



(Līgums Nr. L-KC-11-0004)

Metodes un tehnoloģijas meža kapitālvērtības palielināšanai

virziena

Mežaudžu augšanas gaitas un pieauguma modeļu izstrāde

Gala atskaite

Pētījums veikts sadarbībā ar:
Latvijas Valsts mežzinātnes institūtu „Silava”
AS „Latvijas valsts meži”
SIA "MNKC"

Virziena vadītājs: J.Donis

Salaspils
2015

Kopsavilkums

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

Atbilstoši metodikai 5.etapā paredzēti sekojoši darba uzdevumi:

1.darba uzdevums ***Augšanas gaitas prognožu modeļu izstrāde.***

- ***Vienādojumu koeficientu vērtību precizēšana;***
- ***vienādojums balstīts uz 5 gadu 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.***

Izstrādāti vidējā augstuma, virsaugstuma un vidējā caurmēra aktualizācijas modeļi, kas balstīti uz *Hossfeld IV* vienādojuma vispārinātās algebriskās pieejas modeļi, tādēļ tie ir „neatkarīgi” no bonitātes.

Aproksimēta sakarība starp mežaudzes vidējo augstumu un virsaugstumu, kas ņem vērā ne tikai šos abus taksācijas rādītājus, bet arī mežaudzes koku skaitu.

Izstrādāts atsevišķa meža elementa koku skaita aktualizācijas modelis, kas atkarīgs no:

- meža elementa teorētiski maksimālā koku skaita, kas atkarīgs no meža elementa caurmēra un augstuma;
- divpakāpju atmiruma modeļa, kas atkarīga no:
 - atmiršanas varbūtības, kas ņem vērā meža elementa dimensijas, mežaudzes 1. un 2.stāva šķērslaukumu;
 - atmirušo koku daudzuma, kas ņem vērā meža elementa dimensijas, meža elementa momentāno augšanas ātrumu un meža elementa vecumu.

Izstrādāts meža elementa šķērslaukuma aktualizācijas modelis, kas atkarīgs no meža elementa šķērslaukuma, koku skaita un vidējā augstuma aktualizācijas perioda sākumā, kā arī no meža elementa vidējā augstuma un koku skaita aktualizācijas perioda beigās. Šis šķērslaukuma aktualizācijas modelis teorētiski paredz, ka atmirst meža elementa mazākie, nomāktākie koki.

2.darba uzdevums ***Pieauguma, atmiruma un krājas diferences prognožu modeļu izstrāde.***

- ***vienādojums balstīts uz 5 gadu MSI mērījumu datiem;***
- ***modelējamās sugas – priede, egle, bērzs, apse, melnalksnis, baltalksnis;***
- ***prognožu modeļi pa koku sugām un bonitātēm.***

Izstrādāti vienādojumi mežaudzes un mežaudzes I stāva faktiskās audzes krājas tekošā pieauguma prognozēšanai, atkarībā no valdošās koku sugas vecuma, Orlova bonitātes un attiecīgā šķērslaukuma. Egles, apses un baltalkšņa audzēs bonitāte ir statistiski nebūtisks rādītājs.

Izstrādāti vienādojumi mežaudzes un mežaudzes I stāva krājas atmiruma prognozēšanai, kas atkarīgi no mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vecuma un mežaudzes attiecīgā šķērslaukuma.

Mežaudzes krājas diference aprēķināma algebriski no faktiskās audzes krājas pieauguma atņemot dabisko atmirumu un izcirsto krāju.

3.darba uzdevums ***Kopšanas ciršu ietekme uz pieaugumu izmaiņām vērtējums.***

Izstrādāti vienādojumi meža elementa caurmēra papildus pieauguma aproksimēšanai piecu gadu periodā pēc kopšanas cirtes veikšanas.

4.darba uzdevums *Dabisko traucējumu ietekmes uz augšanas gaitu novērtējums.*

Projekta ietvaros noskaidrots, ka meža ugunsgrēku un vējgāzes radītā ietekme uz caurmēra pieaugumu ir īslaicīga un neviennozīmīga. Līdz ar to šo dabisko traucējumu ietekme augšanas gaitas modelēšanā pašreiz netiek ņemta vērā.

5.darba uzdevums *Uz MSI datiem izstrādāto modeļu salīdzinājums ar ilglaicīgo parauglaukumu datiem.*

Salīdzinot ar ilglaicīgo parauglaukumu datiem līdz 10 gadu periodam, caurmēra un augstuma aktualizācijas modeļi nodrošina +/-10% vidējo vērtības sakritību. Koku skaita un šķērslaukuma izmaiņas jaunākajiem priežu elementiem un bērzu elementiem prognozes neiekļaujas +/- 10%, egles, melnalkšņa un vecākajiem priežu elementiem prognozētās koku skaita un šķērslaukuma vērtības neiekļaujas +/- 10%.

6.darba uzdevums *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.

7.darba uzdevums *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 caurmērs kļūst līdzīgāks, kas iespējams, saistīts ar sanitāro ciršu veikšanu briestaudžu vecumā.

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

Pētījumā konstatēts, ka I stāvā koku augšanas gaitā nav statistiski būtiskas atšķirības vai meža elements ir valdošais vai piemistrojuma, tādēļ gan valdošo, gan piemistrojuma meža elementu augšanas gaitas modelēšanai izmantojami 1. darba uzdevuma ietvaros izstrādātie modeļi.

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

Augšanas gaitas modeļi (H,D,N,G) izstrādāti tikai egles II stāva modelēšanai, jo tikai šīs sugas meža elementiem bija pietiekams datu apjoms, lai izstrādātu statistiski korektus taksācijas rādītāju vienādojumus.

10.darba uzdevums *Augšanas gaitas modeļu kvalitātes un ticamības vērtējums:*

- ***G, V izmaiņas faktiskās pēc MSI datiem salīdzinājumā ar G,V izmaiņām, kas aprēķinātās pēc N izmaiņas vienādojumiem.***

Izstrādātie augšanas gaitas modeļi I stāva meža elementiem šķērslaukuma un krājas izmaiņām nodrošina +/-10% sakritību ar uzmērītajām vērtībām. Savukārt egles II stāva šķērslaukuma un krājas izmaiņas iekļaujas +/-15% robežās.

Saturs

KOPSAVILKUMS	2
IEVADS.....	5
DEFINĪCIJAS UN TERMINI	6
1. AUGŠANAS GAITAS PROGNOŽU MODEĻU IZSTRĀDE	9
1.1. AUGSTUMA AUGŠANAS GAITAS MODELIS.....	10
1.1.1. Vidējā augstuma augšanas gaitas modelis.....	10
1.1.2. Virsaugstuma augšanas gaitas modelis.....	16
1.2. CAURMĒRA AUGŠANAS GAITAS MODELIS	18
1.3. KOKU SKAITA IZMAIŅU MODELIS	23
1.4. ŠĶĒRSLAUKUMA IZMAIŅU MODELIS	27
2. PIEAUGUMA, ATMIRUMA UN KRĀJAS DIFERENCES PROGNOŽU MODEĻU IZSTRĀDE.....	32
2.1. FAKTISKĀS AUDZES TEKOŠĀ PIEAUGUMA MODELIS	32
2.2. ATMIRUMA MODELIS	35
2.3. KRĀJAS DIFERENCES MODELIS.....	38
3. KOPŠANAS CIRŠU IETEKME UZ PIEAUGUMU IZMAIŅĀM VĒRTĒJUMS.....	39
4. DABISKO TRAUČĒJUMU IETEKMES UZ AUGŠANAS GAITU NOVĒRTĒJUMS	41
4.1. VĒJGĀZES IETEKMES UZ AUGŠANAS GAITU NOVĒRTĒJUMS	41
4.2. UGUNSGRĒKU IETEKMES UZ AUGŠANAS GAITU NOVĒRTĒJUMS	45
5. UZ MSI DATIEM IZSTRĀDĀTO MODEĻU SALĪDZINĀJUMS AR ILGLAICĪGO PARAUGLAUKUMU DATIEM ..	48
6. SAIMNIECISKI NOZĪMĪGĀKO KOKU SUGU SKAITA IZMAIŅU APROKSIMĒŠANA SAIMNIECISKĀS DARBĪBAS (KOKU CIRŠANA) REZULTĀTĀ UN IZSTRĀDĀTO REGRESIJAS MODEĻU KVALITĀTES UN TICAMĪBAS NOVĒRTĒJUMS	50
7. AUGŠANAS GAITAS (G, H, D) MODEĻI SAIMNIECISKĀS DARBĪBAS IETEKMĒ.....	51
8. MISTROTU AUDŽU MEŽA ELEMENTU AUGŠANAS GAITAS (G, H, D) MODEĻU IZSTRĀDE, BALSTOT UZ MSI DATIEM.....	53
9. AUGŠANAS GAITAS MODEĻI (G, H, D) II STĀVA KOKIEM, AUGŠANAS GAITU NOVĒRTĒJUMA , IZMANTOJOT MSI PARAUGLAUKUMU INFORMĀCIJU	56
9.1. AUGSTUMA AUGŠANAS GAITAS MODELIS II STĀVA KOKIEM.....	56
9.2. CAURMĒRA AUGŠANAS GAITAS MODELIS II STĀVA KOKIEM	57
9.3. KOKU SKAITA IZMAIŅAS MODELIS II STĀVA KOKIEM.....	59
9.4. ŠĶĒRSLAUKUMA IZMAIŅAS MODELIS II STĀVA KOKIEM.....	59
10. AUGŠANAS GAITAS MODEĻU KVALITĀTES UN TICAMĪBAS VĒRTĒJUMS	61
SECINĀJUMI.....	74
LITERATŪRA.....	76

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 (Matuzānis, 1983). 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 (no 2004. līdz 2008.g.) laikā Latvijas teritorijā regulārā tīklā iekārtoti vairāki tūkstoši parauglaukumu. Daļu no šiem parauglaukiem 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 izveidoti matemātiski modeļi:

- Augšanas gaitas prognožu modeļi – atsevišķa meža elementa vidējais augstums, virsaugstums, vidējais caurmērs, koku skaits un šķērslaukums;
- Koksnes pieaugumu prognožu modeļi – tekošais pieaugums, atmirums, krājas diference pa sugām, vecuma klasēm.

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

Atbilstoši metodikai 5.etapā paredzēti sekojoši darba uzdevumi:

1. Augšanas gaitas prognožu modeļu izstrāde.
 - Vienādojumu koeficientu vērtību precizēšana:
 - vienādojumi balstīti uz 5 gadu 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:
 - vienādojumi balstīti uz 5 gadu MSI mērījumu datiem;
 - modelējamās sugas – priede, egle, bērzs, apse, melnalksnis, baltalksnis;
 - prognožu modeļi pa koku sugām un bonitātēm.
3. Kopšanas ciršu ietekme uz pieaugumu izmaiņām vērtējums.
4. Dabisko traucējumu ietekmes uz augšanas gaitu novērtējums.
5. Uz MSI datiem izstrādāto modeļu salīdzinājums ar ilglaicīgo parauglaukumu datiem.
6. Saimnieciski nozīmīgāko koku sugu skaita izmaiņu aproksimēšana saimnieciskās darbības (koku ciršana) rezultātā un izstrādāto regresijas modeļu kvalitātes un ticamības novērtējums.
7. Augšanas gaitas (G, H, D) modeļi saimnieciskās darbības ietekmē.
8. Mistrotu audžu meža elementu augšanas gaitas (G, H, D) modeļu izstrāde, balstot uz MSI datiem.
9. Augšanas gaitas modeļi (G, H, D) II stāva kokiem, augšanas gaitu novērtējuma, izmantojot MSI parauglaukumu informāciju.
10. Augšanas gaitas modeļu kvalitātes un ticamības vērtējums:
 - G, V izmaiņas faktiskās pēc MSI datiem vs;
 - G,V izmaiņas aprēķinātās pēc N izmaiņas vienādojumiem.

Definīcijas un termini

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

Vispārējie termini un definīcijas

Koks – daudzgadīgs augs, kas parasti veido vienu pārkoksnējušos stumbru un skaidri noteiktu vainagu.

Koka virszemes un pazemes daļa tiek dalīta pēc augsnes/grunts virskārtas līnijas. Koka virszemes daļu veido stumbrs, laterālā daļa un lapotne.

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

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

Kokaudze (audze) ir mežaudzes koku kopa.

Kokaudzes veids – vienkārša vai salikta:

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

Kokaudzes sastāvs – tīras (tīraudzis) un mistrotas (mistraudzis):

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

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

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

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

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

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

Kokaudzes biežums – koku skaits uz ha.

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

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

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

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

Mežaudzes stāvs - koku kopa, kuras augstumu atšķirības no koku vidējā augstuma nepārsniedz 20 %. Meža inventarizācijā otro stāvu izdala, ja tā koku vidējais augstums ir vismaz par 21 % mazāks nekā pirmā stāva koku vidējais augstums, bet nav mazāks par sešiem metriem.

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

- I klase - virsvaldkoki – audzes garākie un resnākie koki, kam ir labi attīstīts vainags un kuru galotnes paceļas virs kopējā vainagu klāja;
- II klase- valdkoki - veido galveno audzes vainaga klāju, to stumbriem ir nedaudz mazākas dimensijas nekā I klases kokiem;
- III klase - līdzvaldkoki – koku vainagi relatīvi vājāk attīstīti, šaurāki, iespiesti starp I un II klases koku vainagiem un atrodas kopējā vainagu klāja apakšējā daļā;
- IV klase - nomāktie koki – vainagi ir īsāki un šaurāki nekā III klases kokiem. Ar galotnēm tie iesniedzas galvenā vainagu klāja apakšējā daļā. Koki pēc izmēriem ievērojami atpaliek no I-III klases kokiem. Kokus iedala 2 apakšklasēs: IV a apakšklase – koki ar šauriem, bet vienmērīgi veidotiem

vainagiem un brīvu logu audzes vainaga klājā; IV b apakšklase - koki, kam vienpusīgs vainags vai kas atrodas zem audzes vainagu klāja un kuriem vainaga apakšējā daļa ir stipri noēnota vai atmirusi;

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

Paauga – jauno kociņu kopums, kas atrodas zem audzes vecākajiem kokiem vai arī izcirtumā pēc veco koku nociršanas un kas nākotnē var izveidot jaunu audzi un tā kļūs par mežsaimniecības objektu.

Krāja – Meža elementu veidojošo koku stumbra tilpums no celma augstuma līdz galotnei. Krāju var noteikt ar mizu vai bez mizas.

Audzes (meža elementa) krūšaugstuma caurmēra definīcijas

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

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

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

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

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

Audzes (meža elementa) vai to daļu augstuma definīcijas

Analīzē izmantotie saīsinājumi un to termini un definīcijas:

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

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

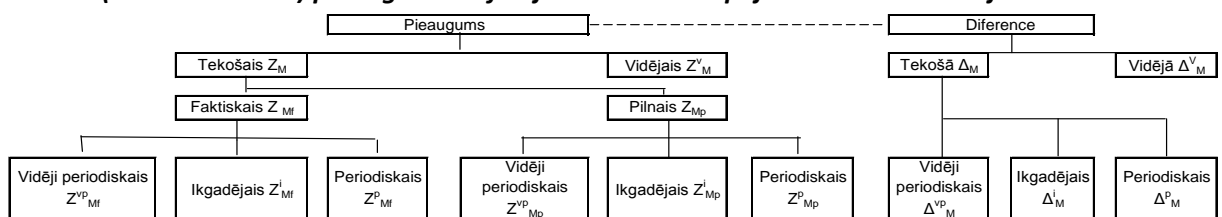
H_{dom} – virsaugstums, kas aprēķināts kā 100 resnāko koku ha^{-1} vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošs augstums.

Audzes (meža elementa) vecuma definīcijas

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

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

Audzes (meža elementa) pieaugumu definējums un savstarpējo attiecību skaidrojums



1.attēls. Audzes krājas pieauguma un diferences kopsakarības (pēc Liepa, 1996).

m_{A-n}	+	M^a_{A-n}	=	M_{A-n}
+		+		+
Z^p_{Mf}	+	Z^a_M	=	Z^p_{Mb}
=		=		=
M_A	+	M^a_n	=	M_n

2. attēls. Tekošo pieaugumu savstarpējo attiecību skaidrojums (Антанайтис, Загзеев, 1981)

M_A – audzes augošo koku krāja pašlaik; M_n – audzes ražīgums n gadu laikā; M_{A-n} – audzes krāja pirms n gadiem (pirms n gadiem audzē augošo koku krāja); n – perioda garums; A – audzes vecums; Z^p_{Mf} – pašreizējās (faktiskās) audzes periodiskais tekošais pieaugums; Z^p_{Mb} – bijušās (pirms n gadiem augošo koku) audzes krājas periodiskais tekošais pieaugums; m_{A-n} – pašreiz augošo koku krāja pirms n gadiem; Z^a_M – Atmiruma tekošais pieaugums; M^a_{A-n} – Atmiruma krāja pirms n gadiem; M^a_n – n gadu atmiruma krāja perioda beigās.

Krājas pieaugumu veidi un to aprēķināšanas vienādojumi

Pieauguma veids rādītājs	Apzīmējums	Vienādojums
Krājas tekošā periodiskā diference	Δ_M^p	$M_A - M_{A-n}$
Krājas tekošā vidēji periodiskā diference	Δ_M^{vp}	$\frac{M_A - M_{A-n}}{n}$
Krājas tekošais pilnais periodiskais pieaugums	Z_{Mp}^p	$M_A - M_{A-n} + M_n^a$
Krājas tekošais pilnais vidēji periodiskais pieaugums	Z_{Mp}^{vp}	$\frac{M_A - M_{A-n} + M_n^a}{n}$
Krājas tekošais faktiskais periodiskais pieaugums	Z_{Mf}^p	$M_A - m_{A-n}$
Krājas tekošais faktiskais vidēji periodiskais pieaugums	Z_{Mf}^{vp}	$\frac{M_A - m_{A-n}}{n}$

M_A - audzes krāja vecumā A (augošo koku krāja); M_{A-n} - audzes krāja pirms n gadiem (pirms n gadiem augošo koku krāja); n - laika intervāla lielums, kurā nosaka pieaugumu; M_n^a - atmiruma krāja (n gadu laikā atmitušo koku krāja perioda beigās); m_{A-n} - intervāla beigās audzē augošo koku krāja A-n gadu vecumā

Atskaitē izmantotie statistiskie rādītāji vienādojumu atbilstības izvērtēšanai apkopoti 2.tabulā.

Vienādojumu atbilstības izvērtēšanas statistiskie rādītāji

	Apzīmējums	Vienādojums	Ideālā vērtība
Vidējā novirze (Mean Residual)	MRES	$\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)}{n}$	0
Procentuālā vidējā novirze (Mean Residual as %)	MRES%	$\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)}{\bar{y}_i} 100$	0
Vidējā absolūtā novirze (Absolute Mean residual)	AMRES	$\frac{\sum y_i - \hat{y}_i }{n}$	0
Standartnovirze (Root mean square error)	RMSE	$\sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 1 - p}}$	0
Variācijas koeficients (Root mean square error as %)	RMSE%	$\sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 1 - p}} 100$	0
Vidējā kvadrātiskā kļūda (Mean square error)	MSE	$\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}$	0
Modeļa efektivitāte (Model efficiency)	MEF	$\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y}_i)^2}$	0
Dispersijas attiecība (Variance ratio)	VR	$\frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y}_i)^2}$	1

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

1. Augšanas gaitas prognožu modeļu izstrāde

Meža statistiskās inventarizācijas (MSI) parauglaukumu datu bāzē atlasīti un MS Excel datorprogrammā ievadīti dati par 5485 atkārtoti pārmērītiem parauglaukumiem, kas tālāk izmantoti augšanas gaitas prognožu modeļu izstrādē.

Katrā parauglaukumā aprēķināti gan 1. cikla, gan 2. cikla mežaudzes, katra atsevišķa mežaudzes stāva un katra atsevišķa mežaudzes elementa galvenie taksācijas rādītāji, kā arī izcirtās un atmirušās koksnes apjoms (krāja).

Atlasīto un ievadīto MSI parauglaukumu sadalījums pa 1. ciklā konstatētajām valdošajām koku sugām, meža tipi, bonitātēm un vecuma desmitgadēm atspoguļots 1.1.- 1.3. tabulā.

1.1. tabula

Parauglaukumu sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām un meža tipi

Valdošā koku suga	Meža tips																			Kopā				
	SI	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
Kopā	50	197	213	881	1108	160	1	111	228	191	30	181	154	168	11	5	83	695	246	31	126	464	151	5485

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	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
Kopā	536	391	453	628	697	688	629	457	346	197	157	100	66	40	22	15	8	5	1	1	2	5485

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
Kopā	1716	1822	917	563	235	107	79	5485

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 ievietošanas 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.

1.1. Augstuma augšanas gaitas modelis

1.1.1. Vidējā augstuma augšanas gaitas modelis

Materiāls un metodika

Vidējā augstuma augšanas gaitas aproksimācijai izmantoti vienādojumi, kas balstīti uz vispārinātās algebriskās diferences pieeju (*GADA - generalized algebraic difference approach*), kas ļauj augstuma pieaugumu prognozēt zinot tikai audzes augstumu un 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):**

$$H_2 = 1.3 + (H_1 - 1.3) \left(\frac{1 - \exp[-b_1 A_2]}{1 - \exp[-b_1 A_1]} \right)^{\left(b_2 + \frac{b_3}{X_0} \right)} \quad (1.1)$$

$$X_0 = \frac{1}{2} \left[(\ln(H_1 - 1.3) - b_2 L_0) + \sqrt{(\ln(H_1 - 1.3) - b_2 L_0)^2 - 4b_3 L_0} \right] \quad (1.1.1)$$

$$L_0 = \ln(1 - \exp[-b_1 A_1]) \quad (1.1.2)$$

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 (Kubucme, 1988) vispārinātās algebriskās diferences pieejas modelis (Krumland & Eng, 2005):**

$$H_2 = 1.3 + \frac{A_2^{b_1}}{b_2 + 100b_3 X_0 + X_0 A_2^{b_1}} \quad (1.2)$$

$$X_0 = \frac{\frac{A_1^{b_1}}{H_1 - 1.3} - b_2}{100b_3 + A_1^{b_1}} \quad (1.2.1)$$

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, izmantojot rīku *Non-linear regression*.

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 analīzē izmantoja datus par 3190 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paaudzes vienā stāvā esošus kokus) no 2336 MSI 2009. - 2013. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- meža elementi ir P1st (962 meža elementi), E1st (699), B1st (963), A1st (156), M1st (230), Ba1st (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 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 16392 kokiem no 2598 MSI 2009. - 2013. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- meža elementi ir P1st (5265 koki), E1st (3699), B1st (4561), A1st (858), M1st (1083), Ba1st (926);
- abās uzmērīšanas reizēs zināms kokiem atbilstošais meža elementa vecums;
- nevienā no uzmērīšanas cikliem parauglaukumā nav 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;
- 2015. gadā – koka pēdējo piecu gadu augstuma tekošais periodiskais pieaugums sugas un bonitāšu grupas ietvaros neatšķiras vairāk kā 50% vai 0.3m (skuju kokiem) vai 0.5m (lapu kokiem) no izlīdzinātās līknes vērtībām. Izmantoto koku skaits 9441: P1st (2337); E1st (2200); B1st (2132); M1st (547); A1st (439); Ba1st (463) un E2st (1283).

Rezultāti

Iepriekš noskaidrots, ka **HOSSFELD IV** vienādojums ir piemērotāks mežaudzes vidējā augstuma augšanas gaitas aktualizācijai / prognozei, jo prognozētās augstuma izmaiņas ir konservatīvākas un zemākās bonitāšu audzēs arī precīzākas (Donis *et al.*, 2014).

No MSI parauglaukumos reāli uzmērīto koku augstumu starpībām 2015. gadā aproksimētas jaunas koeficientu vērtības **HOSSFELD IV** vienādojumam. Ar jaunajām koeficientu vērtībām vienādojumam statistiskie rādītāji aprēķināti gan elementu datu bāzei, gan atsevišķu koku datu bāzei (1.4. tabula).

1.4. tabula

Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (1.2. vienādojums) koeficientu vērtības un statistiskie rādītāji

Suga	Dati	Koeficienti			Statistiskie rādītāji*										
		b1	b2	b3	MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
Priede	elementi	1.181	-42.597	21.109	0.13	0.62	0.52	0.67	3.24	0.45	0.010	0.977	0.995	0.990	962
	koki				0.05	0.23	0.31	0.38	1.89	0.15	0.005	1.009	0.998	0.996	2377
Egle 1.stāvs	elementi	1.290	-38.142	20.159	0.01	0.04	0.60	0.74	3.52	0.55	0.018	0.988	0.991	0.982	699
	koki				0.11	0.52	0.50	0.62	3.00	0.38	0.012	1.002	0.994	0.988	2200
Bērzs	elementi	1.334	-35.785	16.116	0.06	0.29	0.73	0.95	4.45	0.90	0.027	0.957	0.986	0.973	963
	koki				0.04	0.20	0.47	0.63	3.02	0.39	0.013	1.021	0.994	0.988	2132
Melnalksnis	elementi	1.139	-32.096	15.977	0.14	0.71	0.69	0.87	4.27	0.75	0.044	0.945	0.979	0.958	230
	koki				0.05	0.23	0.44	0.56	2.83	0.32	0.020	1.022	0.990	0.981	547
Apse	elementi	1.324	-26.078	15.645	0.29	1.10	0.87	1.11	4.26	1.22	0.023	0.958	0.989	0.979	156
	koki				0.09	0.33	0.62	0.79	3.09	0.63	0.013	1.005	0.993	0.987	439
Baltalksnis	elementi	1.329	-23.048	7.327	0.03	0.16	0.61	0.78	4.59	0.61	0.033	0.908	0.984	0.968	180
	koki				0.06	0.34	0.51	0.65	3.84	0.42	0.025	1.027	0.988	0.976	463

* 5 gadu vidējais augstuma pieaugums MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R² - determinācijas indekss; N - elementu vai koku skaits.

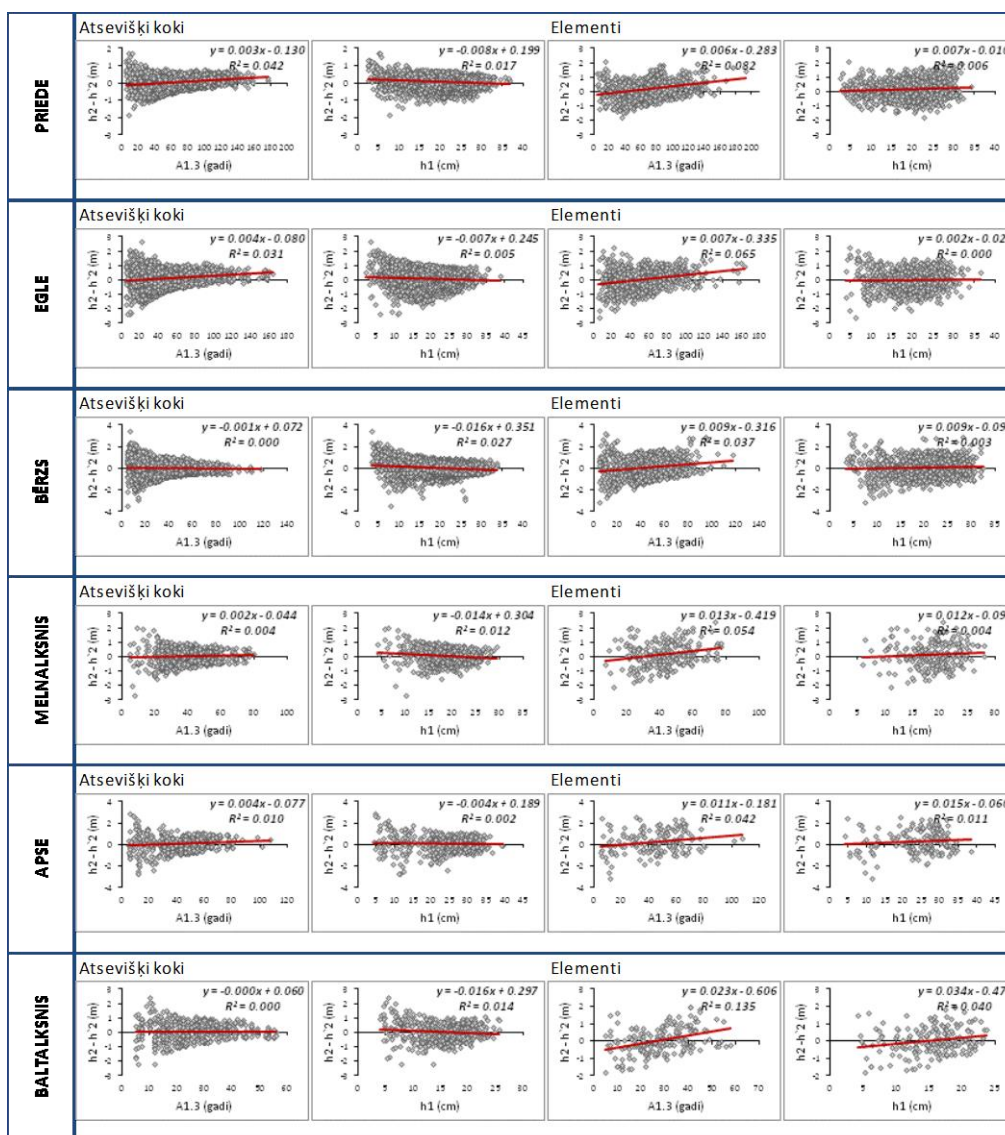
Gan atsevišķiem kokiem, gan meža elementiem starpības starp uzmērītajiem augstumiem un prognozētajiem augstumiem 5 gadu periodam visām koku sugām vairāk kā 90% gadījumu ir mazākas par 10% vai vienu metru (1.5. tabula).

1.5. tabula

Meža elementu un atsevišķu koku skaits un īpatsvars atkarībā no starpības starp uzmērīto un aproksimēto augstumu

Meža elementi	MSI atsevišķu koku dati					MSI elementu dati				
	Starpība >10% vai >1m		Starpība ≤10% vai ≤1m		skaits kopā	Starpība >10% vai >1m		Starpība ≤10% vai ≤1m		skaits kopā
	skaits	īpatsvars	skaits	īpatsvars		skaits	īpatsvars	skaits	īpatsvars	
Priede	14	0.6%	2363	99.4%	2377	13	1.4%	949	98.6%	962
Egle 1.stāvs	56	2.5%	2144	97.5%	2200	27	3.9%	672	96.1%	699
Bērzs	99	4.6%	2033	95.4%	2132	62	6.4%	901	93.6%	963
Melnalksnis	10	1.8%	537	98.2%	547	11	4.8%	219	95.2%	230
Apse	20	4.6%	419	95.4%	439	11	7.1%	145	92.9%	156
Baltalksnis	27	5.8%	436	94.2%	463	12	6.7%	168	93.3%	180
Kopā	243	2.6%	9198	97.4%	9441	179	4.8%	3538	95.2%	3717

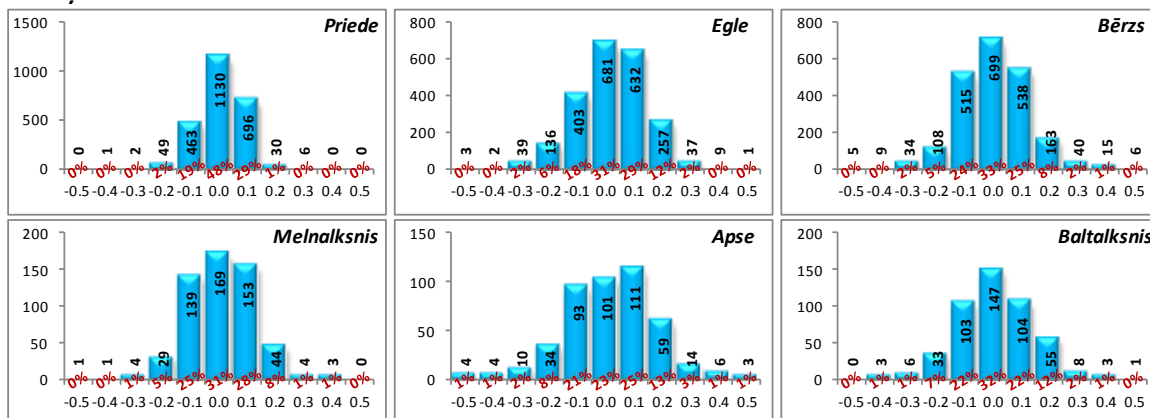
Vidējā augstuma novirzes (starpība starp uzmērīto un aproksimēto augstumu) nav atkarīgas no meža elementa vecuma un sākotnējā augstuma, jo lineārās korelācijas starp šiem rādītājiem ir vājas (1.1. attēls).



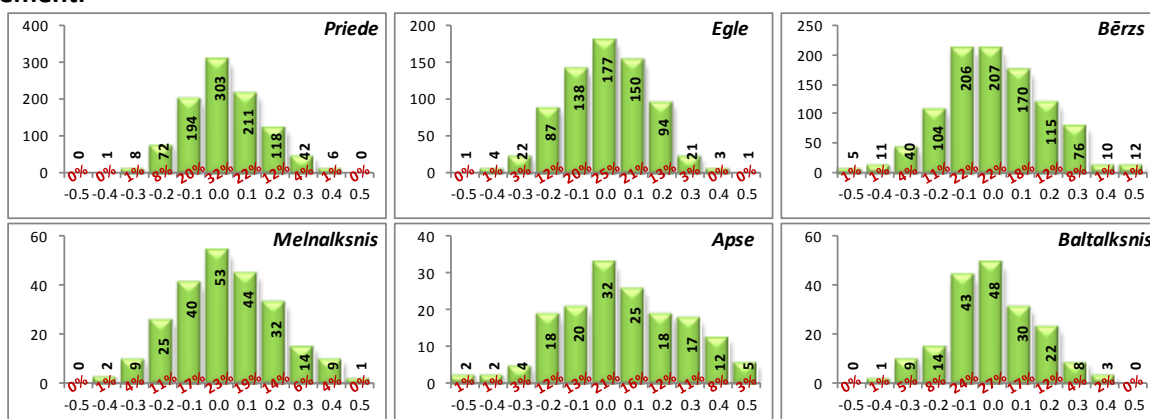
1.1. attēls. Atsevišķu koku un meža elementu starpības starp uzmērīto (h_2) un aproksimēto (h_1) augstumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma (A1.3) un sākotnējā uzmērītā augstuma (h_1)

Atsevišķu koku ikgadējā augstuma pieauguma novirze (starpība starp uzmērīto un aproksimēto ikgadējo augstuma pieaugumu) visām sugām vairāk kā 90% gadījumu nav lielāka par ± 0.2 metriem. Savukārt meža elementu ikgadējā vidējā augstuma pieauguma novirze vairāk kā 90% gadījumu priedei un eglei nav lielāka par ± 0.2 metriem, bērzam, melnalksnim un baltalksnim nav lielāka par ± 0.3 metriem, apsei nav lielāka par ± 0.4 metriem (1.2. attēls).

Atsevišķi koki

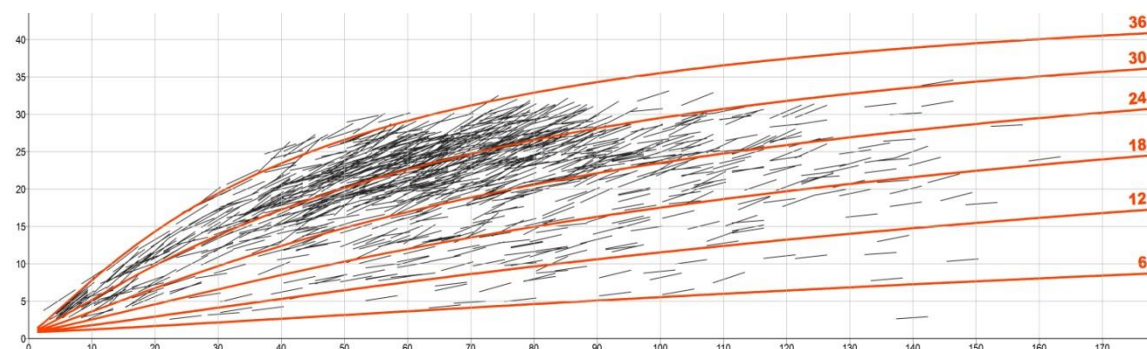


Elementi

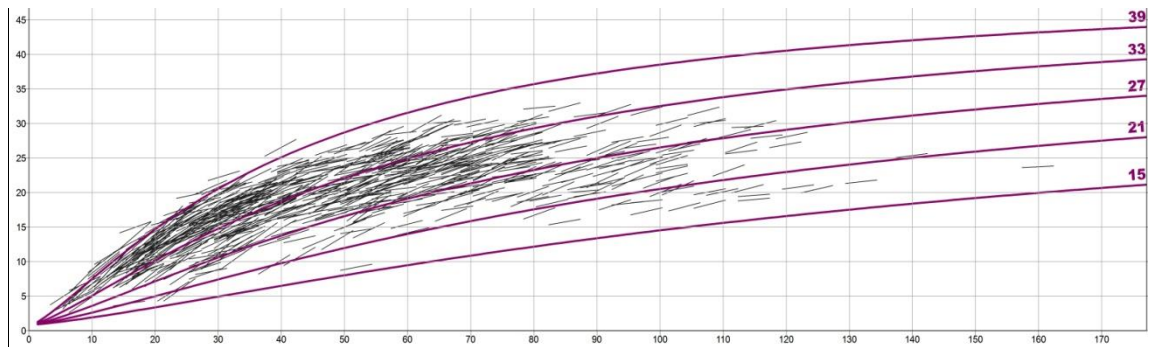


1.2. attēls. Atsevišķu koku un meža elementu skaits sadalījumā pa ikgadējā augstuma pieauguma novirzes (starpība starp uzmērīto un aproksimēto ikgadējo augstuma pieaugumu) grupām, m.

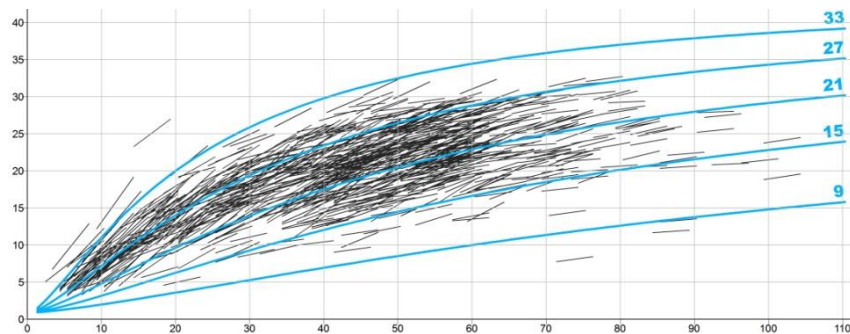
Meža elementa vidējā augstuma prognozētā augšanas gaita un MSI atkārtoti uzmērītajos parauglaukumos meža elementu uzmērītās vidējā augstuma izmaiņas atspoguļotas 1.3.-1.8. attēlos.



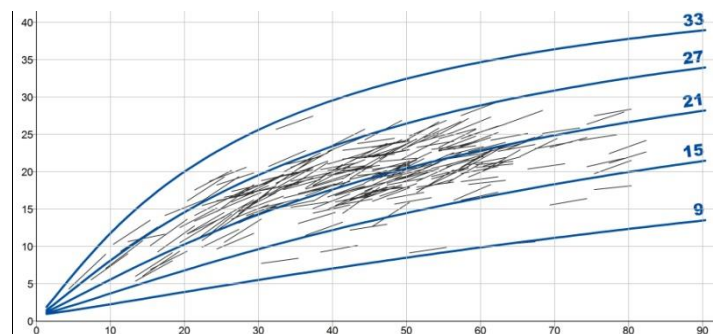
1.3. attēls. Priedes 1. stāva uzmērītās vidējā augstuma izmaiņas, m (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (1.2. vienādojums) atkarībā no augstuma 100 gados.



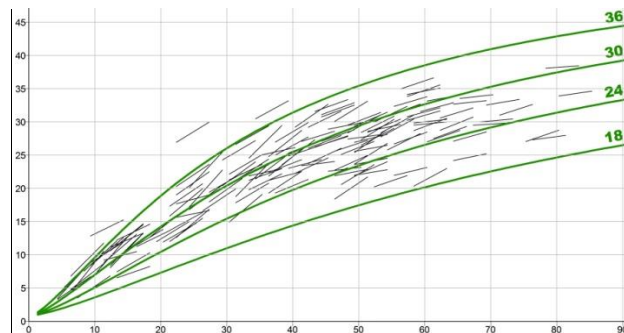
1.4. attēls. Egles 1. stāva uzņēmētās vidējā augstuma izmaiņas, m (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (1.2. vienādojums) atkarībā no augstuma 100 gados.



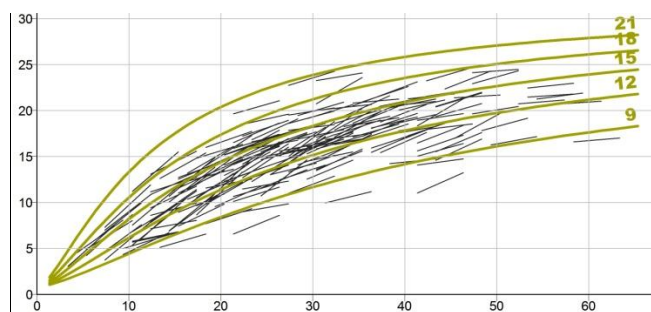
1.5. attēls. Bērza 1. stāva uzņēmētās vidējā augstuma izmaiņas, m (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (1.2. vienādojums) atkarībā no augstuma 50 gados.



1.6. attēls. Melnalkšņa 1. stāva uzņēmētās vidējā augstuma izmaiņas, m (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (1.2. vienādojums) atkarībā no augstuma 50 gados.



1.7. attēls. Apes 1. stāva uzņēmētās vidējā augstuma izmaiņas, m (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (1.2. vienādojums) atkarībā no augstuma 50 gados.



1.8. attēls. Baltalkšņa 1. stāva uzņēmētās vidējā augstuma izmaiņas, m (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (1.2. vienādojums) atkarībā no augstuma 20 gados.

Meža elementa vidējā augstuma aktualizācijas modeli ieteicams izmantot meža elementiem, kas sasnieguši piecu gadu krūšaugstuma vecumu. Meža elementa vidējā augstuma aktualizācijai līdz piecu gadu krūšaugstuma vecuma sasniegšanai ieteicams sekojošs vienādojums:

$$h = \left(\alpha + \frac{\theta B^\eta}{\kappa^\eta + B^\eta} \right) \frac{A}{\Delta t + 5} \quad (1.3)$$

kur B – bonitāte;
 h – meža elementa vidējais augstums, m ;
 A – meža elementa vecums, gadi;
 Δt – meža elementa vecuma starpība starp celma un krūšaugstuma vecumu (1.6. tabula), gadi;
 $\alpha; \theta; \eta; \kappa$ – funkcijas koeficienti (1.6. tabula).

1.6. tabula

Vidējā augstuma augšanas gaita līdz 5 gadu krūšaugstuma vecumam aktualizācijas modeļa koeficienti

Koeficients	Priede	Egle	Bērzs	Melnalksnis	Apse	Baltalksnis
α	4.720	3.710	4.340	5.039	5.030	4.880
θ	-5.352	-3.410	-5.508	-6.888	-7.697	-11.248
η	0.995	1.005	0.947	0.971	0.991	0.993
κ	4.874	3.528	6.162	6.495	8.229	15.125

Sakarības starp krūšaugstuma un faktisko vecumu atspoguļotas 1.7. tabulā, kas izveidotas balstoties uz stumbra analīžu datiem VPP projekta **Inovātīvu meža audzēšanas tehnoloģiju izstrāde mežsaimnieciskās ražošanas produktivitātes un mežsaimniecības konkurētspējas palielināšanai** ietvaros un LVMI „Silava” stumbra analīžu arhīva datiem.

1.7. tabula

Vecuma starpība starp krūšaugstuma un celma augstuma vecumu

Suga	Bonitāte						
	Ia	I	II	III	IV	V	Va
Priede	4	5	7	9	12	17	22
Egle	6	8	10	12	14	18	22
Bērzs; Melnalksnis	3	3	4	4	5	5	5
Apse; Baltalksnis	2	2	2	2	2	2	2

1.1.2. Virsaugstuma augšanas gaitas modelis

Materiāls un metodika

Audzes (meža elementa) virsaugstuma augšanas gaitas modelēšanai izmanto sakarību starp audzes (meža elementa) vidējo augstumu un audzes virsaugstumu:

$$H_g = b_1 H_{dom}^{b_2} N^{b_3} \quad \text{jeb} \quad H_{dom} = \left(\frac{H_g}{b_1 N^{b_3}} \right)^{\frac{1}{b_2}} \quad (1.4)$$

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

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

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

Balstoties uz 1.4. sakarību, mainot audzes taksācijas rādītājus, piecu gadu audzes virsaugstuma pieaugums nomodelēts 21240 teorētiskām audzēm:

- priedes - 6000 audzes (H_{100} 9;12;15;18;21;24;27;30;33;36m; $A_{1,3}$ 5-200gadi; HD 0.8,1.0,1.2; biežība 0.2,0.4,0.6,0.8,1.0);
- egles - 6000 audzes (H_{100} 9;12;15;18;21;24;27;30;33;36m; $A_{1,3}$ 5-200gadi; HD 0.8,1.0,1.2; biežība 0.2,0.4,0.6,0.8,1.0);
- bērzi - 2880 audzes (H_{50} 12;15;18;21;24;27;30;33m; $A_{1,3}$ 5-120gadi; HD 0.8,1.0,1.2; biežība 0.2,0.4,0.6,0.8,1.0);
- melnalkšņi - 2520 audzes (H_{50} 12;15;18;21;24;27;30m; $A_{1,3}$ 5-120gadi; HD 0.8,1.0,1.2; biežība 0.2,0.4,0.6,0.8,1.0);
- apses - 2160 audzes (H_{50} 18;21;24;27;30;33m; $A_{1,3}$ 5-120gadi; HD 0.8,1.0,1.2; biežība 0.2,0.4,0.6,0.8,1.0);
- apses - 2160 audzes (H_{20} 8;10;12;14;16;18;20m; $A_{1,3}$ 5-80gadi; HD 0.8,1.0,1.2; biežība 0.2,0.4,0.6,0.8,1.0).

Teorētisko audžu virsaugstuma augstuma pieaugums aproksimēts, izmantojot Hossfeld IV vienādojuma vispārinātās algebriskās diferences pieejas modelis (1.2. vienādojums).

Koeficientu vērtībās aproksimētas datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows, izmantojot rīku Nonlinear regression.

Rezultāti

Sakarībai starp meža elementa virsaugstumu un meža elementa vidējo augstumu aproksimētas vienādojuma koeficientu vērtības (1.8. tabula).

1.8. tabula

Sakarības starp audzes virsaugstumu audzes vidējo augstumu (1.4. vienādojums) koeficienti, statistiskie rādītāji un lietošanas ierobežojumi

Suga	Koeficienti			Vienādojuma statistiskie rādītāji									Ierobežojumi
	b1	b2	b3	MRES	AMRES	RMSE	MSE	MEF	VR	R	R ²	N	
Priede	1.094	1.028	-0.040	0.03	0.45	0.59	0.35	0.008	0.980	0.996	0.992	2359	Hdom = 3...39 N = 120...10 000
Egle	1.176	1.028	-0.056	0.04	0.52	0.70	0.49	0.014	0.977	0.993	0.986	1374	Hdom = 3...39 N = 120...10 000
Bērzs	1.196	1.024	-0.055	-0.02	0.56	0.75	0.57	0.015	0.987	0.993	0.985	1906	Hdom = 3...39 N = 120...10 000
Melnalksnis	1.159	1.010	-0.039	-0.01	0.45	0.64	0.41	0.019	0.977	0.990	0.981	384	Hdom = 3...36 N = 120...10 000
Apse	1.045	1.044	-0.041	0.01	0.48	0.66	0.43	0.006	0.999	0.997	0.994	290	Hdom = 3...39 N = 120...10 000
Baltalksnis	1.168	1.011	-0.041	-0.01	0.61	0.87	0.76	0.036	0.965	0.982	0.964	423	Hdom = 3...27 N = 120...10 000

MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R² - determinācijas indekss; N - elementu skaits.

Meža elementa virsaugstuma aktualizācijas modeļa (1.2. vienādojums) koeficienti un statistiskie rādītāji atspoguļoti 1.9. tabulā.

1.9. tabula

Meža elementa virsaugstuma augšanas gaitas modeļa (1.2. vienādojums) koeficientu vērtības un statistiskie rādītāji

Suga	Koeficienti			Statistiskie rādītāji										
	b1	b2	b3	MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
Priede	1.085	-20.689	11.119	0.06	0.30	0.32	0.41	1.90	0.16	0.005	1.019	0.998	0.996	2175
Egle	1.137	-16.327	9.547	0.16	0.75	0.54	0.68	3.14	0.47	0.015	1.025	0.993	0.986	1761
Bērzs	1.246	-18.686	9.064	0.04	0.18	0.52	0.69	3.18	0.48	0.014	1.036	0.993	0.987	1762
Melnalksnis	1.091	-11.885	6.541	0.07	0.32	0.49	0.61	2.96	0.38	0.020	1.025	0.991	0.981	433
Apse	1.197	-14.618	9.288	0.12	0.48	0.67	0.87	3.34	0.75	0.013	1.015	0.994	0.987	276
Baltalksnis	1.289	-11.771	3.935	0.10	0.54	0.58	0.73	4.01	0.53	0.029	1.045	0.986	0.973	404

*MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R² - determinācijas indekss; N - elementu skaits.

Meža elementa virsaugstuma aktualizācijas modelis (1.2. vienādojums) pārbaudīts uz MSI elementu datu bāzes datiem, kas atbilst 1.1.1. apakšnodalījā minētajiem kritērijiem un par tiem meža elementiem, kam abās uzmērīšanas reizēs konstatēti vismaz 100 koki uz hektāra. Par patieso (uzmērīto) meža elementa virsaugstumu pieņem virsaugstumu, kas aprēķināts ar 1.4. vienādojumu. Konstatēts, ka visām sugām vairāk kā 90% gadījumu virsaugstumu starpība nav lielāka par 10% vai vienu metru (1.10. tabula).

1.10. tabula

Meža elementu skaits un īpatsvars atkarībā no starpības starp uzmērīto un aproksimēto virsaugstumu

Meža elements	Starpība >10% vai >1m		Starpība ≤10% vai ≤1m		skaits kopā
	skaits	īpatsvars	skaits	īpatsvars	
Priede	15	0.7%	2160	99.3%	2175
Egle	60	3.4%	1701	96.6%	1761
Bērzs	81	4.6%	1681	95.4%	1762
Melnalksnis	9	2.1%	424	97.9%	433
Apse	18	6.5%	258	93.5%	276
Baltalksnis	26	6.4%	378	93.6%	404
Kopā	209	3.1%	6602	96.9%	6811

1.2. Caurmēra augšanas gaitas modelis

Materiāls un metodika

Meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņu aproksimācijai izmantoja (pārbaudīja) 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 audzes I stāva biežības rādītāju, 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), kurš modificēts iekļaujot papildus audzes relatīvo biežību:**

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

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

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

- 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 pirmajā uzmērīšanas reizē, ha^{-1} ;
 N_{max} – mežaudzes 1. stāva maksimālais koku skaits pirmajā uzmērīšanas reizē (1.8. vienādojums); ha^{-1} ;
 $b_1; b_2; b_3$ – empīriskie koeficienti.

2. **Hossfeld IV vienādojuma (Kueucme, 1988) vispārinātās algebriskās diferences pieejas modelis (Krumland & Eng, 2005), kurš modificēts iekļaujot papildus audzes relatīvo biežību:**

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

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

- 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 pirmajā uzmērīšanas reizē, ha^{-1} ;
 N_{max} – mežaudzes 1. stāva maksimālais koku skaits pirmajā uzmērīšanas reizē (1.8. vienādojums); ha^{-1} ;
 $b_1; b_2; b_3$ – empīriskie koeficienti.

Vidējā kvadrātiskā koka caurmēra augšanas gaita aproksimēta 2 variantos.

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

Datu analizē izmanto datus par 3680 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paaudzes vienā stāvā esošus kokus) no 2416 MSI 2009. - 2013. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- meža elementi ir P1st (1074 meža elementi), E1st (803), B1st (1114), A1st (179), M1st (275), Ba1st (237);
- katrā uzmērīšanas ciklā ir vismaz 3 dzīvi koki no viena meža elementa;
- abās uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums;
- nevienā no uzmērīšanas 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;
- *2015. gadā – 1. ciklā parauglaukumā nav konstatēti vairāk kā divi celmi.*

Lai izvairītos no meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņas kļūdām, kas MSI metodikas dēļ rodas kociem ieaugoties (pārsniedzot 2.0cm krūšaugstuma caurmēru) vai pārejot uz citu reprezentācijas klasi (pārsniedzot 6.0cm un 14.0cm krūšaugstuma caurmēru), analizē izmanto tikai tos kokus, kas konstatēti 1. cikla uzmērīšanā, un to reprezentācijas klases nemaina.

2. variants. MSI parauglaukumos urbto koku, kuru caurmērs $0.7 \leq D_g \leq 1.3$, radiālo pieaugumu mērījumiem.

Datu analizē izmanto datus par 8449 1. stāva kokiem (P-3537; E-1415; B-1735; M-662; A-503; Ba-597) no 850 MSI parauglaukumiem.

2015. gadā papildus kritērijs – 1. ciklā parauglaukumā nav konstatēti vairāk kā divi celmi.

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

Rezultāti

Meža elementa vidējā kvadrātiskā koku krūšaugstuma caurmēra izmaiņu modelēšanai ieteicams izmantot **Hossfeld IV** vienādojuma vispārinātās algebriskās diferences pieejas modeli (1.6. vienādojums), jo šis vienādojums prognozē loģiskākas un mežsaimnieciski konservatīvākas caurmēra izmaiņas ilgākā laika periodā. Meža elementa vidējā caurmēra aktualizācijas modeļi izstrādāti uz atsevišķu koku radiālā pieauguma datu bāzes.

Meža elementa vidējā caurmēra aktualizācijas modeļa koeficienti un statistiskie rādītāji atspoguļoti 1.11. tabulā.

1.11. tabula

Meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra augšanas gaitas modeļa (1.6. vienādojums) koeficientu vērtības un statistiskie rādītāji

Suga	Koeficienti			Statistiskie rādītāji										
	b1	b2	b3	MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
Priede	0.987	-7.433	4.657	0.03	0.14	0.48	0.68	2.63	0.46	0.006	0.977	0.997	0.994	1074
Egle	1.140	-9.722	5.694	-0.11	-0.44	0.74	0.97	3.91	0.95	0.015	0.926	0.993	0.986	803
Bērzs	1.021	-9.275	4.307	0.04	0.19	0.61	0.89	4.31	0.80	0.014	0.972	0.993	0.986	1114
Melnalksnis	0.919	-1.985	1.645	0.01	0.02	0.58	0.79	3.72	0.63	0.018	0.961	0.991	0.982	275
Apse	1.251	-13.459	9.515	0.21	0.74	0.87	1.26	4.44	1.58	0.010	0.971	0.995	0.990	179
Baltalksnis	1.423	-9.816	3.174	-0.05	-0.30	0.60	0.80	5.06	0.64	0.024	0.994	0.988	0.976	235

*MRES - vidējā novirze, cm; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, cm; RMSE – standartnovirze, cm; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R² - determinācijas indekss; N – meža elementu skaits.

Caurmēra aktualizācijas modeli ieteicams izmantot meža elementiem, kuru krūšaugstuma vecums ir vismaz pieci gadi.

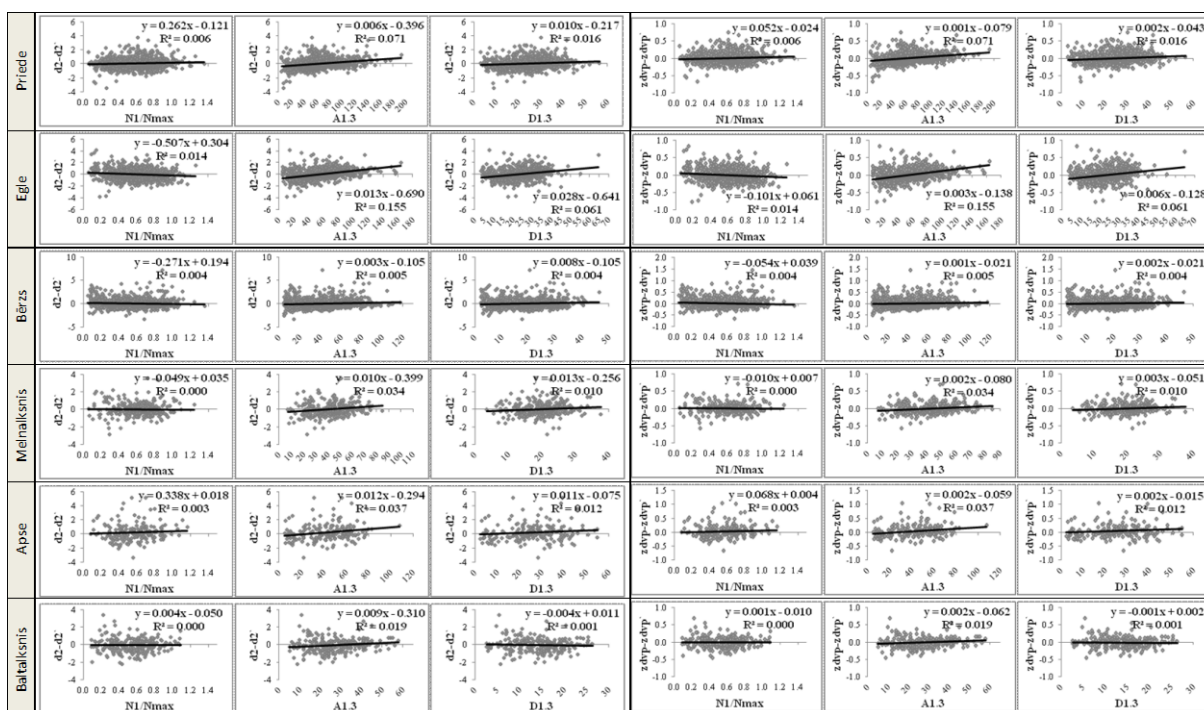
Meža elementa vidējais krūšaugstuma caurmērs līdz 5 gadu krūšaugstuma vecuma sasniegšanai tiek modelēts atkarībā no vidējā augstuma, pieņemot, ka H/D attiecība ir 1.2.

Meža elementiem starpības starp uzmērītajiem caurmēriem un prognozētajiem caurmēriem visām koku sugām vairāk kā 90% ir mazākas par 10% vai vienu centimetru (1.12. tabula).

Meža elementu un atsevišķu koku skaits un īpatsvars atkarībā no starpības starp uzņēmīto un apmēģināto caurmēru

Meža elementi	D2					Zdvp				
	Starpība >1cm vai >10%		Starpība ≤1cm vai ≤10%		Skaits kopā	Starpība >0.2cm vai >10%		Starpība ≤0.2cm vai ≤10%		Skaits kopā
	Skaits	īpatsvars	Skaits	īpatsvars		Skaits	īpatsvars	Skaits	īpatsvars	
Priede	15	1.4%	1059	98.6%	1074	120	11.2%	954	88.8%	1074
Egle 1.stāvs	26	3.2%	777	96.8%	803	195	24.3%	608	75.7%	803
Bērzs	74	6.6%	1040	93.4%	1114	182	16.3%	932	83.7%	1114
Melnalksnis	8	2.9%	267	97.1%	275	42	15.3%	233	84.7%	275
Apse	15	8.4%	164	91.6%	179	58	32.4%	121	67.6%	179
Baltalksnis	19	8.1%	216	91.9%	235	39	16.6%	196	83.4%	235
Kopā	157	4.3%	3523	95.7%	3680	636	17.3%	3044	82.7%	3680

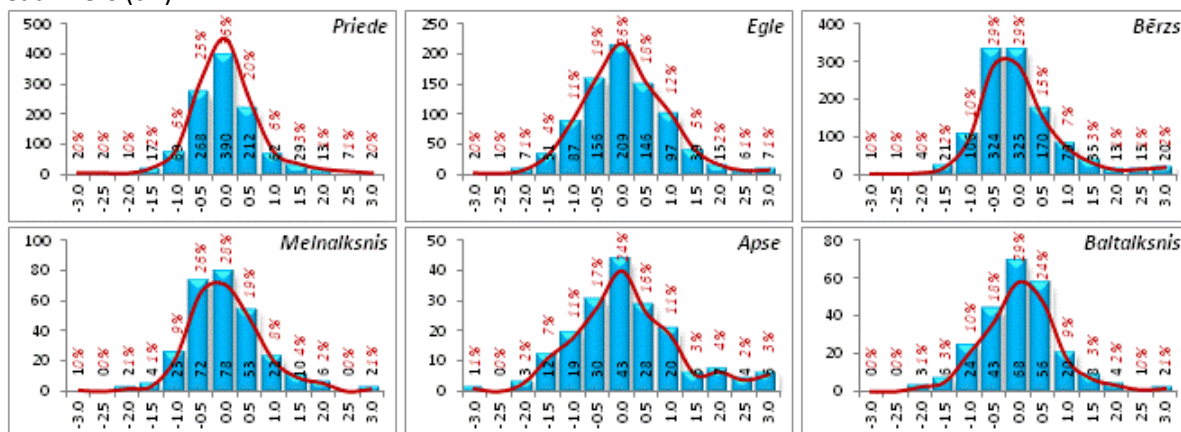
Ne vidējā caurmēra novirzes (starpība starp uzņēmīto un apmēģināto caurmēru), ne caurmēra ikgadējā pieauguma novirze nav atkarīgas no meža elementa vecuma, sākotnējā caurmēra un I stāva biežības, jo lineārās korelācijas starp šiem rādītājiem ir vājas (1.9. attēls). Tomēr novērojama tendence, ka jaunākajās audzēs meža elementu caurmēra pieaugums tiek „pārvērtēts”, bet vecākajās audzēs tiek „nenovērtēts”.



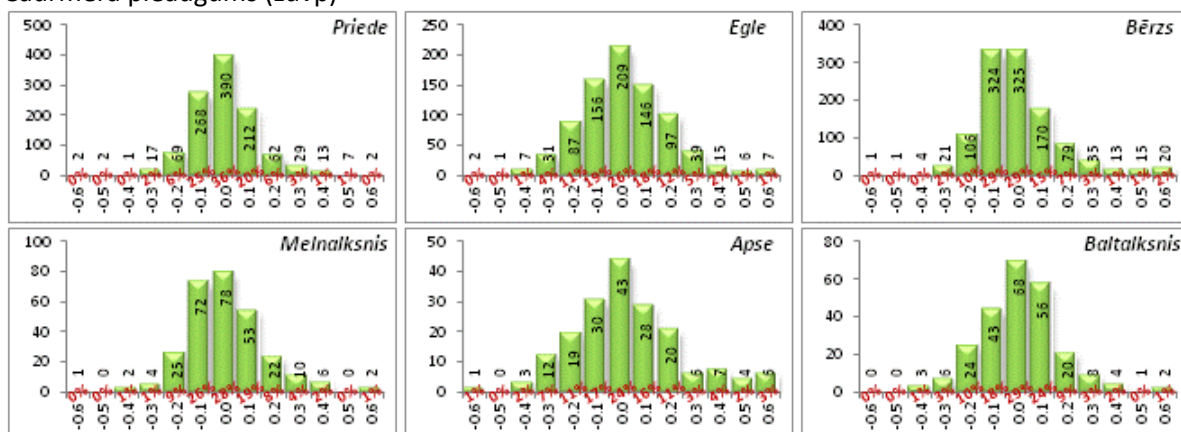
1.9. attēls. Meža elementu starpības starp uzņēmīto (d_2) un apmēģināto (d_2') caurmēru un uzņēmīto (z_d^{vp}) un apmēģināto (z_d^{vp}) caurmēra ikgadējo pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma (a_1), sākotnējā uzņēmītā caurmēra (d_1) un mežaudzes I stāva relatīvās biežības (rb)

Meža elementu ikgadējā vidējā caurmēra pieauguma novirze vairāk kā 90% gadījumu priedei, bērzam un melnalksnim nav lielāka par ± 0.2 cm, eglei un baltalksnim nav lielāka par ± 0.3 cm, apsei nav lielāka par ± 0.4 cm. Meža elementa apmēģinātā caurmēra novirze ± 1 cm priedei, bērzam, melnalksnim un baltalksnim ir vismaz 90% gadījumu, bet eglei un apsei attiecīgi 87% un 78% gadījumu (1.10. attēls).

Caurmērs (d2)

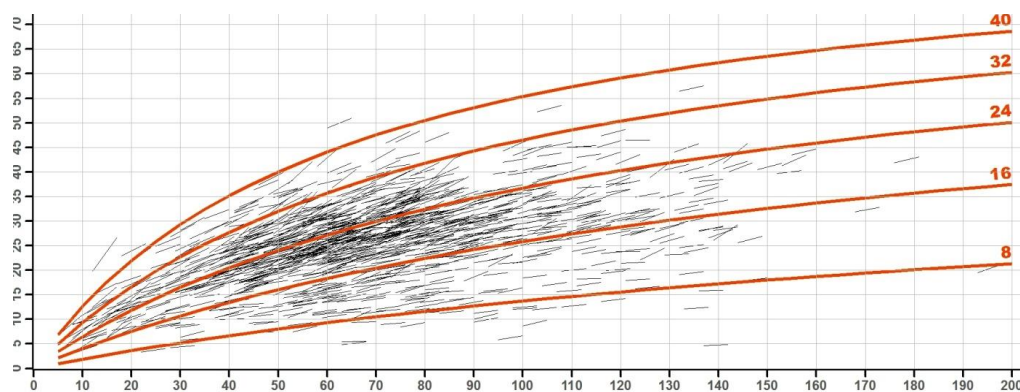


Caurmēra pieaugums (zdvp)

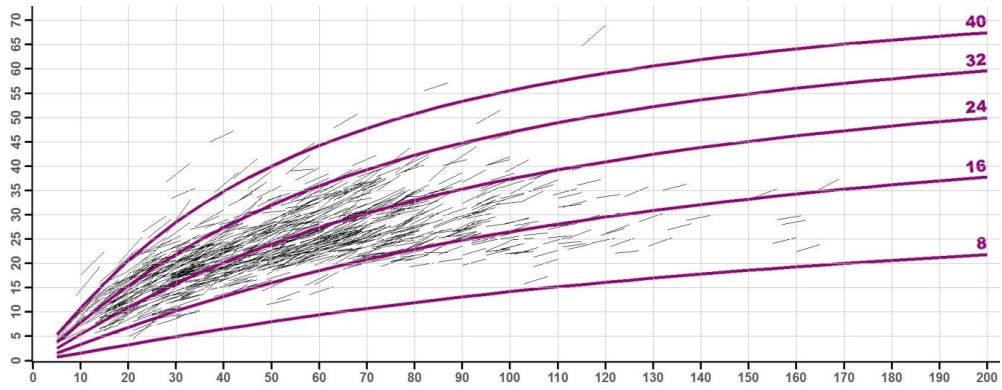


1.10. attēls. Meža elementu skaits sadalījumā pa caurmēra un ikgadējā caurmēra pieauguma novirzes cm (starpība starp uzmērīto un aproksimēto ikgadējo caurmēra pieaugumu) grupām

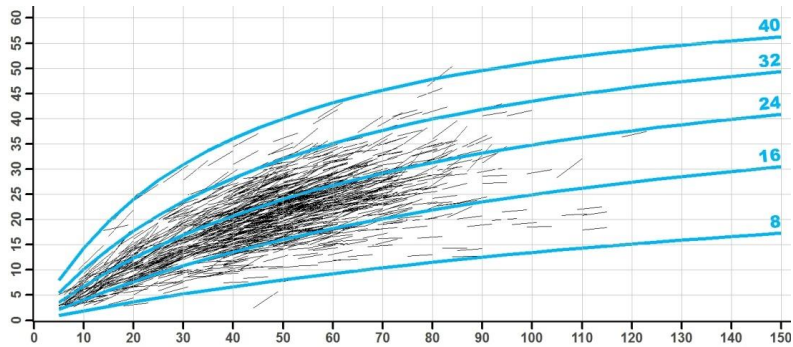
Meža elementa vidējā kvadrātiskā krūšaugstuma caurmēra prognozētā augšanas gaita un MSI atkārtoti uzmērītajos parauglaukumos meža elementu uzmērītās vidējā kvadrātiskā krūšaugstuma caurmēra izmaiņas atspoguļotas 1.11.-1.16. attēlos.



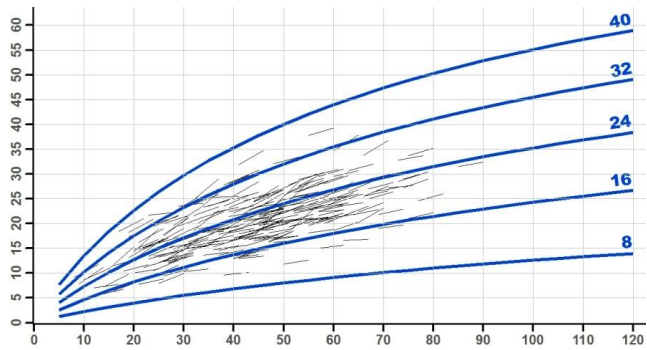
1.11. attēls. Priedes 1. stāva uzmērītās vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņas, cm (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aproksimētā caurmēra augšanas gaita (1.5. vienādojums) atkarībā no caurmēra 50 gados



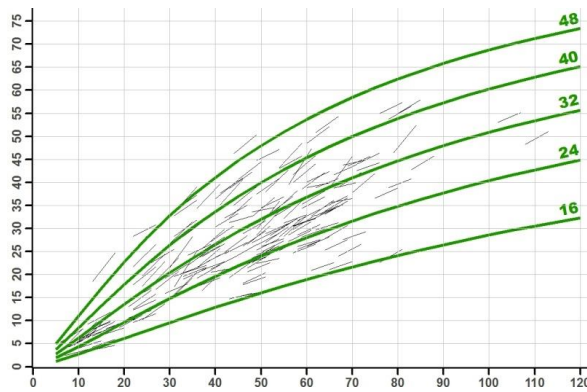
1.12. attēls. Egles 1. stāva uzmērītās vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņas, cm (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aproksimētā caurmēra augšanas gaita (1.5. vienādojums) atkarībā no caurmēra 50 gados



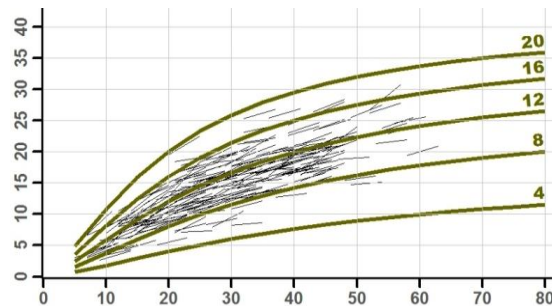
1.13. attēls. Bērza 1. stāva uzmērītās vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņas, cm (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aproksimētā caurmēra augšanas gaita (1.5. vienādojums) atkarībā no caurmēra 50 gados



1.14. attēls. Melnalkšņa 1. stāva uzmērītās vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņas, cm (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aproksimētā caurmēra augšanas gaita (1.5. vienādojums) atkarībā no caurmēra 50 gados



1.15. attēls. Apses 1. stāva uzņēmās vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņas, cm (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aproksimētā caurmēra augšanas gaita (1.5. vienādojums) atkarībā no caurmēra 50 gados



1.16. attēls. Baltalkšņa 1. stāva uzņēmās vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņas, cm (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aproksimētā caurmēra augšanas gaita (1.5. vienādojums) atkarībā no caurmēra 20 gados

1.3. Koku skaita izmaiņu modelis

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 uzņēmātajiem parauglaukumiem un meža elementiem:

- parauglaukumā nav konstatēta koku ciršana;
- parauglaukumā nav konstatēti vecās paaudzes koki;
- meža elementam pirmajā uzņēmāšanas ciklā ir uzņēmāti vismaz pieci dzīvi koki;
- meža elementam ir zināms krūšaugstuma vecums;
- meža elementa atmirušo koku skaits nav lielāks par 25%.

Kopā analīzē izmantoti dati par 2810 (P_{1st} (985); E_{1st} (598); B_{1st} (810); M_{1st} (186); A_{1st} (112); Ba_{1st} (119)) meža elementiem no 2186 MSI atkārtoti uzņēmātajiem parauglaukumiem.

Kokaudzes koku skaita izmaiņu aktualizācijā izmanto vienādojumu (Gonzalez et al., 2004; Fridman & Stahl, 2001):

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

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

$$n_2 = n_1 - n_1 e^{\left(b_0 + b_1 \left(b_2 \ln(n_1) + b_3 \ln(d_1) + b_4 \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1} + b_5 \ln(t_1) \right) \right) \frac{(t_2 - t_1)}{5}} \quad (1.7.2)$$

kur n_2 – meža elementa koku skaits 5. gadu perioda beigās, ha^{-1} ;
 n_1 – meža elementa koku skaits perioda sākumā, ha^{-1} ;
 π – 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), $m^2 ha^{-1}$;
 $a_0 - a_4; b_0 - b_5$ – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas (1.11. tabula).

Maksimālais koku skaits

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

Analīzē 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.

Meža elementa maksimālā koku skaita aprēķināšanai izmantots vienādojums:

$$n_{max} = c_1 d^{c_2} h^{c_3} \quad (1.8)$$

kur n_{max} – maksimālais meža audzes koku skaits, ha^{-1}
 d – meža audzes vidējais kvadrātiskais krūšaugstuma caurmērs, cm
 h – meža audzes vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošais augstums, m
 $c_1; c_2; c_3$ – koeficienti (1.11. tabula).

Meža audzes I stāva maksimālais koku skaits tiek aprēķināts kā atsevišķu meža elementu maksimālā koku skaita summa:

$$N_{max} = \frac{(k_{10} n_{max10} + k_{11} n_{max11} + k_{12} n_{max12} + k_{13} n_{max13} + k_{14} n_{max14})}{10} \quad (1.9)$$

kur N_{max} – maksimālais meža audzes I stāva koku skaits, ha^{-1} ;
 $n_{max10-14}$ – maksimālais atsevišķu meža elementu koku skaits, ha^{-1} ;
 k_{10-14} – atsevišķa meža elementa sastāva koeficients.

Rezultāti

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

$$n_2 = \min(n_{max}; n_2) \quad (1.10)$$

kur n_2 – meža elementa koku skaits perioda beigās; ha^{-1} ;
 n_{max} - maksimālais meža elementa koku skaits perioda beigās (1.8. formula), ha^{-1} ;
 n_2 – ar divpakāpju atmiruma modeli prognozētais meža elementa koku skaits perioda beigās (1.7. formula), ha^{-1} .

Aproximētas koeficientu vērtības koku skaita divpakāpju atmiruma modeļa vienādojumiem un maksimālā koku skaita aprēķināšanas vienādojumam (1.13. tabula) kā arī aprēķināti koku skaita aktualizācijas modeļa (1.7.-1.10. vienādojumi) statistiskie rādītāji (1.14. tabula).

1.13. tabula

Meža elementa koku skaita divpakāpju atmiruma modeļa (1.7.;1.7.1.;1.7.2. vienādojumi) un maksimālā I stāva koku skaita (1.8. vienādojums) koeficientu vērtības

Meža elements	Koeficienti													
	a0	a1	a2	a3	a4	b0	b1	b2	b3	b4	b5	c1	c2	c3
Priede	-6.757	3.298	-0.646	-0.072	0	1.493	1.574	-0.300	-0.406	0.350	0.106	83570	-1.366	-0.069
Egle 1.stāvs	-6.906	3.499	-1.552	0.000	0	0.194	1.080	-0.534	0.049	0.706	0.112	103106	-1.381	-0.103
Bērzs	-3.537	2.329	-1.287	-0.010	0	0.466	1.203	-0.388	-0.506	0.628	0.350	144400	-1.357	-0.302
Melnalksnis	-10.393	4.694	-1.582	-0.010	0	0.214	1.086	-0.431	-1.133	0.034	0.926	197511	-1.314	-0.339
Apse	-6.178	3.354	-1.519	-0.012	0	-0.026	0.975	-0.163	-0.220	0.070	-0.145	197511	-1.314	-0.339
Baltalksnis	-3.401	1.733	-1.128	-0.022	0	-0.249	0.838	-0.128	-0.294	0.533	-0.032	197511	-1.314	-0.339

1.14. tabula

Meža elementa koku skaita aktualizācijas modeļa statistiskie rādītāji

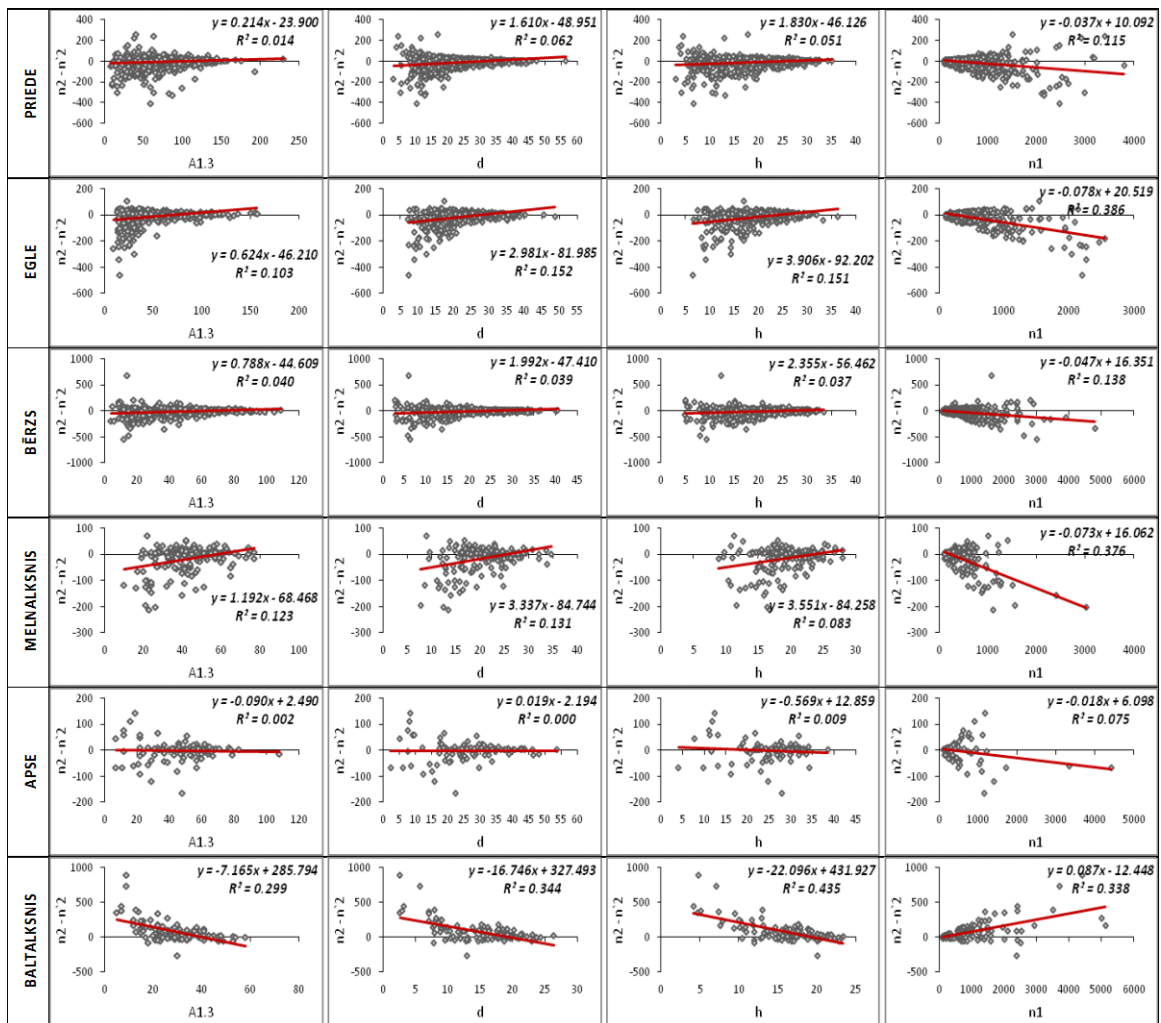
Meža elements	Statistiskie rādītāji											
	MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R ²	N	
Priede	-10	-2	28	59	12	3454	0.017	1.110	0.994	0.987	985	
Egle 1.stāvs	-12	-3	27	54	14	2941	0.021	1.173	0.994	0.988	598	
Bērzs	-7	-2	36	69	14	4811	0.011	1.027	0.995	0.990	810	
Melnalksnis	-16	-4	30	52	13	2735	0.021	1.164	0.994	0.988	186	
Apse	-2	0	23	40	10	1618	0.006	1.039	0.997	0.994	112	
Baltalksnis	85	9	102	206	22	42201	0.037	0.766	0.992	0.983	119	

MRES - vidējā novirze; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze; RMSE – standartnovirze, RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R² - determinācijas indekss; N - elementu skaits.

Meža elementa koku skaita izmaiņu aktualizācijas modeļiem, ir sekojoši ierobežojumi:

- meža elementa koku skaita viens aktualizācijas periods, nemainot vienādojumus izmantojamajos 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 aktualizācijas modelis jaunākajās un mazākajās dimensijas baltalkšņu audzēs prognozē straujāku koku atmirumu nekā reāli MSI parauglaukumos uzmērītais. Pārējām sugām starp uzmērīto un aproksimēto koku skaita starpībām ar meža elementa vecumu, caurmēru un augstumu konstatētas vājas lineāras korelācijas (1.17. attēls).

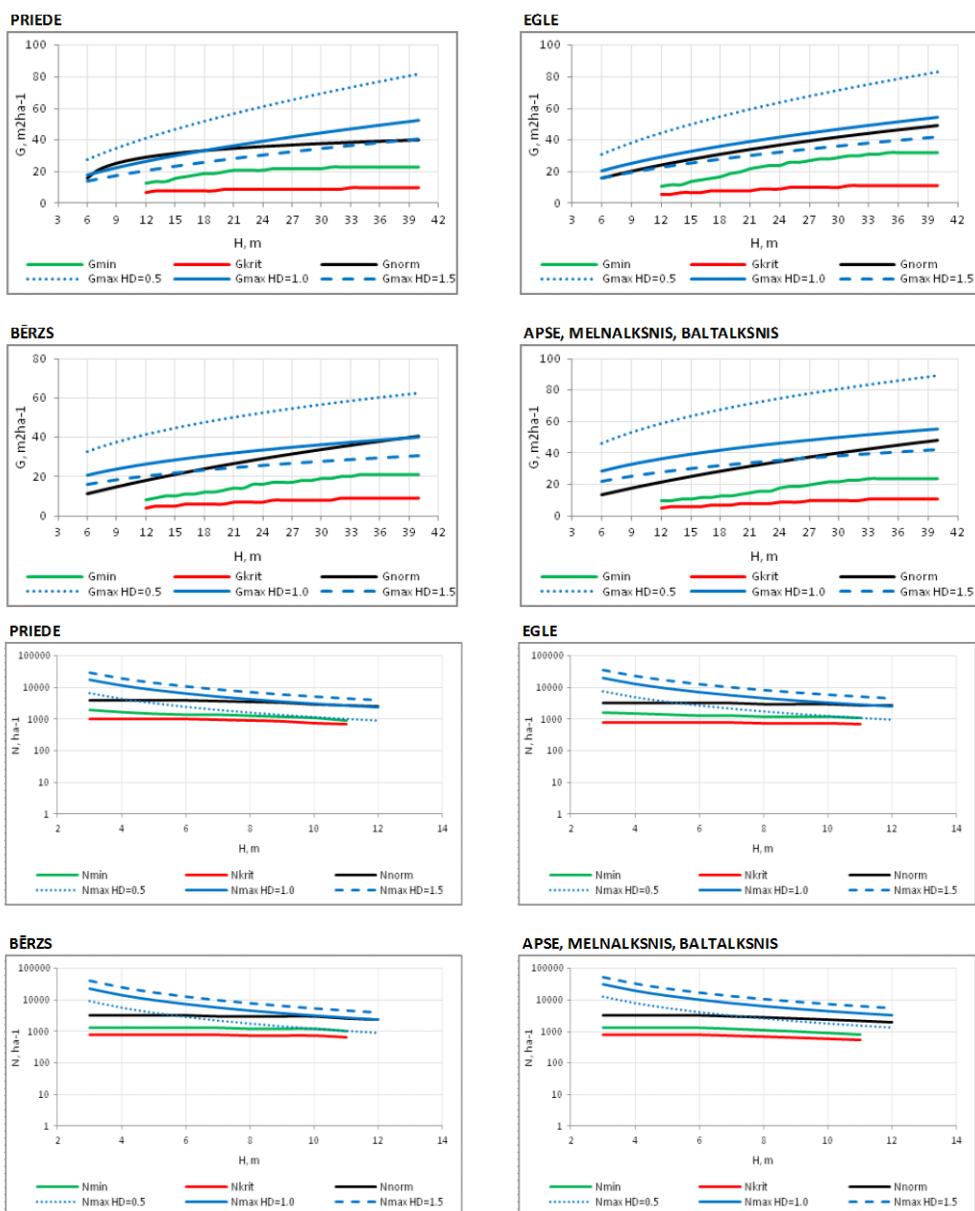


1.17. attēls. Meža elementu starpības starp uzmērīto (n_2) un aprosimīto (n'_2) koku skaitu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma (A1.3), sākotnējā uzmērītā caurmēra (d), sākotnējā uzmērītā vidējā augstuma (h) un sākotnējā uzmērītā koku skaita (n_1).

MSI piecu gadu pārmērījumu (1. un 2. cikls) parauglaukumu datu bāze nav īsti piemērota mežaudzes koku skaita izmaiņu modelēšanai, jo:

- vienādojumos tiek pārvērtēta varbūtība, ka nākamo piecu gadu laikā izdzīvos visi koki; (vienādojumos netiek ņemta vērā audzes platība, bet teorētiski mazākā platībā iespējamība, ka izdzīvos visi koki, ir lielāka nekā lielākā platībā);
- piecu gadu laikā un 500 m² lielā platībā var nedarboties loģiskas likumsakarības (tik mazā platībā un tik īsu laiku pārbiezinātā audzē var izdzīvot visi koki, bet retās audzēs var visi koki arī neizdzīvot);
- mazs parauglaukumu īpatsvars, kas ir pāraugušās (ļoti vecās) audzēs vai kurās ir pārauguši meža elementi;
- mazs parauglaukumu īpatsvars, kas ir pārbiezinātās audzēs.

Maksimālā koku skaita (1.8. vienādojums) un no tā izrietošā maksimālā šķērslaukuma salīdzinājums ar Latvijas normatīvajos aktos noteikto mežaudzes normālo koku skaitu un normālo audzes šķērslaukumu atspoguļots 1.18. tabulā.



1.18. attēls. Maksimālais, normālais, minimālais un kritiskais šķērslaukums (a) un koku skaits (b) atkarībā no meža elementa vidējā augstuma un HD attiecības

1.4. Šķērslaukuma izmaiņu modelis

Materiāls un metodika

Datu analizē izmanto datus par tiem atkārtoti uzmērītajiem MSI parauglaukumiem un meža elementiem, kas atbilst sekojošiem kritērijiem:

- meža elementam pirmajā uzmērīšanas reizē konstatēti vismaz pieci dzīvie koki;
- 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 vecās paudzes koki;
- parauglaukumā starp inventarizācijas periodā nav konstatēta koku ciršana;
- 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.

- 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.

Datu analizē iekļauti dati par meža elementiem no 1780 parauglaukumiem:

- I stāva priedes – 871 meža elements;
- I stāva egles – 569 meža elements;
- I stāva bērzi – 768 meža elements;
- I stāva melnalkšņi – 185 meža elements;
- I stāva apses – 113 meža elements;
- I stāva baltalkšņi – 156 meža elements;

Meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modelim (1-5 gadu periodam) pārbaudīti sekojoši vienādojumi:

1) *Hevia* ieteiktais diferenciālais vienādojums (Hevia et al., 2015), un

$$g_2 = \frac{\left(\frac{n_2}{1000}\right)^{b_1} \left[g_1 \frac{h_1}{10} \left(\frac{n_1}{1000}\right)^{-b_1} + \frac{b_2}{b_3} \left(\frac{h_2}{10}\right)^{b_3} - \left(\frac{h_1}{10}\right)^{b_3} \right]}{\left(\frac{h_2}{10}\right)} \left(\frac{t_2 - t_1}{5}\right) \quad (1.11)$$

2) mūsu vienādojums:

$$g_2 = g_1 + \left(b_1 \ln(g_1) + b_2 \ln(t_1) + b_3 z_h + b_4 \frac{N_1}{N_{max}} \right) (t_2 - t_1) \quad (1.12)$$

kur g_2 – meža elementa šķērslaukums perioda beigās, $m^2 ha^{-1}$
 n_1 – meža elementa koku skaits perioda sākumā, ha^{-1} ;
 g_1 – meža elementa šķērslaukums perioda sākumā, $m^2 ha^{-1}$;
 n_2 – meža elementa koku skaits 5 gadu perioda beigās, ha^{-1} ;
 h_1 ; – meža elementa vidējais augstums perioda sākumā, m;
 h_2 – meža elementa vidējais augstums perioda beigās, m;
 t_1 – meža elementa krūšaugstuma vecums perioda sākumā, gadi;
 t_2 – meža elementa krūšaugstuma vecums perioda beigās, gadi;
 z_h – pēdējo piecu gadu vidējais periodiskais augstuma pieaugums, m;
 N_{max} – maksimālais mežaudzes I stāva koku skaits, ha^{-1} ;
 N_1 – mežaudzes 1. stāva koku skaits pirmajā uzmērīšanas reizē, ha^{-1} ;
 b_1 ; b_2 ; b_3 ; b_4 – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas.

Meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modelis izstrādāts datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows.

Rezultāti

Iepriekšējos gados meža elementa nākošā perioda šķērslaukums tika aprēķināts kā funkciju no nākošā perioda meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra un koku skaita pēc sekojoša vienādojuma:

$$G = \frac{\pi D^2 N}{4000} \quad (1.13)$$

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

Šķērslaukuma izmaiņu prognozēšanā ar 1.13. vienādojumu netiek ņemts vērā tas, ka audzē I stāvā atmirst mazākie koki (1.15. tabula). Tādēļ I stāva meža elementu šķērslaukuma izmaiņu

prognozēšanai 2015. gadā pārbaudīti divi jauni vienādojumi (1.11. un 1.12. vienādojumi), kuru koeficienti un statistiskie rādītāji atspoguļoti 1.16. tabulā.

1.15. tabula

Meža elementa relatīvais atmirušo koku diametrs atkarībā no vecuma desmitgades

Suga	Rādītājs	Vecuma desmitgade																			Kopā	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		20
Priede	Aritm.vid.	0.98	0.77	0.85	0.78	0.87	0.84	0.80	0.85	0.86	0.83	0.85	0.85	0.77	0.84	0.90	1.21		0.96		0.77	0.84
	95% ticamība	0.20	0.19	0.08	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.06	0.08	0.09	0.10	0.16	0.13	0.66						0.02
	Skaitis	8	9	17	33	59	79	66	69	44	23	18	15	7	8	2	1		1		1	460
Egle 1.stāvs	Aritm.vid.	1.08	0.94	0.99	0.97	1.01	0.94	1.02	0.95	0.97	1.05	1.10	1.04	0.88	0.90			0.92				0.98
	95% ticamība	0.18	0.15	0.06	0.07	0.06	0.07	0.06	0.05	0.07	0.10	0.12	0.34	0.06	0.16							0.02
	Skaitis	5	15	50	43	30	40	27	26	20	13	3	3	2	3			1				281
Bērzs	Aritm.vid.	0.84	0.84	0.88	0.90	0.90	0.87	0.80	0.89	0.94	1.07	0.88										0.88
	95% ticamība	0.11	0.09	0.09	0.07	0.04	0.05	0.05	0.07	0.22	0.08	0.21										0.02
	Skaitis	12	20	29	52	81	77	33	21	10	4	2										341
Melnalksnis	Aritm.vid.	0.82	1.13	0.96	0.92	0.87	0.87	0.87	1.04													0.90
	95% ticamība		0.25	0.13	0.09	0.06	0.10	0.12	0.39													0.04
	Skaitis	1	2	13	20	31	18	7	2													94
Apse	Aritm.vid.	0.87	0.86	0.76	0.83	0.82	0.93	0.77	0.97	1.00	0.97	0.66	1.04									0.86
	95% ticamība	0.08	0.14	0.14	0.18	0.09	0.08	0.16	0.07		0.06											0.04
	Skaitis	12	11	8	9	15	18	9	4	1	2	1	1									91
Baltalksnis	Aritm.vid.	0.86	0.82	0.91	0.96	0.95	0.93															0.91
	95% ticamība	0.12	0.04	0.04	0.02	0.04	0.05															0.02
	Skaitis	11	31	60	49	26	11															188

Neatkarīgi no koku sugas mazāka sistemātiskā novirze, ja nākošā perioda šķērslaukums tiek prognozēts ar 1.12. vienādojumu (1.16. tabula).

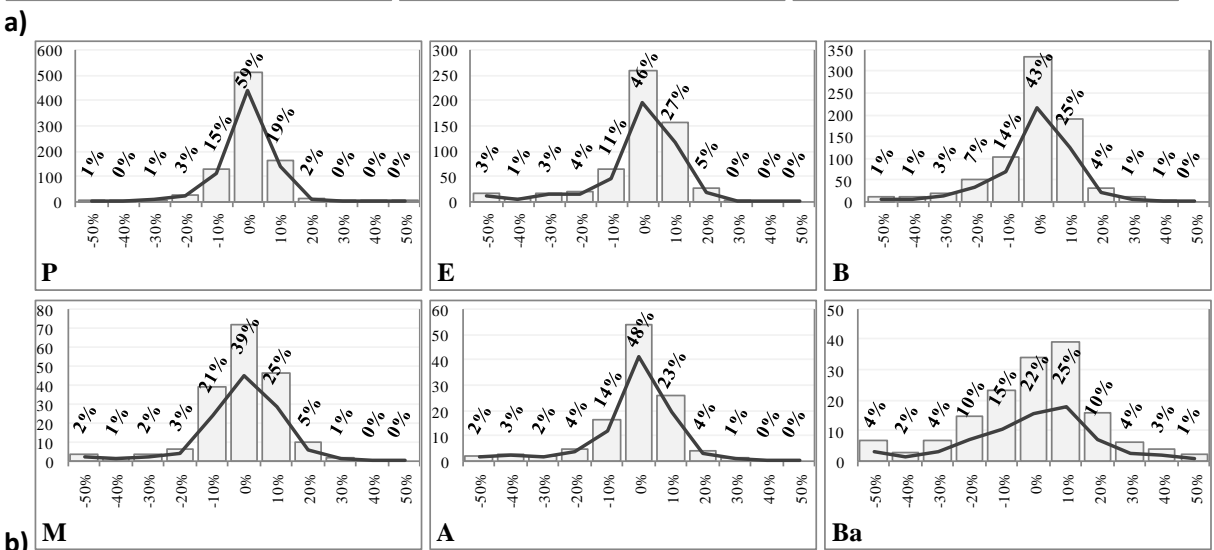
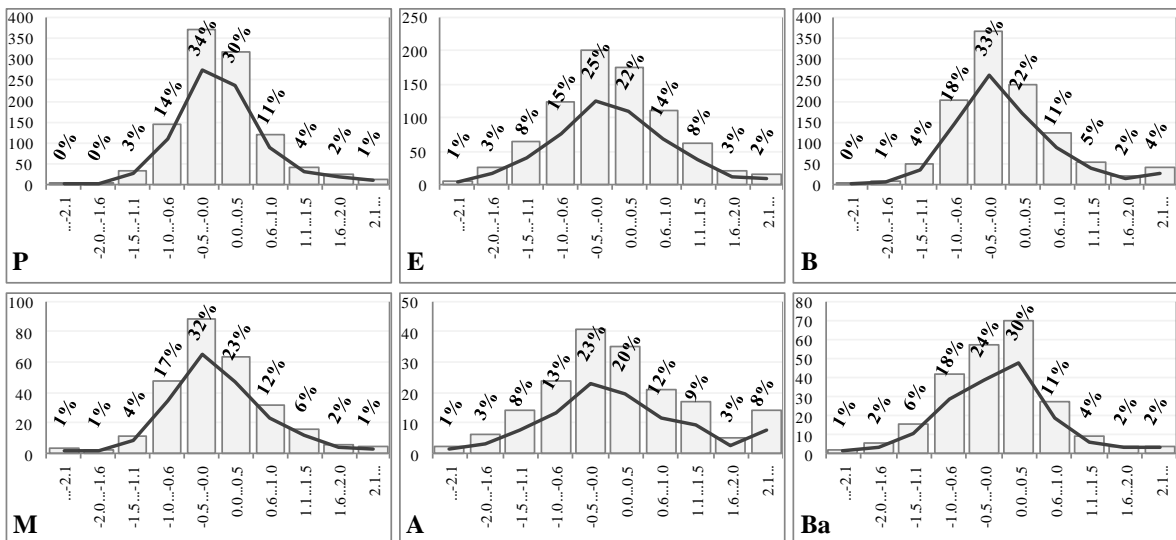
1.16. tabula

Meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modeļu koeficienti un statistiskie rādītāji

Suga	Vienādojums	Koeficienti				Statistiskie rādītāji										
		b1	b2	b3	b4	MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R2	N
P	1.11.	0.54445	23.93481	2.53106		0.28	1.46	0.86	1.11	5.73	1.24	0.02	0.94	0.99	0.98	871
	1.12.	0.24484	-0.06704	0.31328	-0.48435	0.02	0.09	0.94	1.31	6.75	1.72	0.02	0.99	0.99	0.98	871
E	1.11.	0.65037	21.81718	2.77636		0.15	1.02	0.89	1.20	8.06	1.44	0.02	0.94	0.99	0.98	569
	1.12.	0.11491	-0.03340	0.28358	-0.04354	0.02	0.12	1.16	1.85	12.41	3.41	0.05	0.98	0.97	0.95	569
B	1.11.	0.58468	11.59494	2.89761		0.21	1.81	0.76	0.99	8.40	0.98	0.03	0.91	0.99	0.97	768
	1.12.	0.09380	-0.00029	0.22535	-0.21692	0.02	0.17	0.90	1.27	10.83	1.62	0.05	0.98	0.98	0.95	768
M	1.11.	0.59092	11.45979	3.28902		0.15	1.15	0.87	1.15	8.71	1.31	0.01	0.92	0.99	0.99	185
	1.12.	0.16641	-0.00428	0.08865	-0.33109	0.00	-0.02	0.90	1.19	9.04	1.42	0.02	0.97	0.99	0.98	185
A	1.11.	0.54192	11.67725	3.06820		0.32	1.77	1.35	1.73	9.49	2.95	0.03	0.89	0.99	0.98	113
	1.12.	0.16636	-0.01092	0.20362	-0.14865	0.01	0.05	1.20	1.67	9.16	2.75	0.03	0.99	0.99	0.97	113
Ba	1.11.	0.52749	13.61406	2.80820		0.13	0.98	1.17	1.61	11.77	2.57	0.03	0.87	0.99	0.97	156
	1.12.	0.07472	-0.00448	0.50246	-0.62516	0.07	0.48	1.67	2.15	15.73	4.59	0.06	1.00	0.97	0.94	156

MRES - vidējā novirze m2ha-1; MRES% - relatīvā sistemātiskā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze; RMSE - standartkļūda; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R2 - determinācijas indekss; N - elementu skaits.

Starpībai starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukumu ir lielāka izkliede, ja šķērslaukums prognozēts ar 1.11. vienādojumu (1.16. tabula un 1.19. attēls).



1.19. attēls. Meža elementu skaits un īpatsvars atkarībā no starpības starp uzņēmīto un aptuveno šķērslaukumu

a) 1.11. vienādojums; b) 1.12. vienādojums

Abiem vienādojumiem šķērslaukuma vidējā periodiskā pieauguma novirzei konstatētas vājas lineārās korelācijas ar meža elementa krūšaugstuma vecuma, sākotnējo meža elementa vidējo augstumu, sākotnējo meža elementa šķērslaukumu un sākotnējo mežaudzes I stāva relatīvo biežību (1.20. attēls).

Šķērslaukuma izmaiņu modelēšanā par piemērotāku uzskatāms 1.12. vienādojums, jo:

- tam ir augstāki statistiskie rādītāji;
 - tas ir mazāk atkarīgs no citu modeļu prognozētajām vērtībām
- 1.12. vienādojums atkarīgs tikai no prognozētā augstuma, kamēr 1.11. vienādojums atkarīgs gan no prognozētā augstuma, gan prognozētā koku skaita.

Līdzīgi kā koku skaita modelim, tā arī šķērslaukuma aktualizācijas modelī prognozētais meža elementu šķērslaukums nedrīkst pārsniegt maksimālo šķērslaukumu, kas tiek aprēķināts pēc sekojošas formulas:

$$g_{max} = \frac{b_1}{1 + \left(\frac{d}{b_2}\right)^{b_3}} \quad (1.14)$$

kur n_{max} – maksimālais mežaudzes koku skaits, ha^{-1}
 d – mežaudzes vidējais kvadrātiskais krūšaugstuma caurmērs, cm
 $b_1; b_2; b_3; b_4$ – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas (1.16. tabula).

1.17. tabula

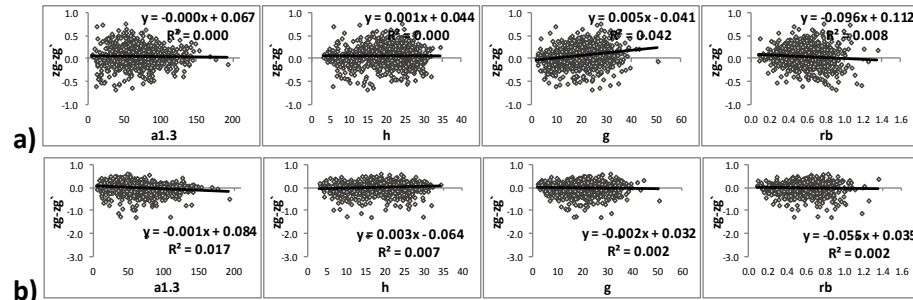
I stāva meža elementu maksimālā šķērslaukuma modeļa koeficienti

Koeficienti	Priede	Egle	Bērzs	Melnalksnis	Apse	Baltalksnis
b1	63.5	57.0	44.2	50.0	55.6	39.0
b2	13.466	9.337	6.020	9.270	5.971	3.965
b3	-1.514	-1.703	-1.377	-1.872	-1.495	-2.042

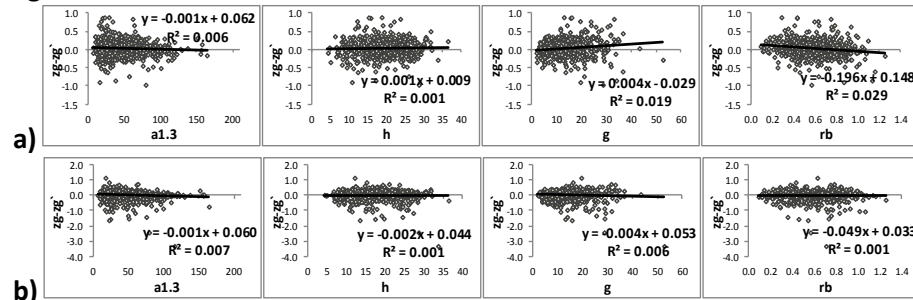
Maksimālā šķērslaukuma izstrādē izmantoti tie paši dati, kas maksimālā koku skaita analīzē. Par maksimālo šķērslaukumu priedes, egles, bērza un apses audzēs tiek pieņemts caurmēra grupas vidējā vērtība plus trīs standartnovirzes, bet alkšņu audzēs vidējā vērtība plus divas standartnovirzes.

Mežaudzes maksimālais šķērslaukums līdzīgi kā maksimālais koku skaits tiek aprēķināts kā atsevišķu meža elementu maksimālā šķērslaukuma summa, kas svērta ar meža elementu īpatsvaru.

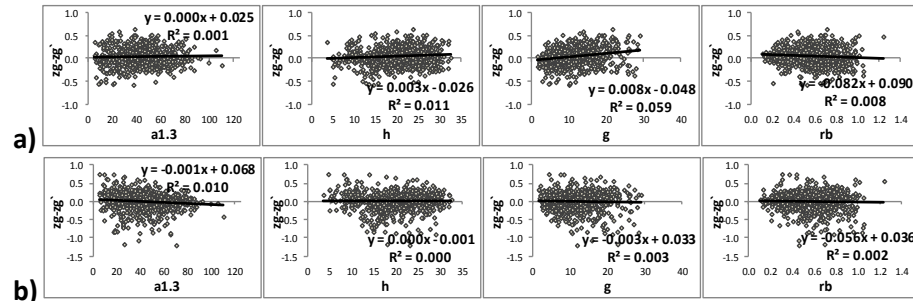
Priede



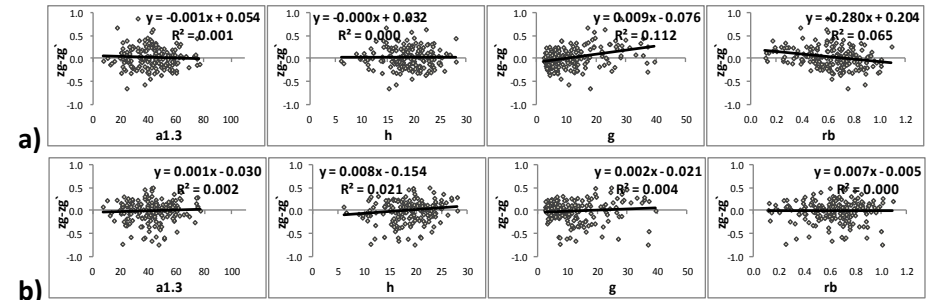
Egle



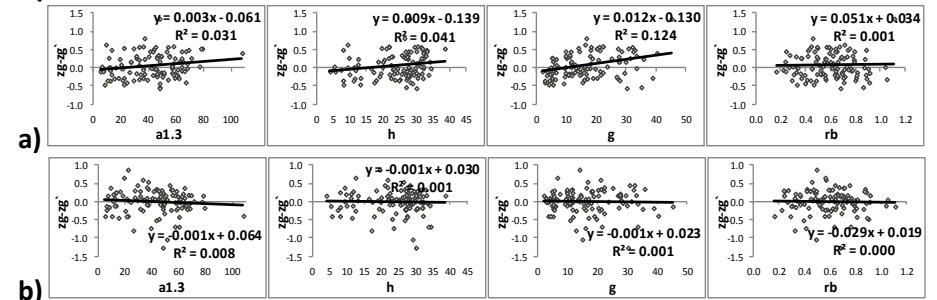
Bērzs



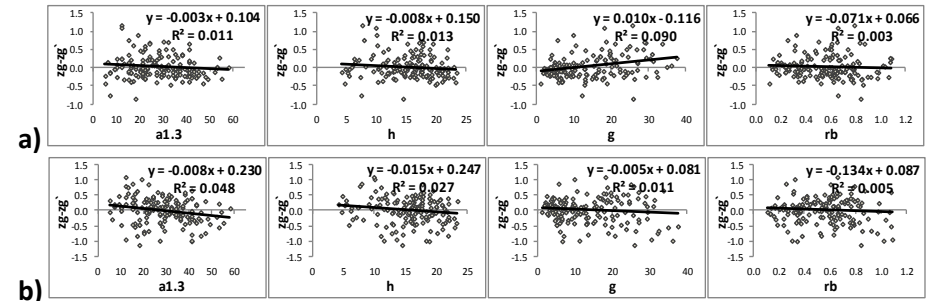
Melnalksnis



Apse



Baltalksnis



1.12. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto meža elementa šķērslaukuma vidējo periodisko diferenci ($zd-zd'$) atkarībā no sākotnējā meža elementa krūšaugstuma vecuma ($a1.3$), sākotnējā meža elementa vidējā augstuma (h), sākotnējā meža elementa šķērslaukuma (g) un sākotnējās mežaudzes I stāva relatīvās biezības (rb)

a) 1.11. vienādojums; b) 1.12. vienādojums

2. Pieauguma, atmiruma un krājas diferences prognožu modeļu izstrāde

2.1. Faktiskās audzes tekošā pieauguma modelis

Materiāls un metodika

Analīzē izmantoti dati par 2340 MSI atkārtoti uzņēmētajiem 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 izeaugoties (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.

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 $la=0, l=1...IV=4; V=5$);
 G – kokaudzes (meža elementa) šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$.

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

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

kur M_{A-n} - audzes krāja vecumā A (augošo koku krāja);
 m_{A-n} – intervāla n beigās audzē augošo koku krāja $A-n$ gadu vecumā;
 $n=5$

Koeficientu vērtības aprēķinātas izmantojot datorprogrammu SPSS 14 rīku Nonlinear regression.

Rezultāti

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

Vienādojumam ar visiem analizē iekļautajiem meža elementiem konstatētas ļoti mazas vidējās novirzes (mazākas par $0.05\text{m}^3\text{ha}^{-1}$), kas visos gadījumos ir mazākas par 0.5% no elementa aritmētiski vidējā faktiskās audzes krājas tekošā vidēji periodiskā pieauguma (2.2. tabula).

2.1. tabula

Faktiskās audzes tekošā vidēji periodiskā pieauguma modeļa (2. 1. formula) koeficienti

Meža elements	s10				I stāvs				Kopā			
	a1	a2	a3	a4	a1	a2	a3	a4	a1	a2	a3	a4
Priede	3.119	-0.372	0.906	0.780	3.397	-0.346	0.893	0.747	2.622	-0.218	0.872	0.694
Egle	8.526	-0.579	1.000	0.745	8.106	-0.530	1.000	0.721	8.813	-0.498	1.000	0.654
Bērzs	11.164	-0.534	0.918	0.559	10.297	-0.482	0.920	0.567	8.311	-0.371	0.912	0.531
Melnalksnis	2.537	-0.375	0.896	0.928	5.115	-0.416	0.886	0.757	5.265	-0.353	0.875	0.682
Apse	6.875	-0.358	1.000	0.665	8.349	-0.335	1.000	0.573	7.834	-0.197	1.000	0.446
Baltalksnis	12.716	-0.701	1.000	0.646	15.137	-0.584	1.000	0.506	13.769	-0.535	1.000	0.498

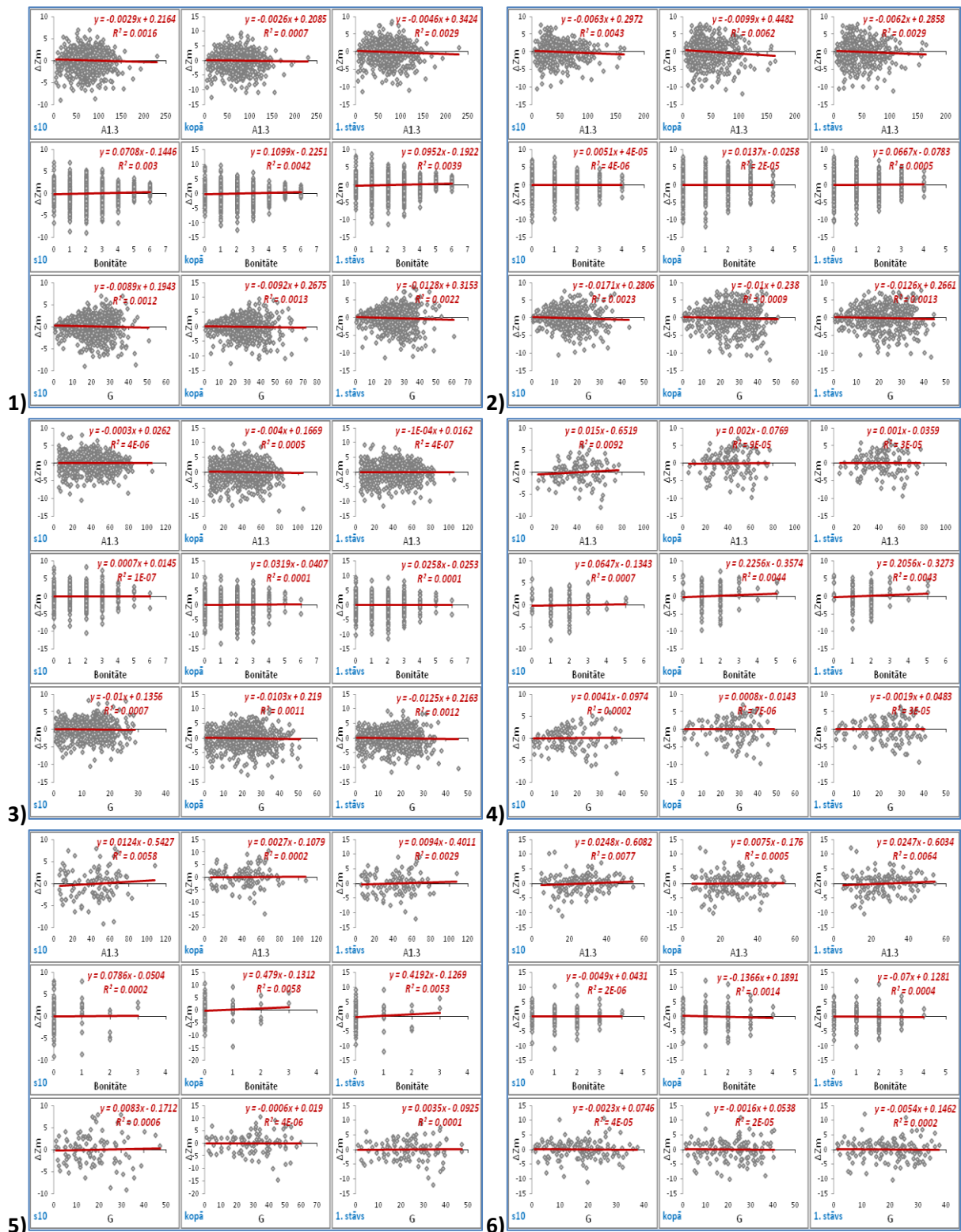
2.2. tabula

Faktiskās audzes tekošā vidēji periodiskā pieauguma modeļa (2. 1. formula) statistiskie rādītāji

Suga	Taksācijas vienība	Statistiskie rādītāji										
		MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
Priede	s10	-0.020	-0.38	1.631	2.150	40.50	4.619	0.464	0.514	0.732	0.537	904
	Kopā	-0.031	-0.42	2.116	2.838	38.66	8.046	0.413	0.563	0.766	0.587	904
	I stāvs	-0.029	-0.46	1.887	2.530	39.69	6.394	0.444	0.529	0.746	0.556	904
Egle	s10	-0.006	-0.08	2.095	2.772	38.13	7.667	0.364	0.632	0.798	0.636	425
	Kopā	0.010	0.10	2.871	3.628	36.25	13.133	0.508	0.501	0.702	0.492	425
	I stāvs	0.001	0.02	2.574	3.335	36.61	11.093	0.457	0.545	0.737	0.543	425
Bērzs	s10	-0.016	-0.30	1.787	2.395	46.57	5.728	0.554	0.428	0.668	0.446	655
	Kopā	-0.006	-0.07	2.628	3.417	41.41	11.655	0.552	0.443	0.669	0.448	655
	I stāvs	-0.012	-0.18	2.233	2.968	43.19	8.793	0.558	0.430	0.665	0.442	655
Melnalksnis	s10	0.030	0.46	1.958	2.529	39.14	6.339	0.313	0.709	0.829	0.688	115
	Kopā	-0.007	-0.08	2.704	3.443	35.59	11.750	0.478	0.515	0.722	0.522	115
	I stāvs	-0.005	-0.06	2.517	3.180	36.37	10.024	0.451	0.544	0.741	0.549	115
Apse	s10	0.028	0.31	2.746	3.488	38.26	12.049	0.406	0.617	0.771	0.594	104
	Kopā	-0.002	-0.02	3.071	4.129	32.35	16.879	0.602	0.395	0.631	0.398	104
	I stāvs	0.010	0.09	2.901	3.768	33.72	14.056	0.574	0.438	0.653	0.426	104
Baltalksnis	s10	-0.037	-0.54	2.312	3.205	46.70	10.196	0.469	0.503	0.729	0.532	137
	Kopā	-0.019	-0.20	2.706	3.644	39.09	13.183	0.586	0.395	0.643	0.414	137
	I stāvs	-0.041	-0.47	2.600	3.495	40.62	12.124	0.544	0.418	0.676	0.457	137

MRES - vidējā novirze; MRES% - relatīvā sistemātiskā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze; RMSE – standartklūda; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā klūda; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R² - determinācijas indekss; N - meža elementu 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).



2.1. 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

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.

Ilggadējā dabiskā atmiruma modelēšanai pārbaudīti 2 vienādojumi (Donis et al., 2012,2013):

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

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

kur $Z_M(-)$ - audzes dabiskais 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.

Koeficientu vērtības aprēķinātas izmantojot datorprogrammu SPSS 14 rīku Nonlinear regression.

Rezultāti

Aproximētas koeficientu vērtības krājas tekošā vidēji periodiskā dabiskā atmiruma aprēķināšanai (2.3. 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 (2.4. tabula), 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 lēcieneidīgi, 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.

2.3. tabula

Mežaudzes dabiskā tekošā vidēji periodiskā atmiruma modeļu (2.3. un 2.4. formulas) koeficienti

Meža elements	Vienādojums	I stāvs				Kopā			
		a1	a2	a3	a4	a1	a2	a3	a4
Priede	2.3.	0.000	2.519	0.017	1.245	0.001	0.807	0.307	1.330
	2.4.	843.948	22.684	-28.539		560.438	18.758	-16.195	
Egle	2.3.	0.008	0.899	0.470	0.770	0.005	0.973	0.195	1.044
	2.4.	112.514	6.390	6.284		213.890	9.344	-5.334	
Bērzs	2.3.	0.000	2.633	0.004	1.569	0.001	0.928	0.064	1.646
	2.4.	627.283	11.467	-21.661		291.956	12.656	-11.830	
Melnalksnis	2.3.	0.000	2.969	0.010	1.067	0.000	3.774	0.003	0.394
	2.4.	607.204	0.627	-3.639		371.813	-3.990	10.166	
Apse	2.3.	0.009	0.871	0.097	1.060	0.008	1.179	0.045	0.868
	2.4.	25.709	10.556	-0.893		37.814	10.458	-2.242	
Baltalksnis	2.3.	0.023	0.512	3.391	0.896	0.044	-0.007	9.296	1.169
	2.4.	159.571	0.665	1.296		134.339	2.835	-1.068	

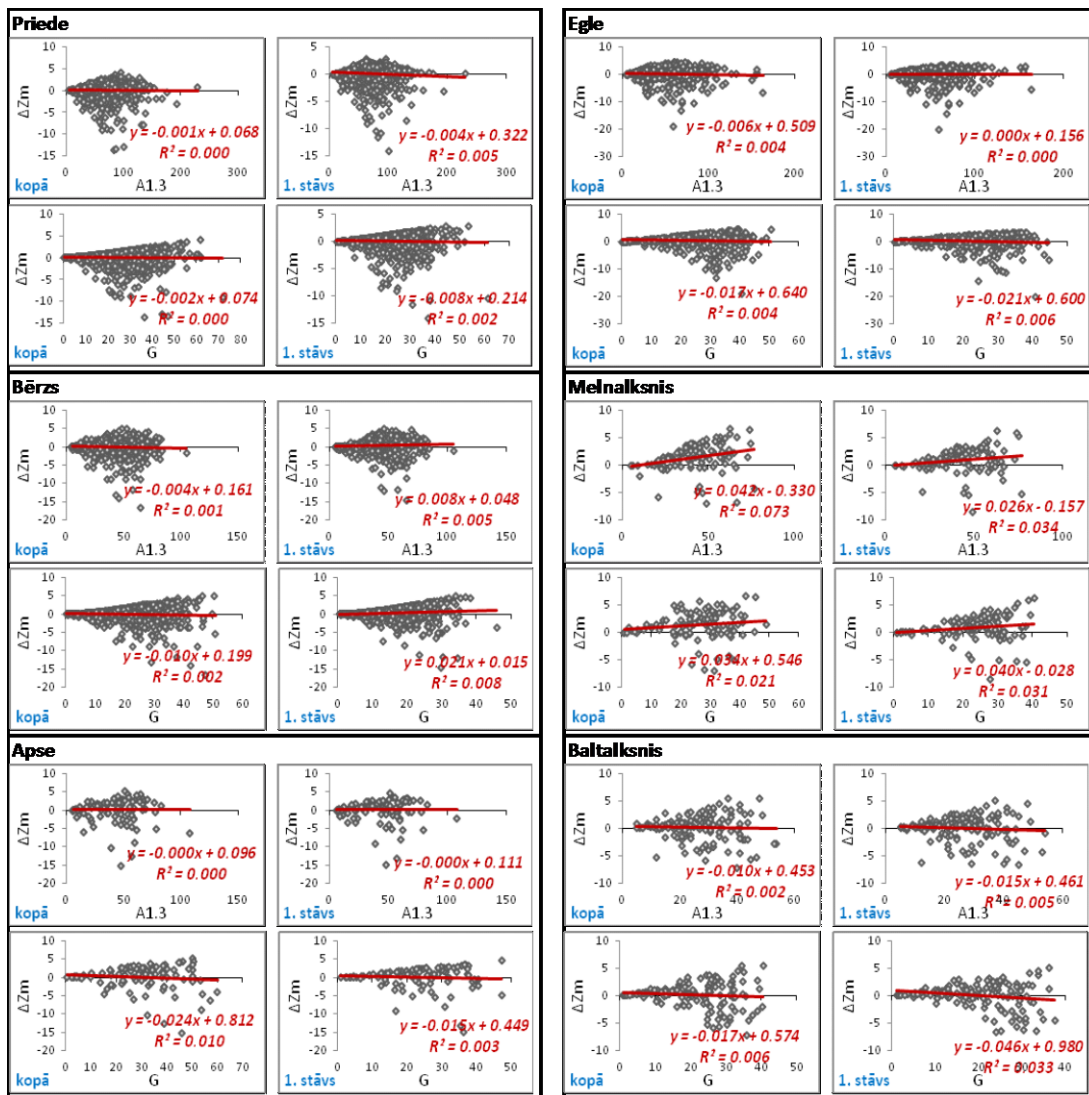
2.4. tabula

Mežaudzes dabiskā tekošā vidēji periodiskā atmiruma modeļu (2.3. un 2.4. formulas) statistiskie rādītāji

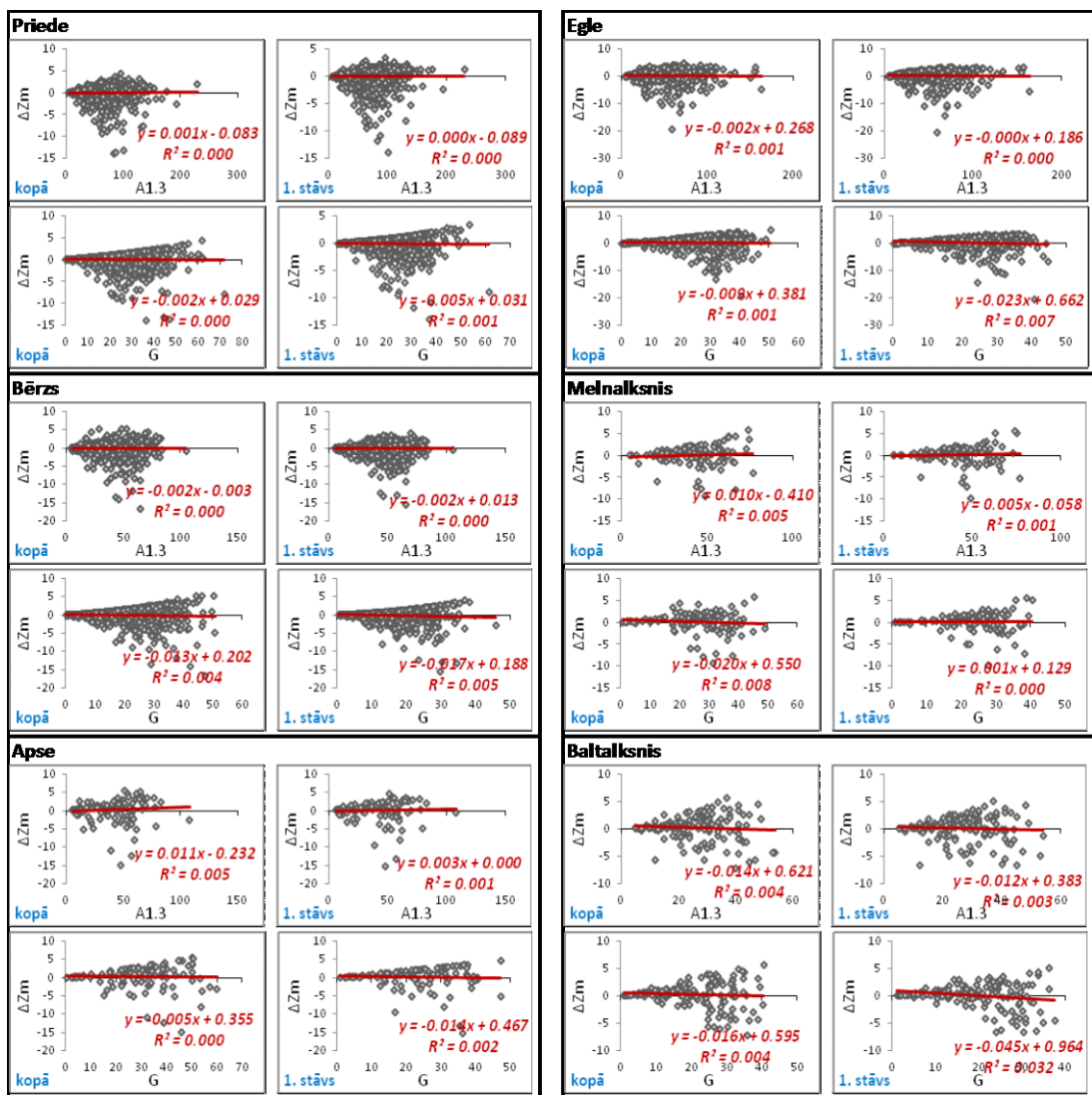
Suga	Taksācijas vienība	Statistiskie rādītāji										
		MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R2	N
2.3. vienādojums												
Priede	kopā	-0.11	-1.66	6.39	9.67	146.12	93.45	0.856	0.139	0.380	0.144	904
	I stāvs	-0.16	-3.17	5.77	8.81	173.06	77.54	0.895	0.100	0.324	0.105	904
Egle	kopā	-1.16	-10.80	9.69	14.18	132.47	200.50	0.808	0.161	0.446	0.199	425
	I stāvs	-0.81	-10.46	8.36	13.00	168.78	168.66	0.855	0.111	0.389	0.151	425
Bērzs	kopā	0.04	0.49	7.29	11.42	127.37	130.20	0.705	0.248	0.546	0.298	655
	I stāvs	-1.79	-31.23	6.65	10.07	175.70	101.26	0.819	0.293	0.462	0.213	655
Melnalksnis	kopā	-7.16	-58.04	11.29	14.69	119.18	213.98	1.096	0.564	0.493	0.243	115
	I stāvs	-4.53	-49.58	8.69	12.21	133.57	147.67	0.943	0.454	0.480	0.230	115
Apse	kopā	-0.48	-3.29	12.04	17.42	119.91	300.33	0.823	0.142	0.424	0.180	104
	I stāvs	-0.51	-5.01	10.45	15.87	155.71	249.34	0.871	0.107	0.362	0.131	104
Baltalksnis	kopā	-0.98	-6.62	8.58	11.78	79.50	137.61	0.532	0.396	0.689	0.475	137
	I stāvs	-0.38	-3.03	8.33	11.62	91.38	133.96	0.578	0.294	0.661	0.436	137
2.4. vienādojums												
Priede	kopā	0.13	1.91	6.32	9.65	145.85	93.09	0.853	0.140	0.383	0.147	904
	I stāvs	0.42	8.30	5.54	8.77	172.33	76.89	0.889	0.092	0.339	0.115	904
Egle	kopā	-0.78	-7.26	9.50	14.10	131.75	198.35	0.802	0.175	0.449	0.202	425
	I stāvs	-0.87	-11.30	8.42	13.02	168.98	169.07	0.859	0.105	0.385	0.148	425
Bērzs	kopā	0.33	3.69	7.28	11.50	128.31	132.13	0.716	0.245	0.535	0.286	655
	I stāvs	0.40	7.04	5.81	9.86	172.09	97.13	0.787	0.158	0.469	0.220	655
Melnalksnis	kopā	-0.11	-0.86	8.18	12.14	98.48	146.13	0.755	0.284	0.496	0.246	115
	I stāvs	-0.71	-7.79	7.42	11.10	121.46	122.12	0.787	0.258	0.467	0.218	115
Apse	kopā	-1.08	-7.43	11.91	17.10	117.71	289.43	0.801	0.180	0.450	0.203	104
	I stāvs	-0.72	-7.09	10.33	15.80	154.98	247.01	0.872	0.102	0.364	0.132	104
Baltalksnis	kopā	-1.26	-8.54	8.82	12.04	81.28	143.87	0.561	0.382	0.670	0.449	137
	I stāvs	-0.40	-3.19	8.39	11.67	91.77	135.10	0.588	0.300	0.651	0.424	137

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

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 (2.2. un 2.3. attēli), 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.



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



2.3. attēls. Audzes I stāva (1. stāvs) un audzes kopējā (kopā) ikgadējā krājas dabiskā atmiruma starpības (ΔZ_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. Kopšanas ciršu ietekme uz pieaugumu izmaiņām vērtējums

Materiāls un metodika

- Analīzē izmantoto 2675 urbto koku datus no MSI 257 parauglaukumiem, kuros:
- otrajā uzmērīšanas ciklā nav konstatēti jauni celmi (nav konstatēta koku ciršana starp uzmērīšanas periodā);
 - valdošā koku suga priede, egle vai bērzs;
 - priezu parauglaukumos meža tips Sl, Mr, Ln, Dm, Mrs, Dms, Am, As, Km, Ks;
 - egļu un bērzu parauglaukumos meža tips Dm, Vr, Dms, Vrs, As, Ap, Ks, Kp;
 - vecums priedēm no 31 līdz 80 gadiem, eglēm no 31 līdz 70 gadiem un bērziem no 11 līdz 60 gadiem (3.1. tabula).

3.1. tabula

Kopšanas ciršu ietekmes uz pieauguma izmaiņām analīzē izmantoto koku skaits sadalījumā pa vecuma grupām

Suga	Ietekme	Vecuma grupa						kopā	
		11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70		71-80
Priede	kopā			101	269	230	214	271	1085
	nekopts			91	177	153	163	164	748
	kopts			10	92	77	51	107	337
Egle	kopā			154	220	218	146		738
	nekopts			73	198	171	97		539
	kopts			81	22	47	49		199
Bērzs	kopā	30	197	146	248	231			852
	nekopts	23	166	102	181	163			635
	kopts	7	31	44	67	68			217

Par koptām audzēm tika uzskatītas audzes, kurās pirmajā uzmērīšanas ciklā ir konstatēti vismaz trīs celmi.

Analīzē salīdzināti vecuma grupu aritmētiski vidējie pēdējo piecu gadu krūšaugstuma caurmēra tekošie periodiskie pieaugumi.

Analīze veikta izmantojot SPSS14 rīku GLM Univariate un Linear regression.

Rezultāti

Daudzfaktoru analīzē noskaidrots, ka kopšanas cirtēm ir būtiska ietekme uz koku krūšaugstuma caurmēra pieaugumu (3.2. tabula).

Koku caurmēra papildus pieauguma novērtēšanai un caurmēra aprēķināšanai pēc kopšanas cirtes izstrādāts sekojošs vienādojums:

$$D_2 = D_2' [b_1 \ln(A_1) + b_2] \quad (3.1)$$

kur D_2 – meža elementa vidējais krūšaugstuma caurmērs pēc kopšanas cirtes, cm;

D_2' – prognozētais meža elementa vidējais krūšaugstuma caurmērs, ja netiktu veikta kopšanas cirte (1.6. vienādojums), cm;

A_1 – meža elementa krūšaugstuma vecums pirms kopšanas cirtes, gadi;

b_1 un b_2 – empīriskie koeficienti. Priede $b_1=-0.879$ $b_2=4.950$; Egle $b_1=-1.271$ $b_2=6.472$; Bērzs $b_1=-0.507$ $b_2=3.369$

Koka caurmēra papildus pieaugumu rēķina piecus gadus pēc kopšanas cirtes veikšanas.

MSI parauglaukumos urbto koku pēdējo piecu gadu tekošā periodiskā caurmēra pieauguma dispersijas analīzes rezultāti

Suga	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Priede	Corrected Model	60.801	21	2.895	6.040	0.000
	Intercept	1018.181	1	1018.181	2124.116	0.000
	A 10-gade	17.080	4	4.270	8.908	0.000
	Saimn_darb	14.898	1	14.898	31.079	0.000
	MT grupa	0.362	2	0.181	0.378	0.685
	A 10gade * Saimn_darb	5.517	4	1.379	2.877	0.022
	A 10gade * MT grupa	13.723	4	3.431	7.157	0.000
	Saimn_darb * MT grupa	3.517	2	1.759	3.669	0.026
	A10gade * Saimn_darb * MT grupa	11.053	4	2.763	5.765	0.000
	Error	352.797	736	0.479		
	Total	1772.374	758			
Corrected Total	413.598	757				
Egle	Corrected Model	60.035	7	8.576	10.262	0.000
	Intercept	1103.176	1	1103.176	1320.049	0.000
	A 10-gade	4.691	3	1.564	1.871	0.133
	Saimn_darb	31.393	1	31.393	37.564	0.000
	MT grupa	0.000	0	.	.	.
	A 10gade * Saimn_darb	19.371	3	6.457	7.726	0.000
	A 10gade * MT grupa	0.000	0	.	.	.
	Saimn_darb * MT grupa	0.000	0	.	.	.
	A10gade * Saimn_darb * MT grupa	0.000	0	.	.	.
	Error	504.768	604	0.836		
	Total	2060.732	612			
Corrected Total	564.803	611				
Bērzs	Corrected Model	147.951	8	18.494	29.612	0.000
	Intercept	1162.466	1	1162.466	1861.294	0.000
	A 10-gade	124.811	4	31.203	49.961	0.000
	Saimn_darb	62.634	1	62.634	100.287	0.000
	MT grupa	0.000	0	.	.	.
	A 10gade * Saimn_darb	35.319	3	11.773	18.851	0.000
	A 10gade * MT grupa	0.000	0	.	.	.
	Saimn_darb * MT grupa	0.000	0	.	.	.
	A10gade * Saimn_darb * MT grupa	0.000	0	.	.	.
	Error	501.511	803	0.625		
	Total	2180.014	812			
Corrected Total	649.462	811				

4. 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 to augstspējas 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), "Snieglicēju bojāto bērzu jaunaudzju novērtēšana Dienvidlatgales mežsaimniecībā", (J. Donis 2011).

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

- ugunsgrēku ietekmē;
- vēja bojājumu ietekmē.

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”, atkārtošanās frekvence, tā ietekme uz kokaudzi (bojājuma pakāpi). Šādi aprēķini pašreiz tiek veikti citu kompetences centra pētījumu virzienu ietvaros, bet stohastiskos modeļus pagaidām nav plānots izmantot augšanas gaitas modeļos, kurus izmanto plānošanas atbalsta rīkos, piem., „Mestra”, jo šādā gadījumā būtu jāmaina visa plānošanas atbalsta rīku koncepcija.

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. Piemēram, kā snieglauzēs, tā ugunsgrēkos vairāk cieš relatīvi tievāki koki.

4.1. Vējgāzes ietekmes uz augšanas gaitu novērtējums

Materiāls un metodika

Vējgāzes ietekmes novērtēšanai projekta ietvaros Kurzemes reģionā uzmērītas 9 egļu audzes, kurās vecums ir 40-60 gadi un 2005. gadā bija konstatēti grupveida vējgāzes bojājumi.

Katrā objektā ierīkoti divi 500 m² (R=12.62m) parauglaukumi, vienu parauglaukumu ierīko audzes bojātajā daļā, bet otru audzes relatīvi (nav redzami tieši vējgāzes bojājumi (lauzti, gāzti koki)) nebojātajā daļā.

Krājas papildus pieaugums aprēķināts I stāva eglēm katrā audzē salīdzinot audzes vējgāzes bojāto daļu ar audzes relatīvi vējgāzes nebojāto daļu (nav vizuālu vējgāzes bojājumu).

Krājas papildus pieaugumu pēc 2005. gada vējgāzes aprēķina pēc profesora I. Liepas (Liepa, 1996) izstrādātās metodikas.

Rezultāti

Analizēto objektu aritmētiski vidējais caurmēra un krājas kumulatīvais papildus pieaugums piecus gadus pēc vējgāzes ir $+0.23 \pm 0.12 (\pm SE)$ cm un $+6.21 \pm 3.14$ m³ha⁻¹, bet deviņus gadus pēc vējgāzes $+0.58 \pm 0.26 (\pm SE)$ cm un $+18.37 \pm 7.85$ m³ha⁻¹.

Negatīvs krājas kumulatīvais papildus pieaugums 9 gadus pēc vējgāzes ir tikai divām audzēm, no kurām vienai (7206-199-15) pēc vējgāzes ir veikta kopšanas cirte. Visos objektos palikušo egļu krājas papildus pieaugums ir mazāks nekā 2005. gadā vējgāzes ietekmes rezultātā atmirušo koku

krāja. Savukārt negatīvs caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums 9 gadus pēc vējgāzes ir tikai vienā objektā un tajā pašā, kurā pēc vējgāzes veikta kopšanas cirte (4.1. tabula).

4.1. tabula

Egļu audžu caurmēra un krājas papildus pieaugums pēc 2005. gada vējgāzes

Objekts	Rādītājs	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Matm m ³ ha ⁻¹
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
7206-192-17	Zd	-0.06	-0.03	-0.02	0.04	0.03	-0.01	0.03	0.07	-0.04	
	Zdkp	-0.06	-0.09	-0.12	-0.08	-0.05	-0.06	-0.02	0.05	0.01	
	Zmkp	-1.85	-3.03	-3.98	-2.96	-1.88	-2.22	-0.89	2.31	0.54	60.91
7206-199-15	Zd	0.01	-0.08	-0.10	-0.08	-0.06	-0.13	-0.09	-0.06	-0.11	
	Zdkp	0.01	-0.07	-0.16	-0.25	-0.30	-0.43	-0.52	-0.58	-0.69	
	Zmkp	0.22	-1.68	-4.19	-6.57	-8.52	-12.46	-15.71	-18.11	-22.26	20.03
7206-200-8	Zd	0.05	0.05	0.09	0.19	0.22	0.23	0.23	0.25	0.17	
	Zdkp	0.05	0.10	0.20	0.38	0.60	0.82	1.06	1.31	1.48	
	Zmkp	1.08	2.38	4.76	9.74	16.06	23.11	31.11	40.79	47.94	97.71
8102-310-2	Zd	0.07	0.14	0.11	0.22	0.18	0.13	0.19	0.20	0.14	
	Zdkp	0.07	0.21	0.32	0.54	0.72	0.85	1.04	1.25	1.39	
	Zmkp	1.50	4.42	7.09	12.49	17.47	21.66	27.66	34.78	39.97	49.97
8102-310-21	Zd	-0.04	-0.01	-0.03	-0.01	-0.03	0.02	0.02	0.01	-0.03	
	Zdkp	-0.04	-0.05	-0.08	-0.10	-0.13	-0.11	-0.09	-0.08	-0.11	
	Zmkp	-0.62	-0.81	-1.37	-1.65	-2.34	-2.09	-1.76	-1.70	-2.52	38.94
8102-310-4	Zd	-0.01	0.06	0.13	0.10	0.15	0.12	0.09	0.07	0.08	
	Zdkp	-0.01	0.06	0.18	0.28	0.43	0.55	0.65	0.72	0.79	
	Zmkp	-0.22	1.91	6.43	10.35	16.41	21.80	26.54	30.78	35.17	100.75
8205-308-17	Zd	-0.07	-0.02	0.05	0.10	0.06	0.06	0.00	-0.04	0.01	
	Zdkp	-0.07	-0.09	-0.04	0.06	0.12	0.18	0.18	0.14	0.15	
	Zmkp	-2.23	-3.11	-1.45	2.26	4.75	7.34	7.75	6.28	6.97	49.40
8205-311-26	Zd	0.03	0.12	0.05	0.16	0.20	0.23	0.20	0.25	0.12	
	Zdkp	0.03	0.15	0.20	0.36	0.56	0.79	0.99	1.24	1.36	
	Zmkp	0.44	2.17	3.16	6.16	10.44	15.57	21.00	28.31	32.47	65.78
8306-343-2	Zd	-0.05	-0.03	0.06	0.07	0.07	0.11	0.23	0.25	0.12	
	Zdkp	-0.05	-0.08	-0.02	0.05	0.12	0.23	0.45	0.71	0.82	
	Zmkp	-1.26	-2.09	-0.61	1.46	3.51	6.75	13.87	22.45	27.08	157.70
Kopā	Zd	-0.01	0.02	0.04	0.09	0.09	0.08	0.10	0.11	0.05	
	Zdkp	-0.01	0.01	0.05	0.14	0.23	0.31	0.42	0.53	0.58	
	Zmkp	-0.33	0.02	1.09	3.48	6.21	8.83	12.18	16.21	18.37	71.24

Zd - caurmēra ikgadējais papildus pieaugums, cm; Zdkp - caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums, cm;
Zmkp - krājas kumulatīvais papildus pieaugums m³ha⁻¹

Tā kā uzmērīti ir radiālā pieaugumi, bet augstuma pieaugumi ir aprēķināti, balstoties uz radiālo pieaugumu, vējgāzes ietekmes izvērtēšanai objektīvāks rādītājs ir caurmēra pieaugums nevis krājas pieaugums.

Caurmēra pieaugumam ir novērojamas 3 tendences:

1. caurmēra pieaugums pēc vētras sākumā (1-5 gadi) nemainās, bet vēlāk ir novērojams pozitīvs caurmēra papildus pieaugums;
2. caurmēra pieaugums pēc vētras sākumā (1-5 gadi) ir negatīvs, bet vēlāk ir novērojams pozitīvs caurmēra papildus pieaugums;
3. caurmēra pieaugums pēc vētras sākumā (1-5 gadi) ir negatīvs, bet vēlāk tas ir tāds pats kā kontroles daļā.

Lai precīzāk un statistiski korekti raksturotu vējgāzes ietekmi uz kokaudzes augšanas gaitu atkarībā no audzes taksācijas rādītājiem un/vai vējgāzes radīto postījumu intensitātes, nepieciešams lielāks datu apjoms.

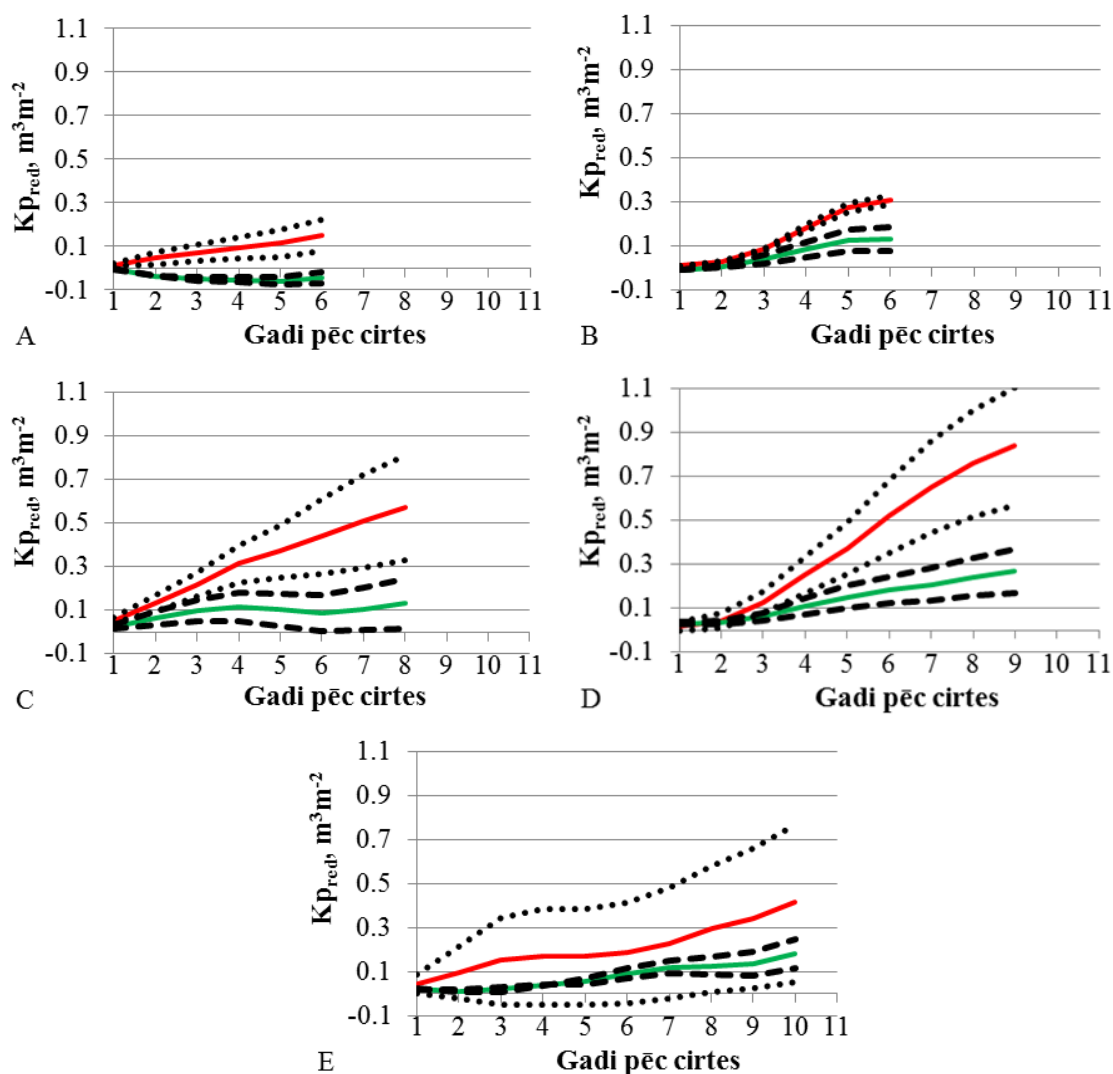
Tā kā vējgāzes radītā ietekme uz caurmēra pieaugumu ir īslaicīga un neviennozīmīga, šī dabiskā traucējuma ietekmi augšanas gaitas modelēšanā pašreiz neņem vērā.

Priežu audzes pēc pakāpeniskās cirtes

Palikušo koku atsaucis reakcija grupu pakāpeniskajās cirtēs

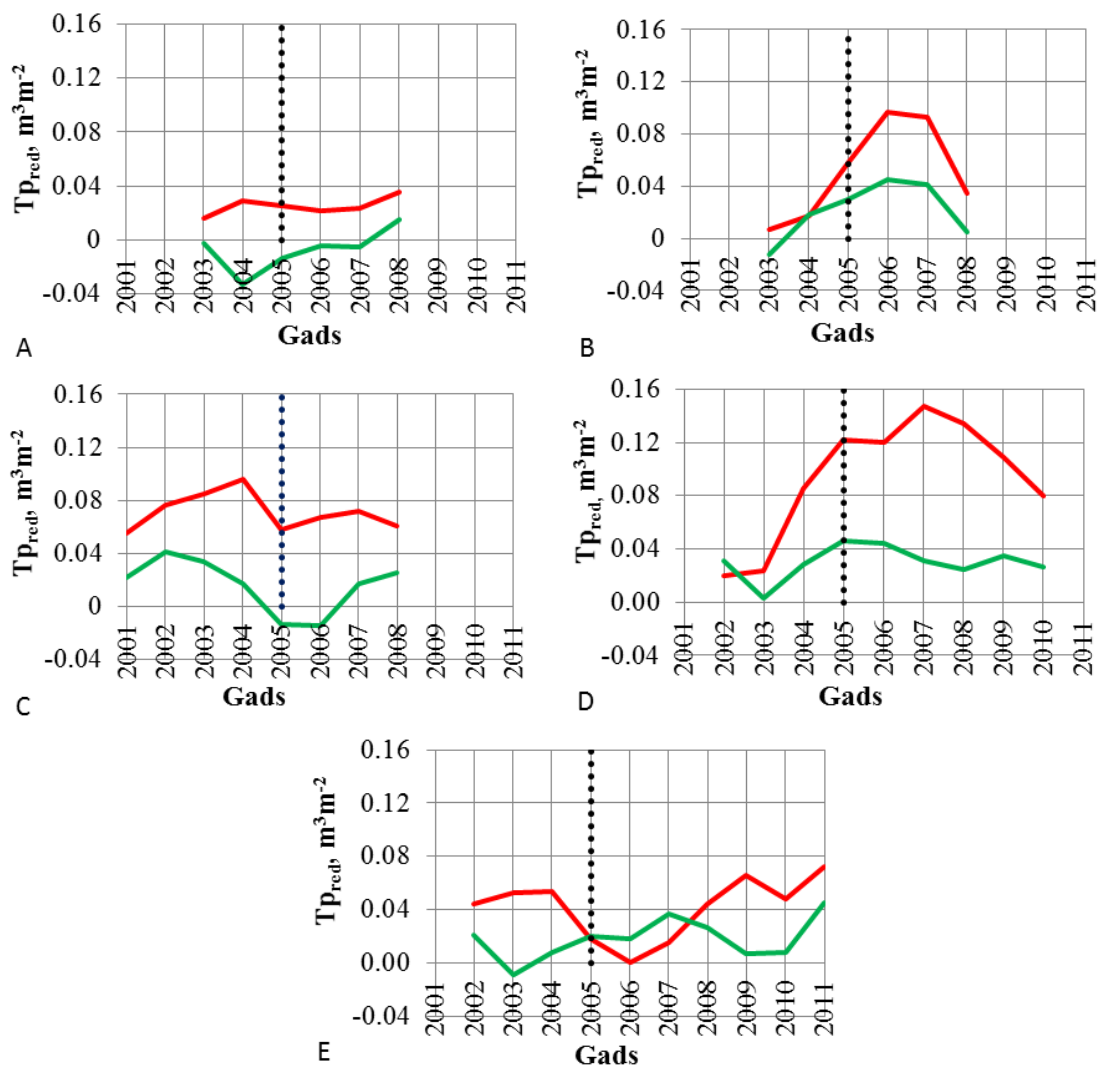
$K_{p_{red}}$ kokiem tuvāk par 7 m no audzes atvērums malās jau pirmajos gados pēc cirtes bija pozitīvs (4.1. att.) un ir vairākas reizes lielāks nekā kokiem tālāk par 7 m no malās, $T_{p_{red}}$ sasniedzot $0,146 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ gadā (KNP) (4.6.att.).

Tālāk par 7 m no audzes atvērums malās $T_{p_{red}}$ svārstās ap 0, nepārsniedzot $0,046 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ gadā un ir praktiski nenozīmīgs (4.1. att.). Arī objektā ABA, kur sestajā gadā pēc pirmā paņēmiena veikts otrais paņēmieni, izretinot nenocirstās audzes daļas, turpmākajos gados ir novērojams tikai neliels pozitīvs $T_{p_{red}}$, tomēr tas ir nenozīmīgs. Tas nozīmē, ka, vērtējot audžu pieaugumu pēc grupu pakāpeniskās cirtes, jāņem vērā, ka papildus pieaugums būs konstatējams tikai apkārt audzes atvērumiem un jo lielāks būs attālums starp atvērumiem, jo lielāka būs platība, kur papildus pieaugums nebūs konstatējams.



4.1. att. Krājas kumulatīvais reducētais papildus pieaugums ($K_{p_{red}}$) atkarībā no attāluma līdz audzes atvērums malai (A – AKM19; B – AKM77; C – ABA; D – KNP, E – 604). Apzīmējumi: — – kumulatīvais papildus pieaugums kokiem tālāk par 7 m no audzes atvērums malās; --- – augšējā un apakšējā 95% ticamības robeža kumulatīvajam papildus pieaugumam kokiem tālāk par 7 m no audzes atvērums malās; — – kumulatīvais papildus pieaugums kokiem līdz 7 m no audzes atvērums malās; ... – augšējā un apakšējā 95% ticamības robeža kumulatīvajam papildus pieaugumam kokiem līdz 7 m no audzes atvērums malās.

Konstatēts, ka vienā audzē (604) nav statistiski nozīmīga (ar 95% ticamību) atšķirība starp $K_{p_{red}}$ tuvāk par 7 m no audzes atvērums malās un tālāk par 7 m no audzes atvērums malās (4.1. att.). Kā iemesls ir attālumā līdz 7 m no audzes atvērums malās atsevišķo izurbto paraugkoku augšanas gaitas netipiski izteiktā atšķirība un neliels paraugkoku skaits.



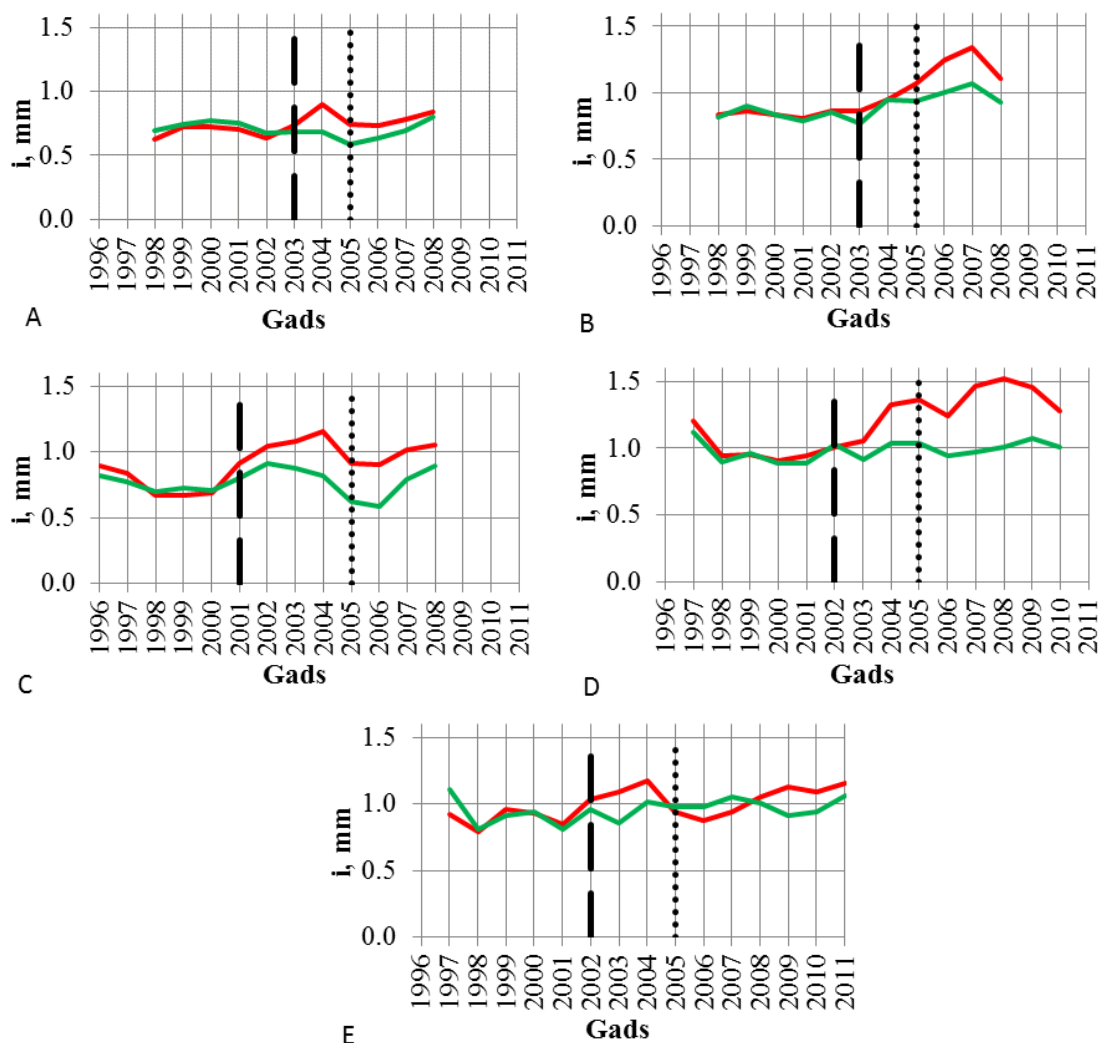
4.2. att. Krājas ikgadējais reducētais papildus pieaugums ($T_{p,red}$) atkarībā no attāluma līdz audzes atvēruma malai saistībā ar kalendārajiem gadiem (A – AKM19; B – AKM77; C – ABA; D – KNP, E – 604). Apzīmējumi: — ikgadējais papildus pieaugums tālāk par 7 m no audzes atvēruma malas; — ikgadējais papildus pieaugums līdz 7 m no audzes atvēruma malas; *** – 2005. gada vētra.

Savukārt audzē (KNP) $K_{p,red}$ kokiem tuvāk par 7 m no audzes atvēruma malas un tālāk par 7 m no audzes atvēruma malas ar 95% ticamību neatšķiras tikai pirmos divus gadus pēc cirtes. Pārējās trijās audzēs, jau sākot ar pirmo vērtēšanas gadu, koku $K_{p,red}$ ir būtiski lielāks līdz 7 m no audzes atvēruma malas, salīdzinot ar koku $K_{p,red}$ tālāk par 7 m no audzes atvēruma malas.

Atvēruma malas attāluma ietekmi uz palikušo koku papildus pieaugumu modificē 2005.gada janvāra vētras ietekme. 2005. gadā kokiem, kas ir tuvāk par 7 m no audzes atvēruma malas, $T_{p,red}$ ir samazinājies divās audzēs (604; ABA). Pārējās trijās audzēs $T_{p,red}$ samazinājums nav konstatējams, jo $T_{p,red}$ turpmākajos gados ir vai nu līdzīgs kā iepriekšējos gados vai turpinājies palielināties (4.2. att.). Savukārt tālāk par 7 m no audzes atvēruma malas $T_{p,red}$ samazinājums ir tikai vienā no audzēm (ABA), bet pārējās audzēs ietekme nav konstatējama.

Papildus 2005. gada vētras ietekme novērtēta arī pēc otra kritērija – gadskārtu platuma izmaiņām pirms un pēc vētras (4.3. att.). Vidējie gadskārtu platumi kokiem tuvāk par 7 m no audzes atvēruma malas ir samazinājušies trijās audzēs (604; ABA; AKM19) sekojošajā veģetācijas periodā par 17 – 21% no iepriekšējā gada vidējā gadskārtas platuma (4.3. att.). Savukārt tālāk par 7 m no audzes atvēruma malas vidējais gadskārtu platums ir samazinājies tajās pašās trijās audzēs par 4 – 24%. Tomēr nevienā gadījumā atšķirības nav būtiskas ($p > 0.05$). Tātad, lai gan daļā audžu ir novērojams gan gadskārtu platuma, gan papildus pieauguma samazinājums, 2005. gada vētras ietekme kopumā

tomēr nav bijusi būtiska, koku kopām līdz un pēc 7 m no audzes atvēruma malas. Turklāt, ņemot vērā neviennozīmīgo ietekmi pa objektiem, iespējams, ka gadskārtu platuma un papildus pieauguma samazinājumu ietekmējuši arī citi faktori.



4.3. att. Koku vidējais gadskārtu platums (i) atkarībā no attāluma līdz audzes atvēruma malai (A – AKM19; B – AKM77; C – ABA; D – KNP, E – 604). Apzīmējumi: — — gadskārtu platums tālāk par 7 m no audzes atvēruma malas; — — gadskārtu platums līdz 7 m no audzes atvēruma malas; --- — ciršanas gads; *** — 2005. gada vētra.

4.2. Ugunsgrēku ietekmes uz augšanas gaitu novērtējums

Materiāls un metodika

Ugunsgrēku ietekmes novērtēšanai projekta ietvaros uzmērītas 33 priežu audzes vecumā 31-143 gadi. Katrā audzē atkarībā no tās lieluma, kā arī koku biezuma (skaita uz laukuma vienības), ierīkots viens vai vairāki 500 m² lieli apļveida parauglaukumi tā, lai audzē aprakstītu vismaz 50-100 koku.

Caurmēra un krājas papildus pieaugumu pēc ugunsgrēka I stāva priedēm aprēķina pēc profesora I. Liepas (Liepa, 1996) izstrādātās metodikas.

Rezultāti

Analizē audzes sadalītas trīs vecuma grupās: 1) 31-60 gadus vecas audzes, 2) 61-90 gadus vecas audzes un 3) audzes, kas vecākas par 90 gadiem.

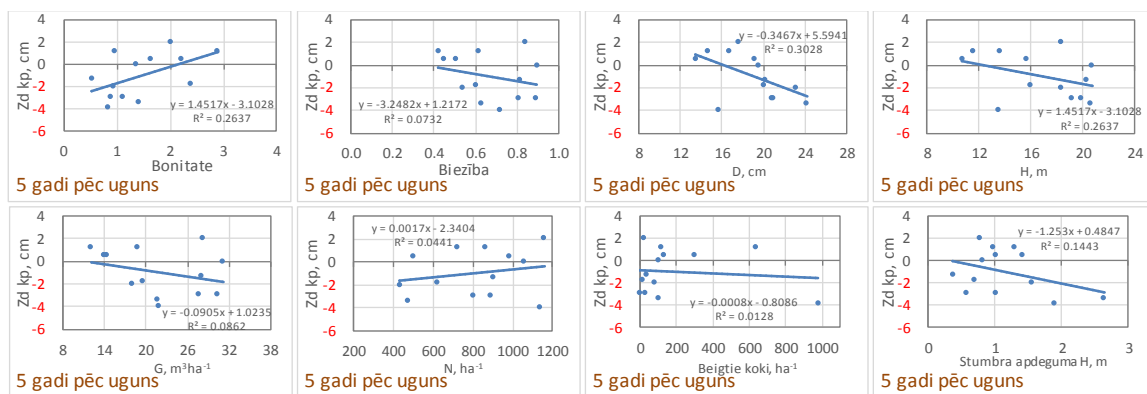
Pēc ugunsgrēka priekšu audzēs konstatēts gan pozitīvs, gan negatīvs, gan neitrāls caurmēra un krājas kumulatīvais papildus pieaugums.

Piecus gadus pēc ugunsgrēka aritmētiski vidējais caurmēra un krājas kumulatīvais papildus pieaugums sadalījumā pa vecuma grupām:

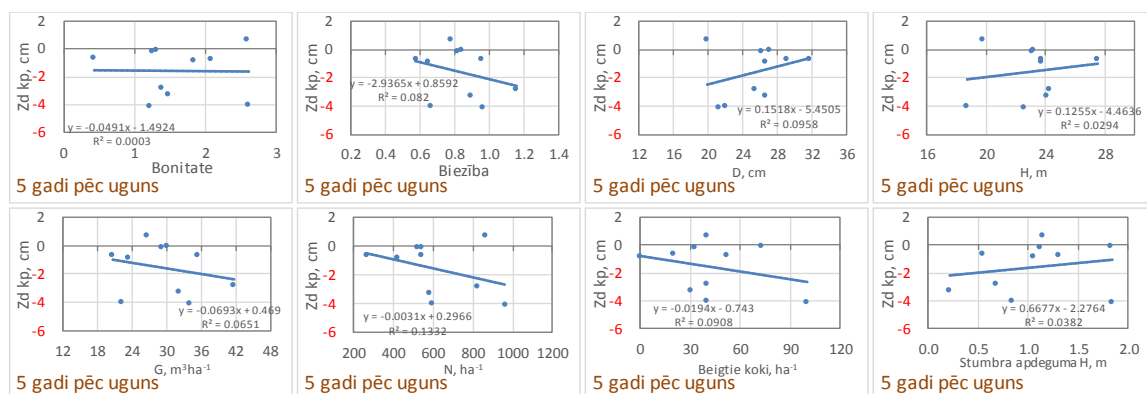
- 31-60 gadi – $-0.96 \pm 0.56 (\pm SE)$ cm un $-3.25 \pm 1.82 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$;
- 61-90 gadi – $-1.57 \pm 0.56 (\pm SE)$ cm un $-6.81 \pm 2.64 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$;
- $91 \leq$ gadi – $-1.60 \pm 0.66 (\pm SE)$ cm un $-4.32 \pm 1.86 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Ugunsgrēka ietekme būtiski izpaužas tikai 91 gadu un vecākās audzēs (aritmētiski vidējās kumulatīvā papildus pieauguma vērtības statistiski būtiski ($\alpha=0.05$) atšķiras no nulles).

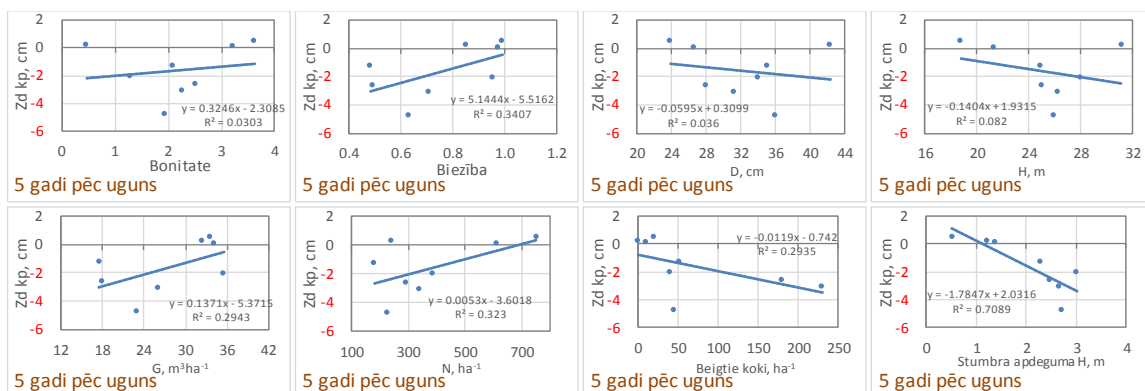
31-60 un 61-90 gadu vecās audzēs caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums nav atkarīgs no audzes bonitātes, biežības, vidējā kvadrātiskā diametra, augstuma, šķērslaukuma, koku skaita, beigto koku skaita, vidējā stumbra apdeguma augstuma (4.4., 4.5. attēls). 91 gadu un vecākās audzēs starp caurmēra kumulatīvo papildus pieaugumu un audzes vidējo stumbra apdeguma augstumu konstatēta statistiski būtiska negatīva korelācija ($r=-0.842$), bet starp pārējiem rādītājiem nav konstatēta būtiska sakarība (4.6. attēls).



4.4. attēls. Caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums (Zd kp) atkarībā no audzes bonitātes, biežības, vidējā kvadrātiskā diametra, augstuma, šķērslaukuma, koku skaita, beigto koku skaita, vidējā stumbra apdeguma augstuma 31-60 gadu vecās audzēs.

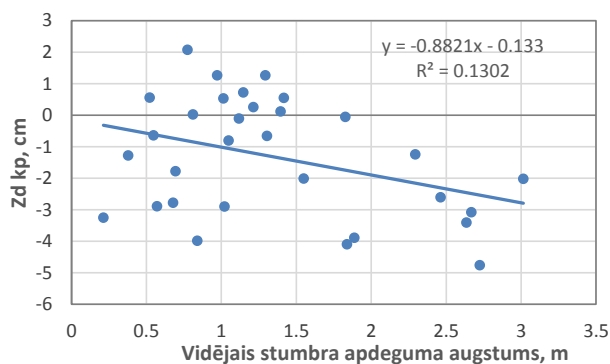


4.5. attēls. Caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums (Zd kp) atkarībā no audzes bonitātes, biežības, vidējā kvadrātiskā diametra, augstuma, šķērslaukuma, koku skaita, beigto koku skaita, vidējā stumbra apdeguma augstuma 61-90 gadu vecās audzēs.



4.6. attēls. Caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums (Zd kp) atkarībā no audzes bonitātes, biežības, vidējā kvadrātiskā diametra, augstuma, šķērslaukuma, koku skaita, beigto koku skaita, vidējā stumbra apdeguma augstuma 91 gadu un vecākās audzēs.

Vistiešāk caurmēra kumulatīvo papildus pieaugumu ietekmē koku stumbru apdeguma augstums. Pie vidējā stumbra apdeguma augstuma līdz 1.5 metriem caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums var būt gan pozitīvs, gan negatīvs, bet virs 1.5 metriem tas ir negatīvs (4.7. attēls).



4.7. attēls. Caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums (Zd kp) atkarībā no aritmētiski vidējā stumbra apdeguma augstuma.

Tā kā meža ugunsgrēku radītā ietekme uz caurmēra pieaugumu ir īslaicīga un neviennozīmīga, šī dabiskā traucējuma ietekmi augšanas gaitas modelēšanā pašreiz neņem vērā.

5. Uz MSI datiem izstrādāto modeļu salīdzinājums ar ilglaicīgo parauglaukumu datiem

Materiāls un metodika

Datu analizē 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 analizē izmantoti dati par 86 meža elementiem no 57 objektiem, kas analizēti 164 atkārtojumos. Periods starp uzmērīšanas reizēm ir 4-21 gadi. Analizē iekļauti dati par priežu, egļu, bērzu un melnalkšņu meža elementiem. Dati analizēti diviem periodiem 4-10 gadi un 4-21 gadi.

6.1. tabula

Analizē izmantoto meža elementu taksācijas rādītāju raksturojums atkārtoti pārmērītajos ilglaicīgajos parauglaukumos.

Suga	Rādītājs	Δt , gadi	$A_{1,3}$, gadi	D, cm	H, m	N, ha ⁻¹	G, m ² ha ⁻¹	M, m ³ ha ⁻¹
Priede	Aritmētiski vidējais	8	84	27.4	20.3	1183	24.7	226.7
	Standartnovirze	4	77	13.6	8.7	1625	8.6	101.1
	Minimums	4	6	5.7	6.4	20	2.7	37.0
	Maksimums	20	243	49.9	33.5	10381	41.0	452.1
	Skaitis	90	90	90	90	90	90	90
Egle	Aritmētiski vidējais	8	75	23.7	21.5	743	15.2	152.2
	Standartnovirze	5	51	10.3	6.1	900	11.5	102.8
	Minimums	4	9	10.0	9.9	20	1.2	11.1
	Maksimums	21	186	52.3	32.1	3075	39.8	385.2
	Skaitis	43	43	43	43	43	43	43
Bērzs	Aritmētiski vidējais	6	75	27.1	23.8	155	8.0	89.1
	Standartnovirze	2	8	4.4	3.2	162	4.7	54.8
	Minimums	4	61	17.9	18.6	27	2.2	24.7
	Maksimums	8	89	36.0	30.1	780	17.6	192.8
	Skaitis	19	19	19	19	19	19	19
Melnalksnis	Aritmētiski vidējais	6	73	29.4	22.9	249	15.8	176.1
	Standartnovirze	2	9	5.2	5.2	167	9.2	109.6
	Minimums	4	66	20.9	12.4	60	5.3	32.4
	Maksimums	8	92	39.6	28.4	627	40.1	472.9
	Skaitis	12	12	12	12	12	12	12

Rezultāti

Vidējais caurmērs. Meža elementa vidējā caurmēra vidējā novirze visiem meža elementiem un abās perioda grupās nepārsniedz vienu centimetru. Relatīvā (starpība starp uzmērīto un aproksimēto vērtību attiecībā pret uzmērīto vērtību) vidējā novirze visos gadījumos ir mazāka par $\pm 10\%$ (6.2. tabula).

Vidējais augstums. Meža elementa vidējā augstuma vidējā novirze visiem meža elementiem un abās perioda grupās nepārsniedz vienu metru. Relatīvā (starpība starp uzmērīto un aproksimēto vērtību attiecībā pret uzmērīto vērtību) vidējā novirze visos gadījumos ir mazāka par $\pm 10\%$ (6.2. tabula).

Koku skaits. Meža elementa koku skaita vidējā novirze ir robežās no -22 līdz 235 kokiem uz hektāra. Priežu un egļu meža elementiem tiek pārvērtēts koku atmirums, jo aktualizācijas modelis prognozē daudz straujāku koku atmiršanu jaunākajās audzēs, jo meža elementiem virs 50 gadiem šādas tendences vairs nav (6.2. tabula).

Šķērslaukums. Meža elementa šķērslaukuma vidējā novirze ir robežās no -1.2 līdz 4.8 m²ha⁻¹. Lielākās novirzes ir garākā periodā un priežu un egļu jaunākajās audzēs, jo šajās audzēs modelis nespēj korekti prognozēt koku skaita izmaiņas (6.2. tabula).

Krāja. Meža elementa krājas vidējā novirze ir robežās no -12.0 līdz 9.6 m³ha⁻¹. Relatīvā (starpība starp uzmērīto un aproksimēto vērtību attiecībā pret uzmērīto vērtību) vidējā novirze lielāka par ±10% ir tikai bērzam (6.2. tabula).

6.2. tabula

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

Perioda ilgums	Suga	Taksācijas vienība	Uzmērītais aritm.vid.	Statistiskie rādītāji								
				MRES	AMRES	RMSE	MSE	MEF	VR	R	R2	N
4-10 gadi	Priede	Dg	30.2	-0.10	0.76	1.08	1.16	0.006	0.919	0.998	0.995	73
		Hg	22.0	-0.19	0.45	0.58	0.33	0.004	1.018	0.998	0.996	73
		N	960	142	155	672	443105	0.125	0.502	0.978	0.956	73
		G	22.3	2.4	3.0	5.7	31.9	0.378	0.802	0.851	0.724	73
		M	225.2	7.6	19.2	30.9	932.8	0.052	0.868	0.977	0.955	73
	Priede A>50gadi	Dg	37.3	0.29	0.59	0.94	0.86	0.011	0.958	0.995	0.990	52
		Hg	26.7	-0.28	0.40	0.51	0.26	0.010	0.954	0.997	0.994	52
		N	227.0	-3	6	11	119	0.002	0.983	0.999	0.998	52
		G	20.5	0.1	0.8	1.5	2.1	0.024	0.927	0.988	0.977	52
		M	253.5	9.6	15.9	26.8	693.0	0.031	0.882	0.989	0.979	52
	Egle	Dg	26.1	0.12	1.04	1.59	2.44	0.022	0.828	0.993	0.985	34
		Hg	22.9	-0.74	0.80	1.19	1.38	0.034	0.922	0.991	0.981	34
		N	426	33	40	199	36837	0.031	0.728	0.996	0.992	34
		G	10.3	0.3	1.1	4.0	14.3	0.105	0.689	0.956	0.913	34
		M	113.0	-6.5	18.9	54.8	2705.9	0.164	0.984	0.922	0.850	34
	Egle A>50gadi	Dg	28.0	0.56	0.75	1.12	1.21	0.013	0.918	0.996	0.992	30
		Hg	24.5	-0.70	0.77	1.21	1.41	0.069	0.877	0.980	0.959	30
		N	179	-1	7	18	288	0.006	0.930	0.998	0.996	30
		G	8.8	-0.3	0.5	1.7	2.6	0.022	0.975	0.991	0.982	30
		M	110.2	0.4	13.6	47.9	1912.6	0.071	0.850	0.965	0.931	30
	Bērzs	Dg	27.1	0.06	0.70	1.08	1.10	0.050	1.112	0.978	0.956	19
		Hg	23.8	-0.63	0.83	1.27	1.52	0.136	1.134	0.958	0.918	19
		N	155	-22	28	162	-26265	0.056	0.877	0.982	0.965	19
		G	8.0	-1.2	1.3	7.2	-12.8	0.127	1.131	0.973	0.947	19
M		89.1	-12.0	12.5	68.9	-950.5	0.088	1.206	0.988	0.975	19	
Melnalksnis	Dg	29.4	0.42	0.81	1.39	1.72	0.053	1.057	0.978	0.957	12	
	Hg	22.9	-0.79	1.53	2.71	6.52	0.196	0.580	0.925	0.855	12	
	N	249	0	17	76	-719	0.019	0.799	0.996	0.992	12	
	G	15.8	0.1	0.8	3.5	-1.1	0.013	0.886	0.995	0.990	12	
	M	176.1	5.3	18.0	98.5	-808.5	0.073	0.609	0.985	0.971	12	
4-21 gads	Priede	Dg	27.4	-0.67	1.25	2.11	4.40	0.023	0.887	0.991	0.982	90
		Hg	20.3	-0.27	0.61	0.87	0.74	0.010	1.007	0.996	0.991	90
		N	1183	235	245	714	502812	0.150	0.477	0.976	0.953	90
		G	24.7	4.8	5.2	9.2	83.9	0.849	0.544	0.684	0.467	90
		M	226.7	5.0	25.7	43.7	1882.2	0.137	0.918	0.931	0.867	90
	Egle	Dg	23.7	-0.88	1.79	2.95	8.49	0.077	0.744	0.971	0.942	43
		Hg	21.5	-0.65	0.84	1.21	1.42	0.036	0.963	0.988	0.976	43
		N	743	155	160	462	204212	0.138	0.569	0.969	0.938	43
		G	15.2	2.0	2.6	7.2	49.3	0.178	0.507	0.954	0.910	43
		M	152.2	-7.7	25.2	57.0	3076.9	0.132	0.984	0.936	0.877	43

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 - elementu skaits.

Diemžēl modeļu pārbaude uz ilglaicīgo parauglaukumu datiem objektīvi neraksturo modeļus, jo:

- lielākā daļa objektu ir pieaugušās audzēs, no kurām lielākajā daļā ir veikta pakāpeniskā cirte;
- jaunākajās audzēs ir trīs objekti, kuros ir vairāki atkārtojumi.

6. Saimnieciski nozīmīgāko koku sugu 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 (6.1.tabula), 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 (6.2. tabula).

6.1. tabula

MSI parauglaukumos konstatētā cirtes intensitāte dažāda vecuma desmitgažu audžu kociem
MSI 1. cikla laikā

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

6.2. 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 ²	Izmantošanas diapazons (vecuma 10-gades)
Priede	$y = -0.8489x + 11.445$	0.4254	3...10
Egļe	$y = 1.4861x + 2.8042$	0.9778	3...8
Bērzs	$y = 16945x + 0.8540$	0.6508	2...7
Melnalksnis	$y = 1.7846x + 3.5181$	1	2...4
Apse	$y = 17.2970x + 31.2050$	0.5761	2...7
Baltalksnis	$y = 4.2758x + 5.4936$	1	2...4

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

Lai izvērtētu kādi ir izcirsto un saglabāto koku caurmēri, salīdzināti to koku caurmēri 1. ciklā, kuri ir dzīvi 2. ciklā un to koku caurmērs 1. ciklā, kuri starp uzmērīšanas periodā ir nocirsti (7.1. tabula). Konstatēts, ka vecākās audzēs izcirsto koku relatīvais caurmērs pieaug. Lineārie vienādojumi, kas izmantojami, lai aprēķinātu relatīvo koku caurmēru atkarībā no sugas un vecuma desmitgades atspoguļoti 7.2. tabulā.

7.1. tabula

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

Rādītāji	Vecuma desmitgade									Kopā
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Priede; D, cm	8.9	13.6	16.9	18.9	21.0	22.2	23.6	24.3	25.9	21.4
Priede; nocirstie Drelat, %		83.6	84.4	94.5	94.7	102.0	102.5	122.7	127.5	98.8
Egle; D, cm	9.9	13.6	16.6	17.0	17.7	18.8	19.9	18.3	17.4	17.1
Egle; nocirstie Drelat, %		74.5	80.4	85.3	83.1	93.1	101.4	93.1	94.9	91.4
Bērzs; D, cm	7.1	10.7	14.6	17.8	20.5	21.7	21.4	22.0	19.3	17.6
Bērzs; nocirstie Drelat, %		76.7	79.0	99.0	100.7	105.3	106.0	103.7		103.3

7.2. 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 ²	Izmantošanas diapazons (vecuma 10-gades)
Priede	$y = 6.3072x + 60.499$	0.9113	3...10
Egle	$y = 4.8582x + 59.573$	0.9017	3...8
Bērzs	$y = 7.9049x + 52.631$	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 pakāpe

$$rG = G_{izc} * G_{kop} \quad (7.1)$$

kur rG – kopšanas cirtes intensitāte, 0 - 1
 G_{izc} – izcirsto koku šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$,
 G_{kop} – kopējais (sākotnējais) koku šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$

Kopšanas cirtes tips

$$NG = N_{izc} * N_{kop} / rG \quad (7.2)$$

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^{-1} ,
 N_{kop} – kopējais (sākotnējais) koku skaits, ha^{-1}
 rG – kopšanas cirtes intensitāte, 0 - 1

Vidējā caurmēra pēc kopšanas cirtes aprēķināšanai izmanto sekojošu vienādojumu:

$$D = \sqrt{40000 * (G_{kop} - G_{kop} * rG) \pi * (N_{kop} - N_{kop} * rG * NG)} \quad (7.3)$$

Atbilstoši 6.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.

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

Materiāls un metodika

Analīzē salīdzina vidējā augstuma un vidējā caurmēra pēdējo piecu gadu tekošo periodisko pieaugumu starp valdošajiem un piemistrojuma meža elementiem.

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

Vidējā augstuma analīzē sugas ietvaros veikta 3 faktoru dispersijas analīze, kurā kā faktoriālās vērtības bez mistrojuma stāvokļa (valdošais vai piemistrojuma meža elements) vēl atlasītas meža elementa krūšaugstuma vecuma grupa un meža tipa grupa (8.1. 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 mistrojuma stāvokļa grupā. Kopā analīzē izmantoti dati par 2220 meža elementiem (priedes 464; egles 627, bērzi 772, melnalkšņi 143, apses 78 un baltalkšņi 136).

8.1. tabula

Augstuma 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	Kopā	Dm	Vr	Dms/Vrs	As/Ks	Ap/Kp	Kopā	Dm	Vr	Dms/Vrs	Nd/Db	As/Ks	Ap/Kp	Kopā	Vr/Gr	Vrs/Gr	Db/Lk	As/ Ap/ Ks/ Kp	Kopā	Vr/Gr	As/ Ap/ Ks/ Kp	Kopā	Vr/Gr	As/ Ap/ 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												
Kopā	192	76	196	464	138	156	70	230	33	627	121	167	93	76	229	86	772	15	23	29	76	143	57	21	78	98	38	136

* - skuju kociem 20 gadu vecuma grupas, lapu kociem - 10 gadu vecuma grupas

Vidējā caurmēra analīzē sugas ietvaros veikta 3 faktoru dispersijas analīze, kurā kā faktoriālās vērtības bez sociālā stāvokļa (valdošais vai piemistrojuma meža elements) vēl atlasītas meža elementa krūšaugstuma vecuma grupa un meža tipa grupa (8.2. 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 mistrojuma stāvokļa grupā. Kopā analīzē izmantoti dati par 2861 meža elementiem (priedes 579; egles 774, bērzi 1038, melnalkšņi 159, apses 137 un baltalkšņi 174).

8.2. 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												
Kopā	237	111	231	579	176	178	90	330	774	157	230	114	105	432	1038	10	24	32	93	159	97	40	137	120	13	41	174

* - skuju kociem 20 gadu vecuma grupas, lapu kociem - 10 gadu vecuma grupas

Dispersijas analīzes veikta datorprogrammā SPSS for Windows 14.0.

Rezultāti

Vidējais augstums. 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 attiecīgā faktora būtiskuma p-vērtība ir lielāka par 0.05 (8.3. tabula). Līdz ar to augstuma augšanas gaitas modelēšanā meža elementa mistrojuma stāvokli neņem vērā.

Vidējais caurmērs. 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 attiecīgā faktora būtiskuma p-vērtība ir lielāka par 0.05 (8.4. tabula). Līdz ar to augstuma augšanas gaitas modelēšanā meža elementa mistrojuma stāvokli neņem vērā.

Tā kā vidējā augstuma un vidējā caurmēra augšanas gaitā nav konstatētas būtiskas atšķirības starp valdošajiem un piemistrojuma meža elementiem, tad modelējot mistrotu audžu augšanas gaitu izmanto 1. nodaļā aproksimētos vienādojumus.

8.3. tabula

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 sociālais stāvoklis (valdošais vai piemistrojuma meža elements)

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			

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

MSI parauglaukumos II stāvā pamatā sastopamas egles, bet pārējās sugas sastopamas reti, un to datu apjoms ir nepietiekams statistiski ticamu modeļu izstrādāšanai. Tādēļ atsevišķi II stāva augšanas modeļi izstrādāti eglei, bet pārējo koku sugu II stāva modelēšanai ieteicams lietot attiecīgi šo sugu I stāva augšanas gaitas modeļus, kas aproksimēti 1. nodaļā.

9.1. Augstuma augšanas gaitas modelis II stāva kokiem

Materiāls un metodika

Meža elementa **vidējā augstuma** augšanas gaitas aproksimācijai izmantots Hossfeld IV vienādojums (1.2. vienādojums). Datu analīzē izmantoto datus:

- 1283 atsevišķiem kokiem, kuri atbilst sekojošām prasībām:
 - abās uzmērīšanas reizēs zināms kokiem atbilstošais meža elementa vecums;
 - nevienā no uzmērīšanas cikliem parauglaukumā nav 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;
 - koka pēdējo piecu gadu augstuma tekošais periodiskais pieaugums sugas un bonitāšu grupas ietvaros neatšķiras vairāk kā 50% vai 0.3m (skuju kokiem) vai 0.5m (lapu kokiem) no izlīdzinātās līknes vērtībām.
- 527 meža elementiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:
 - 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 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.

Meža elementa augšanas gaitas modelētas datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows .

Rezultāti

No MSI parauglaukumos reāli uzmērīto koku augstumu starpībām 2015. gadā aproksimētas jaunas koeficientu vērtības **HOSSFELD IV** vienādojumam. Ar jaunajām koeficientu vērtībām vienādojumam statistiskie rādītāji aprēķināti gan elementu datu bāzei, gan atsevišķu koku datu bāzei (9.1. tabula).

Egles II stāva vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (1.2. vienādojums) koeficientu vērtības un statistiskie rādītāji

Dati	Koeficienti			Statistiskie rādītāji										
	b1	b2	b3	MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R2	N
elementi	1.209	-34.002	12.996	0.21	1.45	0.63	0.78	5.35	0.61	0.055	0.952	0.974	0.949	527
koki				0.12	0.82	0.37	0.46	3.19	0.21	0.015	0.983	0.993	0.986	1283

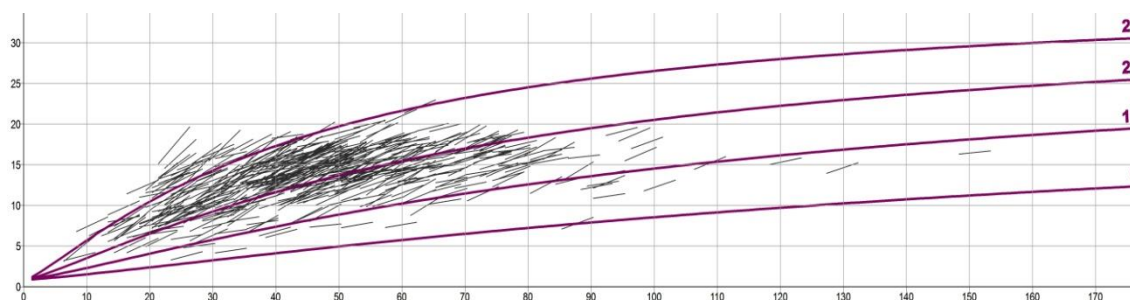
MRES - vidējā novirze; MRES% - relatīvā sistemātiskā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze; RMSE – standartklūda; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā klūda; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R2 - determinācijas indekss; N - elementu vai koku skaits.

Gan atsevišķiem kokiem, gan meža elementiem starpības starp uzmērītajiem augstumiem un prognozētajiem augstumiem vairāk kā 90% gadījumu ir mazākas par 10% vai vienu metru (9.2. tabula).

Egles II stāva meža elementu un atsevišķu koku skaits un īpatsvars atkarībā no starpības starp uzmērīto un aptuveno augstumu

Dati	Starpība >10% vai >1m		Starpība ≤10% vai ≤1m		skaits kopā
	skaits	īpatsvars	skaits	īpatsvars	
Koki	17	1.3%	1266	98.7%	1283
Elementi	43	8.2%	484	91.8%	527

Meža elementa vidējā augstuma prognozētā augšanas gaita un MSI atkārtoti uzmērītajos parauglaukumos meža elementu uzmērītās vidējā augstuma izmaiņas atspoguļotas 9.1. attēlā.



9.1. attēls. Egles 2. stāva uzmērītās vidējā augstuma izmaiņas (Y) atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (X) un aptuvenā vidējā augstuma augšanas gaita (1.2. vienādojums) atkarībā no augstuma 100 gados

9.2. Caurmēra augšanas gaitas modelis II stāva kokiem

Materiāls un metodika

Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas aptuvināšanai izmantots Hossfeld IV vienādojums (1.6. vienādojums). Datu analīzē izmantoto datus par 886 meža elementiem, kuri atbilst sekojošām prasībām:

- katrā uzmērīšanas ciklā ir vismaz 3 dzīvi koki no viena meža elementa;
- abās uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums;
- nevienā no uzmērīšanas 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 aptuvinātajām vērtībām;
- 1. ciklā parauglaukumā nav konstatēti vairāk kā divi celmi.

Meža elementa augšanas gaitas modelētas datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows.

Rezultāti

Egles II stāva vidējā caurmēra aktualizācijas modeļa koeficienti un statistiskie rādītāji atspoguļoti 9.3. tabulā.

Egles II stāva caurmēra aktualizācijas modeli ieteicams izmantot meža elementiem, kuru krūšaugstuma vecums ir vismaz pieci gadi.

Meža elementa vidējais krūšaugstuma caurmērs līdz 5 gadu krūšaugstuma vecuma sasniegšanai tiek modelēts atkarībā no vidējā augstuma, pieņemot, ka H/D attiecība ir 1.2.

Egles II stāva starpības starp uzmērītajiem caurmēriem un prognozētajiem caurmēriem koku 91.8% meža elementu ir mazākas par 10% vai vienu centimetru.

9.3. tabula

Meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra augšanas gaitas modeļa (1.6. vienādojums) koeficientu vērtības un statistiskie rādītāji

Koeficienti			Statistiskie rādītāji										
b1	b2	b3	MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R2	N
0.929	-6.695	4.880	0.04	0.29	0.56	0.77	5.20	0.60	0.032	0.912	0.984	0.969	886

MRES - vidējā novirze; MRES% - relatīvā sistemātiskā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze; RMSE – standartkļūda; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R2 - determinācijas indekss; N - elementu vai koku skaits.

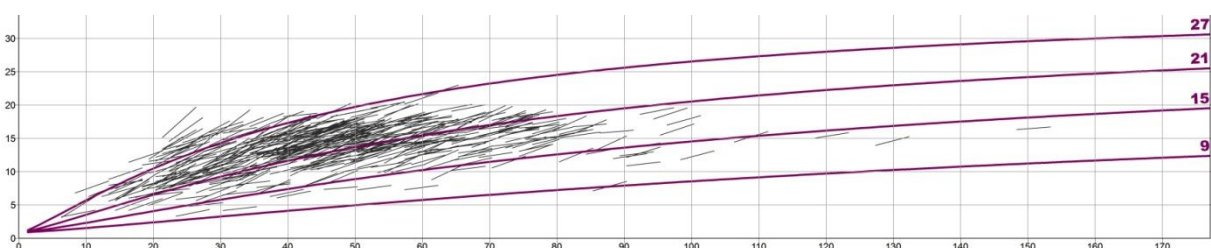
Meža elementiem starpības starp uzmērīto un prognozēto caurmēru vairāk kā 90% gadījumu ir mazākas par 10% vai vienu centimetru, bet ikgadējā caurmēra pieauguma novirze mazāka par 10% vai 0.2cm ir 84.2% gadījumu (9.4. tabula).

9.4. tabula

Egles II stāva meža elementu un atsevišķu koku skaits un īpatsvars atkarībā no starpības starp uzmērīto un aproksimēto caurmēru un caurmēra ikgadējo pieaugumu

D2					Zdvp				
Starpība >1cm vai >10%		Starpība ≤1cm vai ≤10%		Skaits kopā	Starpība >0.2cm vai >10%		Starpība ≤0.2cm vai ≤10%		Skaits kopā
Skaits	īpatsvars	Skaits	īpatsvars		Skaits	īpatsvars	Skaits	īpatsvars	
74	8.4%	812	91.6%	886	140	15.8%	746	84.2%	886

Egles II stāva vidējā kvadrātiskā krūšaugstuma caurmēra prognozētā augšanas gaita un MSI atkārtoti uzmērītajos parauglaukumos uzmērītās vidējā kvadrātiskā krūšaugstuma caurmēra izmaiņas atspoguļotas 9.2. attēlā.



9.2. attēls. Egles 2. stāva uzmērītās 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

9.3. Koku skaita izmaiņas modelis II stāva kokiem

Materiāls un metodika

Kokaudzes koku skaita izmaiņas aproksimētas izmantojot divpakāpju atmiruma modeli (1.7. vienādojums). Divpakāpju atmiruma modeļa analizē izmantoti dati par 523 meža elementiem, kuri atbilst sekojošām prasībām:

- parauglaukumā nav konstatēta koku ciršana;
- parauglaukumā nav konstatēti vecās paaudzes koki;
- meža elementam pirmajā uzmērīšanas ciklā ir uzmērīti vismaz pieci dzīvi koki;
- meža elementam ir zināms krūšaugstuma vecums;
- meža elementa atmirušo koku skaits nav lielāks par 25%.

Meža elementa koku skaita izmaiņas perioda beigās prognozē pēc 1.10. algoritma.

Egles II stāva koku skaita izmaiņas modelētas datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows.

Rezultāti

Aproksimētas koeficientu vērtības egles II stāva koku skaita divpakāpju atmiruma modeļa vienādojumiem, bet maksimālā koku skaita aprēķināšanas vienādojumam izmanto egles I stāva koeficientus (9.5. tabula). Aprēķināti egles II stāva koku skaita aktualizācijas modeļa (1.7.-1.10. vienādojumi) statistiskie rādītāji (9.6. tabula).

9.5. tabula

Egles II stāva koku skaita divpakāpju atmiruma modeļa (1.7.;1.7.1.;1.7.2. vienādojumi) un maksimālā I stāva koku skaita (1.8. vienādojums) koeficientu vērtības

Meža elements	Koeficienti													
	a0	a1	a2	a3	a4	b0	b1	b2	b3	b4	b5	c1	c2	c3
Egle 2.stāvs	-1.659	1.627	-1.439	0.000	-0.010	0.302	1.192	-0.186	-0.695	0.726	0.307	103106	-1.381	-0.103

9.6. tabula

Egles II stāva koku skaita aktualizācijas modeļa statistiskie rādītāji

Statistiskie rādītāji										
MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
27	6	41	71	16	4988	0.023	0.834	0.993	0.987	523

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

9.4. Šķērslaukuma izmaiņas modelis II stāva kokiem

Materiāls un metodika

Meža elementa šķērslaukuma aktualizācijā izmanto datus par 279 meža elementiem, kas atbilst sekojošiem kritērijiem:

- meža elementam pirmajā uzmērīšanas reizē konstatēti vismaz pieci dzīvie koki;
- 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 vecās paaudzes koki;
- parauglaukumā starp inventarizācijas periodā nav konstatēta koku ciršana;
- 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.

- 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

Rezultāti

Konstatēts, ka egles II stāva atmirušo koku caurmērs neatšķiras statistiski būtiski no vidējā kvadrātiskā caurmēra (9.7. tabula), tādēļ egles II stāva šķērslaukuma izmaiņas modelējamas ar 1.12. vienādojumu.

9.7. tabula

Egles II stāva relatīvais atmirušo koku diametrs atkarībā no vecuma desmitgades

Rādītājs	Vecuma desmitgade										Kopā
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Aritm.vid.	0.95	0.96	0.95	1.05	1.02	1	1.03	1.13	0.99	1.05	1.01
95% ticamība	0.1	0.1	0.04	0.06	0.07	0.05	0.06	0.08	0.07	0.18	0.02
Skaitis	5	30	51	55	47	39	26	11	9	6	279

10. Augšanas gaitas modeļu kvalitātes un ticamības vērtējums

Materiāls un metodika

Datu analizē izmanto datus par tiem atkārtoti uzmērītajiem MSI parauglaukumiem, kas atbilst 1.1.; 1.2.; 1.3 nodaļās aprakstītajiem datu atlasēs kritērijiem.

Datu analizē iekļauti dati par 1692 meža elementiem no 1398 parauglaukumiem:

- I stāva priedes – 552 meža elements;
- I stāva egles – 342 meža elements;
- I stāva bērzi – 514 meža elements;
- I stāva melnalkšņi – 112 meža elements;
- I stāva apses – 90 meža elements;
- I stāva baltalkšņi – 82 meža elements;

Analizē meža elementu taksācijas rādītāji tiek prognozēti ar sekojošiem vienādojumiem:

- meža elementa vidējais augstums – 1.2. vienādojums;
- meža elementa vidējais caurmērs – 1.6. vienādojums;
- meža elementa koku skaits – 1.7.; 1.8.; 1.10. vienādojumi;
- meža elementa šķērslaukums – 1.12. vienādojums;
- meža elementa krāja – I. Liepas vienādojums (Liepa, 1996):
 - 1.versija, ja koku skaits modelēts ar 1.7-1.10. vienādojumu;
 - 2. versija, ja koku skaits modelēts kā funkcija no 1.6. un 1.12. vienādojuma.

Rezultāti

Šķērslaukums. Modelējot audzes taksācijas rādītājus (H;G) gan šķērslaukuma, gan šķērslaukuma vidējās periodiskās diferences vidējā novirze visiem meža elementiem ir mazāka par vienu m^2ha^{-1} un arī mazāka par 10% no uzmērītās vērtības.

Prognozētā šķērslaukuma statistiskie rādītāji gan retākās, gan biežākās audzēs visiem meža elementiem ir līdzīgi (10.1. un 10.2. tabulas).

Prognozētā šķērslaukuma statistiskie rādītāji visās vecuma grupās visiem meža elementiem ir līdzīgi (10.3. un 10.4. tabulas), tomēr novērojama tendence, ka jaunākajās audzēs šķērslaukuma pieaugums tiek nedaudz „nenovērtēts”, bet vecākajās audzēs „pārvērtēts”.

Priedes, egles, bērza un melnalkšņa meža elementiem aktualizētā šķērslaukuma statistiskie rādītāji starp bonitātēm (bonitāšu grupām) ir līdzīgi (10.5. un 10.6. tabulas). Apsei un baltalksnim praktiski visi ir Ia un I bonitātes meža elementi, tādēļ netiek izvērtēti starp bonitāšu statistiskie rādītāji.

Uzmērītās un prognozētās šķērslaukuma vidējās periodiskās diferences starpība atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma, meža elementa sākotnējā šķērslaukuma, meža elementa prognozētā vidējā periodiskā augstuma pieauguma un sākotnējās biežības atspoguļota 10.1. attēlā.

Krāja.

1. versija

Modelējot audzes taksācijas rādītājus (D;H;N) krājas vidējā novirze visiem meža elementiem ir mazāka par 10% no uzmērītās vērtības, bet krājas vidējās periodiskās diferences novirze ir 30-70% robežās.

Visiem meža elementiem, izņemot bērzu, prognozētās krājas statistiskie rādītāji gan retākās, gan biežākās audzēs ir līdzīgi, bet bērzam precīzāk krājas izmaiņas tiek prognozētas retākās audzēs (10.7. un 10.8. tabulas).

Visiem meža elementiem jaunākajās audzēs krāja tiek prognozēta precīzāk nekā vecākajās audzēs (10.9. un 10.10. tabulas).

Priedes, egles, bērza un melnalkšņa meža elementiem prognozētās krājas statistiskie rādītāji starp bonitātēm (bonitāšu grupām) ir līdzīgi (priedei un eglei nedaudz augstāki ir Ia bonitātē) (10.11. un 10.12. tabulas).

2. versija

Modelējot audzes taksācijas rādītājus (D;H;G) krājas vidējā novirze visiem meža elementiem ir mazāka par 2% no uzmērītās vērtības, bet krājas vidējās periodiskās diferences novirze ir mazāka par 20%.

Visiem meža elementiem prognozētās krājas statistiskie rādītāji gan retākās, gan biežākās audzēs ir līdzīgi (10.7. un 10.8. tabulas).

Visiem meža elementiem prognozētās krājas statistiskie rādītāji gan visās vecuma grupās ir līdzīgi (10.9. un 10.10. tabulas).

Visiem meža elementiem prognozētās krājas statistiskie rādītāji gan visās bonitāšu grupās ir līdzīgi (10.9. un 10.10. tabulas).

Nākošā perioda krājas un krājas diference ievērojami precīzāk tiek prognozēta, ja krāja tiek aprēķināta modelējot elementu augstumu, caurmēru un šķērslaukumu, bet koku skaitu aprēķinot kā sekundāru parametru.

Uzmērītā un aktualizētā krājas starpība atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma, meža elementa sākotnējā vidējā caurmēra, meža elementa sākotnējā vidējā augstuma, meža elementa sākotnējās krājas un sākotnējās biežības atspoguļota 10.2. attēlā.

10.1. tabula

MSI parauglaukumos meža elementu prognozētā šķērslaukuma statistiskie rezultāti atkarībā no sugas un biežības

Meža elements	Biezības grupa	Uzmērītais aritm.vid.	Statistiskie rādītāji										
			MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
Priede	≤0.5	11.92	0.15	1.23	0.59	0.82	6.88	0.67	0.028	0.994	0.987	0.973	136
	0.6-0.8	19.47	0.09	0.48	0.79	1.08	5.53	1.16	0.021	0.935	0.990	0.980	282
	0.9≤	24.79	-0.16	-0.63	1.01	1.32	5.33	1.73	0.014	0.965	0.993	0.986	134
	kopā	18.90	0.05	0.24	0.79	1.08	5.71	1.16	0.014	0.976	0.993	0.986	552
Egle	≤0.5	9.33	0.15	1.64	0.67	1.02	10.93	1.02	0.043	0.897	0.979	0.959	69
	0.6-0.8	13.83	0.02	0.17	0.83	1.26	9.14	1.59	0.028	0.928	0.986	0.973	152
	0.9≤	16.85	-0.05	-0.32	0.82	1.27	7.51	1.59	0.014	0.975	0.993	0.986	121
	kopā	13.99	0.02	0.16	0.79	1.21	8.62	1.45	0.019	0.963	0.991	0.981	342
Bērzs	≤0.5	7.65	0.14	1.82	0.59	0.88	11.55	0.78	0.057	0.909	0.972	0.945	129
	0.6-0.8	11.81	0.00	0.04	0.77	1.07	9.03	1.13	0.030	0.926	0.985	0.971	231
	0.9≤	11.39	-0.09	-0.81	0.74	1.07	9.38	1.13	0.023	1.005	0.988	0.977	154
	kopā	10.64	0.01	0.09	0.72	1.02	9.55	1.03	0.027	0.967	0.986	0.973	514
Melnalksnis	≤0.7	7.90	0.10	1.20	0.48	0.78	9.85	0.59	0.019	1.004	0.991	0.981	34
	>0.7	13.47	-0.08	-0.58	0.80	1.11	8.22	1.21	0.010	0.916	0.996	0.991	78
	kopā	11.78	-0.03	-0.22	0.70	1.00	8.52	1.00	0.010	0.935	0.995	0.990	112
Apse	≤0.7	13.29	0.34	2.57	0.84	1.26	9.50	1.55	0.026	0.915	0.988	0.977	41
	>0.7	18.57	-0.20	-1.06	0.92	1.49	8.00	2.16	0.016	0.992	0.992	0.985	49
	kopā	16.17	0.05	0.30	0.88	1.36	8.39	1.82	0.017	0.989	0.991	0.983	90
Baltalksnis	≤0.7	7.76	0.01	0.10	0.85	1.36	17.57	1.80	0.060	0.975	0.970	0.941	34
	>0.7	15.85	0.02	0.14	1.45	1.96	12.38	3.77	0.038	0.937	0.981	0.962	48
	kopā	12.50	0.02	0.13	1.20	1.70	13.60	2.85	0.034	0.954	0.983	0.966	82

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.

Pozitīvas MRES un MRES% vērtības nozīmē, ka modeļi prognozē piesardzīgākus (mazākus) šķērslaukuma pieaugumus.

MSI parauglaukumos meža elementu prognozētā vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma statistiskie rezultāti atkarībā no sugas un biežības

Meža elements	Biezības grupa	Uzmērītais aritm.vid.	Statistiskie rādītāji										
			MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
Priede	≤0.5	0.21	0.03	14.05	0.12	0.16	78.62	0.03	0.797	0.202	0.480	0.231	136
	0.6-0.8	0.23	0.02	8.01	0.16	0.22	92.21	0.05	0.827	0.075	0.464	0.216	282
	0.9≤	0.18	-0.03	-17.01	0.20	0.26	144.10	0.07	0.871	0.071	0.400	0.160	134
	kopā	0.22	0.01	4.28	0.16	0.22	100.26	0.05	0.831	0.096	0.430	0.185	552
Egle	≤0.5	0.27	0.03	11.47	0.13	0.20	76.35	0.04	0.720	0.215	0.552	0.305	69
	0.6-0.8	0.27	0.00	1.75	0.17	0.25	93.52	0.06	0.723	0.166	0.544	0.296	152
	0.9≤	0.26	-0.01	-4.21	0.16	0.25	98.10	0.06	0.826	0.196	0.420	0.176	121
	kopā	0.27	0.00	1.68	0.16	0.24	90.90	0.06	0.758	0.186	0.496	0.246	342
Bērzs	≤0.5	0.20	0.03	14.12	0.12	0.18	89.68	0.03	0.888	0.050	0.413	0.171	129
	0.6-0.8	0.18	0.00	0.49	0.15	0.21	119.57	0.05	0.923	0.030	0.308	0.095	231
	0.9≤	0.15	-0.02	-12.08	0.15	0.21	140.29	0.05	0.943	0.034	0.268	0.072	154
	kopā	0.18	0.00	1.07	0.14	0.20	116.00	0.04	0.917	0.035	0.316	0.100	514
Melnalksnis	≤0.7	0.21	0.02	8.86	0.10	0.16	72.57	0.02	0.712	0.221	0.554	0.307	34
	>0.7	0.21	-0.02	-7.53	0.16	0.22	106.00	0.05	0.715	0.149	0.567	0.321	78
	kopā	0.21	-0.01	-2.46	0.14	0.20	95.35	0.04	0.715	0.164	0.555	0.308	112
Apse	≤0.7	0.43	0.07	15.72	0.17	0.25	58.11	0.06	0.812	0.126	0.535	0.287	41
	>0.7	0.35	-0.04	-11.28	0.18	0.30	84.94	0.09	0.919	0.090	0.315	0.099	49
	kopā	0.39	0.01	2.48	0.18	0.27	69.86	0.07	0.857	0.104	0.385	0.148	90
Baltalksnis	≤0.7	0.10	0.00	1.56	0.17	0.27	270.76	0.07	0.776	0.075	0.546	0.298	34
	>0.7	0.13	0.00	3.40	0.29	0.39	296.39	0.15	0.879	0.096	0.351	0.123	48
	kopā	0.12	0.00	2.76	0.24	0.34	284.95	0.11	0.849	0.092	0.400	0.160	82

MRES - vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze; RMSE – standartklūda; MSE - vidējā kvadrātiskā klūda; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R2 - determinācijas indekss; N - meža elementu skaits.

Positīvas MRES un MRES% vērtības nozīmē, ka modeļi prognozē piesardzīgākus (mazākus) šķērslaukuma pieaugumus.

MSI parauglaukumos meža elementu prognozētā šķērslaukuma statistiskie rezultāti atkarībā no sugas un vecuma

Meža elements	Vecuma grupa	Uzmērītais aritm.vid.	Statistiskie rādītāji										
			MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
Priede	≤40	13.76	0.32	2.35	0.99	1.37	9.95	1.85	0.026	0.978	0.987	0.975	80
	41-60	17.43	0.16	0.89	0.82	1.12	6.40	1.24	0.015	0.937	0.993	0.986	151
	61-80	20.21	0.02	0.08	0.70	0.93	4.60	0.86	0.011	0.972	0.995	0.989	153
	81-100	21.34	-0.22	-1.03	0.79	1.14	5.35	1.29	0.016	0.977	0.992	0.985	95
	100<	21.68	-0.08	-0.36	0.72	0.97	4.49	0.93	0.012	0.971	0.994	0.988	73
	kopā	18.90	0.05	0.24	0.79	1.08	5.71	1.16	0.014	0.976	0.993	0.986	552
Egle 1.stāvs	≤40	16.01	0.09	0.54	0.97	1.41	8.83	1.98	0.021	0.982	0.989	0.979	123
	41-60	12.19	-0.06	-0.46	0.71	1.10	9.01	1.19	0.014	0.978	0.993	0.986	77
	61-80	13.23	0.20	1.47	0.65	1.04	7.86	1.07	0.017	0.892	0.993	0.986	80
	80<	13.20	-0.23	-1.76	0.73	1.20	9.10	1.42	0.032	0.984	0.985	0.969	62
	kopā	13.99	0.02	0.16	0.79	1.21	8.62	1.45	0.019	0.963	0.991	0.981	342
Bērzs	≤20	7.61	0.56	7.30	1.01	1.39	18.19	1.88	0.093	1.011	0.962	0.926	49
	21-40	10.29	0.03	0.33	0.78	1.04	10.15	1.08	0.033	0.966	0.984	0.967	146
	41-60	11.56	-0.02	-0.17	0.66	0.95	8.23	0.90	0.021	0.931	0.990	0.979	209
	60<	10.71	-0.21	-1.98	0.62	0.97	9.06	0.93	0.024	0.979	0.989	0.978	110
	kopā	10.64	0.01	0.09	0.72	1.02	9.55	1.03	0.027	0.967	0.986	0.973	514
Melnalksnis	≤40	8.69	-0.09	-1.08	0.62	0.85	9.82	0.71	0.014	0.955	0.993	0.987	44
	40<	13.78	0.02	0.13	0.76	1.12	8.10	1.23	0.010	0.927	0.995	0.991	68
	kopā	11.78	-0.03	-0.22	0.70	1.00	8.52	1.00	0.010	0.935	0.995	0.990	112
Apse	≤40	12.34	0.55	4.42	1.06	1.61	13.02	2.48	0.031	0.881	0.988	0.975	30
	40<	18.08	-0.20	-1.11	0.80	1.28	7.06	1.60	0.014	0.995	0.993	0.986	60
	kopā	16.17	0.05	0.30	0.88	1.36	8.39	1.82	0.017	0.989	0.991	0.983	90
Baltalksnis	≤30	11.14	0.14	1.29	1.20	1.81	16.25	3.20	0.047	0.961	0.976	0.953	46
	30<	14.23	-0.15	-1.03	1.20	1.65	11.62	2.65	0.024	0.936	0.988	0.976	36
	kopā	12.50	0.02	0.13	1.20	1.70	13.60	2.85	0.034	0.954	0.983	0.966	82

MRES - vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze; RMSE – standartklūda; MSE - vidējā kvadrātiskā klūda; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R2 - determinācijas indekss; N - meža elementu skaits.

Positīvas MRES un MRES% vērtības nozīmē, ka modeļi prognozē piesardzīgākus (mazākus) šķērslaukuma pieaugumus.

MSI parauglaukumos meža elementu prognozētā vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma statistiskie rezultāti atkarībā no sugas un vecuma

Meža elements	Vecuma grupa	Uzmērītais aritm.vid.	Statistiskie rādītāji										
			MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
Priede	≤40	0.27	0.06	23.76	0.20	0.27	100.42	0.07	0.826	0.113	0.500	0.250	80
	41-60	0.24	0.03	12.80	0.16	0.22	91.63	0.05	0.827	0.099	0.458	0.210	151
	61-80	0.22	0.00	1.49	0.14	0.19	85.76	0.03	0.866	0.105	0.369	0.136	153
	81-100	0.15	-0.04	-28.32	0.16	0.23	147.64	0.05	0.903	0.071	0.381	0.145	95
	100<	0.17	-0.02	-9.18	0.14	0.19	114.80	0.04	0.908	0.080	0.315	0.100	73
	kopā	0.22	0.01	4.28	0.16	0.22	100.26	0.05	0.831	0.096	0.430	0.185	552
Egle 1.stāvs	≤40	0.38	0.02	4.60	0.19	0.28	74.73	0.08	0.845	0.130	0.400	0.160	123
	41-60	0.22	-0.01	-5.14	0.14	0.22	100.35	0.05	0.843	0.152	0.400	0.160	77
	61-80	0.24	0.04	15.96	0.13	0.21	85.07	0.04	0.759	0.111	0.570	0.325	80
	80<	0.13	-0.05	-36.76	0.15	0.24	190.51	0.06	1.046	0.064	0.118	0.014	62
	kopā	0.27	0.00	1.68	0.16	0.24	90.90	0.06	0.758	0.186	0.496	0.246	342
Bērzs	≤20	0.33	0.11	34.15	0.20	0.28	85.06	0.08	1.235	0.050	0.072	0.005	49
	21-40	0.19	0.01	3.51	0.16	0.21	108.76	0.04	0.930	0.026	0.300	0.090	146
	41-60	0.16	0.00	-2.37	0.13	0.19	116.39	0.04	0.939	0.027	0.270	0.073	209
	60<	0.11	-0.04	-39.23	0.12	0.19	179.63	0.04	1.013	0.030	0.194	0.037	110
	kopā	0.18	0.00	1.07	0.14	0.20	116.00	0.04	0.917	0.035	0.316	0.100	514
Melnalksnis	≤40	0.20	-0.02	-9.38	0.12	0.17	85.15	0.03	0.692	0.232	0.570	0.325	44
	40<	0.22	0.00	1.67	0.15	0.22	102.79	0.05	0.724	0.139	0.557	0.310	68
	kopā	0.21	-0.01	-2.46	0.14	0.20	95.35	0.04	0.715	0.164	0.555	0.308	112
Apse	≤40	0.48	0.11	22.87	0.21	0.32	67.30	0.10	0.865	0.121	0.534	0.285	30
	40<	0.34	-0.04	-11.65	0.16	0.26	74.21	0.06	0.927	0.098	0.312	0.097	60
	kopā	0.39	0.01	2.48	0.18	0.27	69.86	0.07	0.857	0.104	0.385	0.148	90
Baltalksnis	≤30	0.21	0.03	13.56	0.24	0.36	170.84	0.13	0.895	0.070	0.342	0.117	46
	30<	0.00	-0.03	-3803.64	0.24	0.33	42992.35	0.11	0.985	0.018	0.154	0.024	36
	kopā	0.12	0.00	2.76	0.24	0.34	284.95	0.11	0.849	0.092	0.400	0.160	82

MRES - vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze; RMSE – standartklūda; MSE - vidējā kvadrātiskā klūda; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R² - determinācijas indekss; N - meža elementu skaits.

Positīvas MRES un MRES% vērtības nozīmē, ka modeļi prognozē piesardzīgākus (mazākus) šķērslaukuma pieaugumus.

MSI parauglaukumos meža elementu prognozētā šķērslaukuma statistiskie rezultāti atkarībā no sugas un bonitātes

Meža elements	Bonitāte	Uzmērītais aritm.vid.	Statistiskie rādītāji										
			MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
Priede	Ia	17.70	0.24	1.36	0.79	1.09	6.16	1.18	0.011	0.944	0.995	0.990	149
	I	20.11	0.09	0.44	0.78	1.10	5.46	1.20	0.013	0.987	0.993	0.987	144
	II	21.87	0.01	0.04	0.81	1.04	4.76	1.07	0.013	0.969	0.994	0.987	101
	III	17.49	-0.21	-1.18	0.72	0.99	5.64	0.96	0.013	0.974	0.994	0.987	60
	IV-V	16.74	-0.12	-0.72	0.85	1.21	7.21	1.44	0.030	1.064	0.986	0.973	98
	kopā	18.90	0.05	0.24	0.79	1.08	5.71	1.16	0.014	0.976	0.993	0.986	552
Egle 1.stāvs	Ia	16.57	0.02	0.14	0.95	1.37	8.25	1.86	0.021	0.975	0.990	0.979	170
	I	12.43	0.16	1.27	0.59	0.94	7.58	0.87	0.014	0.919	0.994	0.988	75
	II	10.64	-0.11	-1.07	0.83	1.33	12.49	1.74	0.038	0.924	0.981	0.963	63
	III-V	10.75	-0.03	-0.27	0.42	0.69	6.43	0.46	0.011	1.016	0.994	0.989	34
	kopā	13.99	0.02	0.16	0.79	1.21	8.62	1.45	0.019	0.963	0.991	0.981	342
Bērzs	Ia	11.46	0.17	1.47	0.76	1.09	9.51	1.18	0.029	0.958	0.986	0.972	195
	I	11.26	-0.02	-0.17	0.72	1.02	9.06	1.03	0.030	0.962	0.985	0.970	133
	II	10.57	-0.05	-0.48	0.74	1.07	10.08	1.12	0.028	1.018	0.986	0.972	110
	III-V	7.54	-0.26	-3.48	0.56	0.80	10.55	0.62	0.026	0.971	0.989	0.977	76
	kopā	10.64	0.01	0.09	0.72	1.02	9.55	1.03	0.027	0.967	0.986	0.973	514
Melnalksnis	Ia-I	13.18	0.23	1.77	0.69	1.00	7.57	0.98	0.008	0.906	0.997	0.994	66
	II-V	9.77	-0.40	-4.07	0.73	1.06	10.85	1.10	0.018	1.051	0.993	0.986	46
	kopā	11.78	-0.03	-0.22	0.70	1.00	8.52	1.00	0.010	0.935	0.995	0.990	112

MRES - vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze; RMSE – standartklūda; MSE - vidējā kvadrātiskā klūda; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R² - determinācijas indekss; N - meža elementu skaits.

Apes un baltalkšņa meža elementiem praktiski ir tikai Ia un I bonitāte

Positīvas MRES un MRES% vērtības nozīmē, ka modeļi prognozē piesardzīgākus (mazākus) šķērslaukuma pieaugumus.

MSI parauglaukumos meža elementu prognozētā vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma statistiskie rezultāti atkarībā no sugas un bonitātes

Meža elements	Bonitāte	Uzmērītais aritm.vid.	Statistiskie rādītāji										
			MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
Priede	Ia	0.29	0.05	16.78	0.16	0.22	75.98	0.05	0.853	0.104	0.456	0.208	149
	I	0.24	0.02	7.41	0.16	0.22	90.97	0.05	0.879	0.063	0.379	0.144	144
	II	0.22	0.00	0.86	0.16	0.21	96.47	0.04	0.916	0.043	0.306	0.093	101
	III	0.14	-0.04	-29.56	0.14	0.20	140.85	0.04	1.012	0.145	0.237	0.056	60
	IV-V	0.11	-0.02	-21.39	0.17	0.24	213.98	0.06	0.920	0.065	0.303	0.092	98
	kopā	0.22	0.01	4.28	0.16	0.22	100.26	0.05	0.831	0.096	0.430	0.185	552
Egle 1.stāvs	Ia	0.34	0.00	1.36	0.19	0.27	80.39	0.07	0.822	0.125	0.429	0.184	170
	I	0.25	0.03	12.85	0.12	0.19	76.61	0.03	0.738	0.149	0.560	0.314	75
	II	0.15	-0.02	-14.80	0.17	0.27	172.81	0.07	0.920	0.060	0.300	0.090	63
	III-V	0.14	-0.01	-4.14	0.08	0.14	97.39	0.02	0.910	0.267	0.347	0.121	34
	kopā	0.27	0.00	1.68	0.16	0.24	90.90	0.06	0.758	0.186	0.496	0.246	342
Bērzs	Ia	0.23	0.03	14.96	0.15	0.22	96.63	0.05	0.958	0.032	0.272	0.074	195
	I	0.17	0.00	-2.21	0.14	0.20	118.94	0.04	0.951	0.018	0.249	0.062	133
	II	0.15	-0.01	-6.73	0.15	0.21	140.69	0.04	0.952	0.025	0.239	0.057	110
	III-V	0.09	-0.05	-60.21	0.11	0.16	182.45	0.02	1.086	0.066	0.205	0.042	76
	kopā	0.18	0.00	1.07	0.14	0.20	116.00	0.04	0.917	0.035	0.316	0.100	514
Melnalksnis	Ia-I	0.28	0.05	16.82	0.14	0.20	71.96	0.04	0.631	0.173	0.696	0.484	66
	II-V	0.11	-0.08	-69.27	0.15	0.21	184.49	0.04	1.285	0.199	0.126	0.016	46
	kopā	0.21	-0.01	-2.46	0.14	0.20	95.35	0.04	0.715	0.164	0.555	0.308	112

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.

Apes un baltalkšņa meža elementiem praktiski ir tikai Ia un I bonitāte

Pozitīvas MRES un MRES% vērtības nozīmē, ka modeļi prognozē piesardzīgākus (mazākus) šķērslaukuma pieaugumus.

MSI parauglaukumos meža elementu prognozētās krājas statistiskie rezultāti atkarībā no sugas un biežības

Meža elements	Biezības grupa	Uzmērītais aritm.vid.	Statistiskie rādītāji										
			MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
1. versija													
Priede	≤0.5	105.83	8.34	7.88	11.21	14.72	13.91	214.96	0.050	0.773	0.989	0.979	136
	0.6-0.8	197.08	9.30	4.72	13.91	17.88	9.07	318.62	0.039	0.873	0.987	0.974	282
	0.9≤	280.36	12.24	4.37	19.30	26.17	9.33	679.47	0.033	0.916	0.988	0.976	134
	kopā	194.82	9.78	5.02	14.55	19.41	9.96	376.13	0.027	0.903	0.991	0.982	552
Egle	≤0.5	89.15	5.32	5.96	13.60	17.75	19.91	310.36	0.095	0.876	0.956	0.914	69
	0.6-0.8	152.12	4.71	3.09	20.48	26.57	17.47	701.17	0.079	1.009	0.962	0.925	152
	0.9≤	188.84	10.82	5.73	23.58	32.00	16.95	1015.37	0.067	0.974	0.970	0.941	121
	kopā	152.41	6.99	4.59	20.19	26.91	17.66	722.04	0.065	0.972	0.969	0.940	342
Bērzs	≤0.5	76.10	5.98	7.86	10.73	13.67	17.96	185.39	0.078	0.789	0.972	0.944	129
	0.6-0.8	127.89	7.45	5.82	14.51	19.41	15.18	375.07	0.059	0.886	0.975	0.951	231
	0.9≤	119.05	14.97	12.58	19.70	26.04	21.87	673.47	0.105	0.860	0.965	0.932	154
	kopā	112.24	9.33	8.32	15.12	20.32	18.10	412.07	0.072	0.869	0.972	0.945	514
Melnalksnis	≤0.7	77.82	3.86	4.96	9.27	23.23	29.85	490.60	0.051	1.110	0.979	0.959	34
	>0.7	145.75	6.73	4.62	14.68	24.15	16.57	572.62	0.024	0.887	0.990	0.981	78
	kopā	125.13	5.86	4.68	13.04	20.47	16.36	414.50	0.024	0.905	0.990	0.980	112
Apse	≤0.7	180.87	14.03	7.75	22.38	42.35	23.42	1694.22	0.054	0.878	0.981	0.962	41
	>0.7	263.19	22.39	8.51	27.99	52.93	20.11	2693.52	0.045	0.867	0.987	0.974	49
	kopā	225.69	18.58	8.23	25.43	39.03	17.29	1500.41	0.044	0.866	0.986	0.972	90
Baltalksnis	≤0.7	63.73	3.21	5.04	8.23	18.94	29.72	326.13	0.059	1.032	0.974	0.949	34
	>0.7	135.70	8.25	6.08	13.90	28.87	21.28	800.21	0.049	0.824	0.982	0.965	48
	kopā	105.86	6.16	5.82	11.55	20.17	19.05	399.87	0.041	0.853	0.984	0.968	82
2. versija													
Priede	≤0.5	105.83	2.89	2.73	5.68	7.82	7.39	60.72	0.014	0.937	0.994	0.989	136
	0.6-0.8	197.08	3.31	1.68	9.04	11.75	5.96	137.64	0.017	0.923	0.993	0.985	282
	0.9≤	280.36	2.45	0.87	12.25	16.13	5.75	258.22	0.012	0.937	0.994	0.989	134
	kopā	194.82	2.99	1.54	8.99	12.11	6.21	146.28	0.011	0.951	0.995	0.991	552
Egle	≤0.5	89.15	0.80	0.90	6.40	9.70	10.88	92.63	0.028	0.929	0.986	0.972	69
	0.6-0.8	152.12	0.36	0.23	10.19	14.81	9.73	217.77	0.025	0.978	0.988	0.976	152
	0.9≤	188.84	1.38	0.73	11.80	17.15	9.08	291.50	0.019	0.950	0.991	0.981	121
	kopā	152.41	0.81	0.53	9.99	14.69	9.64	215.22	0.019	0.963	0.990	0.981	342
Bērzs	≤0.5	76.10	2.46	3.23	6.49	8.90	11.69	78.53	0.033	0.885	0.986	0.972	129
	0.6-0.8	127.89	2.25	1.76	8.96	12.65	9.89	159.20	0.025	0.903	0.988	0.977	231
	0.9≤	119.05	0.78	0.65	8.04	11.92	10.01	141.13	0.022	0.952	0.989	0.978	154
	kopā	112.24	1.86	1.66	8.06	11.50	10.25	132.10	0.023	0.926	0.989	0.978	514
Melnalksnis	≤0.7	77.82	0.90	1.15	5.44	9.16	11.77	81.23	0.024	1.011	0.988	0.977	34
	>0.7	145.75	2.70	1.85	11.08	16.21	11.12	259.34	0.015	0.857	0.995	0.990	78
	kopā	125.13	2.15	1.72	9.37	14.26	11.40	201.55	0.014	0.874	0.995	0.990	112
Apse	≤0.7	180.87	6.21	3.43	12.50	17.32	9.58	292.20	0.020	0.926	0.992	0.984	41
	>0.7	263.19	2.14	0.81	14.83	23.05	8.76	519.92	0.015	0.971	0.992	0.985	49
	kopā	225.69	3.99	1.77	13.77	20.18	8.94	402.53	0.015	0.969	0.993	0.985	90
Baltalksnis	≤0.7	63.73	-0.23	-0.37	7.40	11.36	17.83	125.00	0.064	1.051	0.969	0.940	34
	>0.7	135.70	0.68	0.50	12.28	16.52	12.17	266.79	0.029	0.926	0.986	0.971	48
	kopā	105.86	0.30	0.29	10.26	14.27	13.48	201.02	0.028	0.948	0.986	0.973	82

MRES - vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze; RMSE – standartklūda; MSE - vidējā kvadrātiskā klūda; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R2 - determinācijas indekss; N - meža elementu skaits.

1. versija - koku skaits prognozēts ar 1.7-1.10. vienādojumiem; 2. versija - koku skaits aprēķināts kā funkcija no prognozētā caurmēra (1.6. vienādojums) un prognozētā šķērslaukuma (1.12. vienādojums).

Pozitīvas MRES un MRES% vērtības nozīmē, ka modeļi prognozē piesardzīgākus (mazākus) krājas pieaugumus.

MSI parauglaukumos meža elementu prognozētā vidējā periodiskā krājas pieauguma statistiskie rezultāti atkarībā no sugas un biežības

Meža elements	Biezības grupa	Uzmērītais aritm.vid.	Statistiskie rādītāji										
			MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
1. versija													
Priede	≤0.5	2.83	1.67	58.86	2.24	2.94	103.88	8.60	1.809	0.695	0.291	0.085	136
	0.6-0.8	4.00	1.86	46.54	2.78	3.58	89.49	12.74	1.589	0.859	0.381	0.145	282
	0.9≤	4.27	2.45	57.34	3.86	5.23	122.53	27.18	2.118	1.080	0.212	0.045	134
	kopā	3.78	1.96	51.78	2.91	3.88	102.80	15.05	1.750	0.903	0.316	0.100	552
Egle	≤0.5	3.24	1.06	32.85	2.72	3.55	109.69	12.41	1.888	2.099	0.480	0.230	69
	0.6-0.8	4.40	0.94	21.39	4.10	5.31	120.76	28.05	1.897	2.615	0.550	0.303	152
	0.9≤	5.08	2.16	42.61	4.72	6.40	126.06	40.61	1.999	2.062	0.452	0.205	121
	kopā	4.40	1.40	31.74	4.04	5.38	122.18	28.88	1.889	2.256	0.498	0.248	342
Bērzs	≤0.5	2.73	1.20	43.77	2.15	2.73	100.09	7.42	1.690	0.915	0.292	0.085	129
	0.6-0.8	3.26	1.49	45.64	2.90	3.88	118.94	15.00	1.863	1.118	0.253	0.064	231
	0.9≤	2.83	2.99	105.65	3.94	5.21	183.73	26.94	4.128	2.149	0.144	0.021	154
	kopā	3.00	1.87	62.19	3.02	4.06	135.40	16.48	2.474	1.483	0.220	0.048	514
Melnalksnis	≤0.7	2.95	0.77	26.17	1.85	4.65	157.49	19.62	1.142	1.743	0.647	0.418	34
	>0.7	4.19	1.35	32.16	2.94	4.83	115.36	22.90	0.802	0.663	0.584	0.341	78
	kopā	3.81	1.17	30.76	2.61	4.09	107.44	16.58	0.821	0.769	0.589	0.347	112
Apse	≤0.7	7.79	2.81	36.02	4.48	8.47	108.76	67.77	1.518	1.140	0.479	0.230	41
	>0.7	7.79	4.48	57.45	5.60	10.59	135.82	107.74	1.907	0.967	0.371	0.138	49
	kopā	7.79	3.72	47.69	5.09	7.81	100.18	60.02	1.769	1.056	0.405	0.164	90
Baltalksnis	≤0.7	1.45	0.64	44.45	1.65	3.79	262.12	13.05	0.669	0.355	0.630	0.397	34
	>0.7	2.66	1.65	61.98	2.78	5.77	216.78	32.01	1.409	0.925	0.388	0.151	48
	kopā	2.16	1.23	57.11	2.31	4.03	186.88	15.99	1.162	0.742	0.425	0.181	82
2. versija													
Priede	≤0.5	2.83	0.58	20.38	1.14	1.56	55.21	2.43	0.511	0.354	0.769	0.591	136
	0.6-0.8	4.00	0.66	16.55	1.81	2.35	58.82	5.51	0.686	0.222	0.627	0.393	282
	0.9≤	4.27	0.49	11.46	2.45	3.23	75.54	10.33	0.805	0.201	0.463	0.214	134
	kopā	3.78	0.60	15.86	1.80	2.42	64.11	5.85	0.681	0.261	0.609	0.371	552
Egle	≤0.5	3.24	0.16	4.95	1.28	1.94	59.92	3.71	0.564	0.405	0.664	0.441	69
	0.6-0.8	4.40	0.07	1.62	2.04	2.96	67.30	8.71	0.589	0.415	0.641	0.411	152
	0.9≤	5.08	0.28	5.44	2.36	3.43	67.54	11.66	0.574	0.510	0.658	0.433	121
	kopā	4.40	0.16	3.67	2.00	2.94	66.71	8.61	0.563	0.472	0.663	0.439	342
Bērzs	≤0.5	2.73	0.49	17.99	1.30	1.78	65.14	3.14	0.716	0.174	0.617	0.381	129
	0.6-0.8	3.26	0.45	13.79	1.79	2.53	77.49	6.37	0.791	0.142	0.500	0.250	231
	0.9≤	2.83	0.16	5.48	1.61	2.38	84.11	5.65	0.865	0.220	0.382	0.146	154
	kopā	3.00	0.37	12.40	1.61	2.30	76.66	5.28	0.793	0.177	0.481	0.231	514
Melnalksnis	≤0.7	2.95	0.18	6.09	1.09	1.83	62.11	3.25	0.533	0.455	0.688	0.473	34
	>0.7	4.19	0.54	12.90	2.22	3.24	77.44	10.37	0.495	0.241	0.774	0.600	78
	kopā	3.81	0.43	11.30	1.87	2.85	74.84	8.06	0.489	0.269	0.763	0.582	112
Apse	≤0.7	7.79	1.24	15.95	2.50	3.46	44.48	11.69	0.553	0.367	0.737	0.543	41
	>0.7	7.79	0.43	5.48	2.97	4.61	59.16	20.80	0.651	0.267	0.602	0.362	49
	kopā	7.79	0.80	10.25	2.75	4.04	51.80	16.10	0.616	0.309	0.646	0.417	90
Baltalksnis	≤0.7	1.45	-0.05	-3.23	1.48	2.27	157.28	5.00	0.723	0.162	0.546	0.298	34
	>0.7	2.66	0.14	5.13	2.46	3.30	124.03	10.67	0.845	0.144	0.395	0.156	48
	kopā	2.16	0.06	2.81	2.05	2.85	132.22	8.04	0.782	0.170	0.471	0.221	82

MRES - vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze; RMSE – standartklūda; MSE - vidējā kvadrātiskā klūda; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R² - determinācijas indekss; N - meža elementu skaits.

1. versija - koku skaits prognozēts ar 1.7-1.10. vienādojumiem; 2. versija - koku skaits aprēķināts kā funkcija no prognozētā caurmēra (1.6. vienādojums) un prognozētā šķērslaukuma (1.12. vienādojums).

Pozitīvas MRES un MRES% vērtības nozīmē, ka modeļi prognozē piesardzīgākus (mazākus) krājas pieaugumus.

MSI parauglaukumos meža elementu prognozētās krājas statistiskie rezultāti atkarībā no sugas un vecuma

Meža elements	Biezības grupa	Uzmērītais aritm.vid.	Statistiskie rādītāji										
			MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
1. versija													
Priede	≤40	108.32	-4.62	-4.27	11.56	20.10	18.55	396.77	0.045	1.022	0.979	0.959	80
	41-60	170.87	4.99	2.92	10.27	16.26	9.52	262.42	0.020	0.991	0.991	0.982	151
	61-80	219.51	12.23	5.57	14.36	19.50	8.88	377.32	0.024	0.948	0.994	0.988	153
	81-100	231.17	15.66	6.77	17.58	24.76	10.71	604.67	0.032	0.902	0.994	0.987	95
	100<	240.06	22.68	9.45	23.14	34.32	14.29	1154.01	0.057	0.850	0.992	0.985	73
	kopā	194.82	9.78	5.02	14.55	19.78	10.15	390.35	0.027	0.903	0.991	0.982	552
Egle	≤40	148.79	-11.45	-7.70	19.75	32.06	21.54	1017.30	0.079	1.132	0.971	0.942	123
	41-60	139.84	8.94	6.39	14.02	22.29	15.94	487.68	0.025	0.970	0.990	0.981	77
	61-80	158.07	19.92	12.60	21.40	30.67	19.40	924.13	0.066	0.846	0.989	0.978	80
	80<	167.90	24.49	14.59	27.15	41.05	24.45	1641.82	0.104	0.775	0.983	0.967	62
	kopā	152.41	6.99	4.59	20.19	27.74	18.20	767.31	0.065	0.972	0.969	0.940	342
Bērzs	≤20	52.65	-4.83	-9.17	13.00	25.32	48.10	616.69	0.280	1.526	0.917	0.841	49
	21-40	95.04	4.75	5.00	14.08	22.45	23.62	499.80	0.119	0.996	0.944	0.890	146
	41-60	128.98	12.13	9.40	14.79	20.75	16.09	428.39	0.062	0.867	0.982	0.965	209
	60<	129.82	16.41	12.64	18.07	24.91	19.19	613.56	0.069	0.858	0.986	0.973	110
	kopā	112.24	9.33	8.32	15.12	20.73	18.47	428.86	0.072	0.869	0.972	0.945	514
Melnalksnis	≤40	79.36	-2.56	-3.22	9.39	20.72	26.11	408.84	0.041	1.211	0.986	0.973	44
	40<	154.74	11.31	7.31	15.39	25.36	16.39	629.00	0.024	0.881	0.993	0.986	68
	kopā	125.13	5.86	4.68	13.04	20.47	16.36	414.50	0.024	0.905	0.990	0.980	112
Apse	≤40	135.15	4.14	3.06	17.96	53.07	39.27	2414.12	0.054	1.091	0.976	0.952	30
	40<	270.96	25.80	9.52	29.17	48.20	17.79	2260.23	0.053	0.859	0.988	0.976	60
	kopā	225.69	18.58	8.23	25.43	39.03	17.29	1500.41	0.044	0.866	0.986	0.972	90
Baltalksnis	≤30	86.00	3.39	3.95	9.85	20.82	24.21	414.76	0.045	0.942	0.979	0.958	46
	30<	131.24	9.70	7.39	13.73	34.22	26.08	1081.01	0.044	0.809	0.987	0.975	36
	kopā	105.86	6.16	5.82	11.55	20.17	19.05	399.87	0.041	0.853	0.984	0.968	82
2. versija													
Priede	≤40	108.32	2.58	2.38	8.18	11.94	11.02	140.71	0.022	0.958	0.990	0.980	80
	41-60	170.87	2.26	1.33	8.33	11.15	6.53	123.52	0.011	0.943	0.995	0.990	151
	61-80	219.51	3.09	1.41	9.08	12.12	5.52	145.80	0.011	0.959	0.995	0.990	153
	81-100	231.17	2.78	1.20	9.71	12.64	5.47	157.99	0.011	0.947	0.995	0.991	95
	100<	240.06	5.03	2.10	10.14	14.64	6.10	211.23	0.015	0.925	0.994	0.988	73
	kopā	194.82	2.99	1.54	8.99	12.11	6.21	146.28	0.011	0.951	0.995	0.991	552
Egle	≤40	148.79	-0.06	-0.04	10.46	14.78	9.93	216.64	0.020	1.012	0.990	0.980	123
	41-60	139.84	-0.31	-0.22	9.32	15.13	10.82	225.92	0.016	0.960	0.992	0.984	77
	61-80	158.07	3.09	1.96	9.21	14.12	8.93	196.85	0.019	0.904	0.992	0.984	80
	80<	167.90	0.97	0.58	10.92	16.13	9.61	255.69	0.025	0.951	0.988	0.976	62
	kopā	152.41	0.81	0.53	9.99	14.69	9.64	215.22	0.019	0.963	0.990	0.981	342
Bērzs	≤20	52.65	2.70	5.13	7.71	10.60	20.12	109.83	0.088	1.043	0.960	0.922	49
	21-40	95.04	1.41	1.49	8.34	11.06	11.63	121.37	0.034	0.928	0.984	0.967	146
	41-60	128.98	2.32	1.80	8.30	12.09	9.38	145.53	0.023	0.897	0.990	0.979	209
	60<	129.82	1.21	0.93	7.39	11.94	9.20	141.27	0.020	0.933	0.991	0.981	110
	kopā	112.24	1.86	1.66	8.06	11.50	10.25	132.10	0.023	0.926	0.989	0.978	514
Melnalksnis	≤40	79.36	-0.75	-0.95	6.24	8.82	11.11	75.88	0.015	0.950	0.993	0.985	44
	40<	154.74	4.04	2.61	11.39	17.17	11.09	290.12	0.016	0.860	0.995	0.989	68
	kopā	125.13	2.15	1.72	9.37	14.26	11.40	201.55	0.014	0.874	0.995	0.990	112
Apse	≤40	135.15	7.07	5.23	12.89	19.54	14.46	367.80	0.032	0.880	0.988	0.976	30
	40<	270.96	2.45	0.91	14.20	21.17	7.81	440.16	0.016	0.963	0.992	0.985	60
	kopā	225.69	3.99	1.77	13.77	20.18	8.94	402.53	0.015	0.969	0.993	0.985	90
Baltalksnis	≤30	86.00	0.33	0.38	9.44	13.67	15.90	182.59	0.037	0.963	0.981	0.963	46
	30<	131.24	0.27	0.21	11.31	15.84	12.07	243.30	0.025	0.932	0.988	0.976	36
	kopā	105.86	0.30	0.29	10.26	14.27	13.48	201.02	0.028	0.948	0.986	0.973	82
	kopā	105.86	0.30	0.29	10.26	14.27	13.48	201.02	0.028	0.948	0.986	0.973	82

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.

1. versija - koku skaits prognozēts ar 1.7-1.10. vienādojumiem; 2. versija - koku skaits aprēķināts kā funkcija no prognozētā caurmēra (1.6. vienādojums) un prognozētā šķērslaukuma (1.12. vienādojums).

Positīvas MRES un MRES% vērtības nozīmē, ka modeļi prognozē piesardzīgākus (mazākus) krājas pieaugumus.

MSI parauglaukumos meža elementu prognozētā vidējā periodiskā krājas pieauguma statistiskie rezultāti atkarībā no sugas un vecuma

Meža elements	Biezības grupa	Uzmērītais aritm.vid.	Statistiskie rādītāji										
			MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
1. versija													
Priede	≤40	3.68	-0.92	-25.15	2.31	4.02	109.33	15.87	1.140	1.531	0.597	0.356	80
	41-60	3.87	1.00	25.78	2.05	3.25	84.11	10.50	1.047	0.822	0.492	0.242	151
	61-80	4.00	2.45	61.14	2.87	3.90	97.47	15.09	1.621	0.246	0.385	0.148	153
	81-100	3.53	3.13	88.78	3.52	4.95	140.40	24.19	2.135	0.090	0.162	0.026	95
	100<	3.55	4.54	127.68	4.63	6.86	193.20	46.16	3.866	0.101	-0.394	0.155	73
	kopā	3.78	1.96	51.78	2.91	3.96	104.73	15.61	1.750	0.903	0.316	0.100	552
Egle	≤40	5.86	-2.29	-39.06	3.95	6.41	109.32	40.69	2.099	2.607	0.570	0.325	123
	41-60	3.72	1.79	48.01	2.80	4.46	119.76	19.51	0.963	0.506	0.540	0.291	77
	61-80	4.02	3.98	99.12	4.28	6.13	152.64	36.97	2.116	0.232	0.406	0.165	80
	80<	2.86	4.90	171.55	5.43	8.21	287.55	65.67	3.676	0.318	-0.198	0.039	62
		kopā	4.40	1.40	31.74	4.04	5.55	125.97	30.69	1.889	2.256	0.498	0.248
Bērzs	≤20	3.47	-0.97	-27.83	2.60	5.06	145.95	24.67	2.887	3.402	0.467	0.218	49
	21-40	3.15	0.95	30.22	2.82	4.49	142.70	19.99	2.656	1.971	0.163	0.026	146
	41-60	3.10	2.43	78.15	2.96	4.15	133.72	17.14	2.142	0.720	0.239	0.057	209
	60<	2.41	3.28	136.42	3.61	4.98	207.11	24.54	2.993	0.297	-0.032	0.001	110
		kopā	3.00	1.87	62.19	3.02	4.15	138.13	17.15	2.474	1.483	0.220	0.048
Melnalksnis	≤40	3.04	-0.51	-16.79	1.88	4.14	136.14	16.35	0.976	2.309	0.778	0.606	44
	40<	4.31	2.26	52.50	3.08	5.07	117.75	25.16	0.807	0.363	0.667	0.445	68
		kopā	3.81	1.17	30.76	2.61	4.09	107.44	16.58	0.821	0.769	0.589	0.347
Apse	≤40	7.64	0.83	10.84	3.59	10.61	138.99	96.56	0.891	1.430	0.655	0.429	30
	40<	7.87	5.16	65.57	5.83	9.64	122.50	90.41	2.211	0.646	0.305	0.093	60
		kopā	7.79	3.72	47.69	5.09	7.81	100.18	60.02	1.769	1.056	0.405	0.164
Baltalksnis	≤30	2.83	0.68	24.01	1.97	4.16	147.32	16.59	0.992	1.017	0.536	0.287	46
	30<	1.30	1.94	148.79	2.75	6.84	524.77	43.24	1.478	0.142	0.028	0.001	36
		kopā	2.16	1.23	57.11	2.31	4.03	186.88	15.99	1.162	0.742	0.425	0.181
2. versija													
Priede	≤40	3.68	0.52	14.02	1.64	2.39	64.96	5.63	0.546	0.350	0.702	0.493	80
	41-60	3.87	0.45	11.71	1.67	2.23	57.67	4.94	0.570	0.304	0.687	0.473	151
	61-80	4.00	0.62	15.45	1.82	2.42	60.56	5.83	0.723	0.241	0.577	0.333	153
	81-100	3.53	0.56	15.79	1.94	2.53	71.66	6.32	0.713	0.179	0.594	0.352	95
	100<	3.55	1.01	28.33	2.03	2.93	82.42	8.45	0.991	0.127	0.365	0.133	73
	kopā	3.78	0.60	15.86	1.80	2.42	64.11	5.85	0.681	0.261	0.609	0.371	552
Egle	≤40	5.86	-0.01	-0.21	2.09	2.96	50.41	8.67	0.536	0.611	0.687	0.472	123
	41-60	3.72	-0.06	-1.64	1.86	3.03	81.30	9.04	0.612	0.342	0.625	0.390	77
	61-80	4.02	0.62	15.40	1.84	2.82	70.29	7.87	0.609	0.235	0.678	0.459	80
	80<	2.86	0.19	6.77	2.18	3.23	112.97	10.23	0.866	0.136	0.371	0.137	62
		kopā	4.40	0.16	3.67	2.00	2.94	66.71	8.61	0.563	0.472	0.663	0.439
Bērzs	≤20	3.47	0.54	15.57	1.54	2.12	61.06	4.39	0.910	0.502	0.463	0.215	49
	21-40	3.15	0.28	8.99	1.67	2.21	70.28	4.85	0.750	0.222	0.514	0.265	146
	41-60	3.10	0.46	14.95	1.66	2.42	77.92	5.82	0.806	0.120	0.497	0.247	209
	60<	2.41	0.24	10.02	1.48	2.39	99.27	5.65	0.848	0.100	0.413	0.171	110
		kopā	3.00	0.37	12.40	1.61	2.30	76.66	5.28	0.793	0.177	0.481	0.231
Melnalksnis	≤40	3.04	-0.15	-4.95	1.25	1.76	57.95	3.04	0.354	0.533	0.810	0.655	44
	40<	4.31	0.81	18.73	2.28	3.43	79.69	11.60	0.538	0.209	0.768	0.590	68
		kopā	3.81	0.43	11.30	1.87	2.85	74.84	8.06	0.489	0.269	0.763	0.582
Apse	≤40	7.64	1.41	18.51	2.58	3.91	51.19	14.71	0.523	0.378	0.759	0.576	30
	40<	7.87	0.49	6.24	2.84	4.23	53.80	17.61	0.663	0.257	0.595	0.354	60
		kopā	7.79	0.80	10.25	2.75	4.04	51.80	16.10	0.616	0.309	0.646	0.417
Baltalksnis	≤30	2.83	0.07	2.32	1.89	2.73	96.73	7.30	0.816	0.188	0.429	0.184	46
	30<	1.30	0.05	4.17	2.26	3.17	242.90	9.73	0.844	0.051	0.458	0.210	36
		kopā	2.16	0.06	2.81	2.05	2.85	132.22	8.04	0.782	0.170	0.471	0.221

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.

1. versija - koku skaits prognozēts ar 1.7-1.10. vienādojumiem; 2. versija - koku skaits aprēķināts kā funkcija no prognozētā caurmēra (1.6. vienādojums) un prognozētā šķērslaukuma (1.12. vienādojums).

Positīvas MRES un MRES% vērtības nozīmē, ka modeļi prognozē piesardzīgākus (mazākus) krājas pieaugumus.

MSI parauglaukumos meža elementu prognozētās krājas statistiskie rezultāti atkarībā no sugas un bonitātes

Meža elements	Biezības grupa	Uzmērītais aritm.vid.	Statistiskie rādītāji										
			MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
1. versija													
Priede	la	199.20	5.37	2.70	13.59	19.52	9.80	377.85	0.020	0.955	0.991	0.982	149
	I	227.27	13.61	5.99	16.43	24.58	10.82	599.27	0.034	0.890	0.990	0.981	144
	II	228.58	12.67	5.54	17.35	24.95	10.92	614.61	0.039	0.874	0.989	0.977	101
	III	172.90	12.16	7.03	14.56	23.69	13.70	545.96	0.039	0.851	0.992	0.983	60
	IV-V	119.09	6.40	5.38	10.37	15.70	13.18	243.10	0.038	0.846	0.987	0.975	98
	kopā	194.82	9.78	5.02	14.55	19.78	10.15	390.35	0.027	0.903	0.991	0.982	552
Egle	la	178.23	-1.26	-0.71	22.49	32.90	18.46	1074.89	0.071	0.972	0.964	0.930	170
	I	140.37	15.81	11.26	18.01	27.08	19.29	719.35	0.053	0.858	0.989	0.977	75
	II	118.67	14.85	12.52	19.34	30.43	25.64	902.88	0.089	0.809	0.975	0.951	63
	III-V	112.37	14.24	12.67	15.07	36.39	32.38	1203.85	0.073	0.815	0.986	0.972	34
	kopā	152.41	6.99	4.59	20.19	27.74	18.20	767.31	0.065	0.972	0.969	0.940	342
Bērzs	la	132.27	9.56	7.22	17.42	23.99	18.14	572.15	0.070	0.890	0.971	0.943	195
	I	122.68	12.16	9.91	16.62	23.65	19.28	554.26	0.093	0.827	0.970	0.940	133
	II	99.74	9.69	9.71	14.52	22.34	22.40	493.52	0.102	0.892	0.961	0.923	110
	III-V	60.70	3.30	5.44	7.44	12.60	20.76	155.78	0.053	0.867	0.977	0.954	76
	kopā	112.24	9.33	8.32	15.12	20.73	18.47	428.86	0.072	0.869	0.972	0.945	514
Melnalksnis	la-I	148.61	6.99	4.71	14.12	25.23	16.98	621.71	0.023	0.870	0.992	0.983	66
	II-V	91.44	4.24	4.63	11.48	21.49	23.50	441.61	0.039	1.059	0.983	0.966	46
	kopā	125.13	5.86	4.68	13.04	20.47	16.36	414.50	0.024	0.905	0.990	0.980	112
	2. versija												
	Priede	la	199.20	2.91	1.46	9.31	12.51	6.28	155.39	0.010	0.962	0.996	0.991
I		227.27	3.71	1.63	10.14	13.64	6.00	184.62	0.012	0.946	0.995	0.989	144
II		228.58	3.56	1.56	10.02	13.57	5.94	182.30	0.014	0.935	0.994	0.987	101
III		172.90	1.83	1.06	7.59	10.77	6.23	114.02	0.012	0.933	0.994	0.989	60
IV-V		119.09	2.20	1.85	6.63	8.77	7.36	76.03	0.015	0.943	0.993	0.986	98
	kopā	194.82	2.99	1.54	8.99	12.11	6.21	146.28	0.011	0.951	0.995	0.991	552
Egle	la	178.23	-0.43	-0.24	11.81	16.66	9.35	275.97	0.021	0.976	0.990	0.979	170
	I	140.37	3.01	2.14	7.04	10.47	7.46	108.02	0.011	0.916	0.996	0.991	75
	II	118.67	0.79	0.66	10.90	16.53	13.93	268.59	0.040	0.905	0.980	0.961	63
	III-V	112.37	2.18	1.94	5.78	9.96	8.87	96.08	0.016	0.960	0.992	0.985	34
	kopā	152.41	0.81	0.53	9.99	14.69	9.64	215.22	0.019	0.963	0.990	0.981	342
Bērzs	la	132.27	2.79	2.11	9.07	12.85	9.71	164.24	0.023	0.931	0.990	0.979	195
	I	122.68	2.21	1.80	9.17	12.73	10.38	160.84	0.032	0.906	0.985	0.970	133
	II	99.74	1.34	1.34	6.88	10.06	10.08	100.17	0.025	0.972	0.987	0.975	110
	III-V	60.70	-0.38	-0.62	5.24	7.76	12.79	59.46	0.028	0.874	0.987	0.975	76
	kopā	112.24	1.86	1.66	8.06	11.50	10.25	132.10	0.023	0.926	0.989	0.978	514
Melnalksnis	la-I	148.61	4.94	3.33	10.71	16.35	11.00	263.08	0.014	0.852	0.996	0.993	66
	II-V	91.44	-1.85	-2.02	7.43	11.33	12.39	125.45	0.021	1.007	0.990	0.980	46
	kopā	125.13	2.15	1.72	9.37	14.26	11.40	201.55	0.014	0.874	0.995	0.990	112

MRES - vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze; RMSE – standartklūda; MSE - vidējā kvadrātiskā klūda; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R² - determinācijas indekss; N - meža elementu skaits.

1. versija - koku skaits prognozēts ar 1.7-1.10. vienādojumiem; 2. versija - koku skaits aprēķināts kā funkcija no prognozētā caurmēra (1.6. vienādojums) un prognozētā šķērslaukuma (1.12. vienādojums).

Pozitīvas MRES un MRES% vērtības nozīmē, ka modeļi prognozē piesardzīgākus (mazākus) krājas pieaugumus.

MSI parauglaukumos meža elementu prognozētā vidējā periodiskā krājas pieauguma statistiskie rezultāti atkarībā no sugas un bonitātes

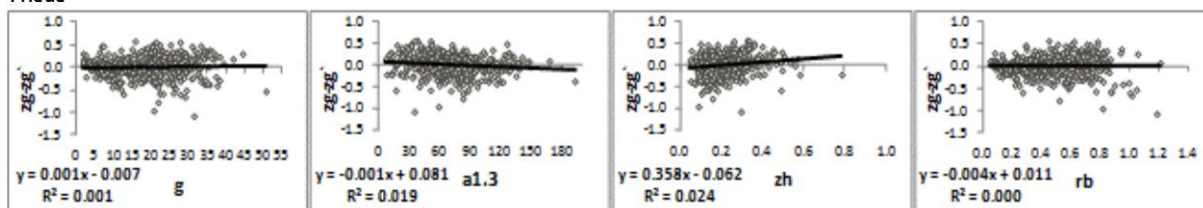
Meža elements	Biezības grupa	Uzmērītais aritm.vid.	Statistiskie rādītāji											
			MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R ²	N	
1. versija														
Priede	la	4.73	1.07	22.74	2.72	3.90	82.57	15.11	1.360	1.216	0.444	0.197	149	
	I	4.33	2.72	62.86	3.29	4.92	113.50	23.97	2.310	0.826	0.201	0.041	144	
	II	4.00	2.53	63.40	3.47	4.99	124.87	24.58	2.463	0.643	0.008	0.000	101	
	III	2.75	2.43	88.55	2.91	4.74	172.51	21.84	2.499	0.380	-0.018	0.000	60	
	IV-V	1.92	1.28	66.68	2.07	3.14	163.51	9.72	1.937	0.288	-0.207	0.043	98	
	kopā	3.78	1.96	51.78	2.91	3.96	104.73	15.61	1.750	0.903	0.316	0.100	552	
Egle	la	5.69	-0.25	-4.43	4.50	6.58	115.56	43.00	2.128	2.587	0.455	0.207	170	
	I	3.89	3.16	81.21	3.60	5.42	139.15	28.77	2.315	1.099	0.450	0.202	75	
	II	2.63	2.97	112.90	3.87	6.09	231.28	36.12	1.834	0.331	0.176	0.031	63	
	III-V	2.38	2.85	119.79	3.01	7.28	306.14	48.15	3.801	0.474	-0.253	0.064	34	
		kopā	4.40	1.40	31.74	4.04	5.55	125.97	30.69	1.889	2.256	0.498	0.248	342
Bērzs	la	3.80	1.91	50.26	3.48	4.80	126.18	22.89	2.725	1.981	0.266	0.071	195	
	I	3.11	2.43	78.11	3.32	4.73	151.93	22.17	2.630	1.022	0.119	0.014	133	
	II	2.53	1.94	76.49	2.90	4.47	176.37	19.74	3.488	1.875	0.083	0.007	110	
	III-V	1.43	0.66	46.23	1.49	2.52	176.47	6.23	1.642	0.678	0.122	0.015	76	
		kopā	3.00	1.87	62.19	3.02	4.15	138.13	17.15	2.474	1.483	0.220	0.048	514
Melnalksnis	la-I	4.87	1.40	28.70	2.82	5.05	103.52	24.87	0.791	0.744	0.608	0.369	66	
	II-V	2.29	0.85	37.06	2.30	4.30	187.93	17.66	1.539	1.001	0.293	0.086	46	
		kopā	3.81	1.17	30.76	2.61	4.09	107.44	16.58	0.821	0.769	0.589	0.347	112
	2. versija													
	Priede	la	4.73	0.58	12.30	1.86	2.50	52.92	6.22	0.648	0.277	0.631	0.399	149
I		4.33	0.74	17.13	2.03	2.73	62.96	7.38	0.829	0.143	0.498	0.248	144	
II		4.00	0.71	17.83	2.00	2.71	67.92	7.29	0.918	0.086	0.399	0.159	101	
III		2.75	0.37	13.36	1.52	2.15	78.46	4.56	0.804	0.170	0.474	0.225	60	
IV-V		1.92	0.44	22.96	1.33	1.75	91.31	3.04	0.767	0.147	0.562	0.315	98	
	kopā	3.78	0.60	15.86	1.80	2.42	64.11	5.85	0.681	0.261	0.609	0.371	552	
Egle	la	5.69	-0.09	-1.51	2.36	3.33	58.53	11.04	0.621	0.431	0.617	0.381	170	
	I	3.89	0.60	15.45	1.41	2.09	53.77	4.32	0.481	0.297	0.787	0.619	75	
	II	2.63	0.16	5.97	2.18	3.31	125.61	10.74	0.819	0.112	0.441	0.195	63	
	III-V	2.38	0.44	18.35	1.16	1.99	83.83	3.84	0.855	0.268	0.444	0.197	34	
		kopā	4.40	0.16	3.67	2.00	2.94	66.71	8.61	0.563	0.472	0.663	0.439	342
Bērzs	la	3.80	0.56	14.66	1.81	2.57	67.59	6.57	0.873	0.167	0.411	0.169	195	
	I	3.11	0.44	14.20	1.83	2.55	81.78	6.43	0.902	0.080	0.365	0.133	133	
	II	2.53	0.27	10.57	1.38	2.01	79.38	4.01	0.871	0.152	0.381	0.145	110	
	III-V	1.43	-0.08	-5.27	1.05	1.55	108.74	2.38	0.863	0.138	0.372	0.139	76	
		kopā	3.00	0.37	12.40	1.61	2.30	76.66	5.28	0.793	0.177	0.481	0.231	514
Melnalksnis	la-I	4.87	0.99	20.28	2.14	3.27	67.09	10.52	0.491	0.249	0.807	0.652	66	
	II-V	2.29	-0.37	-16.15	1.49	2.27	99.12	5.02	0.817	0.399	0.479	0.230	46	
		kopā	3.81	0.43	11.30	1.87	2.85	74.84	8.06	0.489	0.269	0.763	0.582	112

MRES - vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze; RMSE – standartklūda; MSE - vidējā kvadrātiskā klūda; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R² - determinācijas indekss; N - meža elementu skaits.

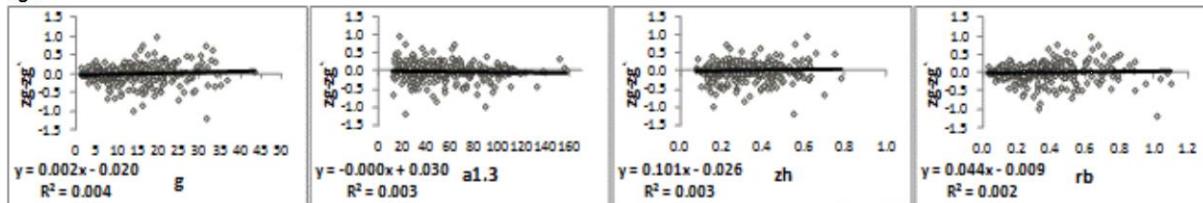
1. versija - koku skaits prognozēts ar 1.7-1.10. vienādojumiem; 2. versija - koku skaits aprēķināts kā funkcija no prognozētā caurmēra (1.6. vienādojums) un prognozētā šķērslaukuma (1.12. vienādojums).

Pozitīvas MRES un MRES% vērtības nozīmē, ka modeļi prognozē piesardzīgākus (mazākus) krājas pieaugumus.

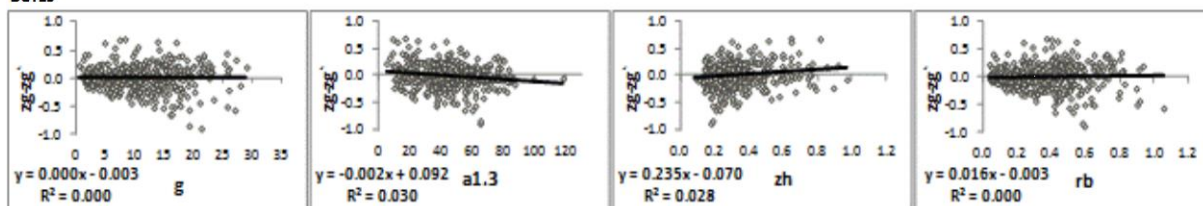
Priede



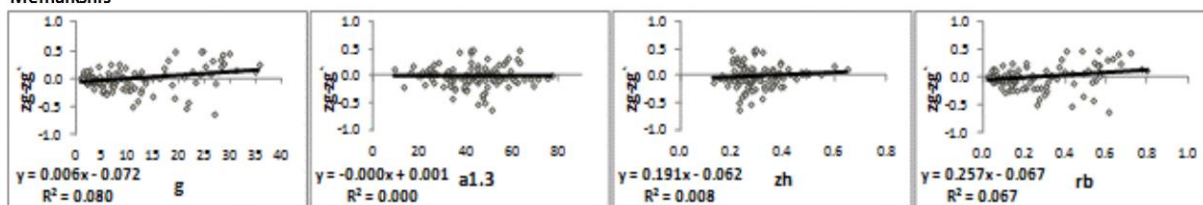
Egle



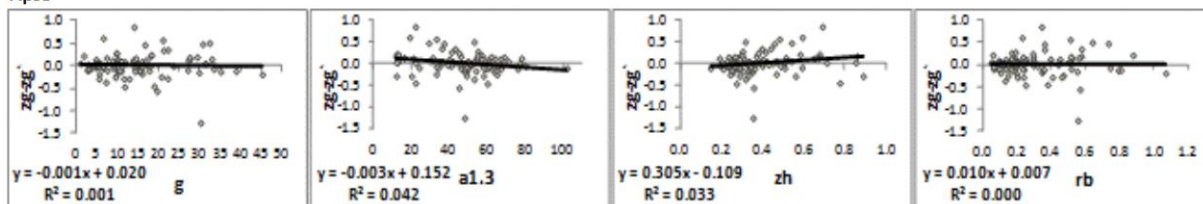
Bērzs



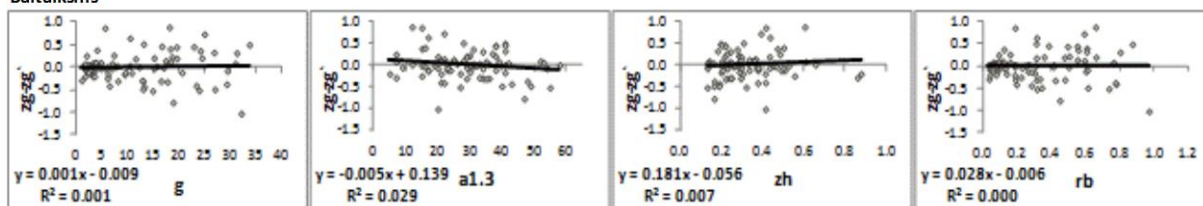
Melnalksnis



Apse

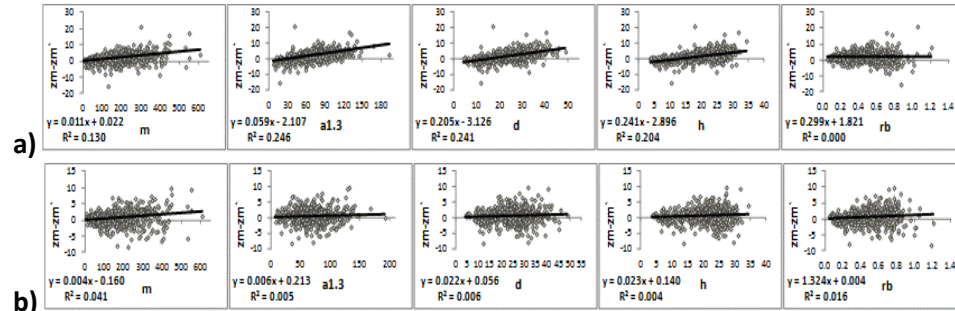


Baltalksnis

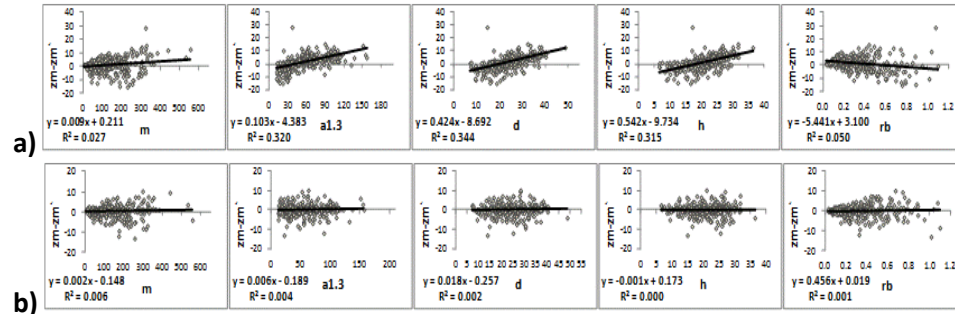


10.1. attēls. Meža elementu šķērslaukuma vidējās periodiskās diferences novirze atkarībā no sākotnējā meža elementa šķērslaukuma (g), meža elementa sākotnējā krūšaugstuma vecuma ($a1.3$), meža elementa prognozētā vidējā periodiskā augstuma pieauguma (zh) un relatīvās pirmā stāva biezības (rb).

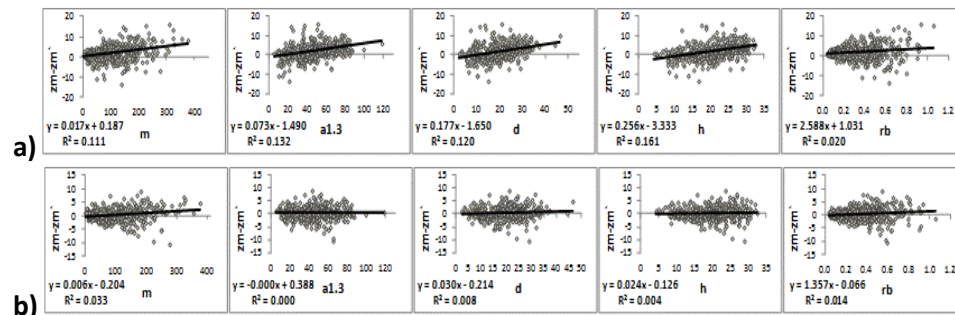
Priede



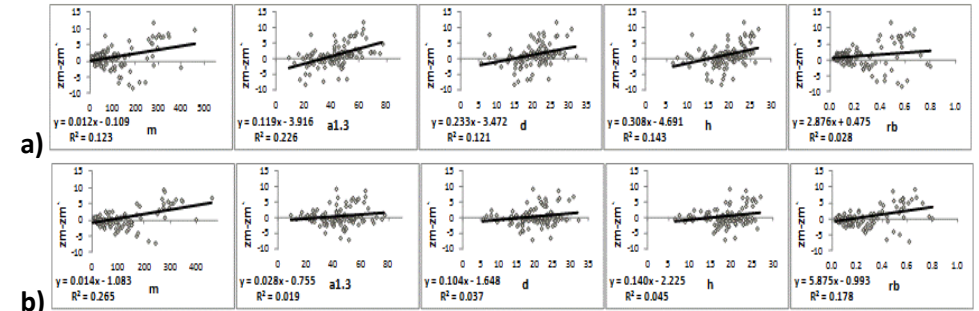
Egle



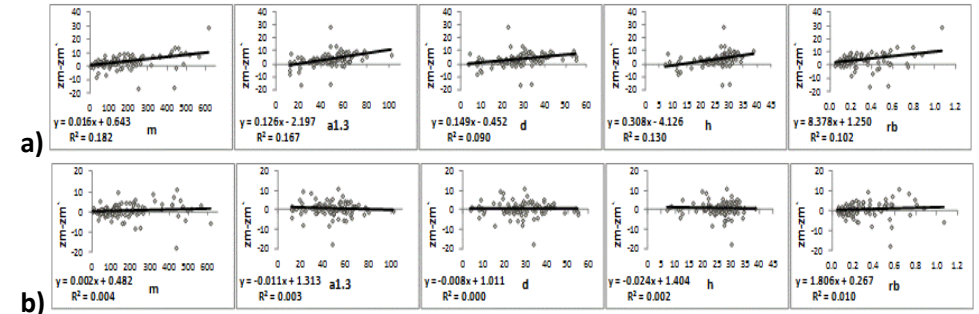
Bērzs



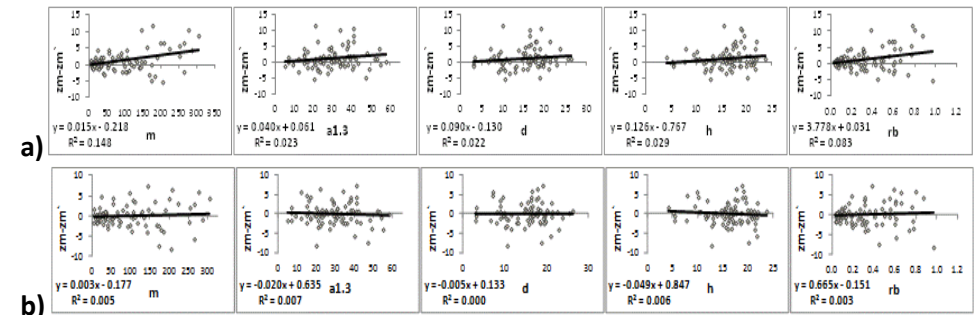
Melnalksnis



Apse



Baltalksnis



10.2. attēls. Meža elementu krājas vidējās periodiskās diferences novirze atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma (a1.3), sākotnējā vidējā caurmēra (d), sākotnējā vidējā augstuma (h), sākotnējās krājas (m) un biežības (rb).

Secinājumi

1. Izstrādāti vidējā augstuma, virsaugstuma un vidējā caurmēra aktualizācijas modeļi, kas balstīti uz *Hossfeld IV* vienādojuma vispārinātās algebriskās pieejas modeli.
2. Izstrādāts mežaudzes koku skaita izmaiņas modelis. Tomēr MSI piecu gadu pārmērījumu (1. un 2. cikls) parauglaukumu datu bāze nav īsti piemērota mežaudzes koku skaita izmaiņu modelēšanai, jo:
 - vienādojumos tiek pārvērtēta varbūtība, ka nākamo piecu gadu laikā izdzīvos visi koki;
 - piecu gadu laikā un 500 m² lielā platībā var nedarboties loģiskas likumsakarības
 - mazs parauglaukumu īpatsvars, kas ir pāraugušās (ļoti vecās) audzēs vai kurās ir pārauguši meža elementi;
 - mazs parauglaukumu īpatsvars, kas ir pārbiezinātās audzēs.
3. Aproximētas koeficientu vērtības krājas tekošā vidēji periodiskā

4. dabiskā atmiruma aprēķināšanai. 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.
5. Koku caurmēra papildus pieauguma novērtēšanai un caurmēra aprēķināšanai pēc kopšanas cirtes izstrādāts vienādojums, kas izmantojams koka caurmēra papildus pieaugumu aprēķinam piecu gadu periodam pēc kopšanas cirtes veikšanas.
6. Dabisko traucējumu (vējš, uguns) ietekme uz caurmēru pieaugumu ir īslaicīga un neviennozīmīga, to ietekmi augšanas gaitas modelēšanā pašreiz neņem vērā.
7. Salīdzinot ar ilglaicīgo parauglaukumu datiem līdz 10 gadu periodam, caurmēra un augstuma aktualizācijas modeļi nodrošina +/-10% vidējo vērtības sakritību. Koku skaita un šķērslaukuma izmaiņas jaunākajiem priežu elementiem un bērzu elementiem prognozes neiekļaujas +/- 10%, egles, melnalkšņa un vecākajiem priežu elementiem prognozētās koku skaita un šķērslaukuma vērtības neiekļaujas +/- 10%. Tomēr modeļu pārbaude uz ilglaicīgo parauglaukumu datiem objektīvi neraksturo modeļus, jo: lielākā daļa objektu ir pieaugušās audzēs, no kurām lielākajā daļā ir veikta pakāpeniskā cirte; jaunākajās audzēs ir derīgi trīs objekti, kuros ir vairāki atkārtojumi.
8. Aproximētas sakarības kopšanas rezultātā radīto kokaudzes struktūras raksturošanai. 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 caurmērs kļūst līdzīgāks, kas iespējams, saistīts ar sanitāro ciršu veikšanu briestaudžu vecumā.
10. Konstatēts, ka meža elementa augšanas gaita MSI parauglaukumos 5 gadu laikā nav būtiski atšķirīga valdošajam un piemistrojuma meža elementam.
11. MSI dati izmantojami tikai egles II stāva augšanas gaitas aproksimācijai. Pārējām sugām nav pietiekams parauglaukumu skaits.
12. Izstrādātie augšanas gaitas modeļi I stāva meža elementiem šķērslaukuma un krājas izmaiņām nodrošina +/-10% sakritību ar uzmērītajām vērtībām. Savukārt egles II stāva šķērslaukuma un krājas izmaiņas iekļaujas +/-15% robežās.

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.
- Czieszewski C.J., Bailey R.L. 2000. Generalized algebraic difference approach: Theory based derivations with polymorphism and variable asymptotes. *For.Sci* 46 (1) 115-126
- Donis J. (projekta vad.), (2007) Ekstrēmu vēju ātrumu ietekmes uz kokaudzes noturību novērtējums, lēmuma pieņemšanas atbalsta sistēmas izstrāde. Pārskats. 48 lpp: Pieejams http://www.silava.lv/userfiles/file/Projektu%20parskati/2007_Donis_MAF_s259.pdf
- Donis J. (projekta vad.), (2010) Meža ugunsgrēka ietekmes uz koku dzīvotspēju novērtēšanas metodika. Pārskats. 98 lpp: Pieejams <http://www.lvm.lv/images/lvm/parskats-uguns10v2.pdf>
- Donis J. (projekta vad.), (201) Snieglieču bojāto bērzu jaunaudžu novērtēšana Dienvidlatgales mežsaimniecībā. Pārskats. 35 lpp
- Donis J. (projekta vad.), (2012) Mežaudžu augšanas gaitas un pieauguma noteikšana, izmantojot pārmērītos meža statistiskās inventarizācijas datus. Pārskats. 111 lpp: Pieejams http://www.lvm.lv/images/lvm/AGM_LVM2012_v6LVM.pdf
- Donis J. (projekta vad.), (2014) Mežaudžu augšanas gaitas un pieauguma noteikšana, izmantojot pārmērītos meža statistiskās inventarizācijas datus. Pārskats. 73 lpp: Pieejams http://www.lvm.lv/images/lvm/Petijumi_un_publicikijas/Petijumi/AGM_starpatskaite_Silava_2013.pdf
- Donis J. (projekta vad.), (2014) Mežaudžu augšanas gaitas un pieauguma noteikšana, izmantojot pārmērītos meža statistiskās inventarizācijas datus. Pārskats. 68 lpp: Pieejams http://www.lvm.lv/images/lvm/4.etapa_starpatskaite.pdf
- Fridman, J. and Stahl, G. (Department of Forest Resource Management and Geomatics, SLU, SE-901 83 Umea). A three-step approach for modelling tree mortality in Swedish forests.. *Scand. J. For. Res.* 16: 455 – 466, 2001.
- Hevia, A., Cao, Q.V., Alvarez-Gonzalez, J.G., Ruiz-Gonzalez, A.D., von Gadow, K. Compatibility of whole-stand and individual-tree models using composite estimators and disaggregation. *Forest Ecology and Management* 348 (2015) 46–56
- Krumland, B., Eng. H., 2005. Site index systems for major young-growth forest woodland species in northern California. California Forestry Report 4. Department of Forestry and Fire Protection, State of California Resources Agency, Sacramento, CA
- Liepa, I. (1996) Pieauguma mācība. Jelgava. 123 lpp.
- Matuzānis, J. (1983) Audžu augšanas gaitas un produktivitātes modeļi. Rīga. LatZTIZPI. 32 lpp.
- Ozols, J. (1926). Meža taksācija un ierīcība, Rīga, Meža departamenta izdevums. 173 lpp.
- Pretzsch, H., 2009 *Forest Dynamics, Growth and Yield*. Springer Berlin Heidelberg 664 p.
- Saceniņš, R., Matuzānis, J. (1964), Mežsaimniecības tabulas. Latvijas valsts izdevniecība, Rīga, 207 lpp.
- Sarma 1948. Meža taksācija. Latvijas valsts izdevniecība. Rīga. 590 lpp.
- Skudra, P. Dreimanis, A., (1993) Mežsaimniecības pamati. - R.: Zvaigzne. 262 lpp
- Spiecker, H. (1999). Overview of recent growth trends in European forests. *Water, Air, and Soil Pollution*, 116(1-2), 33-46.
- von Gadow, K., Hui, G., 1999 *Modelling Forest Development*. Kluwer Academic Publishers 217 p.
- Антанайтис В. В., Загреев В. В., Прирост леса, М., 1981
- 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, 176 с