātās algebriskās diferences pieejas modeli (1.6. vienādojums), kas priedes, egles 1. stāva, bērza, apses un melnalkšņa meža elementiem izstrādāts uz atsevišķu koku radiālā pieauguma datu bāzes, bet baltalkšņa un egles 2. stāva meža elementiem izstrādāts uz MSI parauglūkumu pārmērījumu datu bāzes. Caurmēra aktualizācijas modeli ieteicams izmantot meža elementiem, kuru krūšaugstuma vecums ir vismaz pieci gadi.

Ieteiktajam vidējā caurmēra aktualizācijas modelim ieteiktajā vecuma diapazonā starpības starp uzmērītajiem un aproksimētajiem caurmēriem mazākas par 10% ir 88-97% 1. stāva meža elementiem un 91-99% atsevišķiem 1. stāva kokiem (1.2.16. attēls). Savukārt šī starpība mazāka par 10% vai 1 centimetru ir 89-97% meža elementu un 92-99% atsevišķiem kokiem (1.2.13. tabula).



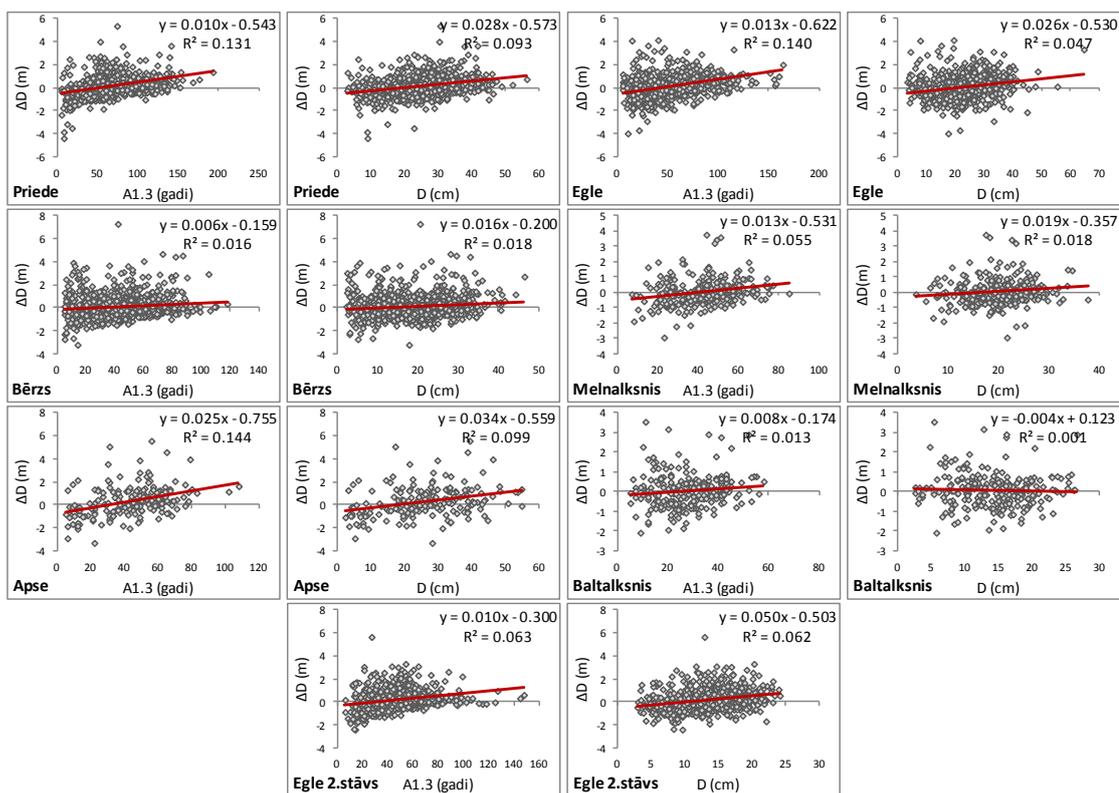
1.2.16. attēls. Meža elementu skaits un kumulatīvais sadalījums atkarībā no meža elementa relatīvās starpības starp aptuveno un izmērīto vidējo augstumu  
a) MSI pārmērīto meža elementu dati; b) MSI pārmērīto atsevišķo koku dati

1.2.13. tabula

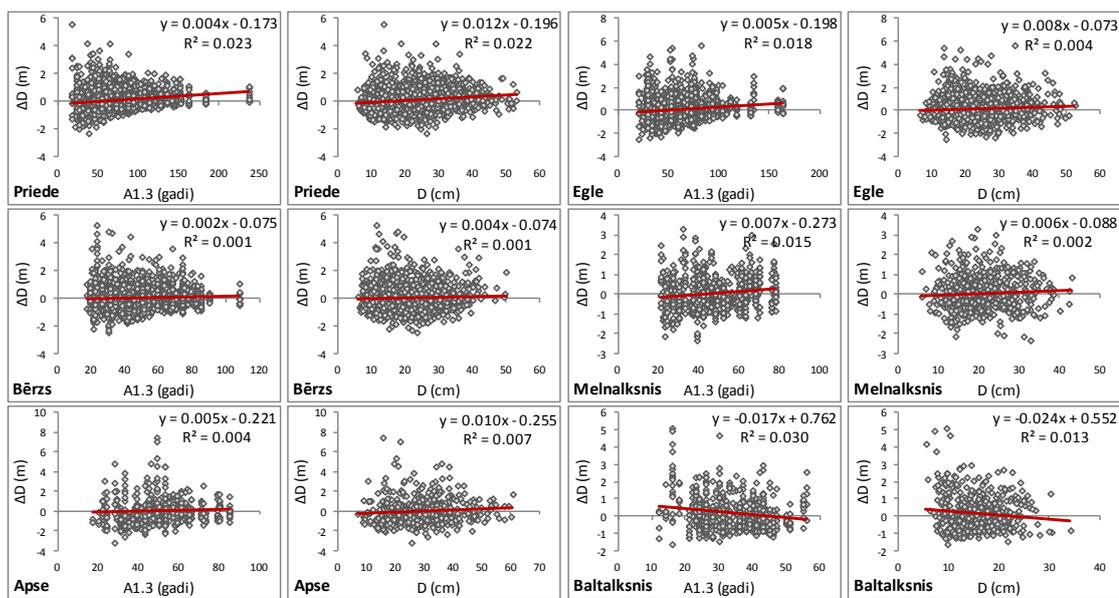
Meža elementu un atsevišķu koku skaits un īpatsvars atkarībā no meža elementa relatīvās starpības starp izmērīto un aptuveno vidējo caurmēru

Meža elements	Elementu dati					Koku dati				
	Starpība >1cm vai >10%		Starpība ≤1cm vai ≤10%		Kopā Skaits	Starpība >1cm vai >10%		Starpība ≤1cm vai ≤10%		Kopā Skaits
	Skaits	%	Skaits	%		Skaits	%	Skaits	%	
Priede	38	3%	1197	97%	1235	54	1%	3979	99%	4033
Egļe 1. stāvs	36	4%	894	96%	930	51	3%	1623	97%	1674
Bērzs	81	7%	1153	93%	1234	72	4%	1892	96%	1964
Melnalksnis	11	4%	275	96%	286	28	4%	642	96%	670
Apse	21	11%	177	89%	198	28	5%	513	95%	541
Baltalksnis	23	9%	227	91%	250	50	8%	547	92%	597
Egļe 2. stāvs	89	9%	881	91%	970					
<b>Kopā</b>	<b>296</b>	<b>6%</b>	<b>4807</b>	<b>94%</b>	<b>5103</b>	<b>302</b>	<b>3%</b>	<b>9177</b>	<b>97%</b>	<b>9479</b>

Pārbaudot ieteikto vienādojumu uz MSI pārmērīto parauglaukumu meža elementu un atsevišķu koku datu bāzēm, starpībai starp izmērīto un aprēķināto vidējo caurmēru nav konstatētas korelatīvas sakarības ar sākotnējo meža elementa krūšaugstuma vecumu un caurmēru (1.2.17. attēls), lai gan atsevišķos gadījumos šīs sakarības lielā novērojumu skaita dēļ ir pat statistiski būtiskas.



a)

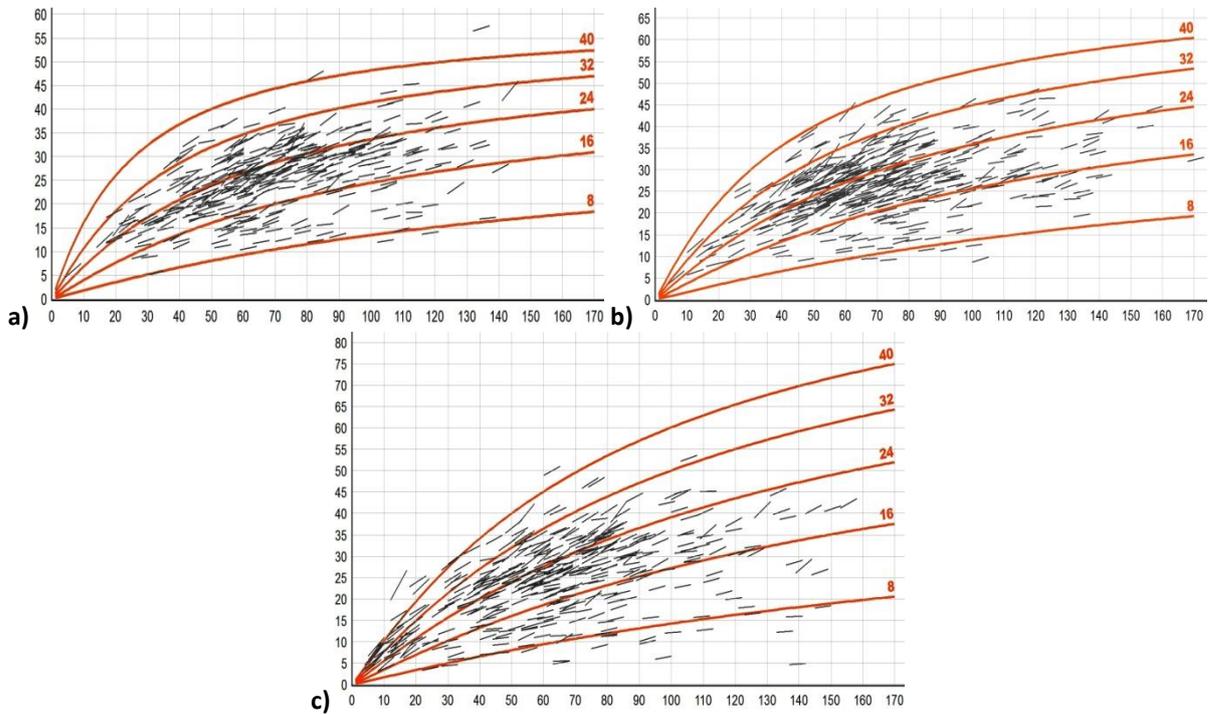


b)

1.2.17. attēls. Starpības starp uzņēmīto un aprēķināto vidējo krūšaugstuma caurmēru perioda beigās atkarībā no krūšaugstuma vecuma un sākotnējā caurmēra

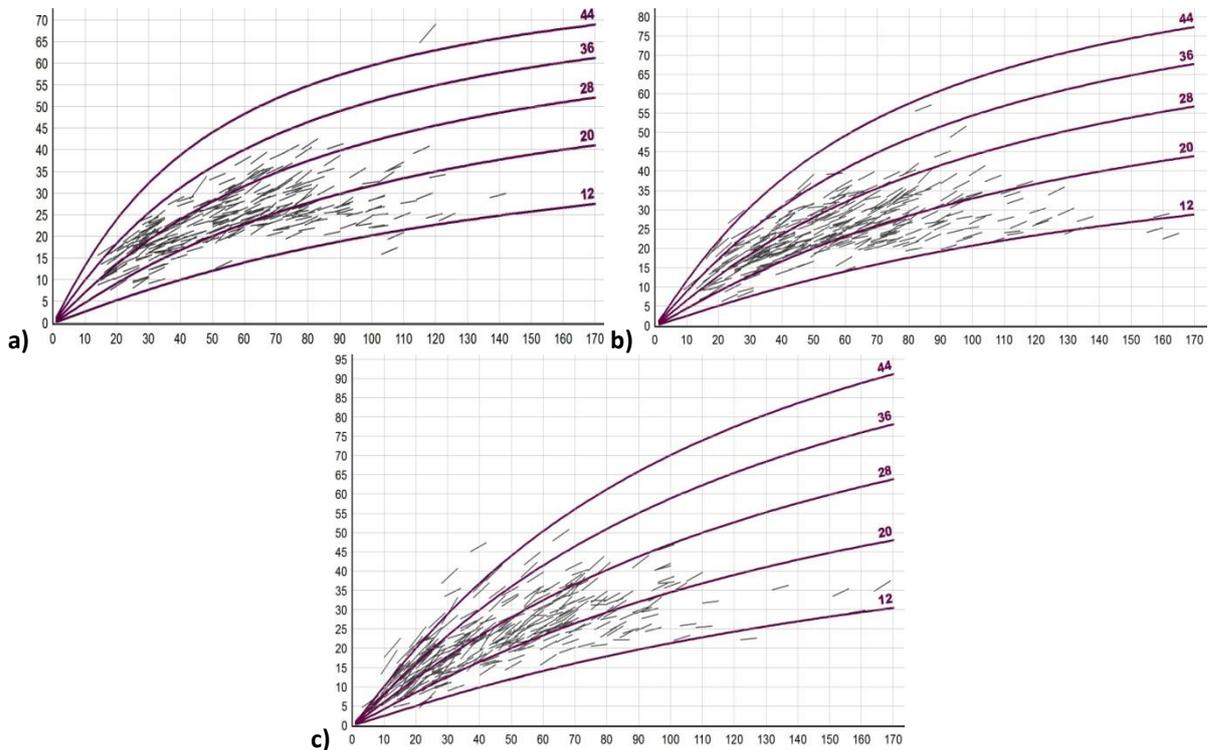
a) MSI pārmērīto meža elementu dati; b) MSI pārmērīto atsevišķo koku dati

MSI atkārtoti uzņēmītajos parauglaukumos meža elementu vidējā krūšaugstuma caurmēra izmaiņas salīdzinājumā ar ieteiktā meža elementa vidējā krūšaugstuma caurmēra aktualizācijas modeļa prognozētās caurmēra izmaiņām atspoguļotas 1.2.18.-1.2.23. attēlos.



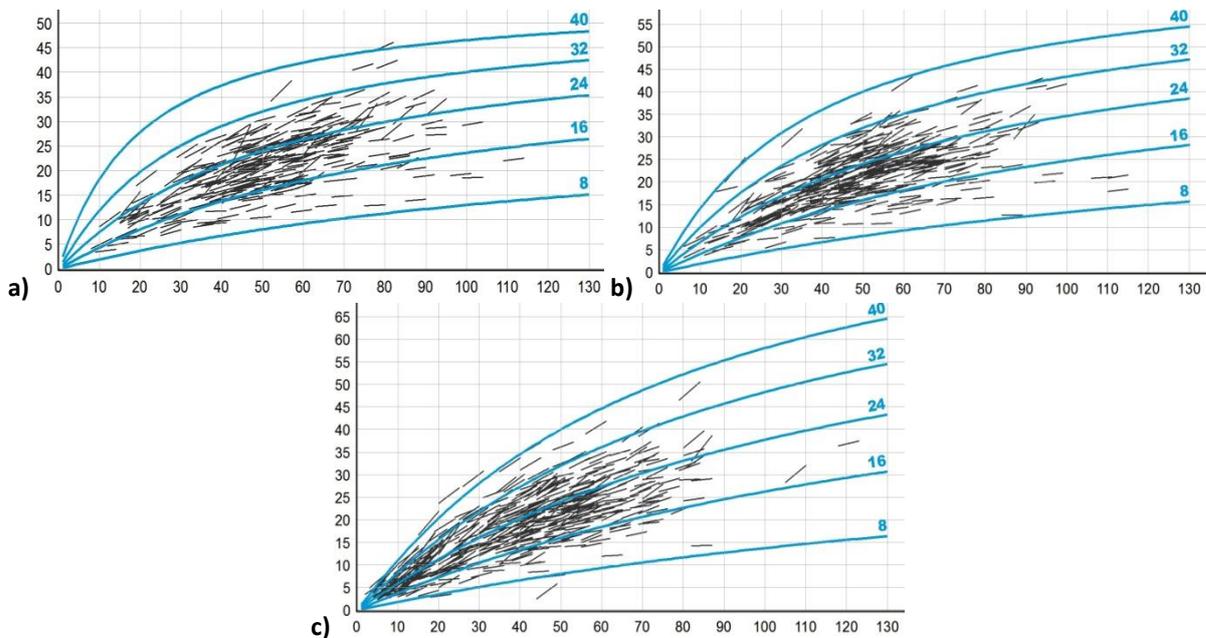
1.2.18. attēls. Priedes 1. stāva uzņēmētās vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņas (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aproksimētā caurmēra augšanas gaita (1.5. vienādojums) atkarībā no caurmēra 50 gados

a) biežība (1. stāva koku skaits attiecībā pret maksimālo koku skaitu) 0.7-1.0; b) biežība 0.5-0.7; c) biežība 0.1-0.5



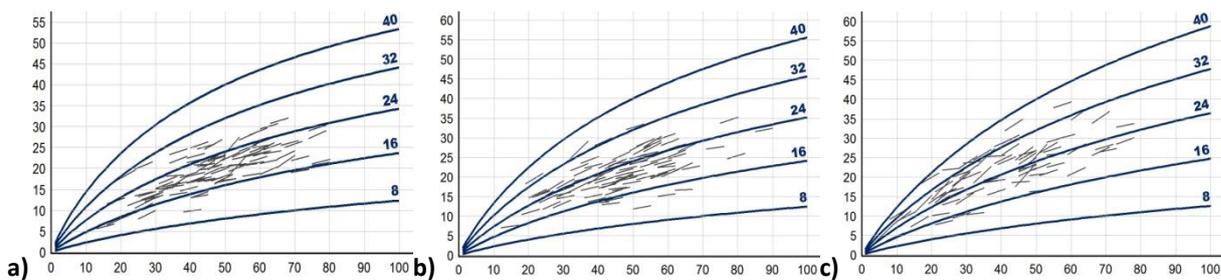
1.2.19. attēls. Egles 1. stāva uzņēmētās vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņas (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aproksimētā caurmēra augšanas gaita (1.5. vienādojums) atkarībā no caurmēra 50 gados

a) biežība (1. stāva koku skaits attiecībā pret maksimālo koku skaitu) 0.7-1.0; b) biežība 0.5-0.7; c) biežība 0.1-0.5



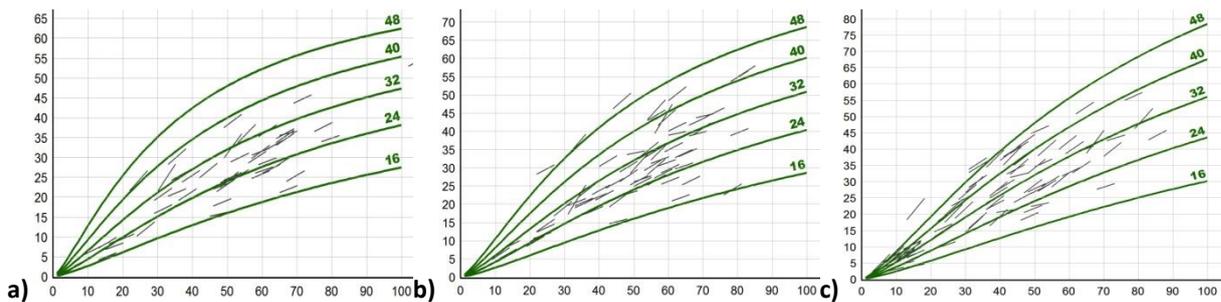
1.2.20. attēls. Bērza 1. stāva uzņēmētās vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņas (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aptuvinātā caurmēra augšanas gaita (1.5. vienādojums) atkarībā no caurmēra 50 gados

a) biežība (1. stāva koku skaits attiecībā pret maksimālo koku skaitu) 0.7-1.0; b) biežība 0.5-0.7; c) biežība 0.1-0.5



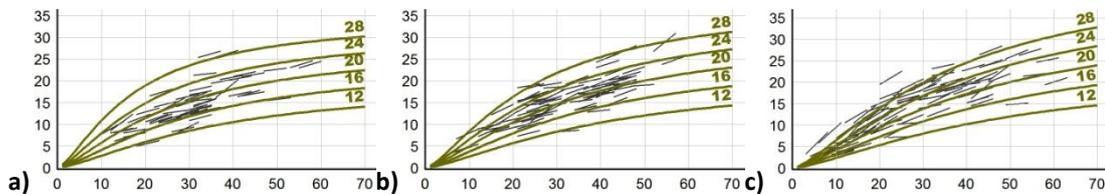
1.2.13. attēls. Melnalkšņa 1. stāva aptuvinātais (1.5. vienādojums) un uzņēmētais vidējais kvadrātiskais caurmēra pieaugums atkarībā no koku sugas un meža elementa krūšaugstuma vecuma

a) biežība (1. stāva koku skaits attiecībā pret maksimālo koku skaitu) 0.7-1.0; b) biežība 0.5-0.7; c) biežība 0.1-0.5



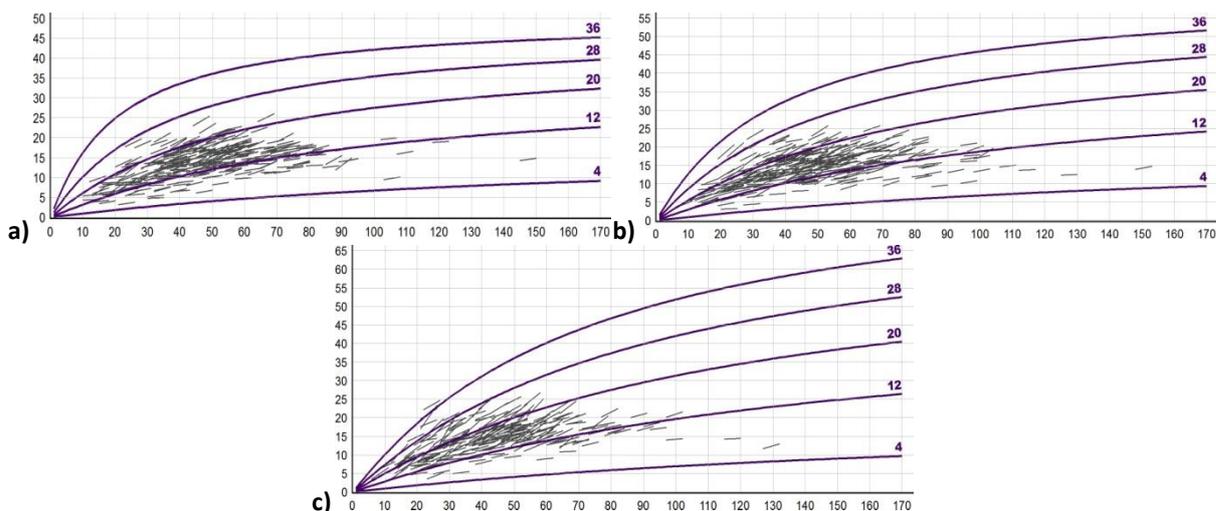
1.2.21. attēls. Apses 1. stāva aptuvinātais (1.5. vienādojums) un uzņēmētais vidējais kvadrātiskais caurmēra pieaugums atkarībā no koku sugas un meža elementa krūšaugstuma vecuma

a) biežība (1. stāva koku skaits attiecībā pret maksimālo koku skaitu) 0.7-1.0; b) biežība 0.5-0.7; c) biežība 0.1-0.5



1.2.22. attēls. Baltalkšņa 1. stāva aptuvinātais (1.5. vienādojums) un uzņēmētais vidējais kvadrātiskais caurmēra pieaugums atkarībā no koku sugas un meža elementa krūšaugstuma vecuma

a) biežība (1. stāva koku skaits attiecībā pret maksimālo koku skaitu) 0.7-1.0; b) biežība 0.5-0.7; c) biežība 0.1-0.5



1.2.23. attēls. Egles 2. stāva uzņēmētās vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņas (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aproksimētā caurmēra augšanas gaita (1.5. vienādojums) atkarībā no caurmēra 50 gados

a) biežība (1. stāva koku skaits attiecībā pret maksimālo koku skaitu) 0.7-1.0; b) biežība 0.5-0.7; c) biežība 0.1-0.5

### 1.2.3. Kokaudzes koku skaita modeļa precizēšana

#### Materiāls un metodika

Kokaudzes koku skaita izmaiņas aproksimētas izmantojot:

- divpakāpju atmiruma modeli;
- maksimālais koku skaitu pie noteikta audzes caurmēra un augstuma.

#### Divpakāpju atmiruma modelis

Divpakāpju atmiruma modeļa analīzē izmantoti dati tikai par tiem MSI atkārtoti uzņēmētajiem parauglaukumiem, kuros nav konstatēta koku ciršana un kuros nav konstatēti vecās paaudzes koki. Analīzē izmantoti tikai tie meža elementi, kuriem pirmajā uzņēmēšanas ciklā ir uzņēmēti vismaz pieci dzīvi koki un ir zināms meža elementa krūšaugstuma vecums. Kopā analīzē izmantoti dati par 3948 (P<sub>1.st.</sub>-1059; E<sub>1.st.</sub>-706; E<sub>2.st.</sub>-675; B<sub>1.st.</sub>-958; M<sub>1.st.</sub>-209; A<sub>1.st.</sub>-134; Ba<sub>1.st.</sub>-207) meža elementiem no 2468 MSI atkārtoti uzņēmētajiem parauglaukumiem.

Kokaudzes koku skaita izmaiņu aktualizācijā izmanto vienādojumu (Gonzalez et al., 2003; Fridman & Stahl, 2001):

$$n_2 = n_1 + \pi(n_1 - n_2) \quad (1.7)$$

$$\text{kur } \pi = \frac{1}{1 + e^{-(a_0 + a_1 \ln(d_1) + a_2 \ln(g_1) + a_3 G_1 + a_4 BAL)}} \quad (1.7.1)$$

$$n_2 = \left[ n_1^{b_1} + b_2 \frac{t_1}{h_1} (t_2^{b_3} - t_1^{b_3}) \right]^{b_4} \quad (1.7.2)$$

vai

$$n_2 = n_1 - n_1 e^{(c_0 + c_1 X)} \quad (1.7.3)$$

$$\text{kur } X = c_2 \ln(n_1) + c_3 \ln(d_1) + c_4 \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1} + c_5 \ln(t_1) \quad (1.7.3.1)$$

kur  $n_2$  – meža elementa koku skaits 5. gadu perioda beigās,  $ha^{-1}$ ;  
 $n_1$  – meža elementa koku skaits perioda sākumā,  $ha^{-1}$ ;  
 $\pi$  – varbūtība, ka nākošajos 5 gados izdzīvos visi koki;  
 $n_2$  – prognozētais koku skaits ar algebriskās atšķirības atmiruma funkciju,  $ha^{-1}$ ;  
 $t_1, t_2$  – meža elementa krūšaugstuma vecums attiecīgi perioda sākumā un perioda beigās, gadi;

$d_1$  – meža elementa vidējais kvadrātiskais krūšaugstuma caurmērs perioda sākumā, cm;  
 $h_1; h_2$  – meža elementa vidējais augstums attiecīgi perioda sākumā un perioda beigās, m;  
 $g_1$  – meža elementa šķērslaukums perioda sākumā,  $m^2 ha^{-1}$ ;  
 $G_1$  – šķērslaukuma summa perioda sākumā meža elementiem, kas vienādi vai lielāki par konkrēto meža elementu (ja 1. stāva meža elements, tad 1. stāva šķērslaukums, ja 2. stāva meža elements, tad 1. un 2. stāva šķērslaukuma summa),  $m^2 ha^{-1}$ ;  
 $BAL$  – to meža elementu šķērslaukuma summa perioda sākumā, kas lielāki par konkrēto meža elementu (1. stāva meža elementiem – 0; 2. stāva meža elementiem – 1. stāva šķērslaukums),  $m^2 ha^{-1}$ ;  
 $a_0; a_4; b_1; b_4; c_0; c_5$  – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas

### Maksimālais koku skaits

Par maksimālo koku skaitu analizē pieņem katras augstuma un caurmēra gradācijas klases aritmētiski vidējo vērtību plus trīs standartnovirzes.

Analizē izmanto datus par 2576 MSI parauglaukumus (1.2.14. tabula), kuros:

- I stāva valdošā koku suga ir priede (1060), egle(401), bērzs(659), melnalksnis(106), apse(143) un baltalksnis(207);
- I stāva valdošās koku sugas sastāva koeficients ir vismaz 7 vienības;
- I stāva kokaudzes biežība vismaz 5.

Maksimālā koku skaita aprēķināšanai izmantots vienādojums:

$$N_{max} = a_1 d^{a_2} h^{a_3} \quad (1.8)$$

kur  $N_{max}$  – maksimālais mežaudzes koku skaits,  $ha^{-1}$ ;  
 $d$  – mežaudzes vidējais kvadrātiskais krūšaugstuma caurmērs, cm;  
 $h$  – mežaudzes vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošais augstums, m;  
 $a_1; a_2; a_3$  – koeficienti.

1.2.14. tabula

Mežaudzes maksimālā koku skaita analizē izmantoto parauglaukumu skaits sadalījumā pa caurmēra un augstuma grupām

Suga	Audzes caurmērs (cm)	Audzes augstums (m)						Kopā
		2.5 - 7.4	7.5 - 12.4	12.5 - 17.4	17.5 - 22.4	22.5 - 27.4	27.5 -	
Priede	2.5 - 7.4	29						29
	7.5 - 12.4	7	32	3				42
	12.5 - 17.4		20	67	9			96
	17.5 - 22.4		1	61	101	13		176
	22.5 - 27.4			21	117	139	4	281
	27.5 - 32.4			1	49	158	37	245
	32.5 - 37.4			1	12	73	37	123
	37.5 - 42.4				3	15	27	45
	42.5 -				1	6	16	23
<b>Kopā</b>		<b>36</b>	<b>53</b>	<b>154</b>	<b>292</b>	<b>404</b>	<b>121</b>	<b>1060</b>
Egle	2.5 - 7.4	15	1					16
	7.5 - 12.4	2	32	8				42
	12.5 - 17.4		16	68	9			93
	17.5 - 22.4			27	67	3		97
	22.5 - 27.4				32	34		66
	27.5 - 32.4				4	37	6	47
	32.5 - 37.4					16	11	27
	37.5 - 42.4					1	6	7
	42.5 -						6	6
<b>Kopā</b>		<b>17</b>	<b>49</b>	<b>103</b>	<b>112</b>	<b>91</b>	<b>29</b>	<b>401</b>
Bērzs	2.5 - 7.4	60	36					96
	7.5 - 12.4		20	38	1			59
	12.5 - 17.4		2	54	63	3		122
	17.5 - 22.4			13	81	53	2	149
	22.5 - 27.4				24	87	30	141
	27.5 - 32.4				6	32	27	65
	32.5 - 37.4					5	16	21
	37.5 - 42.4						3	3
	42.5 -						3	3
<b>Kopā</b>	<b>60</b>	<b>58</b>	<b>105</b>	<b>175</b>	<b>180</b>	<b>81</b>	<b>659</b>	
Melnalksnis Apse Baltalksnis	2.5 - 7.4	61	16					77
	7.5 - 12.4		25	34	1			60
	12.5 - 17.4		3	39	56	3		101
	17.5 - 22.4			15	38	20		73
	22.5 - 27.4			3	18	35	7	63
	27.5 - 32.4				1	15	15	31
	32.5 - 37.4					4	14	18
	37.5 - 42.4						17	17
	42.5 -					1	15	16
<b>Kopā</b>	<b>61</b>	<b>44</b>	<b>91</b>	<b>114</b>	<b>78</b>	<b>68</b>	<b>456</b>	

## Rezultāti

Aproximētas koeficientu vērtības koku skaita divpakāpju atmiruma modeļa vienādojumiem (1.2.15. tabula) un maksimālā koku skaita aprēķināšanas vienādojumam (1.2.16. tabula).

1.2.15. tabula

### Koku skaita divpakāpju atmiruma vienādojumu (1.7.1. (a), 1.7.2.(b) un 1.7.3. (c) formulas) koeficienti

Meža elements	Rādītājs	Koeficienti														
		a0	a1	a2	a3	a4	b1	b2	b3	b4	c0	c1	c2	c3	c4	c5
Priede 1.stāvs	Vērtība	-6.757	3.298	-0.646	-0.072	0.000	0.665	0.023	1.319	1.457	0.548	1.240	-0.109	-0.540	0.880	-0.051
	Standartklūda	0.743	0.259	0.169	0.012		0.255	0.096	0.598	0.558	0.223	0.099	0.021	0.091	0.162	0.074
Egle 1.stāvs	Vērtība	-6.906	3.499	-1.552	0.000	0.000	0.533	0.007	1.449	1.805	0.337	1.175	-0.212	-0.299	1.245	-0.051
	Standartklūda	0.865	0.308	0.169			0.862	0.069	1.216	2.917	0.242	0.127	0.031	0.161	0.215	0.124
Bērzs 1.stāvs	Vērtība	-3.537	2.329	-1.287	-0.010	0.000	0.563	0.015	1.512	1.699	0.339	1.180	-0.158	-0.467	0.795	0.024
	Standartklūda	0.500	0.216	0.148	0.010		0.308	0.077	0.744	0.929	0.206	0.111	0.022	0.121	0.136	0.100
Melnalksnis 1.stāvs	Vērtība	-10.393	4.694	-1.582	-0.010	0.000	0.547	0.003	1.784	1.766	1.060	1.518	-0.131	-0.677	0.745	0.122
	Standartklūda	2.206	0.819	0.302	0.026		0.493	0.022	1.318	1.587	0.599	0.295	0.061	0.313	0.373	0.269
Apse 1.stāvs	Vērtība	-6.178	3.354	-1.519	-0.012	0.000	0.478	0.016	1.518	1.987	0.020	1.011	-0.063	-0.407	0.273	-0.110
	Standartklūda	1.539	0.646	0.451	0.033		1.266	0.248	1.864	5.243	0.342	0.194	0.043	0.349	0.265	0.321
Baltalksnis 1.stāvs	Vērtība	-3.401	1.733	-1.128	-0.022	0.000	0.521	8.693	0.400	1.799	-0.237	0.844	-0.128	-0.294	0.533	-0.032
	Standartklūda	1.465	0.559	0.339	0.031		0.401	44.302	0.416	1.372	0.462	0.305	0.037	0.278	0.284	0.246
Egle 2.stāvs	Vērtība	-1.659	1.627	-1.439	0.000	-0.010	0.410	-3.295	0.329	2.434	0.302	1.192	-0.186	-0.695	0.726	0.307
	Standartklūda	0.715	0.278	0.193		0.011	0.100	5.251	0.135	0.604	0.318	0.204	0.032	0.167	0.189	0.128

1.2.16. tabula

### Maksimālā koku skaita vienādojumu (1.8. formula) koeficienti

Suga	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	p - vērtība	95% Ticamības intervāls	
					Min	Max
Priede	a1	83570	1	0.000	59938	116519
	a2	-1.36561	0.08730	0.000	-1.54665	-1.18457
	a3	-0.06894	0.09740	0.487	-0.27093	0.13306
Egle	a1	103106	2	0.000	35962	295613
	a2	-1.38148	0.33141	0.001	-2.08787	-0.67508
	a3	-0.10329	0.39140	0.795	-0.93755	0.73097
Bērzs	a1	144400	1	0.000	107836	193362
	a2	-1.35676	0.07056	0.000	-1.50563	-1.20788
	a3	-0.30225	0.09407	0.005	-0.50072	-0.10378
Melnalksnis	a1	197511	1	0.000	133427	292374
Apse	a2	-1.31445	0.09548	0.000	-1.51505	-1.11385
Baltalksnis	a3	-0.33944	0.12015	0.011	-0.59187	-0.08700

Analīzē pārbauda 4 koku skaita izmaiņu modeļus, kas balstīti uz divpakāpju atmiruma modeli:

- modelis 1 – nākošā perioda koku skaits aprēķināts ar 1.7. vienādojumu, kur  $n_2$  aprēķināts ar 1.7.2. vienādojumu;
- modelis 2 – nākošā perioda koku skaits aprēķināts ar 1.7. vienādojumu, kur  $n_2$  aprēķināts ar 1.7.3. vienādojumu;
- modelis 3 – nākošā perioda koku skaits aprēķināts ar 1.7.2. vienādojumu;
- modelis 4 – nākošā perioda koku skaits aprēķināts ar 1.7.3. vienādojumu.

Vienādojumi 1.7.2. un 1.7.3. tiek pārbaudīti kā atsevišķi koku skaita izmaiņu modeļi, jo tiek pārvērtēta varbūtība ( $\pi$ ), ka nākošajos piecos gados izdzīvos visi koki. Izdzīvošanas varbūtība tiek pārvērtēta, jo izstrādājot vienādojumu uz MSI datiem:

- vienādojumā netiek ņemts vērā audzes platība – *teorētiski mazākā platībā iespējamība, ka izdzīvos visi koki, ir lielāka nekā lielākā platībā*;
- vienādojums izstrādāts uz 500 m<sup>2</sup> lieliem parauglaukumiem, kas ir ļoti maza platība (principā mežsaimniecībā nav tik mazu nogabalu (audžu));
- mazs parauglaukumu īpatsvars, kas ir pāraugušās (ļoti vecās) audzēs vai kurās ir pārauguši meža elementi;
- mazs parauglaukumu īpatsvars, kas ir pārbiezinātās audzēs.

Visaugstākie statistiskie rādītāji meža elementa koku skaita izmaiņai, pārbaudot tos uz MSI datu bāzes, ir 1. modelim (1.2.17. tabula). Tomēr šis modelis piemērots ne vairāk kā 20 gadus ilgam aktualizācijas periodam, jo ekstrapolējot datus ilgākā laika periodā nepamatotu koku skaita pieaugumu. Meža elementa koku skaita aktualizācijai ilgākā laika periodā ieteicams izmantot 2. modeli, kas spēj prognozēt daudz loģiskākas un konservatīvākas koku skaita izmaiņas.

1.2.17. tabula

Koku skaita aktualizācijas modeļu statistiskie rādītāji

Suga	Modelis**	Statistiskie rādītāji								
		MRES*	AMRES	RMSE	MSE	MEF	VR	R	R <sup>2</sup>	N
Priede	modelis 1	13	49	99	9872	0.043	0.915	0.979	0.959	1059
	modelis 2	-7	39	90	8151	0.035	0.965	0.982	0.965	1059
	modelis 3	44	69	111	12230	0.053	0.894	0.978	0.957	1059
	modelis 4	13	45	91	8240	0.036	0.949	0.982	0.965	1059
Egle 1. stāvs	modelis 1	3	55	107	11502	0.078	0.906	0.960	0.922	706
	modelis 2	-18	47	104	10744	0.073	1.150	0.970	0.940	706
	modelis 3	29	69	112	12481	0.085	0.898	0.959	0.920	706
	modelis 4	2	54	102	10450	0.071	1.154	0.969	0.940	706
Bērzs	modelis 1	16	75	210	44184	0.092	0.743	0.958	0.918	958
	modelis 2	-12	62	143	20381	0.042	0.929	0.979	0.958	958
	modelis 3	58	95	219	47937	0.100	0.704	0.960	0.922	958
	modelis 4	19	70	142	20080	0.042	0.899	0.980	0.960	958
Melnalksnis	modelis 1	7	42	69	4760	0.030	0.938	0.985	0.971	209
	modelis 2	-6	35	62	3794	0.023	0.946	0.989	0.977	209
	modelis 3	25	51	74	5411	0.034	0.943	0.985	0.970	209
	modelis 4	8	41	61	3696	0.023	0.958	0.989	0.977	209
Ape	modelis 1	-6	91	238	56123	0.046	0.938	0.977	0.954	134
	modelis 2	-37	86	236	55374	0.045	1.152	0.982	0.965	134
	modelis 3	20	104	235	54660	0.047	0.939	0.977	0.954	134
	modelis 4	-16	92	229	52128	0.044	1.153	0.982	0.965	134
Baltalksnis	modelis 1	66	199	402	161005	0.122	0.840	0.939	0.882	207
	modelis 2	-96	204	470	219960	0.165	1.305	0.940	0.883	207
	modelis 3	94	208	405	163307	0.127	0.823	0.939	0.881	207
	modelis 4	-74	203	460	210457	0.162	1.295	0.939	0.882	207
Egle 2. stāvs	modelis 1	-66	76	155	24144	0.128	1.254	0.960	0.921	675
	modelis 2	-14	67	118	14000	0.074	0.925	0.963	0.927	675
	modelis 3	-57	75	150	22372	0.119	1.239	0.960	0.922	675
	modelis 4	25	77	120	14447	0.077	0.868	0.963	0.928	675

\*MRES - vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze; RMSE – standartkļūda; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R<sup>2</sup> - determinācijas indekss; N - meža elementu skaits.  
 \*\* modelis 1 - nākošā perioda koku skaitu aprēķina ar 1.7. formulu, kur n<sup>2</sup> aprēķina ar 1.7.2. formulu; modelis 2 - nākošā perioda koku skaitu aprēķina ar 1.7. formulu, kur n<sup>2</sup> aprēķina ar 1.7.3. formulu; modelis 3 - nākošā perioda koku skaitu aprēķina ar 1.7.2. formulu; modelis 4 - nākošā perioda koku skaitu aprēķina ar 1.7.3. formulu.

Meža elementa koku skaita izmaiņu aktualizācijas modeļiem, līdzīgi kā iepriekšējā gadā, ir sekojoši ierobežojumi:

- meža elementa koku skaita viens aktualizācijas periods, nemainot vienādojumus izmantojamos sākotnējos taksācijas rādītājus, nedrīkst būt garāks par 5 gadiem;
- pēc divpakāpju atmiruma vienādojumiem (1.7. vienādojums) prognozētais meža elementa koku skaits nedrīkst būt lielāks kā maksimālais koku skaits (1.8. vienādojums);
- maksimālais meža elementa krūšaugstuma vecums priedēm un eglēm ir 200 gadi, bērzam, apsei un melnalksnim – 120 gadi, baltalksnim – 80 gadi;
- minimālais meža elementa krūšaugstuma vecums ir pieci gadi.

Meža elementa koku skaita izmaiņas 5 gadu perioda beigās prognozē pēc sekojoša algoritma:

$$N_{t+5} = \min(N_{max}; n_2) \quad (1.9)$$

kur  $N_{t+5}$  – meža elementa koku skaits pēc 5 gadiem;  $ha^{-1}$ ;  
 $N_{max}$  - maksimālais mežaudzes koku skaits (1.8. formula),  $ha^{-1}$ ;  
 $n_2$  – ar divpakāpju atmiruma modeli prognozētais meža elementa koku skaits pēc 5 gadiem,  $ha^{-1}$ ;  
 ja paredzētais aktualizācijas perioda ilgums ir līdz 20 gadiem, tad nākošā perioda koku skaits aprēķināts ar 1.7. vienādojumu, kur  $n_2$  aprēķināts ar 1.7.2. vienādojumu (modelis 1);

ja paredzētais aktualizācijas perioda ilgums ir virs 20 gadiem, tad nākošā perioda koku skaits aprēķināts ar 1.7.3. vienādojumu (modelis 4);

Meža elementa koku skaita ikgadējās izmaiņas prognozē izmantojot 1.9. algoritmu, kur ar divpakāpju atmiruma modeli prognozēto meža elementa koku skaits pēc 1 gada ( $N_2$ ) aprēķināts sekojoši:

- **modelis 1**

Nākošā perioda meža elementu koku skaits ( $n_2$ ) aprēķināts ar 1.7. vienādojumu, kur  $n_2$  aprēķināts sekojoši:

$$n_2 = n_1 - \left( n_1 - \left[ n_1^{b_1} + b_2 \frac{t_1}{h_1} \left( (t_1 + 5)^{b_3} - t_1^{b_3} \right) \right]^{b_4} \right) \left( \frac{t_2 - t_1}{5} \right) \quad (1.10)$$

kur  $n_1$  – meža elementa koku skaits perioda sākumā,  $ha^{-1}$ ;  
 $n_2$  – prognozētais koku skaits ar algebriskās atšķirības atmiruma funkciju,  $ha^{-1}$ ;  
 $t_1, t_2$  – meža elementa krūšaugstuma vecums attiecīgi perioda sākumā un perioda beigās, gadi;  
 $h_1, h_2$  – meža elementa vidējais augstums perioda sākumā, m;  
 $b_1, b_4$  – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas (1.2.8. tabula).

- **modelis 4**

Nākošā perioda meža elementu koku skaits ( $n_2$ ) aprēķināts līdzīgi kā 1.7.3. vienādojuma, vienīgi atmirušo koku skaits izdalīts ar pieci:

$$n_2 = n_1 - \frac{n_1 e^{\left( c_0 + c_1 \left( c_2 \ln(n_1) + c_3 \ln(d_1) + c_4 \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1} + c_5 \ln(t_1) \right) \right)}}{5} \quad (1.11)$$

kur  $n_2$  – meža elementa koku skaits 5 gadu perioda beigās,  $ha^{-1}$ ;  
 $n_1$  – meža elementa koku skaits perioda sākumā,  $ha^{-1}$ ;  
 $t_1, t_2$  – meža elementa krūšaugstuma vecums attiecīgi perioda sākumā un perioda beigās, gadi;  
 $d_1$  – meža elementa vidējais kvadrātiskais krūšaugstuma caurmērs perioda sākumā, cm;  
 $h_1, h_2$  – meža elementa vidējais augstums attiecīgi perioda sākumā un perioda beigās, m;  
 $c_0, c_5$  – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas (1.2.8. tabula).

## 1.2.4. Šķērslaukuma augšanas gaitas modeļa precizēšana

Meža elementa nākošā perioda šķērslaukuma aprēķina kā funkciju no nākošā perioda meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra un koku skaita pēc sekojoša vienādojuma:

$$G = \frac{\pi D^2 N}{4000} \quad (1.9)$$

kur  $G$  – meža elementa šķērslaukums,  $m^2 ha^{-1}$ ;  
 $D$  – meža elementa krūšaugstuma vidējais kvadrātiskais caurmērs, cm;  
 $N$  – meža elementa koku skaits,  $ha^{-1}$

Nākošā perioda meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra un koku skaita aprēķināšanas modeļi aproksimēti iepriekšējās sadaļās.

## 2. Pieauguma, atmiruma un krājas diferences prognožu modeļu izstrāde

### 2.1. Faktiskās audzes tekošā pieauguma modelis

#### Materiāls un metodika

Faktiskās audzes tekošā vidēji periodiskā krājas pieauguma aprēķināšanai izmantots sekojošs vienādojums (Donis et al., 2012):

$$Z_M = a_1 A^{a_2} a_3^B G^{a_4} \quad (2.1)$$

kur

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

$A$  – kokaudzes I stāva valdošās koku sugas krūšaugstuma vecums, gadi;

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

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

Analīzē katram parauglaukumam faktiskās audzes tekošo vidēji periodisko pieaugumu aprēķina sekojoši (Liepa, 1996):

$$Z_m = \frac{M_A - m_{A-n}}{n} \quad (2.2)$$

kur

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

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

$n=5$

Analīzē izmantoti dati par 2340 MSI atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem. Analīzē izmanto datus tikai par tiem parauglaukumiem, kuriem:

- abās uzmērīšanas reizēs sakrīt I stāva valdošā koku suga;
- I stāva valdošā koku suga ir priede (904 parauglaukumi), egle (425), bērzs (655), apse (104), melnalksnis (115), un baltalksnis (137);
- I stāva valdošās koku sugas krūšaugstuma vecums 1. uzmērīšanas reizē ir vismaz 5 gadi;
- I stāva valdošās koku sugas koku skaits 1. ciklā ir vismaz 100 koki uz hektāra;
- I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā caurmēra un tam atbilstošā augstuma pieaugums ir pozitīvs un nav lielāks par 3 standartnovirzēm no parauglaukuma atbilstošās audzes vecuma desmitgades aritmētiski vidējās vērtības;
- dabiskais atmirums nav lielāks par 20 % no 1. uzmērīšanas reizē konstatētā koku krājas;
- starpuzmērīšanas periodā nav konstatēta koku ciršana.

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

#### Rezultāti

Aproksimētas jaunas koeficientu vērtības valdošās koku sugas, kokaudzes I stāva un kokaudzes tekošā vidēji periodiskā krājas pieauguma aprēķināšanai (2.1. tabula). Egles, apsēs un baltalkšņa tekošais vidēji periodiskais krājas pieaugums līdzīgi kā iepriekš nav atkarīgs no bonitātes, jo attiecīgais koeficients pie 95% ticamības būtiski neatšķiras no viens.

Vienādojumam ar jaunajām koeficientu vērtībām visiem analīzē iekļautajiem meža elementiem konstatētas ļoti mazas vidējās novirzes (mazākas par  $0.05 m^3 ha^{-1}$ ), kas visos gadījumos ir

mazākas par 0.5% no elementa aritmētiski vidējā faktiskās audzes krājas tekošā vidēji periodiskā pieauguma.

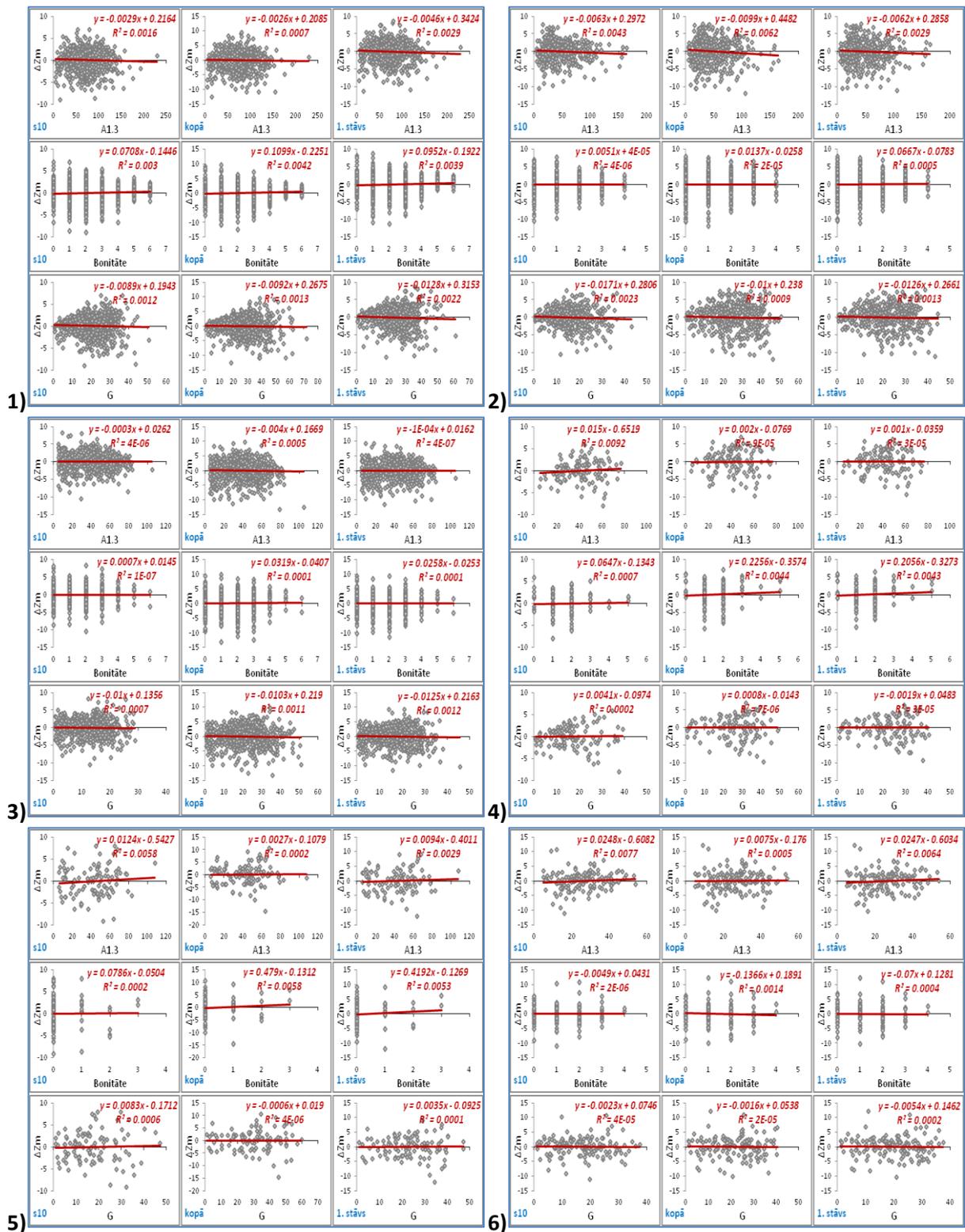
2.1. tabula

**Vienādojuma faktiskās audzes tekošā vidēji periodiskā pieauguma aprēķināšanai (2. 1. formula)  
koeficienti un statistiskie rādītāji**

Suga	Taksācijas vienība	Koefficienti				Vienādojuma statistiskie rādītāji								
		a1 Intercept	a2 A1.3	a3 Bon	a4 G	MRES	AMRES	RMSE	MSE	MEF	VR	R	R2	N
Priede	s10	3.11906	-0.37248	0.90616	0.77959	-0.020	1.631	2.150	4.619	0.464	0.514	0.732	0.537	904
	Kopā	2.62196	-0.21806	0.87171	0.69408	-0.031	2.116	2.838	8.046	0.413	0.563	0.766	0.587	904
	I stāvs	3.39671	-0.34574	0.89252	0.74736	-0.029	1.887	2.530	6.394	0.444	0.529	0.746	0.556	904
Egle	s10	8.52650	-0.57889	1	0.74511	-0.006	2.095	2.772	7.667	0.364	0.632	0.798	0.636	425
	Kopā	8.81269	-0.49799	1	0.65366	0.010	2.871	3.628	13.133	0.508	0.501	0.702	0.492	425
	I stāvs	8.10552	-0.52985	1	0.72111	0.001	2.574	3.335	11.093	0.457	0.545	0.737	0.543	425
Bērzs	s10	11.16386	-0.53425	0.91797	0.55859	-0.016	1.787	2.395	5.728	0.554	0.428	0.668	0.446	655
	Kopā	8.31111	-0.37108	0.91244	0.53069	-0.006	2.628	3.417	11.655	0.552	0.443	0.669	0.448	655
	I stāvs	10.29680	-0.48196	0.91965	0.56730	-0.012	2.233	2.968	8.793	0.558	0.430	0.665	0.442	655
Melnalksnis	s10	2.53672	-0.37476	0.89599	0.92762	0.030	1.958	2.529	6.339	0.313	0.709	0.829	0.688	115
	Kopā	5.26455	-0.35313	0.87505	0.68166	-0.007	2.704	3.443	11.750	0.478	0.515	0.722	0.522	115
	I stāvs	5.11501	-0.41588	0.88642	0.75745	-0.005	2.517	3.180	10.024	0.451	0.544	0.741	0.549	115
Apse	s10	6.87518	-0.35760	1	0.66453	0.028	2.746	3.488	12.049	0.406	0.617	0.771	0.594	104
	Kopā	7.83413	-0.19714	1	0.44586	-0.002	3.071	4.129	16.879	0.602	0.395	0.631	0.398	104
	I stāvs	8.34939	-0.33549	1	0.57340	0.010	2.901	3.768	14.056	0.574	0.438	0.653	0.426	104
Baltalksnis	s10	12.71590	-0.70095	1	0.64644	-0.037	2.312	3.205	10.196	0.469	0.503	0.729	0.532	137
	Kopā	13.76890	-0.53498	1	0.49830	-0.019	2.706	3.644	13.183	0.586	0.395	0.643	0.414	137
	I stāvs	15.13721	-0.58424	1	0.50639	-0.041	2.600	3.495	12.124	0.544	0.418	0.676	0.457	137

MRES - vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze; RMSE – standartkļūda; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R2 - determinācijas indekss; N - parauglaikumu skaits

Starpības starp uzmērīto un aproksimēto faktiskās audzes tekošo pieaugumu nav atkarīgas no vienādojumā iekļautajām faktoriālajām pazīmēm (krūšaugstuma vecuma, bonitātes un elementa šķērslaukuma), jo visos gadījumos lineārās korelācijas ir vājas. Lai gan atsevišķos gadījumos lielā novērojumu skaita dēļ lineārās korelācijas ir statistiski būtiskas, tomēr tās vairāk atbilst nekorelatīvai haotiskai punktu kopai, nevis loģiskai sakarībai (2.1. attēls).



2.2. attēls. Faktiskās audzes I stāva valdošās koku sugas (s10), I stāva (1. stāvs) un audzes kopējā (kopā) ikgadējā krājas pieauguma starpības ( $\Delta Zm \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ gadā}$ ) starp uzmēritajām un aproksimētajām (2.1. vienādojums) vērtībām atkarībā no audzes krūšaugstuma vecuma (A1.3 gadi), bonitātes un attiecīgā meža elementa šķērslaukuma ( $G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ )

1) priežu audzes; 2) egļu audzes; 3) bērzu audzes; 4) melnalkšņu audzes; 5) apšu audzes; 6) baltalkšņu audze

## 2.2. Atmiruma modelis

### Materiāls un metodika

Ilgadējā dabiskā atmiruma modelēšanai pārbaudīti 2 vienādojumi:

$$Z_M(-) = aA^b c^{\left(\frac{A}{100}\right)} G^d \quad (2.3)$$

$$Z_M(-) = \frac{AG}{a+bA+cG} \quad (2.4)$$

kur  $Z_M(-)$  - faktiskās audzes tekošais vidēji periodiskais krājas atmirums,  $m^3 ha^{-1} gadā$ ;  
 $A$  – kokaudzes I stāva valdošās koku sugas krūšaugstuma vecums, gadi;  
 $G$  – kokaudzes šķērslaukums,  $m^2 ha^{-1}$ ;  
 $a, b, c, d$  - koeficienti.

Analīzē izmantoti dati par 2340 MSI atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kas atbilst 2.1. apakšnodaļā minētajiem kritērijiem.

Tā kā otrajā ciklā nav uzmērīts starp inventarizācijas laikā atmirušo koku pieaugums (pieņemts, ka tie nav veidojuši pieaugumu), to dimensijas pieņemtas par tādām, kādas tās bija 1. cikla uzmērījumā.

5 gadu pārmērīšanas cikls ir par īsu, lai objektīvi raksturotu katra atsevišķa parauglaukuma koku dabisko krājas atmirumu atkarībā no audzes taksācijas rādītājiem (kokaudzes vecuma un šķērslaukuma). Tādēļ vienādojumu izstrādē izmanto kokaudzes vecuma un šķērslaukuma gradācijas klašu aritmētiski vidējos dabiskā atmiruma datus, tos izlīdzinot izmantojot Ņūtona metodes principus.

### Rezultāti

Aproksimētas jaunas koeficientu vērtības iepriekšējos gados izmantotajiem vienādojumiem krājas tekošā vidēji periodiskā dabiskā atmiruma aprēķināšanai (2.2. tabula). Krājas dabiskā atmiruma modelis pašreizējā variantā nav atkarīgs no audzes bonitātes, jo izmantotajos datos bonitātei nav statistiski būtiskas ietekmes uz kokaudzes krājas atmirumu, kas visticamāk skaidrojams ar pārāk īso periodu starp uzmērīšanas cikliem.

Abiem modeļiem statistiskie rādītāji ir salīdzinoši zemi, jo dabiskā atmiruma statistiski korektai modelēšanai 5 gadu pārmērīšanas cikls ir par īsu, jo:

- ir liels parauglaukumu īpatsvars kuros piecu gadu laikā nav atmiris neviens koks (37%) vai neviens I stāva koks (54%);
- tik īsā laika periodā ir neloģiski liels (retās audzēs – katrs atmirušais koks dod relatīvi lielu krājas atmirumu) vai neloģiski mazs (pārbiezinātās audzēs – kur iespējams koki atmirst lēcienveidīgi, respektīvi, kādu laiku pārbiezinātā audzē koki nīkuļo, bet neatmirst) dabiskais krājas atmirums, kas garākā laika periodā noteikti izlīdzinātos.

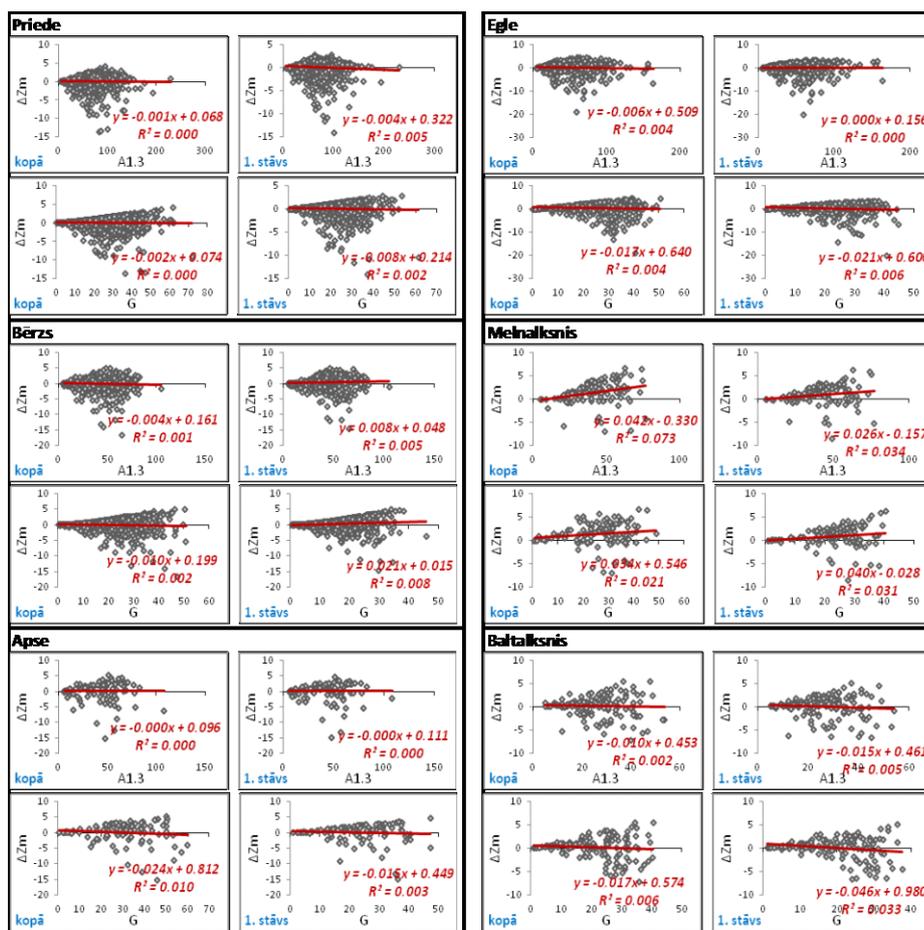
Iepriekš minēto iemeslu dēļ, vienādojumi būtu piemērojami lielas audžu kopas nevis atsevišķas audzes dabiskā atmiruma prognozēšanai, kā arī tie nav piemēroti dabisko (ugunsgrēku, vējgāžu utt.) procesu rezultātā masveida krājas atmiruma prognozēšanai.

Abiem vienādojumiem un visiem analizētajiem meža elementiem atkarībā no modeļa mainīgajiem lielumiem (audzes krūšaugstuma vecuma un meža elementa šķērslaukuma pirmajā uzmērīšanas reizē) nav konstatētas sistemātiskas prognozēto krājas dabiskā atmiruma novirzes (2.3 un 2.4. attēls), jo lineārās korelācijas ir vājas ( $R < 0.5$ ). Lai gan lielā novērojumu skaita dēļ atsevišķos gadījumos lineārās korelācijas koeficientu vērtības ir lielākas par korelācijas koeficientu kritiskajām vērtībām.

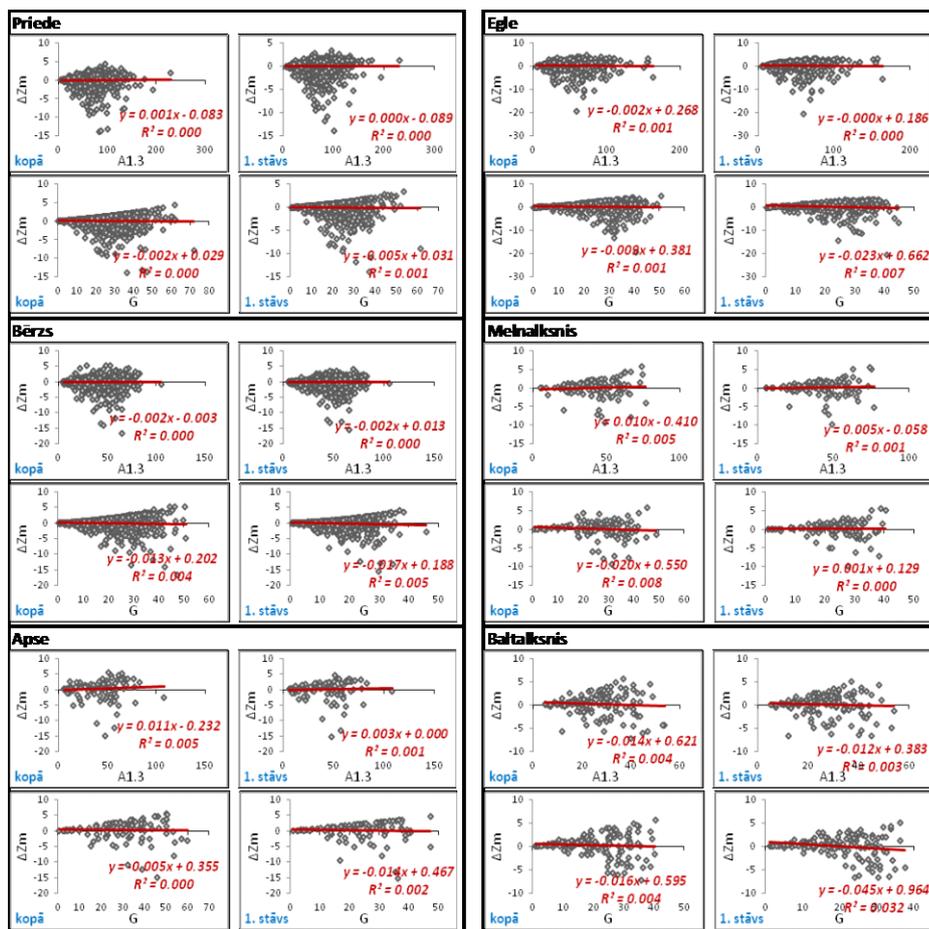
Vienādojumu audzes dabiskā tekošā vidēji periodiskā atmiruma aprēķināšanai (2.3. un 2.4. formula) koeficienti un statistiskie rādītāji

Suga	Taksācijas vienība	Vienādojums	Koeficienti				Vienādojuma statistiskie rādītāji								
			a	b	c	d	MRES	AMRES	RMSE	MSE	MEF	VR	R	R2	N
Priede	kopā	2.3	0.00136	0.80676	0.30652	1.33004	-0.110	6.392	9.672	93.445	0.856	0.139	0.380	0.144	904
		2.4	560.438	18.75784	-16.19536		0.126	6.317	9.654	93.092	0.853	0.140	0.383	0.147	904
	1.stāvs	2.3	0.00001	2.51928	0.01669	1.24501	-0.161	5.774	8.811	77.543	0.895	0.100	0.324	0.105	904
		2.4	843.948	22.68356	-28.53871		0.422	5.543	8.773	76.886	0.889	0.092	0.339	0.115	904
Egle	kopā	2.3	0.00469	0.97348	0.19516	1.04411	-1.156	9.695	14.177	200.504	0.808	0.161	0.446	0.199	425
		2.4	213.890	9.34373	-5.33441		-0.777	9.503	14.101	198.354	0.802	0.175	0.449	0.202	425
	1.stāvs	2.3	0.00775	0.89931	0.47010	0.77037	-0.806	8.362	13.002	168.659	0.855	0.111	0.389	0.151	425
		2.4	112.514	6.38985	6.28360		-0.870	8.416	13.018	169.073	0.859	0.105	0.385	0.148	425
Bērzs	kopā	2.3	0.00115	0.92814	0.06400	1.64561	0.044	7.288	11.419	130.198	0.705	0.248	0.546	0.298	655
		2.4	291.956	12.65550	-11.82960		0.331	7.278	11.503	132.127	0.716	0.245	0.535	0.286	655
	1.stāvs	2.3	0.00001	2.63332	0.00429	1.56922	-1.790	6.650	10.070	101.255	0.819	0.293	0.462	0.213	655
		2.4	627.283	11.46679	-21.66133		0.404	5.810	9.863	97.129	0.787	0.158	0.469	0.220	655
Melnalksnis	kopā	2.3	0.00001	3.77439	0.00301	0.39367	-7.157	11.289	14.695	213.983	1.096	0.564	0.493	0.243	115
		2.4	371.813	-3.99049	10.16592		-0.106	8.185	12.143	146.127	0.755	0.284	0.496	0.246	115
	1.stāvs	2.3	0.00001	2.96925	0.01016	1.06724	-4.532	8.695	12.207	147.666	0.943	0.454	0.480	0.230	115
		2.4	607.204	0.62677	-3.63909		-0.712	7.422	11.100	122.119	0.787	0.258	0.467	0.218	115
Apse	kopā	2.3	0.00817	1.17931	0.04528	0.86820	-0.478	12.042	17.417	300.331	0.823	0.142	0.424	0.180	104
		2.4	37.814	10.45813	-2.24170		-1.079	11.914	17.097	289.427	0.801	0.180	0.450	0.203	104
	1.stāvs	2.3	0.00862	0.87142	0.09735	1.05999	-0.510	10.454	15.870	249.342	0.871	0.107	0.362	0.131	104
		2.4	25.709	10.55568	-0.89254		-0.723	10.326	15.795	247.014	0.872	0.102	0.364	0.132	104
Baltalksnis	kopā	2.3	0.04435	-0.00722	9.29593	1.16853	-0.981	8.583	11.775	137.613	0.532	0.396	0.689	0.475	137
		2.4	134.339	2.83467	-1.06756		-1.265	8.818	12.040	143.869	0.561	0.382	0.670	0.449	137
	1.stāvs	2.3	0.02320	0.51242	3.39058	0.89630	-0.385	8.335	11.618	133.957	0.578	0.294	0.661	0.436	137
		2.4	159.571	0.66502	1.29584		-0.405	8.389	11.667	135.101	0.588	0.300	0.651	0.424	137

MRES - vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze; RMSE – standartkļūda; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R2 - determinācijas indekss; N - parauglaikumu skaits



2.3. attēls. Audzes I stāva (1. stāvs) un audzes kopējā (kopā) ikgadējā krājas dabiskā atmiruma starpības ( $\Delta Zm$ ,  $m^3 ha^{-1} gadā$ ) starp uzmērītajām un aproksimētajām (2.3. vienādojums) vērtībām atkarībā no audzes krūšaugstuma vecuma ( $A1.3$  gadi), un attiecīgā meža elementa šķērslaukuma ( $G$ ,  $m^2 ha^{-1}$ )



2.4. attēls. Audzes I stāva (1. stāvs) un audzes kopējā (kopā) ikgadējā krājas dabiskā atmiruma starpības ( $\Delta Z_m$ ,  $m^3 ha^{-1} gadā$ ) starp uzmērītajām un aproksimētajām (2.4. vienādojums) vērtībām atkarībā no audzes krūšaugstuma vecuma (A1.3 gadi), un attiecīgā meža elementa šķērslaukuma (G,  $m^2 ha^{-1}$ )

### 2.3. Krājas diferences modelis

Krājas diference aprēķināma atbilstoši 2.5. formulai.

$$Z_{dab} = Z_M - Z_{Matm} - Z_{Mizc} \quad (2.5)$$

- kur
- $Z_{dab}$  – kokaudzes krājas diference,
  - $Z_M$  – faktiskās audzes krājas pieaugums,
  - $Z_{Matm}$  – kokaudzes krājas dabiskais atmirums,
  - $Z_{Mizc}$  – izcirstās kokaudzes krāja.

### 3. Ilgtermiņa trendu, ciklisko svārstību ietekmes novērtējums (balstoties uz 2011.g., 2012.g. 2013.g., iegūto urbumu skaidu apstrādes rezultātiem)

#### Materiāls un metodika

Parauglaukumu tiešā tuvumā ar Preslera svārpstu iegūti koksnes paraugi koku radiālā pieauguma noteikšanai. Koksnes paraugi radiālā pieauguma noteikšanai ievākti MSI parauglaukumos, kas atrodas valsts mežos un kuros valdošā koku suga ir priede, egle, bērzs, melnalksnis, apse un baltalksnis. Katrā parauglaukumā iegūti 10 - 15 valdošās koku sugas koksnes paraugi. Kopā iegūti un apstrādāti 16876 paraugi (3.1. tabula) no 1249 MSI parauglaukiem.

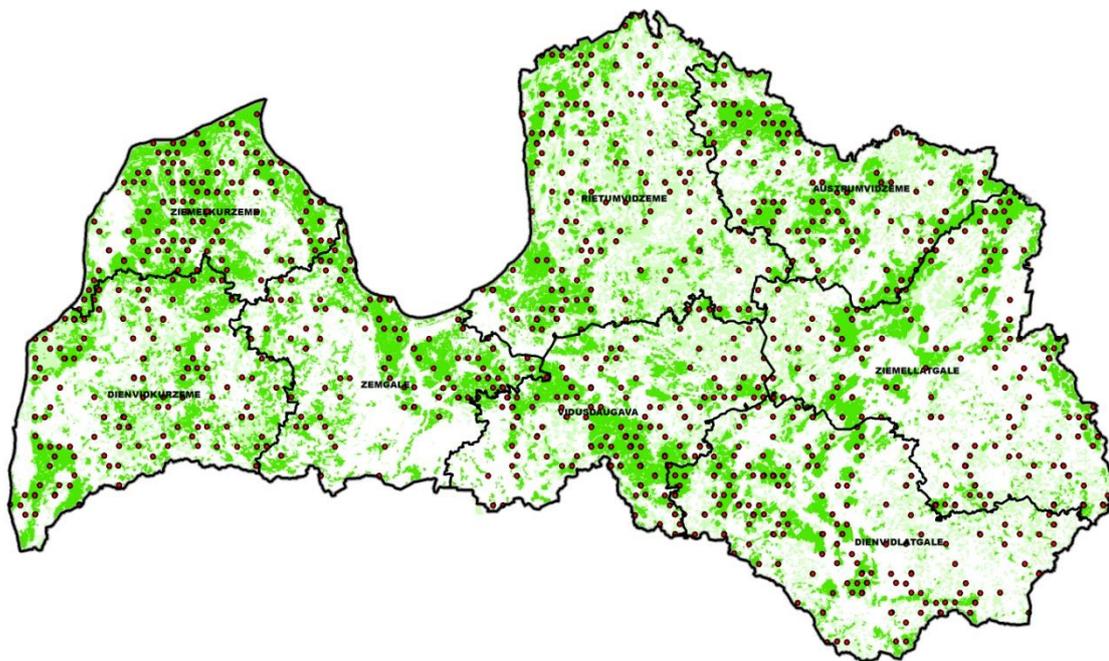
Radiālā pieauguma mērīšana veikta izmantojot iekārtu LINTAB IV. Datu pirmapstrādei izmantota datorprogrammu TSAP Win Scientific 0.55 un MS Excel.

3.1. tabula

Datu analīzē izmantoto radiālā pieauguma skaidu sadalījums pa sugām un parauglaukiem

Valdošā koku suga	Parauglaukumu skaits	Koku skaits
Priede	456	6202
Egle	204	2760
Bērzs	302	4054
Melnalksnis	104	1387
Apse	87	1167
Baltalksnis	96	1306
<b>Kopā</b>	<b>1249</b>	<b>16876</b>

Analīzē iekļautie parauglaukumi izvietoti atbilstoši valsts mežu mežainumam vienmērīgi pa visu Latviju (3.1. attēls).



3.1. attēls. MSI parauglaukumi, kuros iegūti koksnes paraugi radiālā pieauguma analīzei

Datu analīzē iekļauti tie koki, kuriem:

- koka diametra un parauglaukuma valdošā meža elementa vidējā caurmēra dalījuma vērtība attiecībā pret konkrēto koku nepārsniedz  $\pm 30\%$  no audzes vidējā caurmēra;
- koka vecums būtiski neatšķiras no parauglaukuma valdošo meža elementu noteiktā vecuma, tas ir, datu analīzē neizmantoja tos kokus, kas ir ievērojami vecāki vai jaunāki par noteikto audzes vecumu;
- bonitāšu vai audzes vecuma grupu veido vairāk par 25 kokiem.

#### **Gadskārtu platumu vidējo un vidējo slīdošo vērtību salīdzināšana dažādās vecuma grupās.**

Lai izveidotu 25 gadus garu datu rindu, gadskārtu vidējo platumu analīzei un raksturošanai izmantoja datus, kuru beigu periods datējams no 2009. līdz 2011. gadam, bet sākuma - no 1985. līdz 1987. gadam. Tas skaidrojams ar atšķirīgo datu ievākšanas periodu (2013.-2009.).

Piecgades vidējo slīdošo vērtības ataino augšanas tendences, jo kā vērtību intervāls tiek izmantots piecu gadskārtu platumu vidējās vērtības, kas salīdzinātas ar nākamo intervālu, kas nobīdīts par vienu gadu uz priekšu.

#### **Gadskārtu platumu vidējo vērtību salīdzināšana starp pēdējiem pieciem un iepriekšējiem desmit, divdesmit gadiem.**

Katram kokam, lai veiktu koku radiālo augšanas izmaiņu analīzi pēdējiem desmit, divdesmit gadiem, aprēķināti relatīvie indeksi, tas ir, koka gadskārtu rindas pirmās piecgades vidējā vērtība salīdzināta ar iepriekšējo gadskārtu vidējiem platumiem. Indeksi aprēķināti pēc formulas  $= (x_5 - x_i) / x_i$ , kur  $x_5$  – piecu gadu gadskārtu vidējais platums,  $x_i$  – desmit, divdesmit gadu gadskārtu vidējais platums. Analizēto gadskārtu beigu periods variēja no 2013. gada līdz 2009. gadam.

Tādējādi iegūtā informācija par dažāda vecuma priežu, egļu, bērzu, melnalkšņu, apšu un baltalkšņu audžu radiālo augšanu izmaiņām nepilnīgi raksturo pēdējos piecus kalendāros gadus.

#### **Caurmēra pieauguma tendences pēdējos desmit gados saistībā ar koku radiālā pieauguma izmaiņām pirms 10, 20, 30 un 40 gadiem dažādās vecuma klasēs.**

Lai uzzinātu vai tagad koki aug ar tādu pašu radiālo pieaugumu kā koki pirms 10, 20, 30 vai 40 gadiem līdzīgā vecumā, salīdzinātas vienas koku sugas dažāda vecuma grupas dažādās bonitāšu klasēs. Vērtējot pēdējo piecu un desmit gadskārtu platumu vērtību attiecību ar iepriekšējiem 10, 20, 30 vai 40 gadiem. Dažādām koku sugām gan bonitāšu grupu skaits un to sastāvs atšķiras:

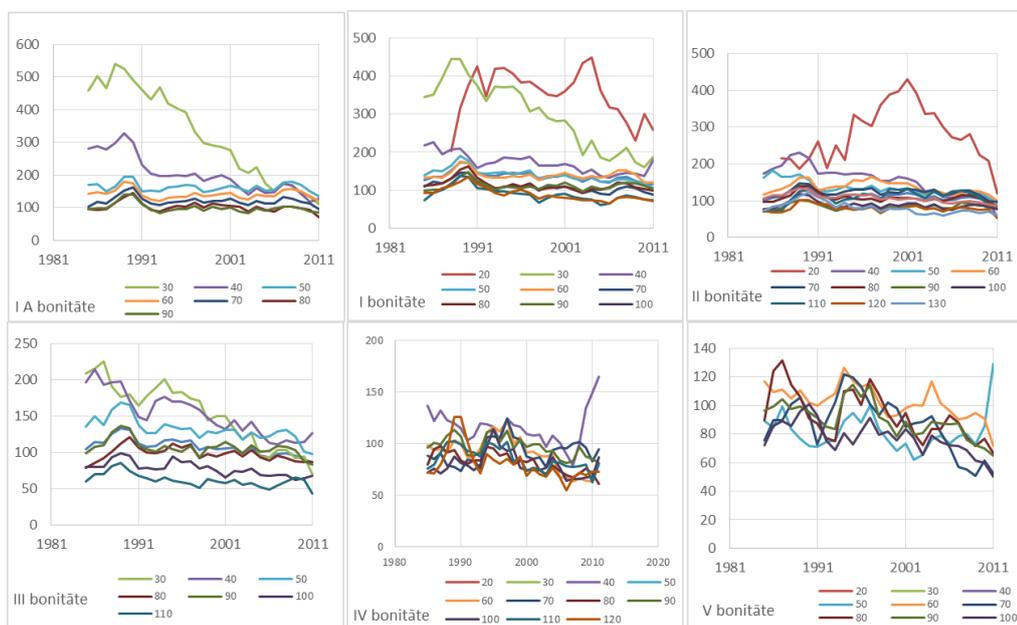
1. Priedei
  - 1. bonitātes grupu – Ia un I bonitāte;
  - 2. bonitātes grupa – II un III bonitāte;
  - 3. bonitātes grupa – IV un V bonitāte;
2. Egļi
  - 1. bonitātes grupa - Ic; Ib un Ia bonitāte;
  - 2. bonitātes grupa – I un II bonitāte;
  - 3. bonitātes grupa – III un IV bonitāte;
3. Bērzam
  - 1. bonitātes grupa - Ic; Ib un Ia bonitāte;
  - 2. bonitātes grupa – I; II III bonitāte;
4. Melnalksnim
  - 1. bonitātes grupa - Ib un Ia bonitāte;
  - 2. bonitātes grupa – I un II bonitāte;
5. Apsei
  - 1. bonitātes grupa – Ia un I bonitāte;
6. Baltalksnim
  - 1. bonitātes grupa - Ic; Ib un Ia bonitāte;
  - 2. bonitātes grupa – I; II III bonitāte.

## Rezultāti

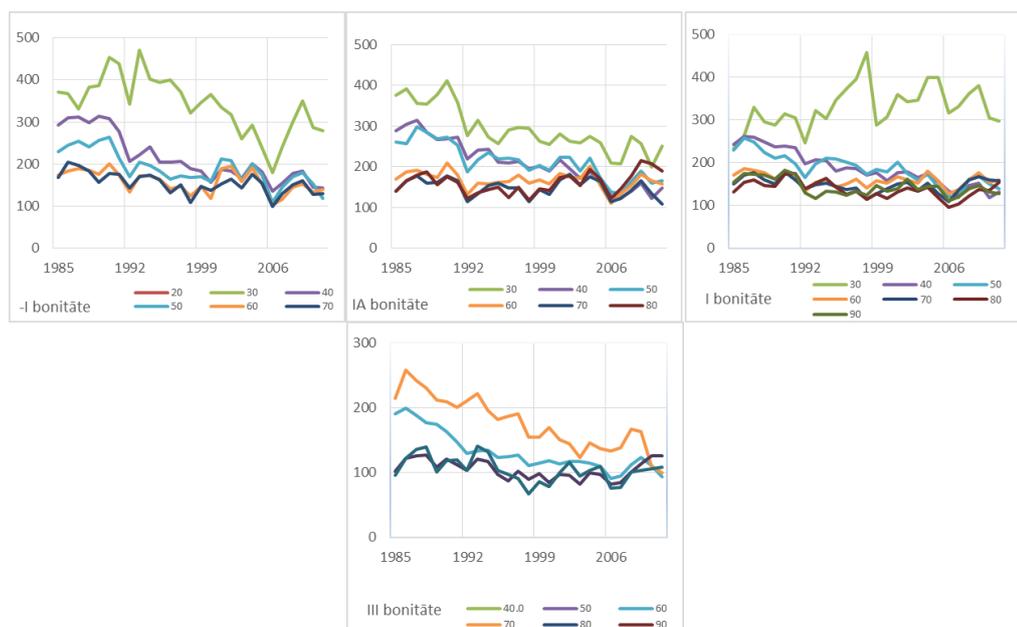
Aprēķinātas vidējo gadskārtu platumu vērtības katrai koku sugai dažādās vecuma grupās skaitliski lielākajās bonitāšu klasēs: priedei, eglei, bērzam, melnalksnim, apsei, baltalksnim (3.2. - 3.7. attēls).

Būtiskākās atšķirības radiālajos gadskārtu pieaugumos gandrīz starp visām sugām dažādās bonitāšu grupās, ir jaunākajās vecuma klasēs. Apstiprinot, ka jaunajiem kociņiem, atšķirībā no pieaugušām audzēm, ir straujāka attīstība un augšana tieši pirmajos attīstības gados. Vecākajām audzēm ikgadējais radiālais pieaugums savstarpēji būtiski neatšķiras. Arī radiālās augšanas tendences – pieaugumi un kritumi, starp dažādām sugām atšķiras, jo katra suga uzrāda individuālas radiālās augšanas īpatnības.

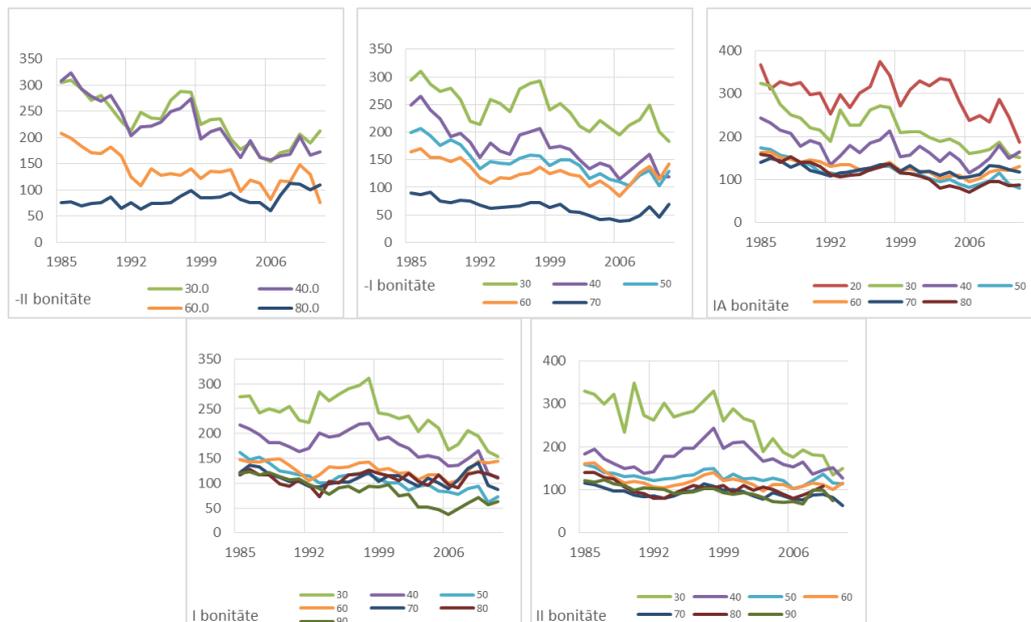
Piemēram, eglei būtisks, vienots radiālā pieauguma kritums visās bonitāšu grupās ir 2006. gadā, kā negatīva atbildes reakcija uz 2005. gada vētru. Grafikos redzama sakarība, ka arī vidējais gadskārtu platumus jaunākajai audzei ir lielāks par nākamās vecuma grupas vērtībām (3.3. attēls).



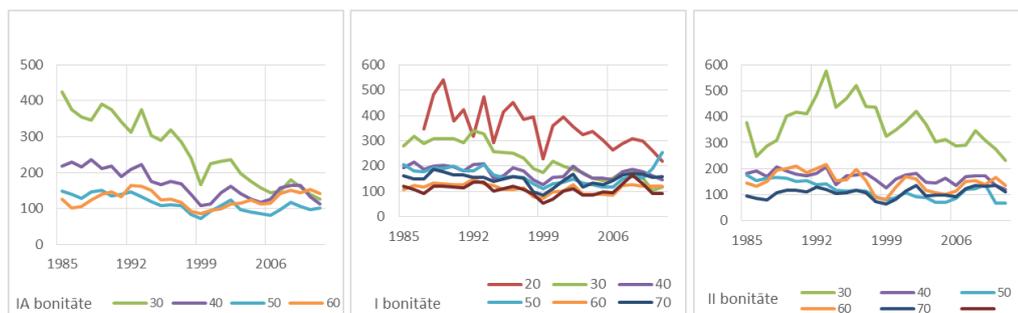
3.2. attēls. Priedes vidējā radiālā pieauguma izmaiņas (mm/100) pēdējo 25 gadu laikā



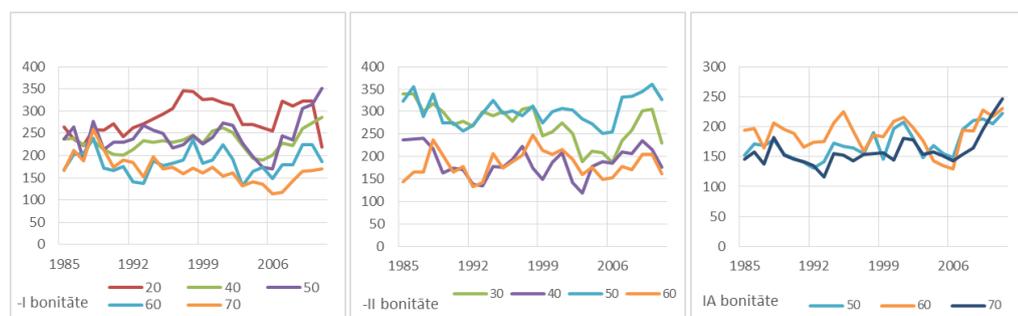
3.3. attēls. Egles vidējā radiālā pieauguma izmaiņas (mm/100) pēdējo 25 gadu laikā



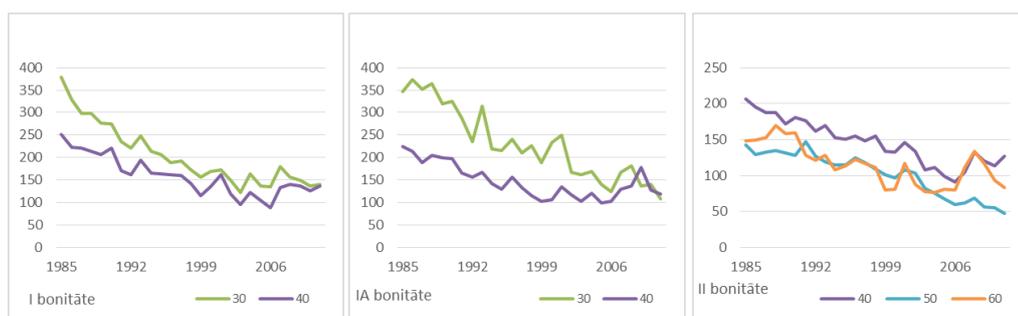
3.4. attēls. Bērza vidējā radiālā pieauguma izmaiņas (mm/100) pēdējo 25 gadu laikā



3.5. attēls. Melnalkšņa vidējās radiālās pieauguma izmaiņas (mm/100) pēdējo 25 gadu laikā



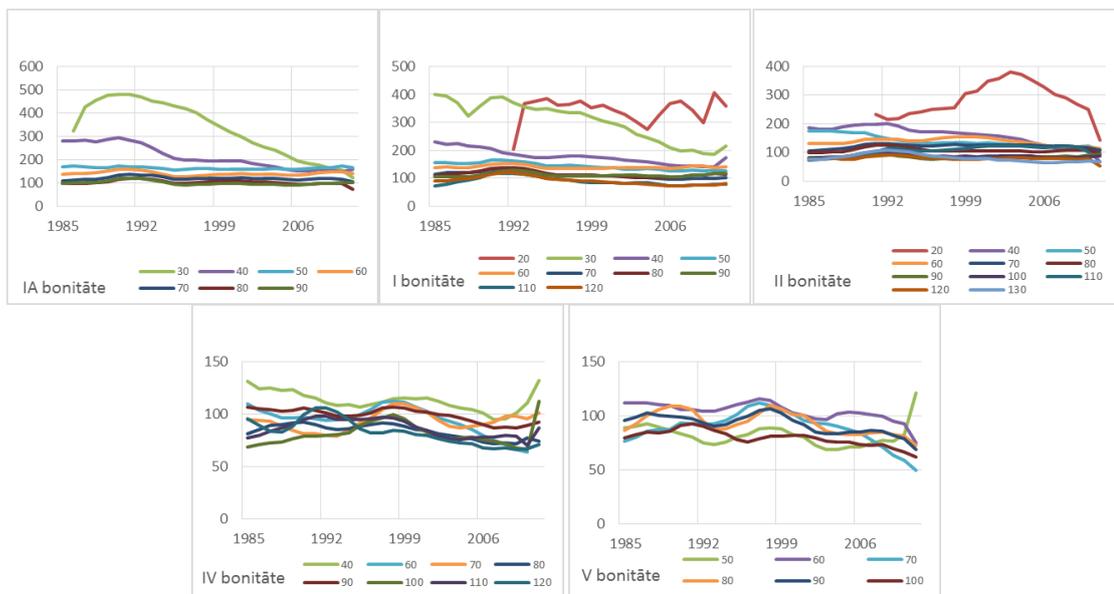
3.6. attēls. Apses vidējā radiālā pieauguma izmaiņas (mm/100) pēdējo 25 gadu laikā



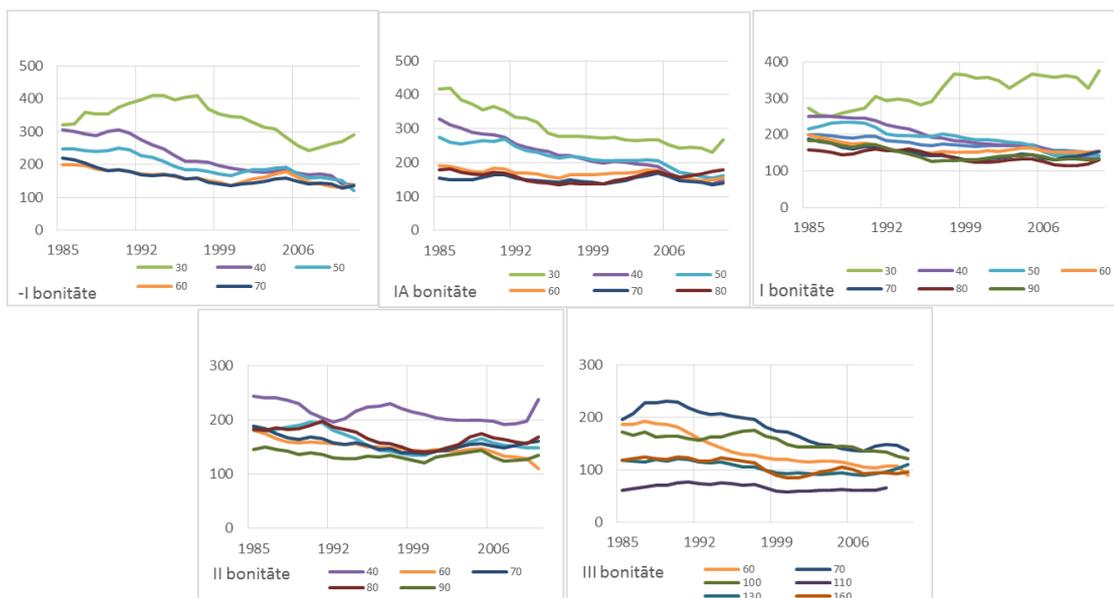
3.7. attēls. Baltalkšņa vidējā radiālā pieauguma izmaiņas (mm/100) pēdējo 25 gadu laikā

Vidējo slīdošo vērtību grafikos redzams izlīdzinātās pieaugumu līknes. Atkarībā no sugas un bonitāšu grupas, var novērtēt, kā mainījusies koku augšanas dinamika pēdējās desmitgadēs.

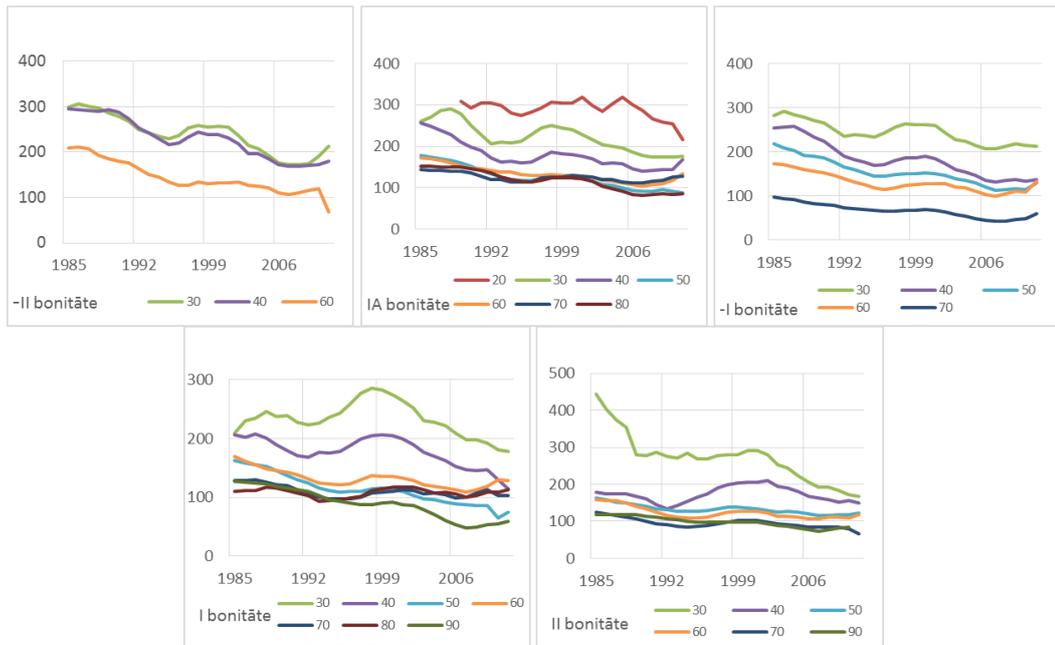
Priedei, no I-IV bonitātei, pozitīvs radiālais pieaugums novērojams periodā no 1990. – 1993. gadam. Kā izņēmumu minot jaunās (20 un 30 gadīgās) audzes (3.8. attēls). Eglei, līdzīgi kā priedei, radiālais pieaugums augstāks ir laika posmā no 1990. gada līdz 1993. gadam. Savukārt turpmākajā laika posmā veidojot lejup slīdošu trendu, izņēmums – jaunās egļu audzes (3.9. attēls). Bērza augšanas gaitā var novērot pozitīvas izmaiņas no 1998. gada – 2003. gadam. Baltalkšņiem (3.13. attēls), atšķirībā no apsēm (3.12. attēls), izteikts radiālā krituma trends. Baltalkšņiem aprēķinos izmantotas tikai jaunās audzes, kas varētu izskaidro šo negatīvo trendu kā vecuma ietekmi (3.13. attēls).



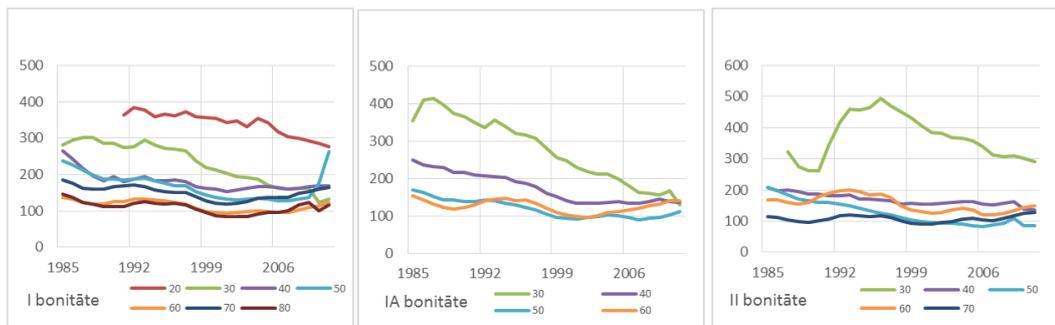
3.8. attēls. Priedes radiālā pieauguma vidējo slīdošo vērtību izmaiņas dažādās vecuma grupās (mm/100) pēdējo 25 gadu laikā



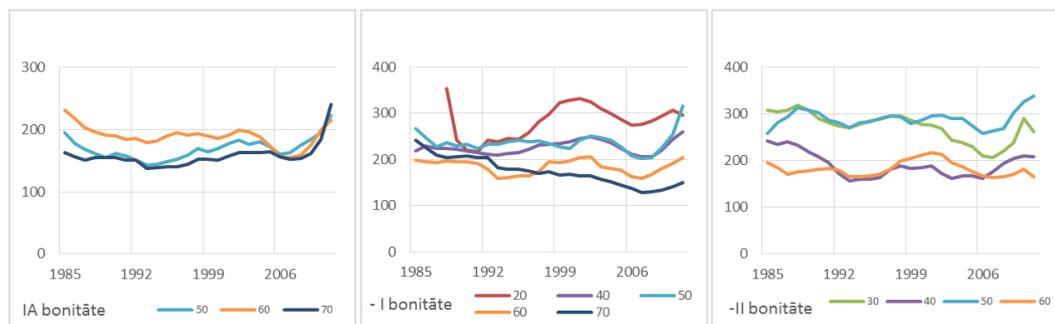
3.9. attēls. Egles radiālā pieauguma vidējo slīdošo vērtību izmaiņas dažādās vecuma grupās (mm/100) pēdējo 25 gadu laikā



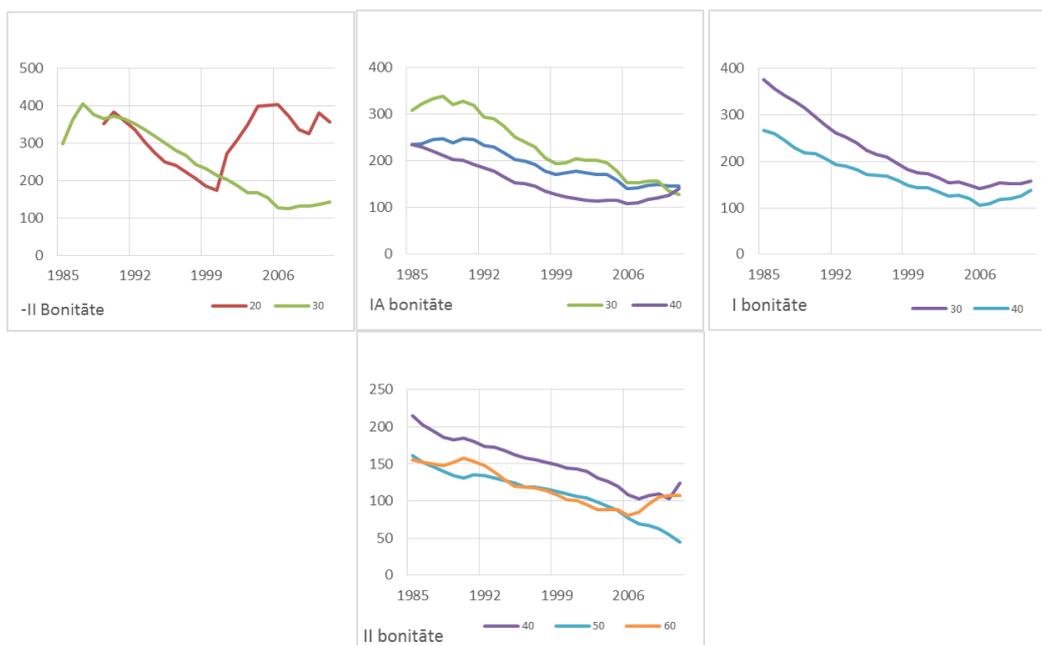
3.10. attēls. Bērsa radiālā pieauguma vidējo slīdošo vērtību izmaiņas dažādās vecuma grupās (mm/100) pēdējo 25 gadu laikā



3.11. attēls. Melnalkšņa radiālā pieauguma vidējo slīdošo vērtību izmaiņas dažādās vecuma grupās (mm/100) pēdējo 25 gadu laikā



3.12. attēls. Apšes radiālā pieauguma vidējo slīdošo vērtību izmaiņas dažādās vecuma grupās (mm/100) pēdējo 25 gadu laikā



3.13. attēls. Baltalkšņa radiālā pieauguma vidējo slīdošo vērtību izmaiņas dažādās vecuma grupās (mm/100) pēdējo 25 gadu laikā

### Radiālā pieauguma relatīvās vērtības

Rezultāti, kur atspoguļoti radiālā pieauguma relatīvās vērtības (salīdzinot pēdējo piecu gadu gadskārtu vidējās vērtības ar iepriekšējo 10 vai 20 gadskārtu vidējām vērtībām) priedei (3.2 tabula), eglei (3.3 tabula), bērzam (3.4 tabula), melnalksnim (3.5. tabula), apsei (3.6. tabula), baltalksnim (3.7. tabula), vairumā gadījumu uzrāda negatīvas vērtības, tas ir, pēdējie pieci gadi ir ar mazākām pieaugumu vērtībām, salīdzinot tos ar iepriekšējiem 10 vai 20 gadiem. Šādas negatīvas vērtības lielākoties ir nebūtiskas. Būtiskas atšķirības novērojamas tikai jaunajās vecuma grupās, piemēram, priedei pēdējie piecu gadu relatīvās vērtības jaunajās vecuma grupās (20, 30, 40 gadīgās audzes) būtiski atšķiras no vecāko koku grupām (3.2. tabula). Izteiktāka sakarība novērojama salīdzinot pēdējās piecas gadskārtas ar 20 gadskārtām (3.2.a tabula), apstiprinot, ka koks dzīves pirmajos gados aug daudz straujāk nekā turpmākajā attīstības posmā.

Pozitīvas tendences uzrāda apse (3.6.a un 3.6.b tabula) un melnalkšņa vecākās audzes (3.5.a un 3.5.b tabula)

Priedes radiālā pieauguma relatīvās vērtības (salīdzinot pēdējo piecu gadu gadskārtu vidējās vērtības ar iepriekšējo 10 gadskārtu (a), 20 gadskārtu (b) vidējām vērtībām)

Vecuma grupa	Bonitāte					
	IA	I	II	III	IV	V
20		-0.30	-0.19			
30	-0.17	-0.12		-0.18		
40	-0.04	-0.09	-0.13	-0.10	-0.01	
50	-0.01	-0.08	-0.03	-0.04		0.00
60	0.00	-0.04	-0.06		-0.17	-0.08
70	0.02	-0.02	-0.04		-0.01	-0.19
80	-0.01	-0.01	-0.01	-0.03	-0.08	-0.08
90	-0.02	0.01	-0.02	-0.04	-0.07	-0.04
100		0.02	-0.01	-0.07		-0.07
110		-0.01	-0.01	-0.02	-0.05	
120			-0.01		0.05	
130			0.00			

a)

Vecuma grupa	Bonitāte					
	IA	I	II	III	IV	V
20		-0.59	-0.44			
30	-0.51	-0.36		-0.35		
40	-0.17	-0.19	-0.24	-0.21	-0.03	
50	-0.03	-0.16	-0.10	-0.09		-0.03
60	0.00	-0.06	-0.14		-0.31	-0.14
70	0.00	-0.08	-0.07		-0.06	-0.34
80	-0.06	-0.03	-0.03	-0.06	-0.17	-0.16
90	-0.04	0.00	-0.03	-0.07	-0.13	-0.12
100			-0.02	-0.14		-0.14
110		-0.06	0.03	-0.05	-0.12	
120		-0.02	-0.02		-0.03	
130			-0.12			

b)

Egles radiālā pieauguma relatīvās vērtības (salīdzinot pēdējo piecu gadu gadskārtu vidējās vērtības ar iepriekšējo 10 gadskārtu (a), 20 gadskārtu (b) vidējām vērtībām)

Vecuma grupa	Bonitāte				
	-I	IA	I	II	III
30	0.06	-0.05	0.02		
40	-0.03	-0.13	-0.10	0.00	
50	-0.08	-0.06	-0.06	-0.06	
60	-0.04	-0.01	0.00	-0.04	-0.05
70	-0.01	-0.11	0.04	0.05	
80		0.03	0.01	-0.04	
90			0.01	-0.01	
130					0.10
160					0.01

a)

Vecuma grupa	Bonitāte				
	-I	IA	I	II	III
30	-0.16	-0.12	0.07		
40	-0.15	-0.27	-0.21	0.03	
50	-0.13	-0.14	-0.19	-0.06	
60	-0.05	0.00	0.01	-0.10	-0.14
70	-0.01	-0.06	0.04	0.12	
80		0.13	-0.02	-0.02	
90			0.04	0.01	
130					0.06
160					-0.03

b)

3.4. tabula

Bērza radiālā pieauguma relatīvās vērtības (salīdzinot pēdējo piecu gadu gadskārtu vidējās vērtības ar iepriekšējo 10 gadskārtu (a), 20 gadskārtu (b) vidējām vērtībām)

Vecuma grupa	Bonitāte					
	-II	-I	IA	I	II	III
20			-0.11	-0.05		
30	-0.05	-0.01	-0.06	-0.11	-0.16	
40	-0.02	-0.04	-0.03	-0.06	-0.14	-0.03
50	0.02	-0.06	-0.01	-0.09	-0.03	
60		0.03	0.01	0.04	-0.02	-0.07
70		0.03	0.00	0.01	-0.04	
80			0.01	0.02		
90				0.05	-0.01	

a)

Vecuma grupa	Bonitāte					
	-II	-I	IA	I	II	III
20			-0.26	-0.06		
30	-0.21	-0.13	-0.19	-0.24	-0.36	
40	-0.18	-0.17	-0.08	-0.19	-0.27	-0.13
50		-0.17	-0.13	-0.15	-0.09	
60	-0.05	-0.03	-0.08	-0.01	-0.06	-0.17
70		-0.12	-0.08	-0.01	-0.07	
80			-0.16	0.00		
90				-0.21	-0.10	

b)

3.5. tabula

Melnalkšņa radiālā pieauguma relatīvās vērtības (salīdzinot pēdējo piecu gadu gadskārtu vidējās vērtības ar iepriekšējo 10 gadskārtu (a), 20 gadskārtu (b) vidējām vērtībām)

Vecuma grupa	Bonitāte		
	IA	I	II
20		-0.09	
30	-0.16	-0.06	-0.09
40	0.04	-0.01	0.00
50	-0.01	0.04	0.08
60	0.07	0.11	0.10
70		0.08	
80		0.14	

a)

Vecuma grupa	Bonitāte		
	IA	I	II
20		-0.20	
30	-0.36	-0.22	-0.24
40	-0.04	-0.03	-0.06
50	-0.06	-0.04	0.04
60	0.10	0.06	0.17
70		0.14	0.17
80		0.16	

b)

3.6. tabula

Apses radiālā pieauguma relatīvās vērtības (salīdzinot pēdējo piecu gadu gadskārtu vidējās vērtības ar iepriekšējo 10 gadskārtu (a), 20 gadskārtu (b) vidējām vērtībām)

Vecuma grupa	Bonitāte		
	-II	-I	IA
20		0.00	
30	0.01		
40	0.01	0.04	
50	0.02	0.10	0.12
60	0.09	0.06	0.05
70		0.05	0.07

a)

Vecuma grupa	Bonitāte		
	-II	-I	IA
20		0.01	
30	-0.10		
40	0.00	0.02	
50	-0.08	0.07	0.12
60	0.03	0.02	0.02
70		-0.04	0.12

b)

3.7. tabula

Baltalkšņa radiālā pieauguma relatīvās vērtības (salīdzinot pēdējo piecu gadu gadskārtu vidējās vērtības ar iepriekšējo 10 gadskārtu (a), 20 gadskārtu (b) vidējām vērtībām)

Vecuma grupa	Bonitāte				Vecuma grupa	Bonitāte			
	-II	IA	I	II		-II	IA	I	II
20	-0.16	0.02	-0.17		20	-0.42			
30	-0.02	-0.05	-0.03		30	-0.27	-0.25	-0.16	
40		0.05	0.02	-0.06	40		-0.02	-0.11	-0.20
50				-0.14	50				-0.31
60			0.05		60				-0.03

a)

b)

3.8. un 3.9. tabulās atspoguļoti pēdējo 5 gadu vidējā radiālā pieauguma vērtības salīdzinājumā ar iepriekšējiem 10-40 gadiem.

3.8. tabula

Pēdējo piecu gadu vidējās radiālā pieauguma vērtības salīdzinājumā ar iepriekšējiem 10, 20, 30 un 40 gadiem dažādās vecuma audzēs, mm

Suga	Bonitātes grupa	Rādītājs	Audzes vecuma grupas																	
			30 gadi					40 gadi					50 gadi					60 gadi		
			0	-10	-20	-30	-40	0	-10	-20	-30	-40	0	-10	-20	-30	-40	0	-10	-20
Priede	1	Aritm.vid.	1.60	1.78	1.58	1.43	1.47	1.44	1.46	1.47	1.22	1.39	1.34	1.37		1.09	1.17	1.37	1.14	1.30
		Skaits	143	194	310	313	267	200	345	390	324	186	347	445		219	173	459	377	240
		Tic. int.	0.15	0.11	0.07	0.06	0.07	0.13	0.07	0.07	0.05	0.07	0.08	0.05		0.05	0.07	0.07	0.05	0.08
Priede	2	Aritm.vid.	0.99	1.54	1.48	1.40	1.40	1.13	1.26	1.35	1.34	1.24	1.17	1.42		1.06	1.03	1.12	1.21	1.14
		Skaits	43	145	186	95	109	148	213	106	132	220	215	110		256	211	110	190	276
		Tic. int.	0.18	0.12	0.08	0.10	0.11	0.11	0.07	0.12	0.11	0.07	0.09	0.12		0.05	0.06	0.11	0.07	0.07
Priede	3	Aritm.vid.		1.02	0.96	1.12	1.17	0.91	1.00	0.98	0.77	0.94	0.75	1.03		0.84	1.04	0.81	0.97	0.93
		Skaits		33	52	75	38	63	95	61	93	348	65	100		98	96	102	84	105
		Tic. int.		0.18	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11	0.10	0.06	0.06	0.11	0.09		0.06	0.12	0.10	0.07	0.08
Egle	1	Aritm.vid.	2.68	1.85	2.41	1.74	1.60	1.56	1.93	1.69	1.67		1.69	1.61		1.51		1.72	1.32	1.54
		Skaits	96	208	81	77	35	224	114	115	61		119	133		42		134	82	56
		Tic. int.	0.28	0.10	0.21	0.17	0.31	0.11	0.15	0.13	0.22		0.14	0.14		0.19		0.19	0.16	0.17
Egle	2	Aritm.vid.	3.09	1.76	1.99	1.84	1.69	1.48	1.62	1.63	1.68	1.23	1.50	1.43		1.40	1.38	1.49	1.34	1.61
		Skaits	62	186	134	119	94	196	169	167	133	89	177	190		113	56	200	203	146
		Tic. int.		0.11	0.15	0.14	0.16	0.11	0.11	0.11	0.13	0.16	0.15	0.12		0.13	0.23	0.12	0.09	0.15
Bērzs	1	Aritm.vid.	1.86	1.84	1.47	1.83	1.87	1.48	1.33	1.47	1.43	1.48	0.75	1.03		0.84	1.04	1.17	1.02	1.30
		Skaits	302	237	335	227	76	243	376	306	98	74	65	100		98	96	344	119	104
		Tic. int.		0.10	0.06	0.10	0.18	0.11	0.06	0.08	0.11	0.16	0.11	0.09		0.06	0.12	0.07	0.10	0.13
Bērzs	2	Aritm.vid.	1.68	1.76	1.28	1.69	1.37	1.34	1.17	1.29	1.39	1.15	1.06	1.26		1.17	1.23	1.13	1.04	1.10
		Skaits	162	164	168	141	150	176	174	191	204	31	176	205		39	54	209	245	46
		Tic. int.		0.14	0.10	0.10	0.10	0.13	0.09	0.09	0.08	0.16	0.11	0.10		0.20	0.13	0.10	0.07	0.17
Melnalksnis	1	Aritm.vid.	1.60	1.35	1.45	1.38		1.43	0.94	1.16			1.02	0.95						
		Skaits	57	66	79	84		68	83	103			83	108						
		Tic. int.		0.14	0.13	0.09		0.17	0.09	0.10			0.12	0.08						
Melnalksnis	2	Aritm.vid.	2.37	1.39	1.38	1.52	1.46	1.61	0.83	1.56	1.12		1.01	1.36				1.49	0.96	
		Skaits	42	52	51	35	40	60	51	43	56		51	45				46	59	
		Tic. int.	0.38	0.17	0.16	0.24	0.14	0.24	0.13	0.30	0.09		0.15	0.26				0.27	0.13	
Apse	1	Aritm.vid.	2.70	2.17	1.72	2.31	2.09	2.23	2.16	1.75	2.22		2.59	1.95		1.79		1.89	1.70	1.30
		Skaits	83	107	122	109	46	109	179	166	82		199	180		27		185	113	27
		Tic. int.	0.34	0.23	0.16	0.13	0.38	0.23	0.19	0.10	0.21		0.24	0.12		0.24		0.1	0.15	0.23
Baltalksnis	1	Aritm.vid.	1.55	1.29	1.67			1.29	1.46											
		Skaits	285	179	25			180	34											
		Tic. int.	0.1	0.08	0.21			0.11	0.23											
Baltalksnis	2	Aritm.vid.	1.19	1.34	1.22	1.33		1.11	1.00	1.40			0.63	0.98						
		Skaits	26	79	47	25		79	49	32			50	34						
		Tic. int.	0.33	0.16	0.14	0.23		0.19	0.15	0.29			0.11	0.18						

Pēdējo desmit gadu vidējās radiālā pieauguma vērtības salīdzinājumā ar iepriekšējiem 10, 20, 30 un 40 gadiem dažādās vecuma audzēs

Suga	Bonitātes grupa	Rādītājs	Audzes vecuma gr(10)																	
			30 gadi					40 gadi					50 gadi					60 gadi		
			0	-10	-20	-30	-40	0	-10	-20	-30	-40	0	-10	-20	-30	-40	0	-10	-20
Priēde	1	Aritm.vid.	1.83	1.81	1.59	1.69	1.52	1.49	1.50	1.44	1.39	1.42	1.40	1.33		1.23	1.19	1.38	1.14	1.20
		Skaits	143	194	310	313	267	200	345	390	324	186	347	445		219	173	459	377	240
		Tic. int.	0.17	0.11	0.07	0.07	0.07	0.12	0.06	0.06	0.05	0.07	0.08	0.05		0.05	0.07	0.06	0.05	0.06
Priēde	2	aritm.vid.	1.10	1.61	1.57	1.64	1.34	1.24	1.31	1.33	1.54	1.21	1.19	1.40		1.17	0.98	1.17	1.22	1.04
		Skaits	43	145	186	95	109	148	213	106	132	220	215	110		256	211	110	190	276
		Tic. int.	0.16	0.11	0.08	0.11	0.09	0.10	0.06	0.11	0.10	0.06	0.08	0.11		0.06	0.05	0.10	0.07	0.06
Priēde	3	aritm.vid.	1.29	1.04	0.97	1.29	1.03	1.09	0.88	1.05	1.09	0.71	0.77	1.06		0.89	0.94	0.89	1.01	0.91
		Skaits	14	33	52	75	38	36	63	95	61	93	65	100		98	96	102	84	105
		Tic. int.	0.26	0.16	0.10	0.12	0.11	0.22	0.10	0.10	0.10	0.06	0.08	0.09		0.06	0.10	0.10	0.07	0.08
Egļe	1	Aritm.vid.	2.60	2.07	2.40	1.83	1.73	1.64	2.05	1.78	1.89	1.58	1.80	1.62		1.65	1.08	1.69	1.43	1.62
		Skaits	96	208	81	77	35	224	114	115	61	19	119	133		42	4	134	82	56
		Tic. int.	0.23	0.12	0.17	0.17	0.30	0.10	0.15	0.13	0.22	0.24	0.14	0.14		0.19	0.4	0.16	0.17	0.16
Egļe	2	aritm.vid.	3.14	1.88	2.06	1.98	1.81	1.59	1.66	1.74	1.81	1.29	1.54	1.50		1.40		1.49	1.39	1.65
		Skaits	62	186	134	119	94	196	169	167	133	89	177	190		113		200	203	146
		Tic. int.	0.34	0.10	0.13	0.15	0.15	0.10	0.11	0.10	0.13	0.14	0.14	0.11		0.12		0.11	0.09	0.14
Bērzs	1	aritm.vid.	1.89	1.85	1.67	2.02	2.04	1.49	1.30	1.61	1.61	1.52	1.05	1.28	1.42			1.13	1.04	1.34
		Skaits	302	237	335	227	76	243	376	306	98	74	379	341	98			344	119	104
		Tic. int.	0.11	0.10	0.06	0.11	0.18	0.10	0.06	0.08	0.12	0.15	0.06	0.06	0.15			0.06	0.10	0.13
Bērzs	2	Aritm.vid.	1.88	1.76	1.45	1.84	1.37	1.44	1.17	1.43	1.45	1.23	1.07	1.20	1.2	1.33	1.16	1.10	0.97	1.15
		Skaits	162	164	168	141	150	176	174	191	204	31	176	205	39	54	474	209	245	46
		Tic. int.	0.13	0.13	0.10	0.11	0.10	0.13	0.08	0.09	0.08	0.15	0.09	0.08	0.18	0.13	0.05	0.09	0.06	0.16
Melnalksnis	1	aritm.vid.	1.76	1.63	1.54	1.47		1.38	1.11	1.24			1.01	1.17						
		Skaits	57	66	79	84		68	83	103			83	108						
		Tic. int.	0.19	0.15	0.12	0.09		0.16	0.10	0.09			0.11	0.09						
Melnalksnis	2	aritm.vid.	2.58	1.53	1.56	1.68	1.63	1.59	0.95	1.61	1.25		0.93	1.43			1.17	1.39	1.04	
		Skaits	42	52	51	35	40	60	51	43	56		51	45			110	46	59	
		Tic. int.	0.39	0.16	0.18	0.24	0.15	0.24	0.13	0.28	0.08		0.13	0.25			0.1	0.24	0.13	
Apse	1	Aritm.vid.	2.65	2.14	1.91	2.30	2.03	2.10	2.18	1.85	2.15	1.4	1.77	1.66	1.40			1.77	1.66	1.40
		Skaits	83	107	122	109	46	109	179	166	82	22	185	113	27			185	113	27
		Tic. int.	0.32	0.20	0.17	0.12	0.32	0.20	0.18	0.09	0.19	0.3	0.11	0.13	0.21			0.11	0.13	0.21
Baltalksnis	1	aritm.vid.	1.56	1.44	1.77			1.22	1.57											
		Skaits	285	179	25			180	34											
		Tic. int.	0.1	0.08	0.23			0.10	0.22											
Baltalksnis	2	aritm.vid.	1.26	1.44	1.35	1.45		1.09	1.06	1.44			0.70	1.10						
		Skaits	26	79	47	25		79	49	32			50	34						
		Tic. int.	0.34	0.16	0.16	0.21		0.16	0.13	0.31			0.10	0.21						

Secinājums 5 gados pieaugumi vairumam sugu ir bijis mazāks nekā līdzīga vecuma kokiem pirms 10,20, 30 vai 40 gadiem.

## 4. Kopšanas ciršu ietekme uz pieaugumu izmaiņām vērtējums (priede, egles, bērzs un apse –32 objekti kopā)

### Materiāls un metodika

Projekta ietvaros 2014. gadā uzmērīta 31 audze, kurās 2002.-2004. gadā veiktas kopšanas cirtes, no kurām 15 ir priežu audzes, 2 – egļu audzes, 10 - bērzu audzes un 4 – apšu audzes(4.1. tabula). Pieauguma izmaiņu noteikšanai 16 kontroles audzēs izurbti 949 koki.

4.1. tabula

Uzmērīto kopšanas ciršu objektu taksācijas rādītāji

Nr. p.k.	Objekts	Cirtes gads	MT	I stāvs									II stāvs				
				A 1.3m	Bon	Suga	D cm	H m	G m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	M m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N ha <sup>-1</sup>	D cm	H m	G m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	M m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N ha <sup>-1</sup>	
1	105-464-18	2004	Dm	23	-1.3	P	16.0	13.9	24	165	1150	2.4	5.6	1.6	6	3600	
2	109-304-5	2004	Dm	29	-1.2	P	15.6	17.0	32	277	1680	9.4	11.8	0.6	4	80	
3	110-186-2	2002	Mr	30	0.7	P	11.8	13.4	25	176	2280						
4	110-225-3	2002	Mr	21	0.0	P	9.8	10.5	20	119	2640	2.9	4.3	1.1	4	1600	
5	111-147-2	2004	Vr	18	-3.7	B	13.7	19.0	11	99	747	8.8	9.0	1.2	7	193	
6	111-173-8	2003	Ks	24	-0.6	B	15.3	17.5	16	135	833						
7	111-207-2	2003	Kp	28	-0.8	B	15.5	20.0	26	247	1260	17.7	13.7	0.2	2	10	
8	111-320-5	2004	Vr	35	-1.2	B	17.6	24.2	22	245	950	15.2	14.4	0.2	1	10	
9	111-584-6	2003	Km	17	-2.1	P	14.9	11.4	12	73	700	4.5	6.0	3.0	13	1833	
10	201-104-21	2004	Dm	21	-3.0	P	15.5	15.6	25	196	1210	5.5	9.0	1.7	10	730	
11	201-383-18	2003	Dm	21	-2.3	P	18.4	14.4	31	217	1190	5.1	7.9	0.8	4	400	
12	202-105-31	2003	Mr	27	0.1	P	14.3	13.3	20	137	1260	5.6	8.0	1.1	5	440	
13	202-171-11	2003	Mr	24	-0.3	P	14.6	12.5	20	131	1220	7.8	8.3	0.4	2	90	
14	207-400-27	2004	Dm	19	-2.2	B	13.9	17.3	18	146	1170	5.6	9.4	2.0	11	830	
15	207-90-1	2004	Vr	20	-2.6	B	14.2	18.7	19	165	1190	7.3	12.5	0.2	1	50	
16	505-141-4	2003	Mr	23	-0.3	P	14.0	12.0	18	116	1200						
17	505-95-9	2002	Mr	20	-0.9	P	15.1	11.4	17	100	940	6.3	7.0	1.3	6	420	
18	509-159-36	2002	Gr	20	-2.5	A	11.0	18.6	19	180	2020	5.6	11.4	3.6	22	1500	
19	509-296-16	2002	Gr	25	-1.0	A	13.2	18.8	23	214	1700	7.9	12.1	0.2	1	40	
20	509-329-12	2002	Gr	24	-2.4	A	14.0	21.2	22	229	1440	5.9	13.1	1.6	11	590	
21	509-379-1	2002	Gr	21	-3.0	A	14.2	20.2	24	243	1540	7.9	12.8	0.6	4	130	
22	604-343-7	2004	Dm	20	-2.3	P	14.7	13.9	20	144	1200	3.6	7.0	0.8	3	800	
23	605-415-1	2004	Dm	25	-2.4	P	15.5	17.1	40	334	2200	4.0	8.6	0.5	2	400	
24	605-415-4	2004	Dm	18	-2.9	P	14.9	13.3	32	214	2960	2.7	2.7	0.2	1	400	
25	608-20-13	2002	Am	21	-0.2	P	12.8	10.7	12	70	930	4.5	5.5	3.0	13	1910	
26	610-240-9	2003	Ap	22	-3.0	B	15.7	21.0	20	194	1010	5.6	10.1	1.3	7	510	
27	611-290-8	2004	Vr	19	-3.8	B	18.6	20.0	19	179	760	6.3	10.8	0.6	4	200	
28	712-21-18	2003	Ks	29	1.9	B	13.0	14.0	15	105	1110	5.3	7.8	2.5	11	1130	
29	712-393-8	2003	As	24	-1.7	B	15.1	19.7	19	172	1010	15.1	11.9	2.9	18	160	
30	509-155-7	2002	As	24	-2.2	E	15.8	16.3	43	379	2220	6.4	7.0	0.4	2	140	
31	509-155-15	2002	As	21	-2.0	E	12.8	13.9	38	291	2940	5.5	6.3	0.3	1	120	

Kopšanas ciršu ietekmes novērtēšanai kopā analizēti 120 objekti, 30 iepriekšējā gadā autoru ierīkotie kopšanas ciršu objekti, kā arī 74 Dr. Silv. Āra Jansona projekta grupas ierīkotie kopšanas ciršu objekti (4.2. tabula). Analīzē netiek izmantoti šogad ierīkotie objekti priežu jaunaudzēs, jo tajos nav adekvātas kontroles audzes pietiekami tuvu objektam, turklāt kontroles audzēs nevar atlasīt pietiekamu koku skaitu.

## Analīzē izmantoto objektu sadalījums meža tipu grupās un vecuma desmitgadēs, skaits

s10	MT grupa	Vecuma desmitgade						Kopā	
		2	3	4	5	6	7		8
P	Dm, Ln			4	7	3			38
	Mr			2	4	6		1	
	Am, As, Ap, Ks, Kp			4	7				
E	Dm			7	2		1		32
	Dms, Vrs					1			
	Am, As, Ap, Ks, Kp		2	3	6				
	Vr-Gr		1	5	4				
B	Dm	1							35
	Dms, Vrs					1			
	Am, As, Ap, Ks, Kp		5	5	4	3			
	Vr-Gr	3		1	4	8			
A	Dms, Vrs		1						15
	Am, As, Ap, Ks, Kp	1							
	Vr-Gr	3	7	3					

## Lauku darbu metodika

Koptās audzes

Objektā ierīkoti 1-4 parauglaukumi, kuru lielums ir 500 m<sup>2</sup> (R=12.62m). Parauglaukumu skaits atkarīgs no uzņēmīto I stāva koku skaita (objektā jābūt vismaz 100 kokiem). Ja audzē ir treilēšanas ceļi, tad ierīkoti ir pāra skaits parauglaukumu, tā lai nepāra parauglaukumiem parauglaukuma centrs atrastos pa vidu treilēšanas ceļam, bet pāra parauglaukumiem parauglaukuma centrs atrastos pa vidu starp treilēšanas ceļiem.

Visā parauglaukumā uzņēmīti visi koki, kuru krūšaugstuma caurmērs ir lielāks par 6,0 cm, bet koki, kuriem krūšaugstuma caurmērs ir 2.1-6.0cm, uzņēmīti 100 m<sup>2</sup> (R=5.64m) lielā platībā. Uzņēmītajiem kokiem fiksēts:

- suga,
- krūšaugstuma caurmērs (0.1cm),
- stāvs,
- stāvokļa klase (dzīvs, sausoknis, stumbenis, kritala),
- Krafta klase,
- bojājumus – to atrašanās vietu, bojājuma veidu un bojājuma pakāpi atbilstoši meža veselības monitoringa metodikā lietotajiem kodiem (4.3.-4.4. tabulas),
- beigtajiem kokiem sadalīšanās pakāpi (4.5. tabula).

## Bojājumu lokalizācija

Kods	Skaidrojums
0	Bojājumu nav
1	Redzamās saknes un celms 30 cm augstumā no augsnes virskārtas
2	Saknes un stumbra apakšējā daļa
3	Stumbra apakšējā daļa (apakšējā stumbra puse starp celmu un dzīvā vainaga sākumu)
4	Stumbra apakšējā un augšējā daļa
5	Stumbra augšējā daļa (augšējā stumbra pusē starp celmu un dzīvā vainaga sākumu)
6	Stumbrs dzīvā vainaga daļā
7	Zari
8	Pumpuri un dzinumi (pēdējais pieaugums)
9	Lapotne

## Bojājumu veids

Kods	Skaidrojums
01	Vēzis
02X	Puni, augļķermeņi (021) un citi progresējušas sabrukšanas indikatori: mīksta koksne (022), plaisas (023), dobumi (024), vajējas brūces, kas saskaras ar zemi (025)
03	Vajējas brūces (bez mizas, bet bez redzamām trupes pazīmēm)
04	Sasveļojumi
11	Nolūzis stumbrs vai saknes tuvāk par 1 m no stumbra
12	Vējslotas uz stumbra
13	Nolūzušas vai atmirušas saknes (> 1 m no stumbra)
21	Apikālās dominantes zudums, atmirusi galotne
22	Nolūzuši vai atmiruši zari
23	Pārmērīga zarošanās vai vējslotas
24	Bojāta lapotne, pumpuri vai dzinumi
25	Lapotnes dehromācija
31	Citi

4.5. tabula

## Beigto koku sadalīšanās pakāpes

Kods	Apraksts
1	ar mizu;
2	cieta koksne bez mizas;
3	koksne nedaudz mīksta, tajā var viegli iedurt nazi 1cm dziļumā;
4	koksne mīksta, nazis viegli ieiet 5 cm dziļumā;
5	koksne ļoti mīksta, tā viegli drūp rokās

Parauglaukumā koku augstumi (ar 0.1m precizitāti) uzmērīti vismaz 12-15 vai vismaz 30 (ja objektā 1 parauglaukums) I stāva valdošās koku sugas kokiem (dažādas dimensijas; 4-5 lieli, 4-5 vidēji, 4-5 mazi) un pārējiem meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas sugas kokus, kas atrodas vienā meža audzes stāvā) 5 kokiem. Kokiem, kuriem mērīti augstumi, uzmērīti arī zaļā vainaga sākuma augstumi.

Ar Preslera svārpstu katrā objektā iegūti 48 I stāva valdošās koku sugas koksnes paraugi koku pieaugumu noteikšanai.

Kontroles audzes

Kontroles audzes tika meklētas atbilstoši koptās audzes meža tipam līdzīgā vecumā pēc taksācijas aprakstā norādītā. Ar Preslera svārpstu katrā audzē iegūti 50-60 koku koksnes paraugi pieauguma noteikšanai.

**Kamerālo darbu metodika**

Audzis (parauglaukumu) taksācijas rādītāji un audzis papildus pieaugums aprēķināts programmā MS Excel. Koku radiālais pieaugums uzmērīts, izmantojot gadskārtu platumu mērīšanas ierīci LINTAB-IV un datorprogrammu TSAP-Win™ Scientific.

Krājis papildus pieaugums kopšanas ciršu rezultātā novērtēts I stāva valdošajai koku sugai salīdzinot krājis pieaugumu uzmērītajās audzēs ar kontroles audzēm. Kā kontroles audzis izmantotas šajā un citos autora projektos uzmērītās audzis, kurās nav veikta saimnieciskā darbība.

Krājis papildus pieaugumu aprēķina pēc profesora I. Liepas (Liepa, 1996) izstrādātās metodikas:

$$Z_M^{kp} = 1.2732.4\psi \left( GH^\alpha D^{\beta l g H - \varphi - 2} - G_t H_t^\alpha D_t^{\beta l g H - \varphi - 2} \right) \quad (4.1)$$

kur  $Z_M^{kp}$  - krājis kumulatīvais papildus pieaugums,  $m^3 ha^{-1}$ ;

$\Psi, \alpha, \beta, \varphi$  - koeficienti (4.6. tabula);

t – vērtēšanas intervāls, gadi;

G,  $G_t$  – audzis krūšaugstuma šķērslaukums un tā prognostiskā vērtība intervāla t beigās,  $m^2 ha^{-1}$ :

$$G_t = \frac{D_t^2 G}{D^2} \quad (4.2)$$

D,  $D_t$  – audzis vidējais krūšaugstuma caurmērs un tā prognostiskā vērtība intervāla t beigās, cm:

$$D_t = D - 0,1Z_D^{kp} \quad (4.3)$$

$Z_D^{kp}$  - audzis vidējā caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums, mm:

$$Z_D^{kp} = 2u(\sum_j^t i_j + \sum_j^t i_j') \quad (4.4)$$

u – mizas biežuma koeficients (4.6. tabula);

$i_j$  – audzes gadskārtu vidējo vērtību rinda, mm. Tā satur t+t' locekļus, kas ir aprēķināti no vērtējamās audzes uzskaites koku urbumu datiem.

t' – retrospekcijas periods, gadi;

$i_j'$  – vērtējamās audzes gadskārtu korigēto platumu rinda, mm. Korekcijas vienādojums:

$$i_j' = \eta i_{k,j} \cdot \rho \quad (4.5)$$

$\eta, \rho$  - koeficienti

$i_k$  – kontroles koku gadskārtu platumu vidējās vērtības, mm. *Gadskārtu platumu rindas pakļauj statistiskai pārbaudei. No kontroles kokiem atlasa tos, kuri ar vērtējamās audzes gadskārtu platumu vidējo vērtību rindu retrospekcijas intervāla laikā uzrāda līdzīgu augšanas gaitu. Divas vērtību rindas uzskata par līdzīgām, ja to svārstības ir paralēlas, t.i., līdzīgi vides apstākļi izsauc relatīvi vienādu gadskārtu paplašināšanos vai sašaurināšanos (Liepa, 1996). Par līdzības kritēriju izmanto korelācijas koeficientu r. Pieņem, ka vērtējamā un pārbaudāmā uzskaites koka augšanas gaita ir līdzīga, ja r, kas aprēķināts pēc retrospekcijas perioda gadskārtu platumiem, ir statistiski būtisks ( $r > r_{\alpha,t}$ ;  $\alpha=0.05$ , bet, ja adekvātās kontroles koku (k) skaits mazāks par 10, tad būtiskuma līmeni samazina līdz 0.1;  $t=5-10$ ). No atlasītajiem k derīgajiem kontroles kokiem sastāda gadskārtu platumu vidējo vērtību rindu. Tālāk pēc vērtējamās audzes un kontroles koku intervāla t' gadskārtu platumu vidējo vērtību rindām ar mazāko kvadrātu metodi izskaitļo koeficientus  $\eta$  un  $\rho$  un aprēķina visas  $i_j'$  vērtības (Liepa, 1996).*

$H, H_t$  – audzes vidējais augstums un tā prognostiskā vērtība intervāla t beigās, m:

$$H_t = H - Z_H^{kp} \quad (4.6)$$

$Z_H^{kp}$  - audzes vidējā augstuma kumulatīvais papildus pieaugums, m:

$$Z_H^{kp} = \frac{HZ_D^{kp}(aD+b)}{u(cD+100)} \quad (4.7)$$

a, b, c, u – koeficienti (4.6. tabula).

Pēc aprakstītā algoritma tiek aprēķināts krājas kumulatīvais papildus pieaugums ar mizu. Šī rādītāja vērtība bez mizas,  $m^3 ha^{-1}$ :

$$Z_{M;bm}^{kp} = \frac{Z_M^{kp}}{s} \quad (4.8)$$

s – mizas tilpuma koeficients, kas aprēķināms pēc formulas:

$$s = \frac{pD+q}{wD+100} \quad (4.9)$$

kur p, q, w – koeficienti (4.6. tabula).

4.6. tabula

**Koeficientu vērtības krājas kumulatīvā papildus pieauguma aprēķināšanai**

Suga	u	a	b	c	$\psi$	$\alpha$	$\beta$	$\phi$	p	q	w
P	1.103	-0.0642	6.356	27.105	0.00016541	0.56582	0.25924	1.59689	20.60	143.9	19.53
E	1.046	-0.0256	1.693	5.794	0.00023106	0.78193	0.34175	1.18811	5.25	117.6	5.00
B	1.095	-0.0728	-1.510	-35.710	0.00009090	0.71677	0.16692	1.75701	0.20	110.2	0.02
M	1.081	0.0050	7.240	90.909	0.00007950	0.77095	0.13505	1.80715	-0.55	119.0	-0.36
A	1.061	-0.0357	2.352	12.829	0.00005020	0.92625	0.02221	1.95538	0.78	109.9	0.67

## Rezultāti

**Priežu audzes.** Analizēto objektu aritmētiski vidējais caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums piecus gadus pēc kopšanas cirtes ir  $+0.25 \pm 0.10$  cm 21-40 gadu vecās audzēs un  $+0.09 \pm 0.24$  cm 41-60 gadu vecās audzēs (4.7. tabula).

Priedes caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums vecumā 21-40 gadi ir lielāks kā 41-60 gadu vecumā. Pirmos 3 gadus pēc kopšanas cirtes gan 21-40, gan 41-60 gadu vecās audzēs vērojams pozitīvs pieaugošs ikgadējais caurmēra papildus pieaugums, bet turpmākos gados tas nedaudz samazinās vai nemainās (4.1. attēls).

Atkarībā no vecuma, 5 gadus pēc kopšanas cirtes vērojama divu veidu ietekme:

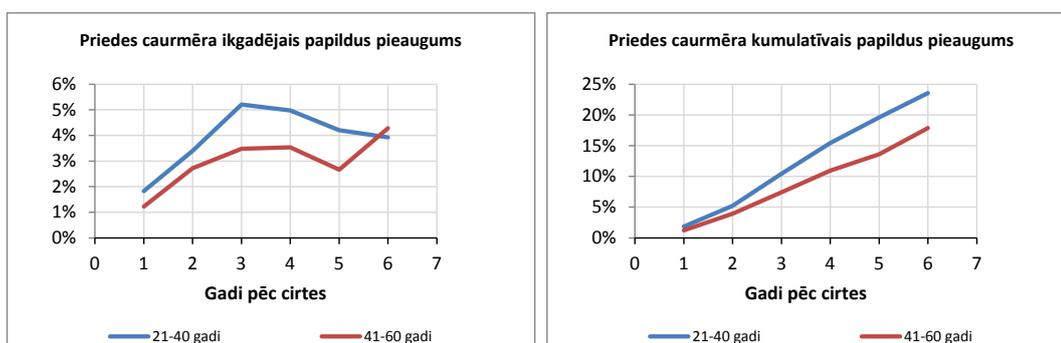
- 21-40 gadu vecās audzēs – pozitīva (vidējās vērtības statistiski būtiski atšķiras no nulles);

- 41-60 gadu vecās audzēs – neitrāla (vidējās vērtības statistiski būtiski neatšķiras no nulles).

4.7. tabula

## Caurmēra papildus pieaugums priežu audzēs pēc kopšanas cirtes

Vērtības	Vecums	Rādītājs	Ikgadējais caurmēra papildus pieaugums						Kumulatīvais caurmēra papildus pieaugums						Ietekme (5 gadi pēc cirtes)	
			Gadi pēc cirtes						Gadi pēc cirtes							
			1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6		
Absolūtās	21-40 gadi	Aritmētiski vidējais, cm	0.03	0.04	0.06	0.06	0.05	0.05	0.03	0.07	0.13	0.19	0.25	0.30	Pozitīva - būtiska	
		Objektu skaits	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28		
		95% ticamības intervāls, cm	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.05	0.08	0.10	0.11		
	41-60 gadi	Aritmētiski vidējais, cm	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.01	0.02	0.05	0.07	0.09	0.12		Pozitīva - nebūtiska
		Objektu skaits	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
		95% ticamības intervāls, cm	0.03	0.05	0.06	0.05	0.05	0.06	0.03	0.08	0.14	0.19	0.24	0.29		
Relatīvās	21-40 gadi	Aritmētiski vidējais, %	1.8	3.4	5.2	5.0	4.2	3.9	1.8	5.2	10.4	15.4	19.6	23.5	Pozitīva - būtiska	
		Objektu skaits	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28		
		95% ticamības intervāls, %	1.1	1.6	2.1	2.3	2.1	1.8	1.1	2.5	4.3	6.2	7.8	8.8		
	41-60 gadi	Aritmētiski vidējais, %	1.2	2.7	3.5	3.5	2.7	4.3	1.2	3.9	7.4	10.9	13.6	17.9		Pozitīva - nebūtiska
		Objektu skaits	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
		95% ticamības intervāls, %	4.0	6.2	7.0	7.4	6.0	7.5	4.0	10.1	16.9	24.2	29.9	37.1		



4.1. attēls. Caurmēra ikgadējais un kumulatīvais papildus pieaugums priežu audzēs pēc kopšanas cirtes, %

**Eglu audzes.** Analizēto objektu aritmētiski vidējais caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums piecus gadus pēc kopšanas cirtes ir  $-0.11 \pm 0.57$  cm līdz 20 gadu vecās audzēs un  $+0.35 \pm 0.12$  cm 21-40 gadu vecās audzēs (4.8. tabula).

Vecumā līdz 20 gadiem eglēm nav vērojams caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums, taču jāņem vērā, ka šajā vecuma grupā analizēti tikai 3 objekti, līdz ar to šos rezultātus nevarētu attiecināt uz visām šī vecuma audzēm, savukārt vecumā 21-40 gadi kumulatīvais papildus pieaugums 7 gadu laikā palielinās līdz 40 % (4.2. attēls).

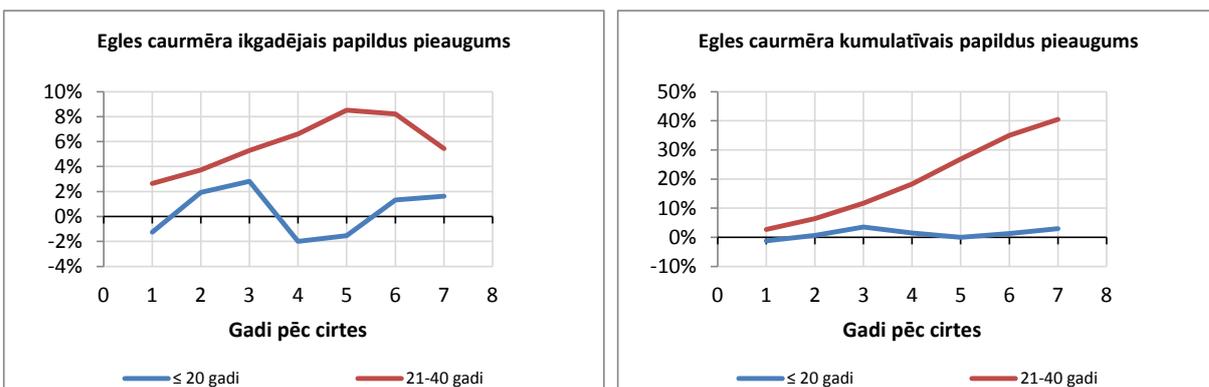
Atkarībā no vecuma, 5 gadus pēc kopšanas cirtes vērojama divu veidu ietekme:

- ≤20 gadu vecās audzēs – neitrāla (vidējās vērtības statistiski būtiski neatšķiras no nulles);
- 21-40 gadu vecās audzēs – pozitīva (vidējās vērtības statistiski būtiski atšķiras no nulles).

4.8. tabula

## Caurmēra papildus pieaugums eglu audzēs pēc kopšanas cirtes

Vērtības	Vecums	Rādītājs	Ikgadējais caurmēra papildus pieaugums							Kumulatīvais caurmēra papildus pieaugums							Ietekme (5 gadi pēc cirtes)	
			Gadi pēc cirtes							Gadi pēc cirtes								
			1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7		
Absolūtās	≤ 20 gadi	Aritmētiski vidējais, cm	-0.03	0.06	0.06	-0.10	-0.09	-0.02	-0.03	-0.03	0.02	0.08	-0.02	-0.11	-0.13	-0.16	Negatīva - nebūtiska	
		Objektu skaits	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
		95% ticamības intervāls, cm	0.06	0.03	0.10	0.24	0.23	0.25	0.31	0.06	0.08	0.16	0.35	0.57	0.82	1.13		
	21-40 gadi	Aritmētiski vidējais, cm	0.05	0.05	0.07	0.08	0.10	0.10	0.05	0.05	0.10	0.17	0.25	0.35	0.45	0.49		Pozitīva - būtiska
		Objektu skaits	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29		
		95% ticamības intervāls, cm	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.05	0.03	0.05	0.07	0.09	0.12	0.15	0.17		
Relatīvās	≤ 20 gadi	Aritmētiski vidējais, %	-1.3	1.9	2.8	-2.0	-1.5	1.3	1.6	-1.3	0.7	3.5	1.5	0.0	1.3	2.9	Negatīva - nebūtiska	
		Objektu skaits	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
		95% ticamības intervāls, %	1.8	0.9	4.7	11.6	10.9	12.7	15.0	1.8	2.4	6.1	16.4	27.2	39.9	54.9		
	21-40 gadi	Aritmētiski vidējais, %	2.6	3.7	5.3	6.6	8.5	8.2	5.4	2.6	6.4	11.7	18.3	26.8	35.0	40.4		Pozitīva - būtiska
		Objektu skaits	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29		
		95% ticamības intervāls, %	1.3	1.6	1.8	2.7	2.6	2.6	3.6	1.3	2.6	4.0	6.2	8.5	10.6	13.0		



4.2. attēls. Caurmēra ikgadējais un kumulatīvais papildus pieaugums egļu audzēs pēc kopšanas cirtes, %

**Bērzu audzes.** Analizēto objektu aritmētiski vidējais caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums piecus gadus pēc kopšanas cirtes ir  $+0.26 \pm 0.39$  cm līdz 20 gadu vecās audzēs,  $-0.02 \pm 0.12$  cm 21-40 gadu vecās audzēs un  $-0.09 \pm 0.13$  cm 41-60 gadu vecās audzēs (4.9. tabula).

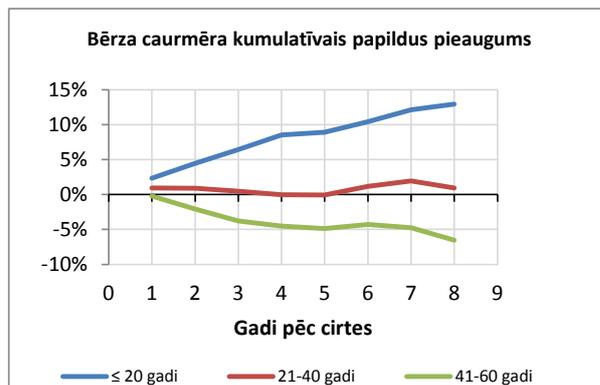
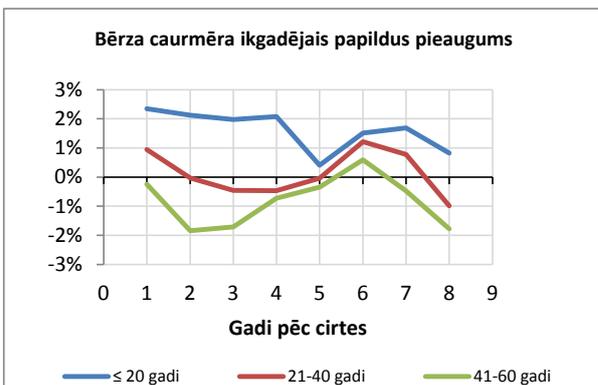
Lielāks caurmēra ikgadējais papildus pieaugums bērzu audzēs vērojams līdz 20 gadu vecumam ciršanas brīdī, vecākās audzēs tas samazinās. 8 gadus pēc cirtes kumulatīvais papildus pieaugums līdz 20 gadu vecās audzēs palielinājies par 12.9 %, 21-40 gadu vecās audzēs nav vērojams kumulatīvais papildus pieaugums, savukārt vecākās audzēs vērojams negatīvs papildus pieaugums - 6.5 % (4.3. attēls).

Bērzu audzēs pēc kopšanas cirtes konstatēts gan pozitīvs, gan negatīvs kumulatīvais papildus pieaugums, taču to vidējās vērtības statistiski būtiski neatšķiras no nulles, līdz ar to ietekme ir neitrāla.

4.9. tabula

Caurmēra papildus pieaugums bērzu audzēs pēc kopšanas cirtes

Vērtības	Vecums	Rādītājs	Ikgadējais caurmēra papildus pieaugums								Kumulatīvais caurmēra papildus pieaugums								Ietekme (5 gadi pēc cirtes)	
			Gadi pēc cirtes																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8		
Absolūtās	≤ 20 gadi	Aritmētiski vidējais, cm	0.09	0.05	0.08	0.04	0.00	0.01	0.01	0.00	0.09	0.14	0.22	0.26	0.26	0.27	0.29	0.29	Pozitīva - nebūtiska	
		Objektu skaits	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		10
		95% ticamības intervāls, cm	0.09	0.09	0.10	0.08	0.08	0.10	0.11	0.07	0.09	0.17	0.26	0.31	0.39	0.47	0.57	0.63		
	21-40 gadi	Aritmētiski vidējais, cm	0.02	0.00	-0.01	-0.02	-0.01	0.00	0.00	-0.03	0.02	0.01	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.05	Negatīva - nebūtiska	
		Objektu skaits	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13		
		95% ticamības intervāls, cm	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05	0.07	0.09	0.12	0.15	0.17	0.19		
	41-60 gadi	Aritmētiski vidējais, cm	-0.01	-0.03	-0.03	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.03	-0.01	-0.04	-0.07	-0.08	-0.09	-0.09	-0.10	-0.13	Negatīva - nebūtiska	
		Objektu skaits	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		
		95% ticamības intervāls, cm	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	0.03	0.07	0.10	0.12	0.13	0.16	0.19	0.22		
Relatīvās	≤ 20 gadi	Aritmētiski vidējais, %	2.3	2.1	2.0	2.1	0.4	1.5	1.7	0.8	2.3	4.5	6.4	8.5	8.9	10.4	12.1	12.9	Pozitīva - nebūtiska	
		Objektu skaits	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
		95% ticamības intervāls, %	2.7	3.5	2.7	2.7	2.2	4.6	5.7	3.1	2.7	5.7	8.1	10.0	11.8	15.5	20.3	23.2		
	21-40 gadi	Aritmētiski vidējais, %	0.9	0.0	-0.5	-0.5	0.0	1.2	0.8	-1.0	0.9	0.9	0.5	0.0	-0.1	1.2	1.9	0.9	Negatīva - nebūtiska	
		Objektu skaits	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13		
		95% ticamības intervāls, %	1.8	1.8	1.7	2.2	2.3	3.1	2.5	2.2	1.8	3.1	4.0	5.8	7.5	9.7	11.4	12.6		
	41-60 gadi	Aritmētiski vidējais, %	-0.2	-1.8	-1.7	-0.7	-0.3	0.6	-0.5	-1.8	-0.2	-2.1	-3.8	-4.5	-4.9	-4.3	-4.8	-6.5	Negatīva - nebūtiska	
		Objektu skaits	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		
		95% ticamības intervāls, %	3.1	4.1	3.4	1.9	2.3	2.7	3.3	2.2	3.1	6.9	9.6	10.9	12.7	14.5	16.9	18.7		



4.3. attēls. Caurmēra ikgadējais un kumulatīvais papildus pieaugums bērzu audzēs pēc kopšanas cirtes, %

**Apšu audzes.** Analizēto objektu aritmētiski vidējais caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums piecus gadus pēc kopšanas cirtes ir  $+0.87 \pm 0.42$  cm līdz 20 gadu vecās audzēs un  $+0.06 \pm 0.31$  cm 21-40 gadu vecās audzēs (4.10. tabula).

6 gadus pēc kopšanas cirtes apšu audzēs līdz 20 gadiem ikgadējais papildus pieaugums ir būtiski lielāks kā 21-40 gadu vecās audzēs (4.4. attēls), taču jāņem vērā, ka 21-40 gadu vecumā analizēti tikai 3 objekti, līdz ar to šos rezultātus nevajadzētu attiecināt uz visām šī vecuma apšu audzēm.

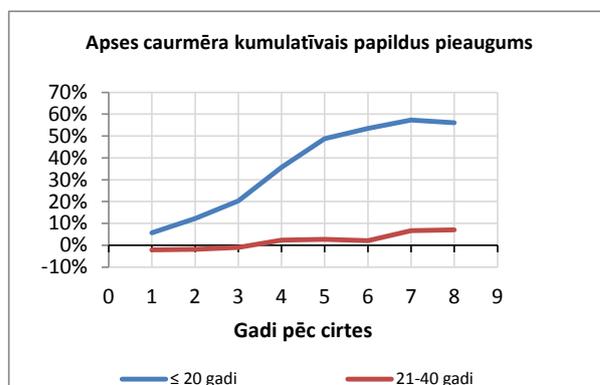
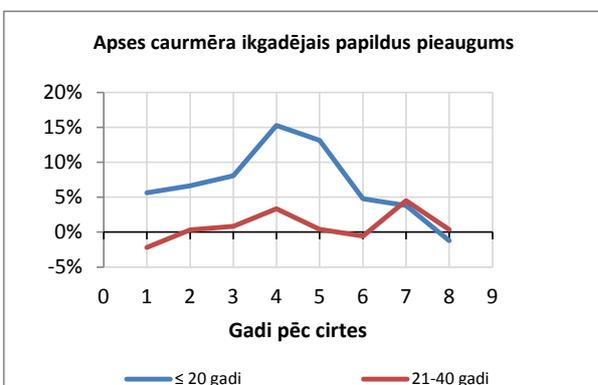
Atkarībā no vecuma, 5 gadus pēc kopšanas cirtes vērojama divu veidu ietekme:

- ≤20 gadu vecās audzēs – pozitīva (vidējās vērtības statistiski būtiski atšķiras no nulles);
- 21-40 gadu vecās audzēs – neitrāla (vidējās vērtības statistiski būtiski neatšķiras no nulles).

4.10. tabula

Caurmēra papildus pieaugums apšu audzēs pēc kopšanas cirtes

Vērtības	Vecums	Rādītājs	Ikgadējais caurmēra papildus pieaugums								Kumulatīvais caurmēra papildus pieaugums								Ietekme (5 gadi pēc cirtes)
			Gadi pēc cirtes								Gadi pēc cirtes								
			1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	
Absolūtās	≤ 20 gadi	Aritmētiski vidējais, cm	0.13	0.16	0.14	0.24	0.21	0.08	0.05	-0.08	0.13	0.28	0.42	0.66	0.87	0.95	0.99	0.91	Pozitīva - būtiska
		Objektu skaits	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
		95% ticamības intervāls, cm	0.08	0.12	0.11	0.16	0.15	0.11	0.12	0.10	0.08	0.19	0.29	0.31	0.42	0.51	0.60	0.68	
	21-40 gadi	Aritmētiski vidējais, cm	-0.04	0.00	0.02	0.07	0.01	-0.02	-0.01	-0.03	-0.04	-0.04	-0.02	0.05	0.06	0.04	0.03	0.00	Pozitīva - nebūtiska
		Objektu skaits	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
		95% ticamības intervāls, cm	0.03	0.09	0.07	0.15	0.03	0.09	0.16	0.10	0.03	0.06	0.14	0.27	0.31	0.21	0.37	0.45	
Relatīvās	≤ 20 gadi	Aritmētiski vidējais, %	5.6	6.6	8.1	15.3	13.1	4.8	3.8	-1.2	5.6	12.3	20.3	35.6	48.7	53.5	57.3	56.1	Pozitīva - būtiska
		Objektu skaits	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
		95% ticamības intervāls, %	3.8	5.3	5.9	9.4	9.6	6.3	6.7	5.8	3.8	8.6	13.7	17.7	25.3	30.4	35.5	40.1	
	21-40 gadi	Aritmētiski vidējais, %	-2.2	0.3	0.8	3.3	0.4	-0.6	4.5	0.4	-2.2	-1.9	-1.0	2.3	2.7	2.1	6.6	7.0	Pozitīva - nebūtiska
		Objektu skaits	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
		95% ticamības intervāls, %	1.8	5.5	3.6	7.4	1.4	4.2	17.4	6.7	1.8	3.8	7.3	13.9	15.2	11.0	28.4	34.6	



4.4. attēls. Caurmēra ikgadējais un kumulatīvais papildus pieaugums apšu audzēs pēc kopšanas cirtes, %

## Secinājumi

Priežu audzēs 21-40 gadu vecumā vērojams pozitīvs caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums, 41-60 gadu vecumā – neitrāls.

Egļu audzēs vecumā līdz 20 gadiem – neitrāls caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums, 21-40 gadu vecumā – pozitīvs.

Bērzu audzēs līdz 60 gadiem – neitrāls caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums.

Apšu audzēs līdz 20 gadiem – pozitīvs caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums, 21-40 gadu vecumā – neitrāls.

## 5. Dabisko traucējumu ietekmes uz augšanas gaitu novērtējums

Dabiskie traucējumi piem., vējš, uguns, sasalstošs lietus u.c., audzes augšanas gaitu ietekmē vismaz 2 veidos:

- 1) bojājot kokus līdz augtspējas zaudēšanai, tos nolaužot, vai saliecot stumbrus, izgāžot ar visu sakņu sistēmu, vai arī bojājot kambiju stumbrā un saknēs, kā arī bojājot lapas.
- 2) Izmainot izdzīvojušo koku augšanas gaitu.

Koku izdzīvošana/atmiršana pēc ugunsgrēka, pēc vētrām vai sasalstoša ledus traucējumiem analizēti citos pētījumos, piem., „Ekstrēmu vēju ātrumu ietekmes uz kokaudzes noturību novērtējums...”, (J.Donis 2007), „Meža ugunsgrēka ietekmes uz koku dzīvotspēju novērtēšanas metodika”, (J.Donis, 2010), „Sniegliēcū bojāto bērzu jaunaudzū novērtēšana Dienvidlatgales mežsaimniecībā”, (J.Donis 2011).

Iepriekšējos gados šī projekta ietvaros ievākta informācija par pieauguma izmaiņām sekojošu traucējumu rezultātā:

- Ugunsgrēku ietekmē;
- Vēja bojājumu ietekmē.

Pašreiz mūsu rīcībā ir informācija par sākotnējām (līdz 5 gadi) izmaiņām pieaugumos P pēc ugunsgrēka, E pēc vēja bojājumiem. Pašreiz nav informācijas par pieauguma izmaiņām kokiem, kas izdzīvojuši ledus/sniega liektās audzēs.

Līdz šim šī projekta ietvaros modeļi ir būvēti kā deterministiski. Ja nepieciešams modeļos iekļaut arī dabisko traucējumu radīto atmirumu un atbilstošās pieauguma izmaiņas, nepieciešams veidot stohastiskos modeļus, kuros tiktu ņemts vērā, dabiskā traucējuma aģenta „spēks”, atkārtotās frekvence, tā ietekme uz kokaudzi (bojājuma pakāpi). Šādi aprēķini pašreiz tiek veikti citu kompetences centra pētījumu virzienu ietvaros.

Konstatēts, ka dabiskie traucējumi ievērojami izmaina kokaudzes struktūru, tādēļ, ka dažādu sugu, un dažādu dimensiju indivīdi atšķirīgi cieš no viena un tā paša dabiskā traucējuma aģenta. Piem., kā snieglauzēs, tā ugunsgrēkos vairāk cieš relatīvi tievāki koki.

## 6. Uz MSI datiem izstrādāto modeļu salīdzinājums ar ilglaicīgo parauglaukumu datiem

### Materiāls un metodika

Datu analīzē izmantoti parauglaukumu dati, kas ierīkoti un atkārtoti uzmērīti sekojošos iepriekšējos gados izstrādātajos projektos:

- LVM pētījumu projekts „Dabisko meža biotopu apsaimniekošana Latvijā” (2003.-2005. gads);
- MAF pētījumu projekta „Nekailciršu meža apsaimniekošanas modeļa izstrāde” (2004.-2008. gads);
- MAF pētījumu projekts „Latvijas meža resursu ilgtspējīgas, ekonomiski pamatotas izmantošanas un prognozēšanas modeļu izstrāde” (2010.-2014. gads);
- LVM pētījumu projekts „Saimnieciskās darbības novērtējums izlases ciršu saimniecībā” (2011.-2012. gads);

Kopā datu analīzē izmantoti dati par 102 meža elementiem no 57 objektiem, kas analizēti 199 atkārtojumos. Periods starp uzmērīšanas reizēm ir 4-20 gadi. Analīzē iekļauti dati par priežu, egļu, bērzu un melnalkšņu meža elementiem.

6.1. tabula

**Analīzē izmantoto atkārtoti pārmērīto ilglaicīgo parauglaukumu 1. uzmērīšanas taksācijas rādītāju vidējās vērtības un to diapazons**

Elements	A (gadi)			D (cm)			H (m)			N (ha-1)		
	Vid	Min	Max	Vid	Min	Max	Vid	Min	Max	Vid	Min	Max
Priede	83	6	243	23.6	3.8	47.7	17.6	3.7	32.3	1685	10	14231
Egle 1. stāvs	82	9	186	21.6	5.8	48.1	19.8	5.2	31.5	746	12	3275
Egle 2. stāvs	70	56	83	12.1	8.1	17.3	13.8	8.7	18.4	243	5	640
Bērzs	72	50	89	23.7	11.6	34.9	21.7	14.2	28.7	153	10	787
Melnalksnis	70	53	92	25.6	11.1	39.0	21.4	11.7	27.1	237	15	653

### Rezultāti

Meža elementa vidējā caurmēra aktualizācijas modeļa (1.6. vienādojums) prognozētās vērtības, pārbaudot to uz ilglaicīgajiem parauglaukumu datiem, visiem meža elementiem neatšķiras vairāk par vienu centimetru (6.2. tabula). Starpība starp prognozētajām un uzmērītajām meža elementa vidējā caurmēra vērtībām visos gadījumos ir mazāka par 10%.

Meža elementa vidējā augstuma aktualizācijas modeļa (1.4. vienādojums) prognozētās vērtības, pārbaudot to uz ilglaicīgajiem parauglaukumu datiem, visiem meža elementiem neatšķiras vairāk par vienu metru (6.2. tabula). Starpība starp prognozētajām un uzmērītajām meža elementa vidējā augstuma vērtībām visos gadījumos ir mazāka par 10%.

Meža elementa koku skaita aktualizācijas modeļi priedes un egles meža elementiem sistemātiski pārvērtē starp periodiem atmirušo koku daudzumu, bet bērza un melnalkšņa meža elementiem ir novērojama pretēja sakarība (6.2. tabula). Priedes, bērza un melnalkšņa meža elementiem koku skaita starpība starp prognozētajām un uzmērītajām vērtībām visiem aprēķina modeļiem ir mazākas par 10%. Bet egles meža elementiem prognozētās koku skaita vērtības ir 8-40% mazākas nekā uzmērītās vērtības, kas nozīmē, ka modeļi starp uzmērīšanas periodā prognozē lielāku atmirumu.

**Uz MSI datiem izstrādāto modeļu statistiskie rādītāji, pārbaudot tos uz ilglaicīgiem  
parauglaukumiem**

Taksācijas vienība	Meža elements	Līdz 20 gadiem									Līdz 10 gadiem								
		MRES*	AMRES	RMSE	MSE	MEF	VR	R	R2	N	MRES	AMRES	RMSE	MSE	MEF	VR	R	R2	N
Caurmērs 1.6.vienādojums	Priede	-0.64	1.47	2.45	5.94	0.03	0.899	0.986	0.972	95	0.05	0.93	1.28	1.62	0.01	0.939	0.996	0.993	78
	Egle 1. stāvs	-0.92	2.01	3.12	9.51	0.09	0.749	0.961	0.924	47	-0.09	1.45	2.35	5.37	0.05	0.827	0.976	0.952	38
	Egle 2. stāvs	0.52	0.79	1.20	1.34	0.13	0.914	0.951	0.904	18	0.52	0.79	1.20	1.34	0.13	0.914	0.951	0.904	18
	Bērzs	-0.07	0.69	1.01	0.97	0.02	0.973	0.989	0.978	24	-0.07	0.69	1.01	0.97	0.02	0.973	0.989	0.978	24
	Melnalksnis	0.81	1.09	2.04	3.83	0.06	0.932	0.978	0.956	15	0.81	1.09	2.04	3.83	0.06	0.932	0.978	0.956	15
Augstums 1.4.vienādojums	Priede	0.06	0.62	0.93	0.86	0.01	1.062	0.995	0.990	95	0.05	0.55	0.82	0.66	0.01	1.065	0.996	0.993	78
	Egle 1. stāvs	-0.60	0.90	1.71	2.86	0.08	0.881	0.967	0.934	47	-0.67	0.89	1.81	3.18	0.08	0.825	0.965	0.931	38
	Egle 2. stāvs	0.24	0.92	1.34	1.68	0.22	1.473	0.932	0.868	18	0.24	0.92	1.34	1.68	0.22	1.473	0.932	0.868	18
	Bērzs	-0.60	0.80	1.35	1.73	0.07	0.944	0.973	0.946	24	-0.60	0.80	1.35	1.73	0.07	0.944	0.973	0.946	24
	Melnalksnis	-0.07	1.60	2.53	5.87	0.16	0.842	0.917	0.840	15	-0.07	1.60	2.53	5.87	0.16	0.842	0.917	0.840	15
Koku skaits modelis1** 1.7./1.7.1./1.7.2. vienādojumi	Priede	128	194	443	193797	0.07	0.910	0.968	0.937	95	14	95	222	48714	0.02	1.070	0.992	0.984	78
	Egle 1. stāvs	263	266	568	313701	0.33	0.292	0.973	0.946	47	126	130	424	173547	0.29	0.258	0.990	0.979	38
	Egle 2. stāvs	11	32	73	4781	0.05	0.736	0.983	0.966	18	11	32	73	4781	0.05	0.736	0.983	0.966	18
	Bērzs	-20	29	63	3625	0.09	0.850	0.966	0.933	24	-20	29	63	3625	0.09	0.850	0.966	0.933	24
	Melnalksnis	-13	20	47	1831	0.03	0.957	0.990	0.979	15	-13	20	47	1831	0.03	0.957	0.990	0.979	15
Koku skaits modelis2 1.7./1.7.1./1.7.2. vienādojumi	Priede	144	219	493	240145	0.08	0.806	0.964	0.929	95	37	128	327	105282	0.04	0.937	0.982	0.964	78
	Egle 1. stāvs	187	191	423	173905	0.17	0.447	0.986	0.973	47	86	91	305	89463	0.14	0.436	0.995	0.990	38
	Egle 2. stāvs	15	25	73	4526	0.04	0.750	0.991	0.983	18	15	25	73	4526	0.04	0.750	0.991	0.983	18
	Bērzs	-17	23	49	2215	0.05	0.921	0.980	0.961	24	-17	23	49	2215	0.05	0.921	0.980	0.961	24
	Melnalksnis	-4	19	56	2317	0.02	0.812	0.993	0.986	15	-4	19	56	2317	0.02	0.812	0.993	0.986	15
Koku skaits modelis3 1.7.2.vienādojums	Priede	160	212	428	180947	0.07	0.877	0.971	0.943	95	54	118	225	50003	0.02	1.022	0.991	0.982	78
	Egle 1. stāvs	287	288	543	288259	0.34	0.296	0.973	0.947	47	155	156	405	159137	0.31	0.251	0.992	0.985	38
	Egle 2. stāvs	38	57	93	8036	0.14	0.687	0.954	0.911	18	38	57	93	8036	0.14	0.687	0.954	0.911	18
	Bērzs	-28	45	65	4007	0.15	0.687	0.950	0.903	24	-28	45	65	4007	0.15	0.687	0.950	0.903	24
	Melnalksnis	-2	34	56	2806	0.08	1.011	0.961	0.924	15	-2	34	56	2806	0.08	1.011	0.961	0.924	15
Koku skaits modelis4 1.7.3.vienādojums	Priede	177	229	470	218799	0.08	0.779	0.969	0.939	95	82	147	324	103837	0.04	0.894	0.982	0.965	78
	Egle 1. stāvs	201	202	400	155720	0.18	0.454	0.986	0.973	47	104	106	290	81383	0.15	0.428	0.996	0.992	38
	Egle 2. stāvs	42	46	86	6720	0.10	0.684	0.982	0.965	18	42	46	86	6720	0.10	0.684	0.982	0.965	18
	Bērzs	-5	19	36	1232	0.04	0.851	0.982	0.964	24	-5	19	36	1232	0.04	0.851	0.982	0.964	24
	Melnalksnis	13	24	51	2329	0.05	0.775	0.982	0.964	15	13	24	51	2329	0.05	0.775	0.982	0.964	15

\*MRES - vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze; RMSE - standartkļūda; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R2 - determinācijas indekss; N - meža elementu skaits.

\*\* modelis 1 - nākošā perioda koku skaitu aprēķina ar 1.7. formulu, kur n'2 aprēķina ar 1.7.2. formulu; modelis 2 - nākošā perioda koku skaitu aprēķina ar 1.7. formulu, kur n'2 aprēķina ar 1.7.3. formulu; modelis 3 - nākošā perioda koku skaitu aprēķina ar 1.7.2. formulu; modelis 4 - nākošā perioda koku skaitu aprēķina ar 1.7.3. formulu.

## 7. Saimnieciski nozīmīgāko koku sugu koku skaita izmaiņu aproksimēšana saimnieciskās darbības (koku ciršana) rezultātā un izstrādāto regresijas modeļu kvalitātes un ticamības novērtējums

Analīzē izvērtēti LVM apsaimniekošanā esoši MSI parauglaukumu koku dati.

Izvērtējot MSI datus izcirsto un saglabāto koku skaita attiecības (skat. 7.1.tabulu), konstatēts, ka I MSI cikla laikā (5 gados) parauglaukumos izcirstas vidēji 5.6% priežu, apm. 10% egļu, bērzu un baltalkšņu, 5.9% melnalkšņu un 15% apšu.

Tā kā mūsu rīcībā nav informācijas par to kāds ir bijis „saimnieciskais rīkojums”, t.i., cirtes veids – kopšanas cirte, sanitārā cirte utt., tad vienkāršoti var pieņemt, ka tiek izcirsti vai nu sugai atbilstošais vidējais izcirstais apjoms vai arī sugai un vecuma desmitgadei atbilstošais vidējais koku īpatsvars (skat. 7.2. tabula).

7.1.tabula.

MSI parauglaukumos konstatētā cirtes intensitāte dažāda vecuma desmitgažu audžu kociem I MSI cikla laikā.

Rādītāji	Vecumdesmitgade									Kopā
	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	
P, n	203	767	1281	2167	2514	3110	2292	2171	1298	15821
P, nocirsti,%	5.4	12.3	5.0	6.1	7.2	3.8	4.8	5.2	4.4	5.6
E, n	474	1827	3211	2365	2570	2762	1616	1382	727	16998
E nocirsti,%	1.7	7.3	8.6	10.3	11.5	14.0	14.2	9.0	11.8	10.5
B, n	454	682	1478	1827	1730	1342	745	403	175	8959
B nocirsti,%	6.2	5.0	8.3	5.1	11.5	14.8	21.3	8.4	6.3	10.4
M, n	46	244	371	682	521	312	115	45	10	2374
M nocirsti,%		0.4	7.8	1.2	9.0	8.7	9.6			5.9
A, n	118	85	129	343	398	282	82	31	6	1500
A nocirsti,%	3.4		38.0	14.3	17.3	9.2				15.1
Ba, n	196	232	155	91	52	34	5	4		814
Ba nocirsti,%	3.1	7.3	11.6							10.0

7.2.tabula.

MSI parauglaukumos konstatētā cirtes intensitātes dažāda vecuma desmitgažu audžu kociem I MSI cikla laikā aproksimācijas vienādojumi.

Suga	Cirtes intensitāte atkarībā no vecuma 10 gades, %	R <sup>2</sup>	Izmantošanas diapazons (vecumdesmitgažu)
P	$y = -0.8489x + 11.445$	R <sup>2</sup> = 0.4254	3-10
E	$y = 1.4861x + 2.8042$	R <sup>2</sup> = 0.9778	3-8
B	$y = 1.6945x + 0.854$	R <sup>2</sup> = 0.6508	2-7
A	$y = 17.297x - 31.205$	R <sup>2</sup> = 1	2-4
M	$y = 1.7846x - 3.5181$	R <sup>2</sup> = 0.5761	2-7
Ba	$y = 4.2758x - 5.4936$	R <sup>2</sup> = 1	2-4

## 8. Augšanas gaitas (G, H, D) modeļi saimnieciskās darbības ietekmē

Lai izvērtētu kādi ir izcirsto un saglabāto koku caurmēri aprēķināts koku caurmērs I ciklā, kuri ir dzīvi II MSI ciklā un to koku caurmērs I ciklā, kuri nocirsti (skat.8.1.tabula), konstatēts, ka vecākās audzēs izcirsto koku relatīvais caurmērs pieaug. Lineārie vienādojumi, kas izmantojami, lai aprēķinātu relatīvo koku caurmēru atkarībā no sugas un vecumdesmitgades atspoguļoti 8.2. tabulā.

8.1.tabula

Saglabāto un nocirsto koku caurmēri un to attiecības dažāda vecuma desmitgažu audžu kokiem I MSI cikla laikā

Rādītāji	Vecumdesmitgade									Kopā
	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	
P, d, cm	8.9	13.6	16.9	18.9	21.0	22.2	23.6	24.3	25.9	21.4
P, nocirsti $d_{relat}$ , %		83.6	84.4	94.5	94.7	102.0	102.5	122.7	127.5	98.8
E, d, cm	9.9	13.6	16.6	17.0	17.7	18.8	19.9	18.3	17.4	17.1
E, nocirsti $d_{relat}$ , %		74.5	80.4	85.3	83.1	93.1	101.4	93.1	94.9	91.4
B, d, cm	7.1	10.7	14.6	17.8	20.5	21.7	21.4	22.0	19.3	17.6
B, nocirsti $d_{relat}$ , %		76.7	79.0	99.0	100.7	105.3	106.0	103.7		103.3

8.2.tabula

Saglabāto un nocirsto koku caurmēri un to attiecības dažāda vecuma desmitgažu audžu kokiem I MSI cikla laikā.

Suga	Cirtes intensitāte atkarībā no vecuma 10 gades, %	R <sup>2</sup>	Izmantošanas diapazons (vecumdesmitgažu)
P	$y = 6.3072x + 60.499$	R <sup>2</sup> = 0.9113	3-10
E	$y = 4.8582x + 59.573$	R <sup>2</sup> = 0.9017	3-8
B	$y = 7.9049x + 52.631$	R <sup>2</sup> = 0.8844	3-7

Taču arī šajā gadījumā jāpatur prātā, ka mūsu rīcībā nav informācija par saimnieciskās darbības veidu. Visticamākais, ka briestaudžu vecuma audzēs veikta sanitārā cirte.

Modeļos paredzēta ne tikai N un G, bet arī D, H maiņa kopšanas rezultātā un attiecīgi paredzot iespēju „simulēt”:

- Neitrāla atlase, kad kopšanas rezultātā D vidējais un H vidējais saglabājas tāds pats, samazinās G un N.
- Kopšana no apakšas, kad H vidējais un D vidējais pieaug, G un N samazinās.
- Kopšana no augšas, kad H vidējais, D vidējais, G un N samazinās.
- un 2) kombinācija -1) uz pievešanas ceļiem (līdz 20% no platības) un 2) pārējā platībā (šī pieeja gan nav attiecināma uz MSI parauglaukumu datiem)

Kopšanas cirtes veida un intensitātes raksturošanai izmanto sekojošus rādītājus (von Gadow, Hui, 1999):

Kopšanas cirte intensitāte

$$rG = \frac{G_{izc}}{G_{kop}}, \quad (8.1.)$$

kur  $rG$  – kopšanas cirtes intensitāte, 0 - 1

$G_{izc}$  – izcirsto koku šķērslaukums,  $m^2ha^{-1}$ ,

$G_{kop}$  – kopējais (sākotnējais) koku šķērslaukums,  $m^2ha^{-1}$

$$NG = \frac{N_{izc}/N_{kop}}{G_{izc}/G_{kop}}, \quad (8.2.)$$

kur NG – kopšanas cirtes tips, (ja neitrāla atlase, tad NG=1.0; ja kopšana no apakšas, tad NG >1.0; ja kopšana no augšanas, tad NG <1.0)

$N_{izc}$  – izcirsto koku skaits, ha<sup>-1</sup>,

$N_{kop}$  – kopējais (sākotnējais) koku skaits, ha<sup>-1</sup>

$G_{izc}$  – izcirsto koku šķērslaukums, m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>,

$G_{kop}$  – kopējais (sākotnējais) koku šķērslaukums, m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>

Vidējā caurmēra pēc kopšanas cirtes aprēķināšanai izmanto sekojošu vienādojumu:

$$D = \sqrt{\frac{40000 * (G_{kop} - G_{kop} * rG)}{\pi * (N_{kop} - N_{kop} * rG * NG)}} \quad (8.3.)$$

Atbilstoši 7.nodaļā un šajā nodaļā konstatētajām sakarībām starp koku caurmēra pieaugumu atkarībā no kopšanas cirtes veikšanas.

Izmaiņas vidējā augstumā aprēķināmas izmantojot sakarības 1.nodaļā aprakstītai metodikai.

## **9. Mistrotu audžu meža elementu augšanas gaitas (G, H, D) modeļu izstrāde, balstot uz MSI datiem**

Modelējot mistrotu audžu augšanas gaitu izmanto 1. nodaļā aproksimētos vienādojumus, jo tie būvēti atsevišķu elementu taksācijas rādītāju prognozēšanai. Veicot dispersijas analīzi, konstatēts, ka nav statistiski būtiskas atšķirības augšanas gaitā (augstums un caurmērs) vai atbilstošā suga veido meža elementu, kurš ir valdošais vai tā ir piemistrojumā, skat.1.2.2. un 1.2.9. tabulas.

## **10. Augšanas gaitas modeļi (G, H, D) II stāva kokiem, augšanas gaitu novērtējuma, izmantojot MSI parauglaukumu informāciju**

Izmanto 1. nodaļā aproksimētos vienādojumus, jo tie būvēti arī 2. stāva egles taksācijas rādītāju prognozēšanai. Citas sugas MSI parauglaukumos 2. stāvā sastopamas reti, tādēļ datu apjoms nepietiekams, lai tos izmantotu augšanas gaitas modeļu izstrādei.

## Secinājumi

1. Izstrādāts jauns meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra koka augstuma pieauguma vienādojums, kas balstīts uz *Hossfeld IV* funkcijas vispārinātās algebriskās diferences pieeju, tādējādi augstuma pieaugumu var prognozēt zinot tikai audzes augstumu un vecumu, bet nav nepieciešama informācija par bonitāti.
2. Precizētas jaunas koeficientu vērtības iepriekšējos gados izstrādātajam vienādojumam meža elementa vidējā augstuma un valdaudzes augstuma aprēķināšanai atkarībā no meža elementa virsaugstuma un koku skaita.
3. Izstrādāts jauns meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra pieauguma vienādojums, kas balstīts uz *Hossfeld IV* funkcijas vispārinātās algebriskās diferences pieeju, tādējādi caurmēra pieaugumu var prognozēt zinot tikai meža elementa caurmēru un vecumu, un audzes koku skaitu, bet nav nepieciešama informācija par bonitāti. Algebriskās diferences vienādojumi ir papildināti ar koku savstarpējās konkurences rādītāju - relatīvo koku skaitu (mežaudzes 1. stāva koku skaita attiecība, pret teorētiski iespējamo maksimālo koku skaitu
4. Izstrādāts jauns algoritms atsevišķa meža elementa koku skaita izmaiņu modelēšanai atkarībā no meža elementa un audzes taksācijas rādītājiem.
5. Aproximētas jaunas koeficientu vērtības iepriekšējos gados izstrādātajiem vienādojumiem faktiskās audzes tekošā vidēji periodiskā krājas pieauguma aprēķināšanai un krājas tekošā vidēji periodiskā dabiskā atmiruma aprēķināšanai.
6. Lai adekvāti ņemtu vērā dabiskos traucējumu izraisītās izmaiņas augšanas gaitā nepieciešams izmantot stohastiskos augšanas gaitas modeļus.
7. Salīdzinot ar ilglaicīgo parauglaukumu datiem, konstatēts, ka 20 gadu periodā D un H izmaiņu prognozēs, kā arī skaita izmaiņu prognozes iekļaujas +/-10%, izņemot skaita izmaiņas egļu audzēs tiek novērtētas neadekvāti (E izdzīvošana parauglaukumos ir augstāka nekā prognozēts).
8. Konstatēts, ka koku ciršana līdz pieaugušu audžu vecuma sasniegšanai I ciklā laikā vidēji izcirsti atkarībā no sugas 5-15 % koku.
9. Aproximēta sakarība par dimensiju izmaiņām tūlīt pēc kopšanas cirtes. Jaunākās vecumgrupās ir izteikti „cirte no apakšas”, savukārt vecākās vecumgrupās izcirsto un saglabāto koku caurmēri kļūst līdzīgāki, kas iespējams, saistīts ar sanitāro ciršu veikšanu briestaudžu vecumā
10. Mirstotu audžu augšanas gaitā nav konstatētas būtiskas atšķirības vai konkrētā suga ir valdošā vai piemistrojumā.
11. II stāva augšanas gaita aproksimēta tikai eglei, pārējām sugām, nav pietiekams datu apjoms.

## Literatūra

Álvarez González, J.G., Castedo Dorado, F., Ruíz González, A.D., López Sánchez, C.A. (2004) A two-step mortality model for even-aged stands of *Pinus radiata* D. Don in Galicia (Northwestern Spain) *Ann. For. Sci.*, 61, pp. 439-448.

Fridman, J. and Stahl, G. (Department of Forest Resource Management and Geomatics, SLU, SE-901 83 Umeå). A three-step approach for modelling tree mortality in Swedish forests. Received September 7, 2000. Accepted May 22, 2001. *Scand. J. For. Res.* 16: 455 – 466, 2001.

Liepa, I. (1974) *Biometrija*. Rīga. 336 lpp.

Liepa, I. (1996) *Pieauguma mērīšana*. Jelgava. 123 lpp.

Ozols, J. (1926) *Meža taksācija un mežierīcība*. Rokas grāmata mežkopjiem. Rīga. Mežu departamenta izdevums. 173 lpp.

Pretzsch H. (2010) *Forest dynamics, growth and yield. From measurement to model*. Berlin, Heidelberg

Saceniņš, R., Matuzānis, J. (1964) *Mežsaimniecības tabulas*. Latvijas valsts izdevniecība, Rīga, 207 lpp.

Sarma, P. (1948). *Meža taksācija*. Latvijas Valsts izdevniecība, Rīga, 590. lpp.

Spiecker, H. (1999). Overview of recent growth trends in European forests. *Water Air and Soil Pollution*. 116: 33-46.

Von Gadow, K., Hui, G. (1999) *Modelling forest development*. Kluwer academic publishers. 213 pp.

Кивисте, А.К. (1988) *Функции роста леса учебно-справочное пособие (приложении)*. Тарту. ст. 172.

Матузанис, Я.К. (ред.) (1988) *Нормативы для таксации леса Латвийской ССР*, Рига. ст. 176.