



PĀRSKATS  
PAR PĒTĪJUMA 2024. GADA REZULTĀTIEM

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS:     **Algoritmu             izstrāde             mežsaimniecības  
plānošanai**

LĪGUMA NR.                     5-5.9.1\_007h\_101\_21\_71

PĒTĪJUMA ZINĀTNISKAIS VADĪTĀJS:

Jānis Donis, LVMI Silava pētnieks

PĒTĪJUMS ĪSTENOTS AKCIJU SABIEDRĪBAS ‘LATVIJAS VALSTS MEŽI’ UN LATVIJAS VALSTS  
MEŽZINĀTNES INSTITŪTA ‘SILAVA’ 2021. GADA 13. SEPTEMBRA SADARBĪBAS LĪGUMA IETVAROS

Salaspils, 2024

## Saturs

Kopsavilkums.....	4
Summary .....	5
Tabulu saraksts.....	6
Attēlu saraksts.....	9
Ziņojumā lietotie simboli un saīsinājumi.....	13
Ievads .....	15
1. Starpcirtes (krājas kopšanas cirtes) modeļu pilnveidošana.....	16
1.1. Dažādu kopšanas ciršu veidu kopšanas efekta novērtējums 5 gadus pēc kopšanas cirtes. Traucējumu ietekme iekļauta augšanas gaitas vienādojumā koeficienta samazinājuma formā.....	16
1.1.1. Kopšanas ciršu parauglaukumu pārmērīšana.....	16
1.1.2. Datu analīze / pieaugumu aprakstošu vienādojumu koeficientu aproksimācija.....	17
1.2. Kopšanas cirtes ietekmi raksturojoši koeficienti augšanas gaitas vienādojumā E, P, B audzēs ar dažādām retināšanas intensitātēm (45% / 55% / 65%) .....	21
1.2.1. Faktori, kas nosaka koksnes krājas uzkrāšanās tempu pie dažādām kopšanas intensitātēm. Meža elementu vidējā caurmēra un vidējā augstuma izmaiņas (pirms pēc cirtes, atkarībā no tās intensitātes).....	21
1.2.2. Dažādu apsaimniekošanas programmu finanšu plūsmas prognozēšana.....	29
Secinājumi .....	29
2. Meža elementu augšanas gaitas modeļi, balstot uz MSI parauglaukumu datiem.....	30
2.1. Meža elementu taksācijas rādītāju izmaiņu (augšanas gaitas) modelis, balstot uz 4 MSI ciklu datiem .....	30
2.1.1. MSI parauglaukumu datu paraugkopas izveide.....	30
2.1.2. Taksācijas rādītāju prognožu modeļu pilnveidošana (vienādojumu aprēķini) .....	32
Secinājumi .....	85
3. Individuāla koka augšanas gaitas modeļi.....	86
3.1. Individuāla koka augšanas gaitas modeļi, kas balstīti 4 MSI cikla datos.....	86
3.1.1. Kandidātvienādojumu kopas izveide (literatūras apskats) .....	86
3.1.2. Netelpiskie (non-spatial) individuāla koka augšanas gaitas modeļu (h, d, g, atmiršanas varbūtība, ieaugšanās varbūtība) (P, E, B, M, A) aproksimācija.....	86
3.1.3. Telpiskie (spatial) individuāla koka augšanas gaitas modeļu (h, d, g, atmiršanas varbūtība, ieaugšanās varbūtība) (P, E, B, M, A) aproksimācija.....	96
Secinājumi .....	103
3.2. Individuāla koka augšanas gaitas modeļi, kas balstīti uz attālās izpētes metožu pārmērījumu datiem .....	103
3.2.1. LĢIA LiDAR datu / ortofoto datu apstrāde (KKC parauglaukumi).....	103
3.2.2. Aerofotoainu ieguve izmantojot multispektrālo kameru, kas uzmontēta uz drona .....	105
3.2.3. Individuāla koka detektēšana KKC parauglaukumos, balstot uz attālās izpētes datiem .	106
3.2.4. Individuāla koka augšanas gaitas aproksimācija KKC parauglaukumos, balstoties uz attālās izpētes datiem .....	109

Secinājumi .....	110
4. Plantāciju mežaudžu augšanas gaitas modeļi.....	111
4.1. Parauglaukumu ierīkošana plantāciju mežaudzēs un koku sākotnējā uzmērīšana.....	111
4.1.1. Parauglaukumi P, E, B audzēs, kuras ir bijušajās lauksaimniecības zemēs ieaudzētas kokaudzes LVM ražošanas objektos .....	111
4.1.2. Parauglaukumi P, E, B audzēs, kuras ir bijušajās lauksaimniecības zemēs ieaudzētas kokaudzes LVMI Silava agrāk iekārtotos pētījumu objektos.....	112
4.1.3. Pieaugumu uzmērīšana .....	114
4.1.4. Datu analīze/ pieaugumu aprakstošu vienādojumu koeficientu aproksimācija .....	114
Secinājumi .....	115
Literatūra .....	116
Pielikums 1. Vienādojumu atbilstības izvērtēšanas statistiskie rādītāji .....	117

## Kopsavilkums

Pētījuma trešajā posmā īstenoti sekojoši darba uzdevumi četrās aktivitātēs.

### 1. Starpcirtes (krājas kopšanas cirtes) modeļu pilnveidošana

Pārmērīti 19 krājas kopšanas ciršu objekti, kopā uzmērīti ~200 parauglaukumi (30 m×30 m).. Veikta taksācijas rādītāju aprēķināšana, augšanas gaitas analīze, ņemot vērā parauglaukumos konstatētās izmaiņas taksācijas rādītājos. Aprēķinātas krājas diferences 5 gadu periodā pēc kopšanas cirtes. Veikta kopšanas ciršu intensitātes analīze. Lai arī šajā pētījuma posmā notiek galvenokārt informācijas uzkrāšana, tomēr jau konstatēts, ka egļu objektos pēc kopšanas cirtēm, it īpaši parauglaukumos ar augstāku kopšanas intensitāti, ir bijis nepieciešams veikt sanitārās cirtes.

### 2. Meža elementu augšanas gaitas modeļi, balstot uz MSI parauglaukumu datiem

Meža statistiskās inventarizācijas (MSI) parauglaukumu datu bāzē atlasīti un MS Excel datorprogrammā ievadīti dati par 1060 atkārtoti 2023. gadā pārmērītajiem parauglaukumiem, kas tālāk izmantojami augšanas gaitas prognožu modeļu izstrādē un verifikācijā. Veikta taksācijas rādītāju prognožu modeļa parametru precizēšana (H, G) un modeļa pilnveidošana – D priedes, egles, bērza, melnalkšņa, apses un baltalkšņa, oša un blīgznas, kā arī atbilstošajiem otrā stāva meža elementiem.

### 3. Individuāla koka augšanas gaitas modeļi

Literatūras analīze veikta pētījuma pirmajā posmā. Veikta G, D pieaugumu aproksimācija ar “netelpiskiem” un “telpiskiem” nelineārajiem regresijas vienādojumiem (modeļiem), kā arī aprēķināta koku izdzīvošanas varbūtība. Ar dronu iegūti LiDAR dati un aerofotoattēliun 10 KKC objektos. Aprēķinātas augstuma diferences. Pašreiz modelis pārvērtē augstuma pieaugumus salīdzinājumā ar zemes mērījumiem.

### 4. Plantāciju mežaudžu augšanas gaitas modeļi

Veikta mežaudzēs bijušajās lauksaimniecības zemēs LVMI Silava iepriekš ierīkoto parauglaukumu pārmērīšana 8 objektos, kā arī 16 ražošanas objektos. Veikta gadskārtu platumu mērīšana 576 skaidas. Iegūtas 80 koku stumbru analīžu dati. Analizēti caurmēra pieaugumi un koku taksācijas parametru izmaiņas.

## Summary

During third stage of the study following tasks were implemented in four activities.

### Activity 1. Improvement of intermediate (thinning) models

Remeasured 19 sites of thinning experiments. In total ca 200 sample plots (30 m×30 m) were measured. Calculations and analysis of stand inventory, tree growth course equation clarification, considering changes in sample plots inventory values were carried out. Analysis of the intensity of thinnings has been carried out. It has been found that sanitary felling had to be carried out in almost all spruce objects after thinning, especially in plots with higher thinning intensity.. Net increment in the period of 5 years after thinning was carried out.

### Activity 2. Growth models of the forest elements based on NFI sample plot data

Data on 1060 plots were re-calculated in 2023 and have been selected in the database of forest statistical inventory (NFI) plots and entered into the MS Excel, which can be further used in the development and verification of growth forecast models. Inventory value forecast improvement – H, D, G *Pinus sylvestris* L., *Picea abies*, *Betula pendula*, *Alnus glutinosa*, *Populus tremula*, *Alnus incana*, *Fraxinus excelsior*, *Salix caprea*, as well as for some species in second-storey.

### Activity 3. Single tree growth models

Increases basal area approximation with "non-spatial" and "spatial" nonlinear regression equations (models), as well as calculated probability of survival trees was carried out. Remote sensing (drone LiDAR used for height approximation).

### Activity 4. Growth models of plantation forests

Remeasurement of Silava's formerly arranged plots on former agricultural lands has been carried out. Field works have been carried out in accordance with the methodology in 8 objects. In addition 16 stands under conventional management were measured.

Measurement of annual tree ring width has been carried out. Average increases and changes in tree inventory parameters in research objects have been analysed.

## Tabulu saraksts

1.1. tabula. 2024.g. pārmērīto pētījumu objektu sadalījums pa reģioniem un objektu sākotnējie taksācijas pamatrādītāji .....	16
1.2. tabula. Uzmērīto objektu grupu taksācijas rādītāji un to izmaiņas .....	18
1.3. tabula. Atmirušo koku (sausokņu, stubeņu, kritalu) īpatsvars no kopējās pārmērītās krājas pa valdošajām sugām, vecuma grupām un pēccirtes biežībām, % .....	20
1.4. tabula. Valdošās koku sugas I stāva vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņas (cm) pēc cirtes pa sugām, vecuma grupām un kopšanas veidiem atkarībā no cirtes intensitātes .....	21
1.5. tabula. Valdošās koku sugas I stāva vidējā augstuma izmaiņas (m) pēc cirtes pa sugām, vecuma grupām un kopšanas veidiem atkarībā no cirtes intensitātes .....	22
1.6. tabula. I stāva koku skaita izmaiņas (koki ha <sup>-1</sup> ) pēc cirtes pa sugām, vecuma grupām un kopšanas veidiem atkarībā no cirtes intensitātes .....	23
1.7. tabula. I stāva koku šķērslaukuma izmaiņas (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> ) pēc cirtes pa sugām, vecuma grupām un kopšanas veidiem atkarībā no cirtes intensitātes .....	23
1.8. tabula. I stāva koku tekošā periodiskā krājas diference (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) 5 gadus pēc cirtes pa sugām, vecuma grupām un kopšanas veidiem atkarībā no cirtes intensitātes .....	24
1.9. tabula. I stāva koku tekošās periodiskās krājas diferences procents (Liepa, 1996) 5 gadus pēc cirtes pa sugām, vecuma grupām un kopšanas veidiem atkarībā no cirtes intensitātes .....	25
1.10. tabula. Caurmēra papildus pieauguma pēc krājas kopšanas cirtes vienādojuma aproksimētas koeficientu vērtības .....	27
2.1.1. tabula. Parauglaukumu sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām un vecuma desmitgadēm .....	30
2.1.2. tabula. Parauglaukumu sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām un bonitātēm ...	31
2.1.3. tabula. Parauglaukumu sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām un meža tipiēm	31
2.1.4. tabula. Ceturtajā ciklā uzmērīto koku sadalījums pa koku sugām un meža tipiēm .....	31
2.2.1. tabula. Kokaudzes 1. stāva meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) 2024. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji .....	34
2.2.2. tabula. Kokaudzes 2. stāva meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) 2024. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji .....	34
2.2.3. tabula. Vidējā augstuma augšanas gaitas vienādojuma (2.1. formula) statistiskie rādītāji ar 2024. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām I stāva meža elementiem .....	35
2.2.4. tabula. Vidējā augstuma augšanas gaitas vienādojuma (2.1. formula) statistiskie rādītāji ar 2024. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām II stāva meža elementiem .....	36
2.2.5. tabula. Meža elementa virsaugstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) 2023. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji .....	48
2.2.6. tabula. Meža elementa virsaugstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) prognozētā ikgadējā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji ar 2024. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām .....	49
2.2.7. tabula. I stāva meža elementu vispārinātās algebriskās diferences vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) 2024. gadā aproksimētās koeficientu vērtības .....	57

2.2.8. tabula. II stāva meža elementu vispārinātās algebriskās diferences vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) 2024. gadā aproksimētās koeficientu vērtības .....	57
2.2.9. tabula. I stāva meža elementu vispārinātās algebriskās diferences vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) statistiskie rādītāji ar 2024. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām .....	58
2.2.10. tabula. II stāva meža elementu vispārinātās algebriskās diferences vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) statistiskie rādītāji ar 2024. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām .....	59
2.2.11. tabula. I stāva meža elementu vispārinātās algebriskās diferences vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa ar koku ciršanas efekta rādītāju (2.2.b formula) 2024. gadā aproksimētās koeficientu vērtības .....	68
2.2.12. tabula. II stāva meža elementu vispārinātās algebriskās diferences vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa ar koku ciršanas efekta rādītāju (2.2.b formula) 2024. gadā aproksimētās koeficientu vērtības .....	69
2.2.13. tabula. I stāva meža elementu vispārinātās algebriskās diferences vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa ar koku ciršanas efekta rādītāju (2.2.b formula) statistiskie rādītāji ar 2024. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām .....	72
2.2.14. tabula. II stāva meža elementu vispārinātās algebriskās diferences vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa ar koku ciršanas efekta rādītāju (2.2.b formula) statistiskie rādītāji ar 2024. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām .....	72
2.2.15. tabula. Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.3. formula) aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji.....	73
2.2.16. tabula. Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.3. formula) prognozētā ikgadējā caurmēra pieauguma statistiskie rādītāji ar 2023. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām .....	74
2.2.17. tabula. Meža elementa šķērslaukuma izmaiņas modeļa (2.5. formula) aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji.....	79
2.2.18. tabula. Meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modeļa (2.5. formula) prognozētā ikgadējā šķērslaukuma pieauguma statistiskie rādītāji .....	81
3.1.1. tabula. Netelpiska atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modeļa (3.1. formula) 2024. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji .....	87
3.1.2. tabula. Atsevišķa koka caurmēra augšanas gaitas modeļa (3.1. formula) prognozētā ikgadējā caurmēra pieauguma statistiskie rādītāji .....	88
3.1.3. tabula. Netelpiska atsevišķu koku atmiruma modeļa (3.3. formula) 2023. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji.....	95
3.2.1. tabula. Telpiska atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modeļa (3.6. formula) 2022. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji .....	97
3.2.2. tabula. Atsevišķa koka caurmēra augšanas gaitas modeļa (3.1. formula) prognozētā ikgadējā caurmēra pieauguma statistiskie rādītāji .....	98
3.2.3. Netelpiska atsevišķu koku atmiruma modeļa (3.7. formula) 2023. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji.....	102
3.2.4. tabula. KKC parauglaukumi, kuriem veikta 3D attēlu ieguve ar dronu .....	103

3.2.5. tabula. Krājas kopšanas ciršu parauglaukumu vidējā augstuma dati pēc mērījumiem dabā (2019.g. un 2024.g.), LĢIA LiDAR, drona datiem (2024.g.) un aprēķinātie vidējie augstuma pieaugumi.....	106
3.2.6. tabula. Krājas kopšanas ciršu parauglaukumu augstuma pieaugumi pēc mērījumiem dabā (2023/2024), no dronu CHM datiem aprēķinātie un no LĢIA .las aprēķinātie .....	110
4.1.1. tabula. Pētniecisko objektu taksācijas apraksti LVM datu bāzē (2024) .....	111
4.1.2. tabula. Pētniecisko objektu taksācijas apraksti pēc lauku mērījumiem.....	112
4.1.3. tabula. Klonu specifiski King-Prodan (Hosfeld IV) GADA modeļa koeficienti plantāciju stādījumos .....	113



## Attēlu saraksts

1.1. attēls. I stāva priežu vidējā krūšaugstuma caurmēra papildus pieaugums piecus gadus pēc krājas kopšanas cirtes:.....	26
1.2. attēls. I stāva egļu vidējā krūšaugstuma caurmēra papildus pieaugums piecus gadus pēc krājas kopšanas cirtes:.....	26
1.3. attēls. I stāva bērzu vidējā krūšaugstuma caurmēra papildus pieaugums piecus gadus pēc krājas kopšanas cirtes:.....	27
1.4. attēls. I stāva šķērslaukuma difference piecus gadus pēc krājas kopšanas cirtes: .....	28
2.2.1. attēls. Priedes uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi: .....	37
2.2.2. attēls. Egles 1. stāva uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi: .....	38
2.2.3. attēls. Bērza uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi: .....	39
2.2.4. attēls. Melnalkšņa uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi: .....	40
2.2.5. attēls. Apses uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi: .....	41
2.2.6. attēls. Baltalkšņa uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 20 gadi: .....	42
2.2.7. attēls. Platlapju uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi: .....	43
2.2.8. attēls. Citu lapu koku uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 20 gadi: .....	44
2.2.9. attēls. I stāva meža elementu vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) ar 2023. un 2024. gada aproksimētajām koeficientu vērtībām: .....	45
2.2.10. attēls. II stāva meža elementu vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) ar 2023. un 2024. gada aproksimētajām koeficientu vērtībām: .....	46
2.2.11. attēls. Priedes uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ( $H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m).....	50
2.2.12. attēls. Egles uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ( $H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15$ m).....	50

2.2.13. attēls. Bērza uzmērītās virsausgustuma (H) izmaiņas atkarībā no krūsausgustuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsausgustuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūsausgustuma vecumā 50 gadi ( $H_{50} = 36; 30; 24; 18; 12$ m).....	51
2.2.14. attēls. Melnalkšņa uzmērītās virsausgustuma (H) izmaiņas atkarībā no krūsausgustuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsausgustuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūsausgustuma vecumā 50 gadi ( $H_{50} = 33; 27; 21; 15; 9$ m).....	51
2.2.15. attēls. Apses uzmērītās virsausgustuma (H) izmaiņas atkarībā no krūsausgustuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsausgustuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūsausgustuma vecumā 50 gadi ( $H_{50} = 39; 33; 27; 21; 15$ m).....	52
2.2.16. attēls. Baltalkšņa uzmērītās virsausgustuma (H) izmaiņas atkarībā no krūsausgustuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsausgustuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūsausgustuma vecumā 20 gadi ( $H_{20} = 24; 20; 16; 12; 8$ m).....	52
2.2.17. attēls. Platlapju uzmērītās virsausgustuma (H) izmaiņas atkarībā no krūsausgustuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsausgustuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūsausgustuma vecumā 100 gadi ( $H_{100} = 36; 30; 24; 18; 12$ m).....	53
2.2.18. attēls. Citu lapu koku uzmērītās virsausgustuma (H) izmaiņas atkarībā no krūsausgustuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsausgustuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūsausgustuma vecumā 20 gadi ( $H_{20} = 20; 16; 12; 8$ m).....	53
2.2.19. attēls. Virsausgustuma (H) izmaiņas atkarībā no krūsausgustuma vecuma (A1.3) ar 2023. un 2024. gada aproksimētajām koeficientu vērtībām: .....	54
2.2.20. attēls. Priedes uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūsausgustuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūsausgustuma vecumā 50 gadi: .....	60
2.2.21. attēls. Egles uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūsausgustuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūsausgustuma vecumā 50 gadi: .....	61
2.2.22. attēls. Bērza uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūsausgustuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūsausgustuma vecumā 50 gadi: .....	62
2.2.23. attēls. Melnalkšņa uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūsausgustuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūsausgustuma vecumā 50 gadi: .....	63
2.2.24. attēls. Apses uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūsausgustuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūsausgustuma vecumā 50 gadi: .....	64
2.2.25. attēls. Baltalkšņa uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūsausgustuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūsausgustuma vecumā 50 gadi: .....	65
2.2.26. attēls. Platlapju uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūsausgustuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūsausgustuma vecumā 50 gadi: .....	66
2.2.27. attēls. Citu lapu koku uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūsausgustuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūsausgustuma vecumā 50 gadi: .....	67
2.2.28. attēls. I stāva meža elementu vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūsausgustuma vecuma (A1.3) ar un bez koku ciršanas efekta rādītāju: .....	70

2.2.29. attēls. II stāva meža elementu vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) ar un bez koku ciršanas efekta rādītāju: .....	71
2.2.30. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu priedēm: .....	75
2.2.31. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu eglēm: .....	75
2.2.32. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu bērziem: .....	76
2.2.33. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu melnalkšņiem: .....	76
2.2.34. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu apsēm: .....	77
2.2.35. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu baltalkšņiem: .....	77
2.2.36. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu platlapjiem: .....	78
2.2.37. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu citiem lapu kokiem: .....	78
2.2.36. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu priedēm: .....	81
2.2.37. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu eglēm: .....	82
2.2.38. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu bērziem: .....	82
2.2.39. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu melnalkšņiem: .....	83
2.2.40. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu apsēm: .....	83
2.2.41. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu baltalkšņiem: .....	84
2.2.42. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu platlapjiem: .....	84
2.2.43. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu citiem lapu kokiem: .....	85
3.1.1. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu priedēm: .....	89
3.1.2. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu eglēm: .....	90
3.1.3. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu bērziem: .....	91
3.1.4. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu melnalkšņiem: .....	92

3.1.5. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu apsēm:.....	93
3.1.6. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu baltalkšņiem: .....	94
3.2.1. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.2. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu priedēm:.....	99
3.2.2. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.2. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu eglēm: .....	99
3.2.3. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.2. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu bērziem: .....	100
3.2.4. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.2. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu melnalkšņiem: .....	100
3.2.5. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.2. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu apsēm:.....	101
3.2.6. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.2. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu baltalkšņiem: .....	101
3.2.1. attēls. Krājas kopšanas ciršu objektu, kuros iegūti dronu attēli, shematisks izvietojums Latvijā .....	104
3.2.2. attēls. Piemērs pētījumu objektu CHM noteikšanai 110-238-5 objektā. (CHM veidots no LĢIA (c) las datu failiem. ....	104
3.2.3. attēls. Piemērs pētījumu objektu ortofotomozaīkai 110-238-5 objektā. Mozaīka veidota no drona RGB datu failiem. ....	105
3.2.4. attēls. Piemērs pētījumu objektu CHM 110-238-5 objektā. (CHM veidots drona LiDAR datiem). ....	106

## Ziņojumā lietotie simboli un saīsinājumi

LVM – akciju sabiedrība “Latvijas valsts meži”

LVMI Silava – Latvijas Valsts mežzinātnes institūts “Silava”

LĢIA – Latvijas ģeotelpiskās informācijas aģentūra

LiDAR – lāzerskenēšanas tehnoloģija

KKC – krājas kopšanas cirte

MSI – meža statistiskā inventarizācija

MT – meža tips

VAC – vienlaidus atjaunošanas cirte

A – vecums

D – vidējais caurmērs

H – vidējais augstums

G – šķērslaukums

Sl - sils

Mr – mētrājs

Ln – lāns

Dm – damaksnis

Vr – vēris

Gr – gārša

Gs – grīnis

Mrs – slapjais mētrājs

Dms – slapjais damaksnis

Vrs – slapjais vēris

Grs – slapjā gārša

Pv – purvājs

Nd – niedrājs

Db – dumbrājs

Lk - liekņa

Av – viršu ārenis

Am – mētru ārenis

As – šaurlapju ārenis

Ap – platlapju ārenis

Kv – viršu kūdrenis

Km – mētru kūdrenis

Ks – šaurlapju kūdrenis

Kp – platlapju kūdrenis

PL – parauglaukums

P – priede

E – egle

B – bērzs

A – apse

M – melnalksnis

Ba – baltalksnis

Os – osis

Bl – blīgzna

VMD – Valsts meža dienests

Zdvp – vidējā periodiskā caurmēra pieaugums

Zdgp – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieaugums

DTM – Digitālais zemes virsmas modelis

DTM – Digitālais virsmas modelis

CHM – Vainagu augstuma modelis

## Ievads

Mūsdienu mainīgajā vidē mežsaimniecības plānošanā būtiska nozīme ir nodrošināt plānošanas procesu ar aktuālu informāciju par meža elementu augšanas gaitu un mežsaimniecisko darbību ietekmi uz to. Pētījuma “Augšanas gaitas modeļu pilnveidošana” (2016.-2020.g.) priedes, egles un bērzu audzēs iekārtoti 107 pastāvīgo kopšanas ciršu objekti ar 10 - 12 pastāvīgajiem parauglaukumiem katrā, kuros veikta dažādas intensitātes kopšana. Parauglaukumu tīkls ir svarīgs regulāriem un sistemātiskiem turpmākiem mežaudžu parametru mērījumiem, kas būs pamats nozīmīgai datu rindai par kokaudžu augšanas gaitu pēc starpcirtēm. Vispārējo tendenču noteikšanai un augšanas gaitas modeļu precizēšanai izmantojami MSI ceturtā cikla dati. MSI cikli dod iespēju pagarināt novērojumu rindu, tādējādi nodrošinot precīzāku modeļu parametrizāciju.

Arvien lielāku nozīmi mežsaimniecības plānošanā gūst dažādas attālās izpētes metodes. Lielie dati (individuālu koku mērījumi), mitro vietu noteikšana, utt., ļauj šo informāciju izmantot arī augšanas gaitas prognozēšanā un attiecīgi mežsaimniecības pielāgošanai. Kombinējot dažādus attālās izpētes sensoru datus, var iegūt informāciju arī par individuālu koku augšanas gaitu, kas ļautu to izmantot arī darbu plānošanā.

LVM iegādātajos zemes īpašumos daļa no lauksaimniecības zemēs ieaudzētajām mežaudzēm Meža valsts reģistrā reģistrētas kā plantāciju mežaudzes. Novērojumi liecina, ka bijušo lauksaimniecības zemju auglība var nodrošināt kokiem labākus augšanas apstākļus, un koku augšanas gaita ir ātrāka nekā meža zemēs. LVM ilgtermiņa plānošanas rīcībā nav augšanas gaitas modeļu, kas korekti atspoguļotu plantāciju mežaudžu augšanas gaitu, tādēļ nepieciešams izstrādāt priedes, egles, bērza plantāciju mežaudžu augšanas gaitas modeļus.

Pētījumu programmas mērķis ir nodrošināt mežsaimniecības plānošanas procesu ar aktuālu informāciju par meža elementu augšanas gaitu un mežsaimniecisko darbību ietekmi uz to, nodrošinot mežsaimniecības plānošanas iespējas mūsdienu mainīgajā vidē. Programmā plānoti 4 pētījumi (aktivitātes).

1. Starpcirtes (krājas kopšanas cirtes) modeļu pilnveidošana.
2. Meža elementu augšanas gaitas modeļi, balstot uz MSI parauglaukumu datiem.
3. Individuāla koka augšanas gaitas modeļi.
4. Plantāciju mežaudžu augšanas gaitas modeļi.

## 1. Starpcirtes (krājas kopšanas cirtes) modeļu pilnveidošana

1.1. Dažādu kopšanas ciršu veidu kopšanas efekta novērtējums 5 gadus pēc kopšanas cirtes. Traucējumu ietekme iekļauta augšanas gaitas vienādojumā koeficienta samazinājuma formā

### 1.1.1. Kopšanas ciršu parauglaukumu pārmērīšana

#### Materiāls un metodika

Lauka darbu laikā 2024.g. pārmērīti 19 krājas kopšanas ciršu pētījumu objekti: 11 priežu, 4 egļu un 4 bērzu audzēs. Ikvienā objektā ierīkoti desmit vai divpadsmit 30 m×30 m (900 m<sup>2</sup>) parauglaukumi, kas kopti, saglabājot dažādu biežību (~0,4, ~0,6, ~0,7 ~0,8, kontrole). Objektos veikta vienlaidus koku dastošana, uzmērot caurmēru krūšu augstumā ar 1 mm precizitāti, kā arī katrā parauglaukumā veicot vismaz 12 valdošās koku sugas koku augstumu mērījumi ar 0,1 m precizitāti. Reģistrēts koku stāvoklis – dzīvs, sausoknis, kritala, kā arī koku bojājumi. Objektu saraksts dots 1.1. tabulā.

1.1. tabula. 2024.g. pārmērīto pētījumu objektu sadalījums pa reģioniem un objektu sākotnējie taksācijas pamatrādītāji

Nrpk	Reģions	Objekts	PL skaits	MT	Bon	A	Sastāvs	D, cm	H, m
1	Austrumvidzeme	109-212-9	12	Km	IV	65	10P	12,8	14,8
2	Austrumvidzeme	103_134_1	10	Mr	III	57	10P	15,5	15,7
3	Austrumvidzeme	103_219_3	10	Mr	III	57	10P	16,4	16,7
4	Austrumvidzeme	103_229_7	10	Mr	II	48	10P	14,3	15,0
5	Austrumvidzeme	103_310_17	10	Mr	I	27	10P	11,1	11,7
6	Austrumvidzeme	105_142_8	10	Mr	II	50	10P	14,4	16,1
7	Austrumvidzeme	105_142_9	10	Mr	III	67	10P	17,6	16,9
8	Austrumvidzeme	109_45_5	10	As	Ia	56	8B2E+M	20,5	26,4
9	Austrumvidzeme	110_238_5	10	Ln	Ia	28	10P+B;E	13,2	14,6
10	Dienvidkurzeme	203_155_19	12	Mrs	I	37	10P	18,7	15,6
11	Dienvidkurzeme	203_160_7	10	Mr	II	37	10P	14,2	12,2
12	Dienvidkurzeme	208-4-4	10	As	II	51	10E+P	16,4	17,4
13	Dienvidkurzeme	212_16_13	10	Vr	Ia	57	10E	25,3	25,6
14	Vidusdaugava	501-149-1	12	Vr	Ia	51	9E1B	20,2	23,6
15	Vidusdaugava	501-149-2	12	Vr	Ia	26	10E	16,2	15,3
16	Vidusdaugava	505-92-1	10	Mrs	II	39	10P	14,6	13,7
17	Vidusdaugava	501_383_13	10	Vr	Ia	22	9B1A	14,3	20,6
18	Vidusdaugava	509-255-16	10	Gr	Ia	37	10B	16,5	22,1
19	Vidusdaugava	509-273-15	10	Gr	Ia	43	10B	19,3	23,7



### 1.1.2. Datu analīze / pieaugumu aprakstošu vienādojumu koeficientu aproksimācija

Atsevišķu parauglaukumu taksācijas rādītāji aprēķināti, izmantojot meža taksācijā vispārpieņemtās metodes un mērvienības (Ozols, 1926, Sarma, 1948, Soest et al., 1965, Liepa, 1996, van Laar, Akça, 2007, West, 2009, Liepa, 2018)<sup>1</sup>.

#### Audzū taksācijas rādītāji pirms un pēc kopšanas

Audzū taksācijas rādītāji aprēķināti pirms cirtes (lielākajā daļā gadījumu mērījumi veikti dažas nedēļas vai dažus mēnešus pirms kopšanas cirtes), iespējami ātri (dažas nedēļas vai mēneši pēc kopšanas cirtes) un piecus veģetācijas periodus (gadus) pēc cirtes. 2024.g. pārmērīto objektu taksācijas rādītāju vidējās vērtības, grupējot audzes pēc valdošās sugas (priede, egļe, bērzs) un vecuma grupām (20 – 30 gadi, 31 – 50 gadi, 51 – 70 gadi) atspoguļotas 1.2. tabulā.

Datu analīzē izmanto 105 audžu datus, kur 2015.-2019. gadā ierīkoti krājas kopšanas cirtes eksperimentālie parauglaukumi: 58 priežu audzes, 29 egļu audzes un 18 bērzu audzes. Katrā audzē ir 4-5 krājas kopšanas cirtes intensitātes varianti: 1) kontrole jeb parauglaukumi, kur nav veikta krājas kopšanas cirte; 2) palikusī I stāva biežība  $\approx 0,40$ ; 3) palikusī I stāva biežība  $\approx 0,55$ ; 4) palikusī I stāva biežība  $\approx 0,70$ ; 5) palikusī I stāva biežība  $\approx 0,85$ .

Analīzē par caurmēra papildus pieaugumu piecus gadus pēc krājas kopšanas cirtes pārbaudīts sekojošs vienādojums:

$$z_d = b_0 + b_1 \cdot Biez + b_2 \cdot Inten + b_3 \cdot Biez \cdot Inten \quad (1.1)$$

$z_d$	meža elementa vidējā caurmēra papildus pieaugums piecus gadus pēc krājas kopšanas cirtes, cm;
Biez	kokaudzes I stāva biežība pēc kopšanas cirtes;
Inten	kopšanas cirtē relatīvi nocirstais I stāva apjoms (nocirstā krāja attiecībā pret sākotnējo krāju);
$b_{0-3}$	koeficienti.

Analīzē par papildus pieaugumu pieņem caurmēra pieauguma starpību katras audzes kontroles audzes caurmēra pieaugumu. Meža elementa caurmēra papildus pieauguma izmaiņas modelētas datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows, izmantojot rīku Mixed models, kur kā nejausais faktors ir izmantots audze, jo tiek izmantoti vairāki atkārtojumi vienā audzē, kas savā starpā ir saistīti. Analīzē izmantoti dati par 181 atkārtojumiem priežu audzēs, 102 atkārtojumiem egļu audzēs un 54 atkārtojumiem bērzu audzēs.

---

<sup>1</sup> Ja LVM darbā nepieciešami atbilstošie rādītāji SI sistēmā, krāju  $m^3 ha^{-1}$  uz SI sistēmu var pārveidot, izmantojot sakarību  $1 ha = 10^4 m^2$ , savukārt taksācijas rādītāju ikgadējo pieaugumu SI sistēmā var pārveidot, pieņemot, ka kalendārajā gadā (pēc Gregora kalendāra) ir 31556952 sekundes (s).

**1.2. tabula. Uzmērīto objektu grupu taksācijas rādītāji un to izmaiņas**

Suga	Vecuma grupa	Biezība	Pirms cirtes					Pēc cirtes					Pēc 5gadiem				
			D <sub>kv</sub> , cm	H, m	G, m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	M, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N, koki ha <sup>-1</sup>	D <sub>kv</sub> , cm	H, m	G, m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	M, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N, koki ha <sup>-1</sup>	D <sub>kv</sub> , cm	H, m	G, m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	M, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N, koki ha <sup>-1</sup>
Priede	20-30 gadi	0,38	12,0	12,8	26,0	186	2311	14,0	13,7	11,7	84	764	16,7	15,2	14,6	114	667
		0,53	12,1	12,4	23,6	163	2053	13,6	13,0	16,1	112	1111	15,5	15,6	19,4	155	1036
		0,68	12,1	12,7	25,8	179	2275	13,0	13,1	20,5	143	1536	14,6	15,2	24,5	192	1469
		0.53a	12,1	13,1	27,4	198	2411	12,0	13,1	15,7	111	1386	14,0	14,6	19,2	150	1258
		Kontr	12,2	12,1	25,6	174	2206	12,2	12,1	25,6	174	2206	13,7	15,0	28,7	228	1975
	31-50 gadi	0,38	15,4	13,6	23,7	169	1277	17,0	14,1	12,1	88	538	19,4	15,4	15,6	120	528
		0,53	15,1	13,5	24,8	178	1388	16,0	14,0	16,4	119	818	17,9	15,6	19,8	156	783
		0,68	17,4	15,3	31,2	249	1315	18,9	15,7	22,0	176	787	21,0	17,7	26,6	233	772
		0,8	17,1	14,6	38,5	295	1683	18,6	15,1	26,4	204	967	20,5	17,7	30,8	268	933
		0.53a	15,1	13,9	25,3	186	1424	15,1	14,1	16,0	117	890	17,1	15,6	19,3	154	844
	Kontr	15,1	13,7	25,6	188	1432	15,1	13,7	25,6	188	1431	16,8	15,8	29,1	241	1312	
	51-70 gadi	0,38	15,1	15,1	23,5	185	1314	17,1	16,1	12,5	101	546	18,6	17,5	14,5	125	532
		0,53	15,1	15,3	24,0	191	1351	16,5	16,0	16,9	137	794	17,7	17,5	18,6	162	758
		0,68	14,3	15,3	28,3	226	1772	15,3	15,8	21,1	170	1153	16,3	17,4	23,1	202	1106
		0,8	12,5	14,1	29,9	223	2433	13,3	14,5	24,4	184	1756	14,3	16,4	26,7	220	1667
		0.53a	15,3	15,3	25,9	205	1412	15,8	15,5	17,0	134	872	16,9	17,5	18,5	162	818
	Kontr	15,2	15,4	25,1	200	1388	15,2	15,4	25,1	200	1386	16,3	17,5	26,3	231	1253	
	Egle	20-30 gadi	0,38	15,8	14,3	35,1	273	1833	20,1	15,9	13,0	101	411	24,2	18,9	15,9	142
0,53			16,4	14,7	32,2	253	1556	19,7	15,8	16,8	130	556	23,0	19,0	21,4	198	522
0,68			16,9	14,4	34,0	254	1556	18,7	15,0	21,1	157	767	21,3	17,6	25,4	221	711
0,8			16,6	15,7	38,1	322	1789	18,4	16,6	27,3	232	1028	20,9	19,3	32,7	320	950
0.53a			16,6	14,6	32,3	245	1650	16,0	14,5	16,7	127	856	19,7	17,4	20,8	184	706
Kontr		16,8	15,1	37,5	305	1700	16,8	15,1	37,5	305	1700	18,8	18,1	43,1	411	1556	
51-70 gadi		0,38	20,9	21,8	38,7	465	1131	22,6	22,0	17,1	201	431	22,8	21,0	11,0	124	269
		0,53	20,3	21,2	38,6	451	1189	21,8	21,6	21,4	248	574	22,1	21,3	16,2	185	411
		0,68	20,4	21,5	38,4	453	1174	21,7	21,8	25,2	295	683	22,5	21,8	21,1	247	526
		0,8	21,2	22,6	45,5	551	1306	23,3	23,7	31,6	388	744	24,5	25,8	33,5	446	711
		0.53a	20,5	21,1	39,2	461	1194	19,6	20,4	20,2	231	661	19,8	19,7	14,4	158	456
Kontr	20,1	20,4	37,5	431	1202	20,1	20,4	37,4	431	1200	20,8	22,2	37,6	472	1115		
Bērzs	20-30 gadi	0,38	15,3	21,5	25,2	259	1400	17,3	22,9	12,3	130	539	20,2	24,3	16,5	187	533

Suga	Vecuma grupa	Biezība	Pirms cirtes					Pēc cirtes					Pēc 5gadiem				
			D <sub>kv</sub> , cm	H, m	G, m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	M, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N, koki ha <sup>-1</sup>	D <sub>kv</sub> , cm	H, m	G, m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	M, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N, koki ha <sup>-1</sup>	D <sub>kv</sub> , cm	H, m	G, m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	M, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N, koki ha <sup>-1</sup>
		0,53	14,5	20,6	22,5	222	1350	16,2	21,6	14,6	147	706	18,4	24,3	18,9	212	711
		0,68	13,0	18,9	21,6	200	1583	13,7	19,3	17,2	162	1122	15,5	21,1	22,1	234	1111
		0,53a	14,6	19,6	23,3	229	1272	14,9	20,0	13,0	129	694	17,3	23,0	17,2	194	683
		Kontr	14,5	18,7	22,5	210	1367	14,5	18,7	21,9	204	1333	16,0	22,5	26,3	287	1300
		0,38	17,2	21,8	30,3	323	1303	21,6	23,9	11,9	132	325	24,1	25,8	14,6	175	319
	31-50 gadi	0,53	18,4	21,7	29,1	310	1111	21,6	23,4	16,3	179	444	23,4	25,4	18,8	224	439
		0,68	18,2	21,9	29,4	311	1117	20,4	22,7	19,4	209	586	22,1	25,0	22,4	268	575
		0,53a	17,1	22,0	30,5	324	1319	17,5	22,4	15,5	165	644	19,3	23,3	18,2	206	622
		Kontr	18,2	21,7	29,9	320	1150	18,2	21,7	29,9	319	1144	19,7	23,1	32,6	379	1061
		0,38	19,7	25,6	26,8	323	828	23,8	27,2	12,5	157	278	24,8	27,7	11,8	152	239
	51-70 gadi	0,53	20,7	25,2	26,6	322	778	23,0	27,0	16,8	209	406	24,0	28,0	18,2	232	400
		0,68	21,1	26,2	32,2	395	872	22,3	27,1	21,4	269	539	23,4	27,2	22,1	278	506
		0,53a	21,6	26,4	29,4	349	767	21,4	26,3	15,2	179	417	22,1	26,6	15,3	190	383
		Kontr	19,7	24,5	31,9	372	994	19,8	24,5	31,8	371	989	20,7	25,7	32,7	388	928

### 1.1.2.2. Dabiskais atmirums pēc kopšanas cirtes

Nevienā no 11 pārmērītajām priežu audzēm un 4 bērzu audzēm sanitārās cirtes nav veiktas.

No 4 pārmērītajām egļu audzēm sanitārās cirtes nav bijušas egļu audzē vecuma grupā 21-30 gadi, bet pārējās trijās audzēs, kas ir vecuma grupā 51-70 gadi sanitārās cirtes ir bijušas vai gaidāmas tuvākajā laikā. Vienā no audzēm 212-16-13 (Vr) pēc KKC piecu gadu laikā bijušas sešas sanitārās cirtes un pēc VMD sanitārā atzinuma audzi paredzēts nocirst kailcirtē visā nogabala platībā. Mizgraužu bojājumu dēļ pēc VMD sanitārā atzinuma paredzēts nocirst kailcirtē visā nogabala platībā audzi 501-149-1 Vr. Savukārt audzē 208-4-4 As ir bijusi viena sanitārā cirte.

Lielākais atmirušo koku īpatsvars no kopējās krājas konstatēts egļu audzēs pie atstātās audzes biežības 0,38 un 0,53 kopjot no augšas (1.3.tabula). Līdzīgas tendences parādās arī priežu un bērzu audzēs.

**1.3. tabula. Atmirušo koku (sausokņu, stubeņu, kritalu) īpatsvars no kopējās pārmērītās krājas pa valdošajām sugām, vecuma grupām un pēccirtes biežībām, %**

Vecuma grupa	Biezība	Priede		Egle		Bērzs	
		vidēji	N	vidēji	N	vidēji	N
21 - 30 gadi	0,38	6,9	2	10,4	1	0,5	1
	0,53	3,1	2	3,0	1	0	1
	0,68	1,9	2	4,9	1	0,2	1
	0,8	-	-	3,4	1	-	-
	0.53a	4,9	2	8,8	1	0,4	1
	Kontr	4,0	2	1,2	1	0,5	1
31 - 50 gadi	0,38	0,8	4	-	-	0,5	2
	0,53	1,9	4	-	-	1,6	2
	0,68	0,5	3	-	-	0,9	2
	0,8	1,8	1	-	-	-	-
	0.53a	1,9	5	-	-	1,0	2
	Kontr	2,1	5	-	-	1,5	2
51- 70 gadi	0,38	1,6	3	23,5	3	16,7	1
	0,53	1,8	4	15,2	3	1,5	1
	0,68	2,2	2	14,4	3	4,4	1
	0,8	1,9	1	2,8	1	-	-
	0.53a	4,6	3	20,4	3	8,3	1
	Kontr	3,6	4	2,1	3	2,4	1
	Vidēji	2,5	49	11,9	22	2,3	20

## 1.2. Kopšanas cirtes ietekmi raksturojoši koeficienti augšanas gaitas vienādojumā E, P, B audzēs ar dažādām retināšanas intensitātēm (45% / 55% / 65%)

Iepriekšējā pētījuma laikā (2016. – 2021.), iekārtojot kopšanas ciršu eksperimentu, koncepcija bija kopt objektā atsevišķas audzes daļas (parauglaukumus) samazinot tajos augošo koku skaitu līdz saglabājamai kokaudzes biežībai (pēc valdošās koku sugas krājas) ir ~0,4, ~0,6, ~0,7 ~0,8, bez tam arī saglabājot kontroles parauglaukumus, kuros koku ciršana netiek veikta. Tādējādi atkarībā no kokaudzes sākotnējās biežības, lai sasniegtu atbilstošo saglabājamo biežību pēc cirtes, cirtes (retināšanas) intensitāte (tādā izpratnē kā šo terminu lieto Latvijā, proti, izcērtamā krāja % no esošās krājas) ir ievērojami atšķirīga. Dažādos literatūras avotos kopšanas intensitāti klasificē atšķirīgi, piem., kā vāju, vidēju vai stipru, citos gadījumos kā zemu, vidēju vai augstu. Atšķirīgi tiek vērtēti arī izcērtamās krājas īpatsvars, kāds tiek piedēvēts katrai no grupām. Piem., uzņēmums Metsaliitto Latvija, uzskata, ka vāja ciršanas intensitāte ir, ja izcērt līdz 15% no audzes krājas, vidēja, ja izcērt 15-25%, stipra, ja izcērt 25-35% un ļoti stipra - izcērtot virs 35% no audzes<sup>2</sup>. Šeit gan jānorāda, ka citās valstīs, piem., Lielbritānijā ar kopšanas ciršu intensitāti saprot kopšanas cirtēs izcirtās krājas īpatsvaru attiecībā pret vidējo pieaugumu (yield class). Savukārt Vācijā kopšanas intensitāte tiek saistīta ar audzes vecumu, kad kopšana tiek uzsākta, kopšanas ciršu atkārtošānu un koku dimensijām (Pretzsch, 2009).

### 1.2.1. Faktori, kas nosaka koksnes krājas uzkrāšanās tempu pie dažādām kopšanas intensitātēm. Meža elementu vidējā caurmēra un vidējā augstuma izmaiņas (pirms pēc cirtes, atkarībā no tās intensitātes)

Sadalot datus pa gradācijas klasēm konstatēts, ka cirtes intensitāte 65% konstatēta četrās gradācijas klasēs un tikai pie standarta kopšanas (1.4. tabula).

### 1.4. tabula. Valdošās koku sugas I stāva vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņas (cm) pēc cirtes pa sugām, vecuma grupām un kopšanas veidiem atkarībā no cirtes intensitātes

Valdošā suga	Vecuma grupa	Kopšanas veids	Cirtes intensitāte, %						
			5	15	25	35	45	55	65
P	21-30	no augšas	-	-	-0,12	-0,30	-0,32	0,01	-
P	21-30	standarta	0,04	0,39	0,78	1,20	2,06	2,15	-
P	31-50	no augšas	-	-	0,23	0,08	-0,20	-0,15	-
P	31-50	standarta	0,38	0,92	1,22	1,45	2,08	2,59	2,95
P	51-70	no augšas	-	-	-0,41	0,00	-0,09	-	-
P	51-70	standarta	0,29	0,95	1,31	1,81	2,45	2,81	-
E	21-30	no augšas	-	-	-	-0,69	-0,19	-0,43	-
E	21-30	standarta	-	0,76	0,91	1,32	1,58	1,95	2,63
E	31-50	no augšas	-	-	-	-0,71	-0,27	0,07	-
E	31-50	standarta	0,20	1,17	1,18	1,66	2,67	2,99	4,04
E	51-70	no augšas	-	-	0,33	0,14	-1,07	-0,23	-
E	51-70	standarta	-	0,86	1,66	1,85	1,82	2,77	2,97
B	21-30	no augšas	-	-	-	-0,02	-0,10		-
B	21-30	standarta	-	0,62	0,67	1,21	2,03	2,09	-
B	31-50	no augšas	-	-	0,30	-0,39	0,43	-0,39	-
B	31-50	standarta	-	0,83	1,68	2,97	2,36	3,18	-
B	51-70	no augšas	-	-	-	-0,80	-0,62	0,04	-
B	51-70	standarta	-	1,33	1,51	1,84	2,36	3,57	-
		Vidēji	0,23	0,86	1,02	1,05	1,37	1,83	2,87

<sup>2</sup> <https://www.metsaforest.com/lv/Documents/Noderigi/Audz-krajas-kopsanas-cirtes.pdf>

Analizējot pirmā stāva valdošās koku sugas vidējā augstuma izmaiņas pēc cirtes, novērojama tendence - pie lielākas cirtes intensitātes vidējā augstuma izmaiņa pēc cirtes ir lielāka (1.5. tabula). Salīdzinot kopšanu no augšas ar standarta kopšanu, vērtējot pēc vidējā augstuma izmaiņas - kopjot no augšas vidējais augstums visos gadījumos ir mazāks, bet ne vienmēr mazāks kā pirms cirtes. Šīs sakarības ir izmantojamas kopšanas ciršu rezultātā relatīvā G un relatīvā N izmaiņu precizēšanai un ieviešanai augšanas gaitas simulatorā.

**1.5. tabula. Valdošās koku sugas I stāva vidējā augstuma izmaiņas (m) pēc cirtes pa sugām, vecuma grupām un kopšanas veidiem atkarībā no cirtes intensitātes**

Valdošā suga	Vecuma grupa	Kopšanas veids	Cirtes intensitāte, %						
			5	15	25	35	45	55	65
P	21-30	no augšas	-	-	0,05	-0,08	0,00	-	-
P	21-30	standarta	0,00	0,14	0,24	0,40	0,57	0,48	-
P	31-50	no augšas	-	-	0,13	0,17	-0,01	0,16	-
P	31-50	standarta	0,22	0,40	0,51	0,62	0,81	0,77	-
P	51-70	no augšas	-	-	-0,06	0,12	0,14	-	-
P	51-70	standarta	0,17	0,39	0,54	0,76	0,99	0,90	-
E	21-30	no augšas	-	-	-	-0,20	-0,01	-0,04	-
E	21-30	standarta	-	0,44	0,30	0,55	0,54	0,76	0,94
E	31-50	no augšas	-	-	-	-0,14	0,09	0,25	-
E	31-50	standarta	0,05	0,49	0,61	0,79	1,24	1,15	1,48
E	51-70	no augšas	-	-	-	-0,01	-0,31	-	-
E	51-70	standarta	-	0,24	0,46	0,72	0,79	-	-
B	21-30	no augšas	-	-	-	0,10	-0,05	-	-
B	21-30	standarta	-	-	0,40	0,56	1,14	1,12	-
B	31-50	no augšas	-	-	0,28	-0,09	0,40	-0,01	-
B	31-50	standarta	-	0,48	1,07	1,36	1,12	0,98	-
B	51-70	no augšas	-	-	-	-0,21	-0,04	0,15	-
B	51-70	standarta	-	0,57	0,79	0,92	1,18	1,76	-
		Vidēji	0,11	0,37	0,44	0,47	0,61	0,70	1,03

**Meža elementu koku skaita un šķērslaukuma izmaiņas (pirms un pēc cirtes atkarībā no intensitātes)**

Ņemot vērā, ka priedei vecuma grupās 31-50 gadi un 51-70 gadi pie standarta kopšanas un cirtes intensitātes 15%; 25%; 35%; 45% novērojumu skaits vienā gradācijas klasē ir vismaz 10, tad analizēti šie dati. Vecuma grupā 31-50 gadi pie cirtes intensitātes 15% I stāva koku skaits pēc cirtes samazinās vidēji par 351 kokiem ha<sup>-1</sup>, bet pie cirtes intensitātes 45% - vidēji par 743 kokiem ha<sup>-1</sup> (1.6.tabula). Savukārt, I stāva koku šķērslaukums pie cirtes intensitātes 15% pēc cirtes samazinās vidēji par 3,9 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, bet pie cirtes intensitātes 45% - vidēji par 11,0 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> (1.7.tabula). Vecuma grupā 51-70 gadi pie cirtes intensitātes 15% I stāva koku skaits pēc cirtes samazinās vidēji par 264 kokiem ha<sup>-1</sup>, bet pie cirtes intensitātes 45% - vidēji par 679 kokiem ha<sup>-1</sup> (1.6.tabula). Savukārt, I stāva koku šķērslaukums pie cirtes intensitātes 15% pēc cirtes samazinās vidēji par 5,2 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, bet pie cirtes intensitātes 45% - vidēji par 12,4 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> (1.7.tabula).

**1.6. tabula. I stāva koku skaita izmaiņas (koki ha<sup>-1</sup>) pēc cirtes pa sugām, vecuma grupām un kopšanas veidiem atkarībā no cirtes intensitātes**

Valdošā suga	Vecuma grupa	Kopšanas veids	Cirtes intensitāte, %						
			5	15	25	35	45	55	65
P	21-30	no augšas	-	-	-389	-483	-643	-1222	-
P	21-30	standarta	-133	-320	-514	-714	-906	-997	-
P	31-50	no augšas	-	-	-399	-570	-500	-630	-
P	31-50	standarta	-289	-351	-512	-655	-743	-780	-883
P	51-70	no augšas	-	-	-177	-396	-501	-	-
P	51-70	standarta	-56	-264	-375	-507	-679	-492	-
E	21-30	no augšas	-	-	-	-411	-848	-744	-
E	21-30	standarta	-	-694	-555	-762	-802	-961	-1210
E	31-50	no augšas	-	-	-	-307	-612	-761	-
E	31-50	standarta	-83	-172	-454	-670	-808	-887	-1311
E	51-70	no augšas	-	-	-428	-278	-281	-586	-
E	51-70	standarta	-	-186	-413	-399	-519	-539	-775
B	21-30	no augšas	-	-	-	-497	-581	-	-
B	21-30	standarta	-	-461	-417	-685	-761	-843	-
B	31-50	no augšas	-	-	-300	-219	-567	-1039	-
B	31-50	standarta	-	-225	-456	-481	-742	-835	-
B	51-70	no augšas	-	-	-	-156	-348	-472	-
B	51-70	standarta	-	-142	-376	-335	-513	-606	-
		Vidēji	-140	-292	-428	-549	-685	-803	-1101

**1.7. tabula. I stāva koku šķērslaukuma izmaiņas (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) pēc cirtes pa sugām, vecuma grupām un kopšanas veidiem atkarībā no cirtes intensitātes**

Valdošā suga	Vecuma grupa	Kopšanas veids	Cirtes intensitāte, %						
			5	15	25	35	45	55	65
P	21-30	no augšas	-	-	-5,3	-8,0	-15,0	-16,3	-
P	21-30	standarta	-2,0	-3,6	-5,4	-8,8	-12,6	-16,2	-
P	31-50	no augšas	-	-	-5,6	-8,5	-13,7	-19,8	-
P	31-50	standarta	-1,9	-3,9	-6,3	-8,7	-11,9	-18,8	-21,9
P	51-70	no augšas	-	-	-7,1	-9,2	-13,3	-	-
P	51-70	standarta	-1,4	-5,2	-7,3	-9,5	-12,4	-16,5	-
E	21-30	no augšas	-	-	-	-7,7	-13,6	-19,6	-
E	21-30	standarta	-	-5,0	-7,8	-11,3	-13,7	-15,8	-20,7
E	31-50	no augšas	-	-	-	-8,6	-13,4	-20,5	-
E	31-50	standarta	-3,2	-5,5	-7,7	-10,6	-15,0	-15,5	-25,9
E	51-70	no augšas	-	-	-7,6	-16,7	-13,7	-24,6	-
E	51-70	standarta	-	-6,2	-10,0	-15,2	-16,4	-22,4	-28,1
B	21-30	no augšas	-	-	-	-7,6	-9,8	-	-
B	21-30	standarta	-	-4,3	-5,4	-8,2	-10,2	-11,7	-
B	31-50	no augšas	-	-	-5,2	-5,7	-13,6	-14,5	-
B	31-50	standarta	-	-3,1	-7,1	-10,3	-11,3	-15,1	-
B	51-70	no augšas	-	-	-	-8,0	-12,7	-12,1	-
B	51-70	standarta	-	-3,8	-7,4	-9,3	-11,4	-14,5	-
		Vidēji	-2,1	-4,5	-6,9	-9,6	-12,9	-16,8	-22,8

## Krājas pieauguma izmaiņas 5 gadus pēc cirtes atkarībā no intensitātes

Konstatēts, ka I stāva koku tekošā periodiskā krājas diference un tekošās periodiskās krājas diferences procents pie konkrētas cirtes intensitātes jaunākās audzēs ir lielāks (1.8, 1.9. tabula).

**1.8. tabula. I stāva koku tekošā periodiskā krājas diference ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) 5 gadus pēc cirtes pa sugām, vecuma grupām un kopšanas veidiem atkarībā no cirtes intensitātes**

Valdošā suga	Vecuma grupa	Kopšanas veids	Cirtes intensitāte, %						
			5	15	25	35	45	55	65
P	21-30	no augšas	-	-	43,3	56,1	65,7	36,4	-
P	21-30	standarta	88,9	53,6	55,2	50,7	55,2	47,2	-
P	31-50	no augšas	-	-	32,9	33,0	54,8	43,6	-
P	31-50	standarta	52,8	40,8	41,7	35,7	30,8	30,7	39,6
P	51-70	no augšas	-	-	23,7	27,9	30,6	-	-
P	51-70	standarta	35,4	42,3	34,1	29,2	29,4	3,9	-
E	21-30	no augšas	-	-	-	54,7	54,4	37,4	-
E	21-30	standarta	-	35,1	62,6	69,0	53,3	40,6	33,7
E	31-50	no augšas	-	-	-	2,4	-8,7	21,1	-
E	31-50	standarta	21,1	2,8	25,5	1,2	-6,8	0,6	23,8
E	51-70	no augšas	-	-	30,6	44,4	-18,3	-124,3	-
E	51-70	standarta	-	30,6	26,1	-37,2	-56,9	-112,3	-122,3
B	21-30	no augšas	-	-	-	44,2	48,4	-	-
B	21-30	standarta	-	71,9	52,7	55,2	54,2	42,6	-
B	31-50	no augšas	-	-	29,4	20,9	28,6	32,4	-
B	31-50	standarta	-	27,0	33,9	49,1	28,3	35,2	-
B	51-70	no augšas	-	-	-	13,2	3,8	19,3	-
B	51-70	standarta	-	7,5	17,8	14,1	16,7	-6,7	-
		Vidēji	49,5	39,3	38,2	31,3	27,9	20,7	2,1

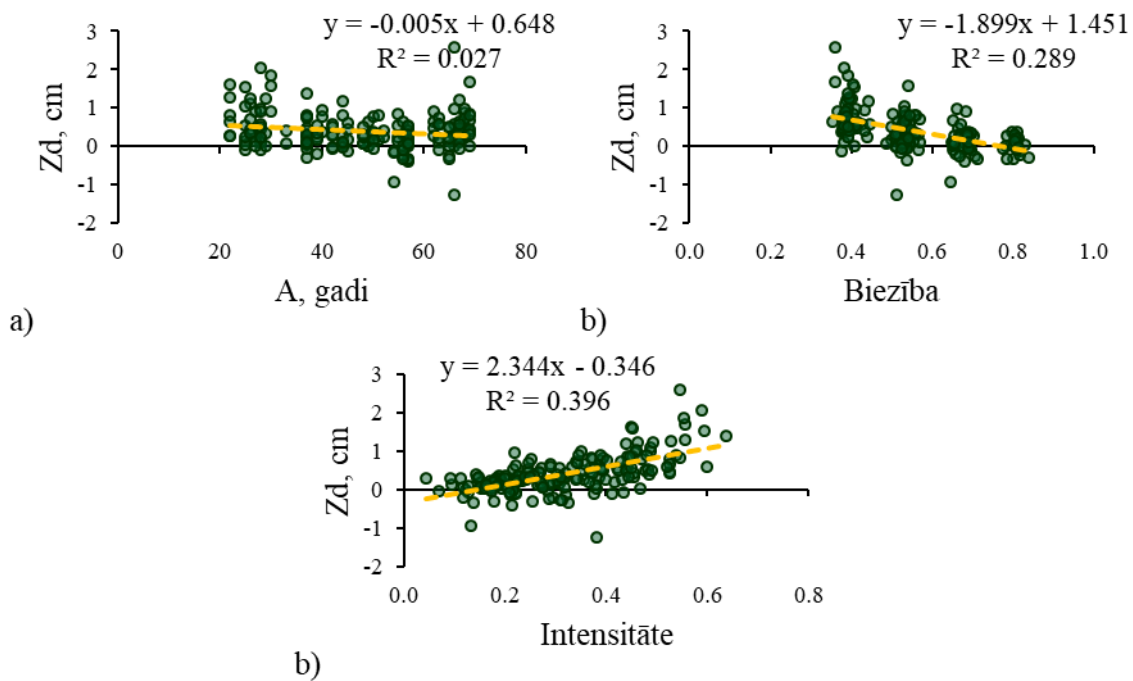


**1.9. tabula. I stāva koku tekošās periodiskās krājas diferences procents (Liepa, 1996) 5 gadus pēc cirtes pa sugām, vecuma grupām un kopšanas veidiem atkarībā no cirtes intensitātes**

Valdošā suga	Vecuma grupa	Kopšanas veids	Cirtes intensitāte, %						
			5	15	25	35	45	55	65
P	21-30	no augšas	-	-	35,8	41,9	44,7	25,2	-
P	21-30	standarta	50,1	34,2	37,3	40,2	43,9	42,2	-
P	31-50	no augšas	-	-	27,1	24,3	28,5	24,9	-
P	31-50	standarta	26,8	23,6	25,2	25,4	20,8	17,2	36,6
P	51-70	no augšas	-	-	10,7	16,8	16,1	-	-
P	51-70	standarta	10,6	15,9	15,8	16,8	20,9	-1,0	-
E	21-30	no augšas	-	-	-	46,4	37,3	22,4	-
E	21-30	standarta	-	17,9	31,9	34,3	31,4	31,7	29,6
E	31-50	no augšas	-	-	-	3,0	-2,7	11,1	-
E	31-50	standarta	6,2	1,5	13,2	3,4	-9,1	0,7	16,9
E	51-70	no augšas	-	-	16,1	10,5	-9,0	-64,2	-
E	51-70	standarta	-	8,5	9,6	-13,0	-32,6	-49,4	-86,9
B	21-30	no augšas	-	-	-	30,2	33,2	-	-
B	21-30	standarta	-	36,4	30,4	35,2	39,6	35,9	-
B	31-50	no augšas	-	-	18,7	15,5	15,8	28,2	-
B	31-50	standarta	-	16,6	18,1	21,2	19,1	28,1	-
B	51-70	no augšas	-	-	-	7,3	2,2	15,7	-
B	51-70	standarta	-	2,5	8,3	6,6	12,3	-4,4	-
		Vidēji	23,4	19,5	21,6	20,6	18,8	16,6	5,7

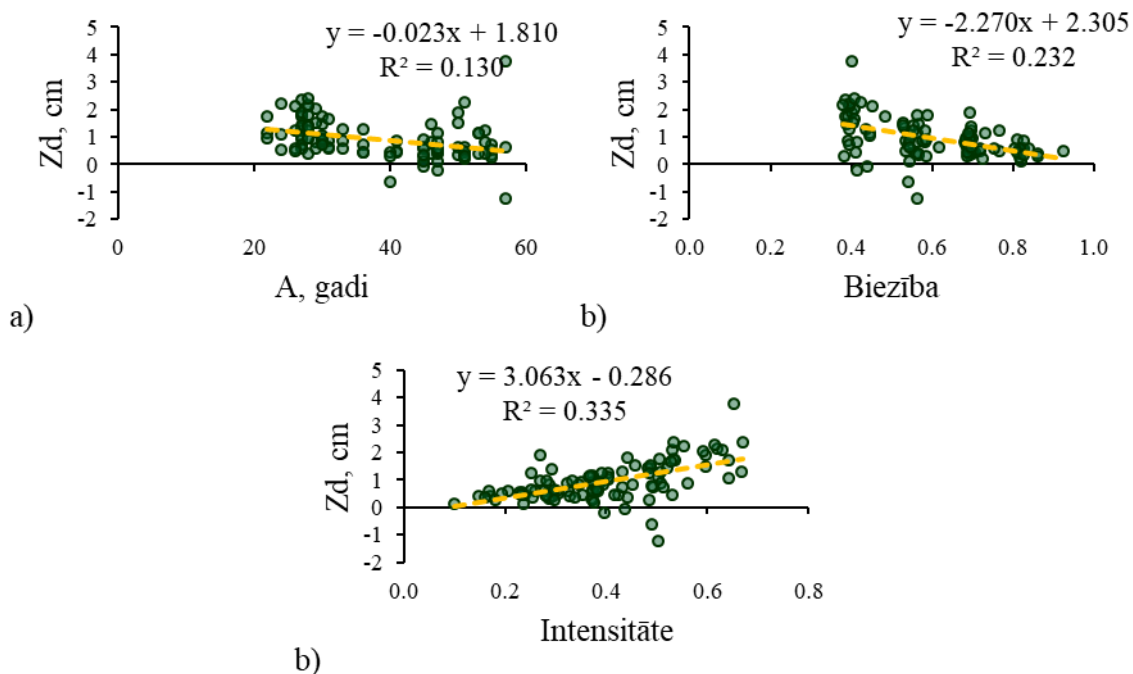
### Zd modeļa korekcija

Visām trīs koku sugām (priede, egļe, bērzs) I stāva vidējā krūšaugstuma caurmēram pēc krājas kopšanas cirtes ir vērojams pozitīvs papildus pieaugums. Lai arī vecums ir caurmēra pieaugumu determinējošs faktors, tomēr papildus pieaugumam pēc krājas kopšanas cirtes ciešākas korelatīvas sakarības ir ar pēc kopšanas cirtes palikušo I stāva biežību un nocirsto I stāva relatīvo apjomu (1.1. – 1.3. attēls).



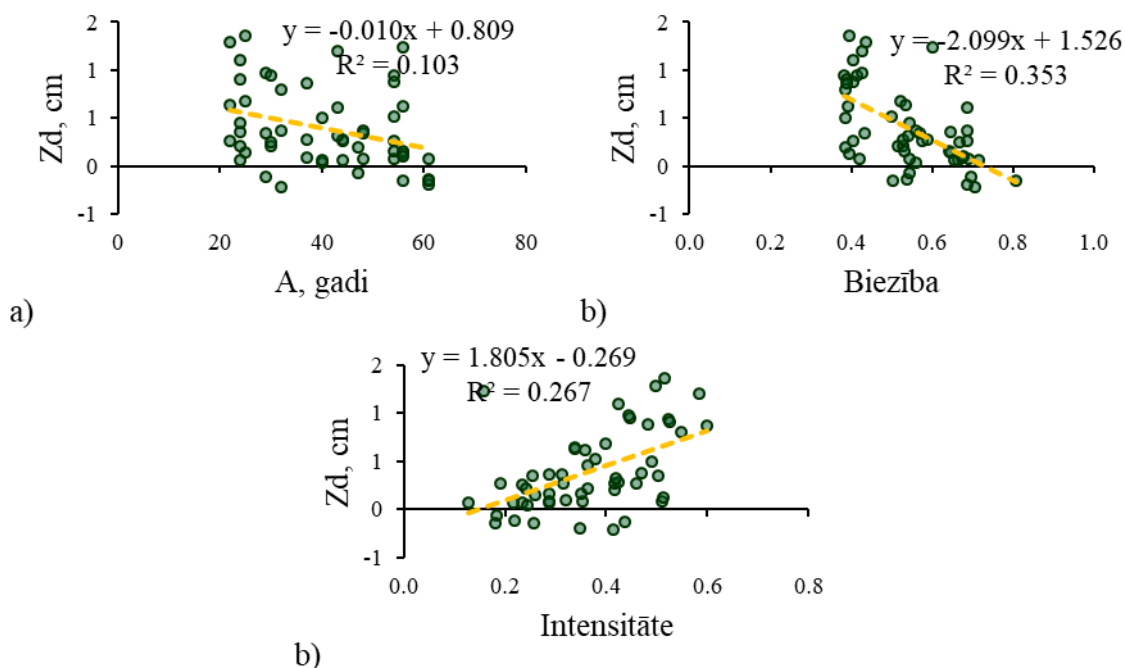
**1.1. attēls. I stāva priežu vidējā krūšaugstuma caurmēra papildus pieaugums piecus gadus pēc krājas kopšanas cirtes:**

Zd – piecu gadu periodiskais krājas papildus pieaugums, cm; A – meža elementa vecums, gadi; Biezība – kokaudzes I stāva palikusī biezība pēc krājas kopšanas cirtes; Intensitāte – krājas kopšanas cirtē nocirstais relatīvais I stāva apjoms (I stāva nocirstā krāja attiecībā pret sākotnējo I stāva krāju).



**1.2. attēls. I stāva egļu vidējā krūšaugstuma caurmēra papildus pieaugums piecus gadus pēc krājas kopšanas cirtes:**

Zd – piecu gadu periodiskais krājas papildus pieaugums, cm; A – meža elementa vecums, gadi; Biezība – kokaudzes I stāva palikusī biezība pēc krājas kopšanas cirtes; Intensitāte – krājas kopšanas cirtē nocirstais relatīvais I stāva apjoms (I stāva nocirstā krāja attiecībā pret sākotnējo I stāva krāju).



### 1.3. attēls. I stāva bērzu vidējā krūšaugstuma caurmēra papildus pieaugums piecus gadus pēc krājas kopšanas cirtes:

Zd – piecu gadu periodiskais krājas papildus pieaugums, cm; A – meža elementa vecums, gadi; Biezība – kokaudzes I stāva palikušā biezība pēc krājas kopšanas cirtes; Intensitāte – krājas kopšanas cirtē nocirstais relatīvais I stāva apjoms (I stāva nocirstā krāja attiecībā pret sākotnējo I stāva krāju).

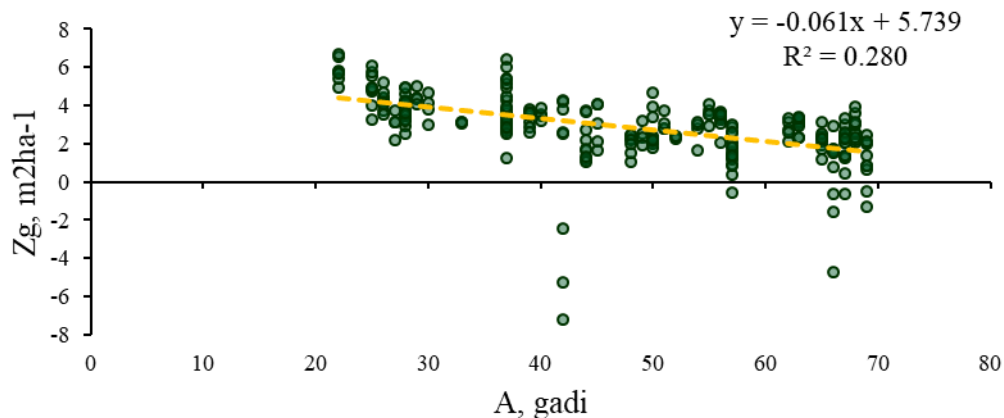
Aproximētas koeficientu vērtības 1. vienādojumam, kas raksturo caurmēra papildus pieaugumu pēc krājas kopšanas cirtes atkarībā no palikušās kokaudzes I stāva biezības un ciršanas intensitātes jeb krājas kopšanas cirtē nocirstā relatīvā apjoma (1.10. tabula).

1.10. tabula. Caurmēra papildus pieauguma pēc krājas kopšanas cirtes vienādojuma aproksimētas koeficientu vērtības

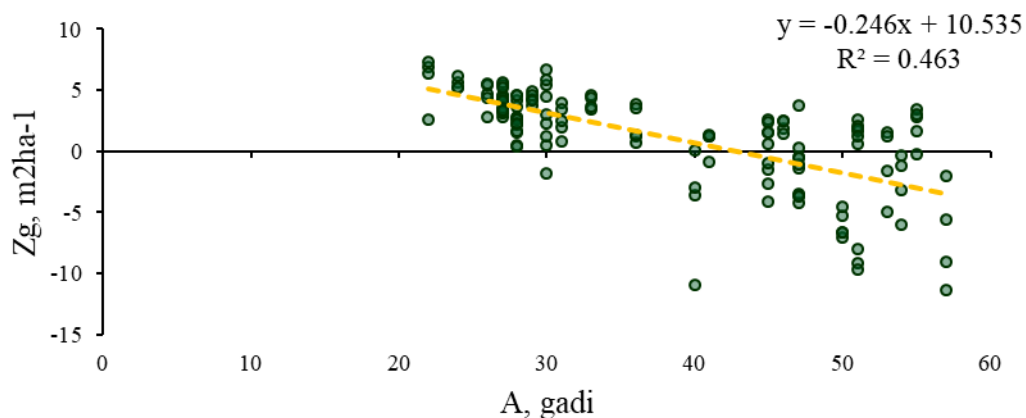
Suga	Parametrs	Vērtība	Stdandartklūda	Būtiskums	95% ticamības intervāls	
01_Priede	Intercept	-1.1078	0.3726	0.0034	-1.8431	-0.3725
	Biezība	1.5975	0.5828	0.0068	0.4473	2.7476
	Intensitāte	5.8513	0.9660	0.0000	3.9450	7.7576
	Biezība * Intensitāte	-7.5922	1.7565	0.0000	-11.0586	-4.1259
03_Egle	Intercept	-2.5486	0.9573	0.0091	-4.4485	-0.6488
	Biezība	3.8585	1.3572	0.0054	1.1651	6.5518
	Intensitate	8.9785	1.9320	0.0000	5.1446	12.8125
	Biezība * Intensitate	-10.7738	3.1579	0.0009	-17.0406	-4.5069
04_Bērzs	Intercept	-0.3735	0.9326	0.6905	-2.2466	1.4997
	Biezība	0.9755	1.5659	0.5362	-2.1697	4.1206
	Intensitate	4.4088	2.1883	0.0493	0.0135	8.8041
	Biezība * Intensitate	-7.3279	4.0719	0.0780	-15.5066	0.8508

Lai arī krājas kopšanas cirtēm ir konstatēta pozitīva ietekme uz caurmēra pieaugumu, tomēr krājas kopšanas cirtēm ir arī pastiprināts vējgāzu risks, kas izteikts ir egļu audzēs pēc 40 gadus vecuma (1.4. attēls).

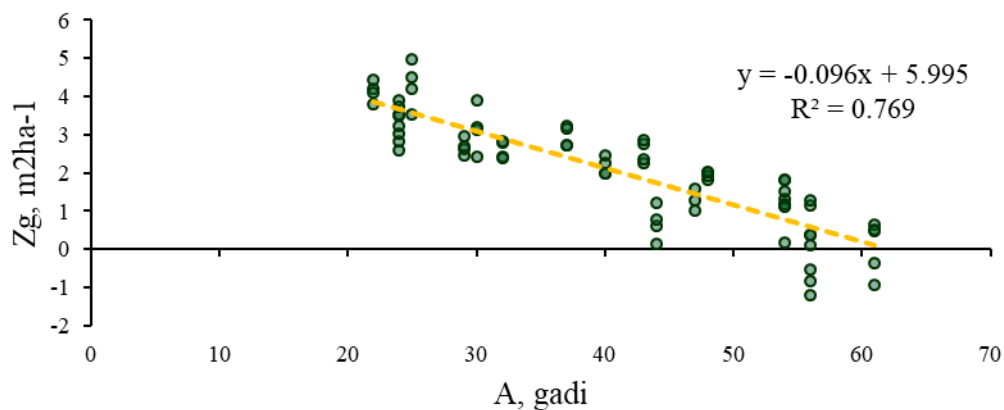
Priede



Egle



Bērzs



#### 1.4. attēls. I stāva šķērslaukuma diference piecus gadus pēc krājas kopšanas cirtes:

$Z_g$  – kokaudzes I stāva šķērslaukuma diference piecus gadus pēc krājas kopšanas cirtes (I stāva šķērslaukums piecus gadus pēc cirtes – I stāva šķērslaukums pēc cirtes ciršanas gadā),  $m^2ha^{-1}$ ;  $A$  – meža elementa vecums, gadi.

## 1.2.2. Dažādu apsaimniekošanas programmu finanšu plūsmas prognozēšana

2024. gadā darbs nav paredzēts.

### Secinājumi

Palielinoties kopšanas ciršu intensitātei, ievērojami mainās audzes vidējais caurmērs un vidējais augstums, tādēļ modeļos saglabājama izvēlne, ka pirms un pēc cirtes, atkarībā no izvēlētās cirtes metodes “standarta kopšana ( galvenokārt no apakšas)” vai “kopšana no augšas” attiecīgi jāpārreķina vidējais caurmērs un vidējais augstums.

Egļu audzēs, atšķirībā no priežu un bērzu audzēm, pēc kopšanas cirtēm būtiski pieaug sanitāro ciršu nepieciešamība.

## 2. Meža elementu augšanas gaitas modeļi, balstot uz MSI parauglaukumu datiem

### 2.1. Meža elementu taksācijas rādītāju izmaiņu (augšanas gaitas) modelis, balstot uz 4 MSI ciklu datiem

#### 2.1.1. MSI parauglaukumu datu paraugkopas izveide

Tā kā turpmākā pētījuma gaitā ir paredzēta izstrādāto augšanas gaitas modeļu verifikācija un atsevišķu koku augšanas gaitas modeļu pilnveidošana, ir nepieciešams ievadīt no jauna ceturtā cikla parauglaukumu datus, jau fiksējot ne tikai mežaudzes, katra atsevišķa mežaudzes stāva un katra atsevišķa mežaudzes elementa galvenos taksācijas rādītājus (vecums, vidējais kvadrātiskais caurmērs un tam atbilstošais augstums, šķērslaukums, krāja un koku skaits) kā arī nocirstās un atmirušās koksnes apjomu (krāja), bet arī katra atsevišķa koka stāvu, caurmēru, augstumu, šķērslaukumu, krāju, reprezentatīvo koku skaitu un stāvokli.

Meža statistiskās inventarizācijas (MSI) parauglaukumu datu bāzē atlasīti un MS Excel datorprogrammā ievadīti dati par 1060 atkārtoti 2023. gadā pārmērīto parauglaukumu, kas tālāk izmantojami augšanas gaitas prognožu modeļu izstrādē un verifikācijā.

Galvenie sākotnējie atlasē kritēriji ir: 1) ceturtajā ciklā parauglaukums nav sadalīts sektoros, kas nozīmē, ka viss parauglaukums ir vienas audzes robežās; 2) ceturtajā ciklā zemju kategorija ir mežs (kods 10) vai mežs lauksaimniecības zemē (62).

Atlasīto un ievadīto MSI parauglaukumu sadalījums pa 4. ciklā konstatētajām valdošajām koku sugām, meža tipiem, vecuma desmitgadēm un bonitātēm atspoguļots 2.1.1. – 2.1.3. tabulās.

#### 2.1.1. tabula. Parauglaukumu sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām un vecuma desmitgadēm

Vecuma 10-gade	Priede	Egle	Bērzs	Melnalksnis	Apse	Baltalksnis	Citas sugas	Visas sugas
1 - 10	21	28	45	10	17	22	4	147
11 - 20	27	18	61	4	15	17	4	146
21 - 30	16	22	44	10	8	7	3	110
31 - 40	8	23	32	5	8	14	2	92
41 - 50	16	33	28	8	1	11	5	102
51 - 60	8	29	39	5	14	6	3	104
61 - 70	25	15	30	9	7	1	3	90
71 - 80	29	14	15	4	5		1	68
81 - 90	36	9	15	2	1		2	65
91 - 100	31	8	6		1			46
101 - 110	22	2	3		1		1	29
111 - 120	15	4			1			20
121 - 130	15	2						17
131 - 140	7				1			8
141 -	14						2	16
Kopā	290	207	318	57	80	78	30	1060

**2.1.2. tabula. Parauglaukumu sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām un bonitātēm**

Bonitāte	Priede	Egle	Bērzs	Melnalksnis	Apse	Baltalksnis	Citas sugas	Visas sugas
Ia	57	91	142	12	56	24	5	387
I	82	54	76	21	15	28	9	285
II	63	38	60	19	7	23	12	222
III	35	16	27	3		2	3	86
IV	28	6	7		1		1	43
V	13	2	1	1				17
Va	12		5	1	1	1		20
Kopā	290	207	318	57	80	78	30	1060

**2.1.3. tabula. Parauglaukumu sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām un meža tipiem**

Meža tips	Priede	Egle	Bērzs	Melnalksnis	Apse	Baltalksnis	Citas sugas	Visas sugas
Sl	8		1					9
Mr	27		1					28
Ln	34	1	2				1	38
Dm	61	56	68		17	11	6	219
Vr	2	53	85	8	31	42	10	231
Gr		2	3	1	9	3	10	28
Gs	1							1
Mrs	12	4						16
Dms	12	17	12	1	2			44
Vrs		10	6	9	2	3	1	31
Grs			1	2				3
Pv	33		1		1			35
Nd	23	1	19	2				45
Db		5	28	16		1		50
Lk				1				1
Av	1							1
Am	10	2	3		2			17
As	26	28	31	3	9	6		103
Ap		12	16	4	7	8	1	48
Kv	5							5
Km	9	3	5					17
Ks	26	10	19	1		2		58
Kp		3	17	9		2	1	32
Kopā	290	207	318	57	80	78	30	1060

Kopumā šogad ievadīta informācija par 26085 ceturtajā ciklā atkārtoti uzmērītajiem kokiem (2.1.4. tabula).

**2.1.4. tabula. Ceturtajā ciklā uzmērīto koku sadalījums pa koku sugām un meža tipiem**

Meža tips	Priede	Egle	Bērzs	Melnalksnis	Apse	Baltalksnis	Citas sugas	Visas sugas
Sl	172		10					182
Mr	631		2					633
Ln	732	21	2				8	763
Dm	1489	1171	1668		405	367	76	5176
Vr	70	1464	2078	212	666	1111	156	5757
Gr		6	55	25	203	124	188	601
Gs	37							37
Mrs	252	114						366
Dms	242	452	171	2	77			944

Vrs		350	120	224	12	107	23	836
Grs			22	44				66
Pv	819		29		15			863
Nd	693	51	414	19				1177
Db		132	720	507		32		1391
Lk				21				21
Av	26							26
Am	294	3	71		56			424
As	656	770	775	85	269	202		2757
Ap		262	455	105	129	325	57	1333
Kv	132							132
Km	260	99	66					425
Ks	662	282	545	22		87		1598
Kp		41	347	145		29	15	577
Kopā	7167	5218	7550	1411	1832	2384	523	26085

## 2.1.2. Taksācijas rādītāju prognožu modeļu pilnveidošana (vienādojumu aprēķini)

### 2.1.2.1. Vidējais augstums

#### Metodika

Datu analīzē izmantoja datus par 24772 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paaudzes vienā stāvā esošus kokus) no 4564 MSI parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- 1. stāva meža elementi ir priede (3664 meža elementi), egles (3473), bērzs (4449), melnalksnis (1123), apse (971), baltalksnis (821), platlapji – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, skābardis un dižskābardis, kļava (651) un citi lapu koki (371), un 2. stāva meža elementi ir priede (398), egles (5050), bērzs (1670), melnalksnis (362), apse (105), baltalksnis (401), platlapji (920) un citi lapu koki (343);
- visās uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums;
- augstuma izmaiņas ir bioloģiski loģiskas;
- prognozētais augstums bāzes vecumā (P, E 100 gadi; B, M, A 50 gadi; Ba 20 gadi) starp uzmērīšanas cikliem neatšķiras vairāk kā 10% vai 3 m;
- meža elementa piecu gadu augstuma tekošais periodiskais pieaugums neatšķiras vairāk kā divas standartnovirzes no tam atbilstošās vecuma desmitgades un bāzes vecuma augstuma grupas aritmētiski vidējās vērtības.

Analīzē izmanto visus piecu gadu pārmērījuma ciklus, līdz ar to atsevišķs elements var tikt izmantots līdz trim reizēm (I vs II cikls; II vs III cikls, III vs IV cikls). Šādā veidā nav ņemta vērā autokorelācija, bet vienādojumi tiek izstrādāti uz 5 gadu pārmērījuma datiem, kas saskan ar paredzēto vienas modelēšanas perioda garumu.

Augstuma augšanas gaitas aproksimācijai pilnveidots iepriekš izstrādātais vienādojums (Donis, 2023), kas balstīts uz vispārinātās algebriskās diferences pieeju (GADA - generalized algebraic difference approach).

Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas aproksimācijai izmantots Hossfeld IV vienādojuma (Кивисте, 1988) vispārinātās algebriskās diferences pieejas modelis (Krumland & Eng, 2005):

$$H_2 = 1.3 + \frac{A_2^{b_1}}{b_2 + 100 \cdot b_3 \cdot X_0 + X_0 \cdot A_2^{b_1}} \quad (2.1)$$



$$X_0 = \frac{\frac{A_1^{b_1}}{H_1^{-1.3}} - b_2}{100 \cdot b_3 + A_1^{b_1}} \quad (2.1.1)$$

- kur  $H_2$  – meža elementa vidējais augstums aktualizācijas perioda beigās, m;  
 $H_1$  – meža elementa vidējais augstums aktualizācijas perioda sākumā, m;  
 $A_1$  – meža elementa vecums 1.3 m augstumā aktualizācijas perioda sākumā, gadi;  
 $A_2$  – meža elementa vecums 1.3 m augstumā aktualizācijas perioda beigās, gadi;  
 $b_{1-3}$  – koeficienti.

Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modelēta datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows, izmantojot rīku Non-linear regression un bootstrap funkciju.

Vienādojumu atbilstība izvērtēta izmantojot sekojošus statistiskos rādītājus: vidējā novirze (MRES), procentuālā vidējā novirze MRES%), vidējā absolūtā novirze (AMRES), standartnovirze (RMSE), variācijas koeficients (RMSE%), vidējā kvadrātiskā kļūda (MSE), modeļa efektivitāte (MEF) un dispersijas attiecība (VR). Šo statistisko rādītāju aprēķināšanas formulas dotas 1. pielikumā.

Pētījumā par “Klimata pārmaiņu ietekme uz mežsaimniecību un tās riskiem” pieauguma modelis atvasināts no Hosfelda (Hosfeld) bāzes augstuma modeļa (Sharma et al., 2011; Cieszewski, 2002). Meteoroloģiskās komponentes, kas aprēķinātas kā vidējā periodiskā vērtība (x) testētas atvasinājumā kā lineāri ( $\gamma_a x + \gamma_b$ ) neatkarīgi koeficientu aizstājēji. Meteoroloģiskie mainīgie, mēnešu rādītāji iegūti no brīvpieejas repozitorija (Harris et al., 2020). izmantojot parastās egles klonu stādījumus, noskaidrots, ka nozīmīgākie rādītāji eglēm ir vidējā periodiskā marta un aprīļa gaisa temperatūra attiecīgam prognozes periodam (°C), SPEI3 – vidējais periodiskais maija līdz jūlija trīs mēnešu sausuma indekss.

Tā kā pašreiz nav zināms vai šie paši meteoroloģiskie rādītāji būs būtiskākie arī pārējām koku sugām, kā arī tādēļ, ka pašreiz risinājumāos ir izmantotas atšķirīgas bāzes formulas (Hosfeld IV (šajā pētījumā) un Hosfeld “Klimata pārmaiņu ietekme uz mežsaimniecību un tās riskiem”), vienota pieeja vēl nav. Atšķirīga bāzes vienādojumu izvēle saistīta ar datu kopās iekļauto vecumu diapazonu atšķirību. Šajā pētījumā, kur paraugkopā meža elementu vecums ir no 10 līdz pat vairāk nekā 200 gadiem, par piemērotāko un statistiski korektāko tika atzīta Hosfeld IV funkcija (kompromisa risinājums visām analīzē iekļautajām sugām), bet “Klimata pārmaiņu ietekme uz mežsaimniecību un tās riskiem”, parastai eglei vecuma diapazonā no 0 līdz 59 gadiem, statistiski korektākā izrādījās Hosfeld funkcija. Mūsu pašreizējais piedāvājums ir balstīt augšanas gaitas modelēšanu ar vienu vienādojumu, kas varētu atvieglot augšanas gaitas prognožu sistēmas izstrādi. Ir pētījumi, kuros norādīts, ka dažādām sugām (vai pat vienai sugai atšķirīgos reģionos) augšanas gaitu aproksimācijai tiek piedāvāti dažādi vienādojumi (piem. Krumland & Eng, 2005). Vienādojumu salīdzinājums būs nākamā posma uzdevums. LVM varētu būtisks arī lēmums par klimata izmaiņu scenārija iekļaušanu modelējot mežaudžu augšanu.

### 2.2.1.2. Rezultāti

Papildinot datus ar 2023. gada mērījumiem un rezultātiem aproksimētas jaunas koeficientu vērtības iepriekš izstrādātajiem augšanas gaitas vienādojumiem meža elementa vidējā augstuma izmaiņu prognozēšanai. Aproksimētas atsevišķas koeficientu vērtības kokaudzes 1. un 2. stāva priežu, egļu, bērzu, melnalkšņu, apšu, baltalkšņu, platlapju (ozolu, ošu, liepu, gobu, vīksnu, skābaržu, dižskābaržu, kļavu) un citu lapu koku meža elementa vidējā augstuma izmaiņu prognozēšanai (2.2.1. un 2.2.2. tabulas).

**2.2.1. tabula. Kokaudzes 1. stāva meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) 2024. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji**

Suga	Koeficients	Vērtība	Standart- klūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
Priede	b1	1,32287	0,01631	1,29024	1,35549
	b2	-106,72609	0,21331	-107,15292	-106,29927
	b3	49,73102	0,45209	48,82639	50,63566
Egle	b1	1,45078	0,01434	1,42209	1,47948
	b2	-185,91944	0,27443	-186,46857	-185,37032
	b3	78,14476	0,67152	76,80105	79,48847
Bērzs	b1	1,38042	0,01521	1,34999	1,41085
	b2	-49,13206	14,02115	-77,18832	-21,07579
	b3	19,43458	5,16934	9,09076	29,77841
Melnalksnis	b1	1,31729	0,03154	1,25419	1,38040
	b2	-52,91895	0,15200	-53,22310	-52,61480
	b3	19,76308	0,36102	19,04067	20,48548
Apse	b1	1,44041	0,02527	1,38985	1,49096
	b2	-93,87141	1540,98257	-3177,37041	2989,62760
	b3	40,56592	635,44673	-1230,96005	1312,09189
Baltalksnis	b1	1,33262	0,02976	1,27307	1,39216
	b2	-306,36267	31,73366	-369,86158	-242,86376
	b3	83,79124	8,75882	66,26488	101,31760
Ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava	b1	1,12666	0,03751	1,05160	1,20173
	b2	-61,81173	0,29262	-62,39725	-61,22620
	b3	26,47032	0,47326	25,52333	27,41732
Citi lapu koki	b1	1,33153	0,05996	1,21155	1,45150
	b2	-16,49895	32,50123	-81,53376	48,53585
	b3	4,96118	8,84526	-12,73815	22,66050

**2.2.2. tabula. Kokaudzes 2. stāva meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) 2024. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji**

Suga	Koeficients	Vērtība	Standart- klūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
Priede	b1	1,07917	0,05712	0,96486	1,19347
	b2	-1,99682	2,72305	-7,44563	3,45198
	b3	0,90483	0,65571	-0,40724	2,21690
Egle	b1	1,05621	0,01601	1,02417	1,08825
	b2	-51,08779	0,31468	-51,71746	-50,45811
	b3	23,59809	0,60655	22,38438	24,81180
Bērzs	b1	0,73126	0,02359	0,68405	0,77846
	b2	-53,33217	0,24172	-53,81584	-52,84850
	b3	16,47836	0,76944	14,93871	18,01802
Melnalksnis	b1	1,03046	0,07011	0,89017	1,17075
	b2	-1,36666	3,06200	-7,49371	4,76040
	b3	0,63631	0,77837	-0,92119	2,19382

Suga	Koeficients	Vērtība	Standart- klūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
Apse	b1	0,97345	0,08857	0,79622	1,15068
	b2	-56,21326	2189,98108	-4438,35528	4325,92876
	b3	14,39629	494,36873	-974,83324	1003,62583
Baltalksnis	b1	0,98579	0,07559	0,83454	1,13705
	b2	-4,13532	543,70457	-1092,08566	1083,81501
	b3	1,01682	119,39816	-237,89834	239,93198
Ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava	b1	0,94425	0,02982	0,88459	1,00391
	b2	-52,62559	0,58210	-53,79038	-51,46080
	b3	21,71522	1,38662	18,94060	24,48984
Citi lapu koki	b1	0,88202	0,05489	0,77219	0,99186
	b2	-55,12733	1575,52526	-3207,74609	3097,49144
	b3	13,63398	376,31091	-739,36241	766,63037

Ar 2024. gadā aproksimētajām vērtībām meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas vienādojumi precīzi raksturo vidējā augstuma izmaiņas piecu gadu laikā. Lai statistiski raksturotu vienādojumu, salīdzināts uzmērītais un prognozētais augstums piecu gadu perioda beigās un šajā laika posmā uzmērītais un prognozētais vidējais augstuma pieaugums. Vienādojumu kalibrācija veikta uz vienādojumu izstrādē izmantotajiem datiem. Vienādojuma statistiskie rādītāji ar 2024. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām ir augsti un tuvi to ideālajām vērtībām. Piemēram, prognozētā augstuma pieauguma vidējā novirze gan I stāva, gan II stāva elementiem nepārsniedz 4 cm, kas lielākā daļā gadījumu ir mazāk kā 3% no to vidējās uzmērītās vērtības (2.2.3. un 2.2.4. tabulas).

**2.2.3. tabula. Vidējā augstuma augšanas gaitas vienādojuma (2.1. formula) statistiskie rādītāji ar 2024. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām I stāva meža elementiem**

Rādītājs	Suga	VID	MRES	MRES <sup>^</sup>	AMRES	RMSE	RMSE <sup>^</sup>	MSE	VR	R <sup>2</sup>
Z <sub>H</sub> <sup>VP</sup>	P	0,23	0,01	2,4	0,08	0,10	45,1	0,01	0,64	0,56
	E	0,32	0,01	2,5	0,11	0,13	40,7	0,02	0,67	0,56
	B	0,32	0,00	0,7	0,12	0,15	46,3	0,02	0,67	0,65
	M	0,29	0,00	0,9	0,10	0,13	44,4	0,02	0,60	0,58
	A	0,45	0,00	0,9	0,13	0,17	37,8	0,03	0,74	0,71
	Ba	0,36	0,00	1,2	0,11	0,14	40,0	0,02	0,67	0,62
	Plat	0,29	-0,01	-3,0	0,11	0,14	47,2	0,02	0,56	0,58
	Citi	0,34	0,00	-0,4	0,13	0,15	44,7	0,02	0,57	0,60
H	P	21,26	0,03	0,13	0,42	0,52	2,46	0,27	1,00	0,99
	E	20,80	0,04	0,20	0,53	0,66	3,18	0,44	1,00	0,99
	B	20,72	0,01	0,05	0,59	0,75	3,62	0,56	0,99	0,98
	M	19,80	0,01	0,06	0,52	0,65	3,30	0,43	0,99	0,98
	A	23,85	0,02	0,08	0,66	0,84	3,54	0,71	1,00	0,99
	Ba	16,31	0,02	0,13	0,56	0,71	4,37	0,51	1,00	0,97
	Plat	19,66	-0,04	-0,22	0,55	0,68	3,46	0,46	1,05	0,99
	Citi	15,48	-0,01	-0,04	0,64	0,76	4,92	0,58	0,97	0,95

Z<sub>H</sub><sup>VP</sup> – piecu gadu vidējais periodiskais augstuma pieaugums, m; H – augstums piecu gadu perioda beigās, m.

P – priede; E – egle; B – bērzs; M – melnalksnis; A – apse; Ba – baltalksnis; Plat – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava; Citi – citi lapu koki.

VID - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES<sup>^</sup> - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE<sup>^</sup> - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā klūda, m; VR - dispersijas attiecība; R<sup>2</sup> - determinācijas koeficients.

**2.2.4. tabula. Vidējā augstuma augšanas gaitas vienādojuma (2.1. formula) statistiskie rādītāji ar 2024. gadā apkošimētajām koeficientu vērtībām II stāva meža elementiem**

Rādītājs	Suga	VID	MRES	MRES <sup>^</sup>	AMRES	RMSE	RMSE <sup>^</sup>	MSE	VR	R <sup>2</sup>
Z <sub>H</sub> <sup>VP</sup>	P	0,12	0,00	2,0	0,07	0,09	80,4	0,01	0,45	0,42
	E	0,20	0,01	3,1	0,11	0,14	69,3	0,02	0,30	0,21
	B	0,17	0,00	1,6	0,12	0,15	86,0	0,02	0,19	0,15
	M	0,19	0,00	0,8	0,11	0,13	70,8	0,02	0,38	0,36
	A	0,29	0,00	-0,1	0,14	0,18	62,1	0,03	0,33	0,32
	Ba	0,20	0,00	0,7	0,12	0,15	74,5	0,02	0,30	0,28
	Plat	0,26	0,01	2,0	0,12	0,15	58,3	0,02	0,33	0,26
	Citi	0,19	0,00	0,4	0,10	0,12	64,4	0,01	0,29	0,28
H	P	9,42	0,01	0,12	0,37	0,47	4,99	0,22	0,99	0,99
	E	10,88	0,03	0,29	0,57	0,71	6,52	0,50	0,98	0,98
	B	11,39	0,01	0,12	0,58	0,74	6,50	0,55	0,98	0,97
	M	12,10	0,01	0,07	0,54	0,67	5,55	0,45	0,98	0,98
	A	11,65	0,00	-0,01	0,72	0,89	7,65	0,79	0,96	0,96
	Ba	11,38	0,01	0,06	0,61	0,74	6,52	0,55	0,97	0,97
	Plat	12,94	0,03	0,20	0,62	0,76	5,87	0,58	0,98	0,97
	Citi	11,99	0,00	0,03	0,51	0,61	5,09	0,37	0,98	0,96

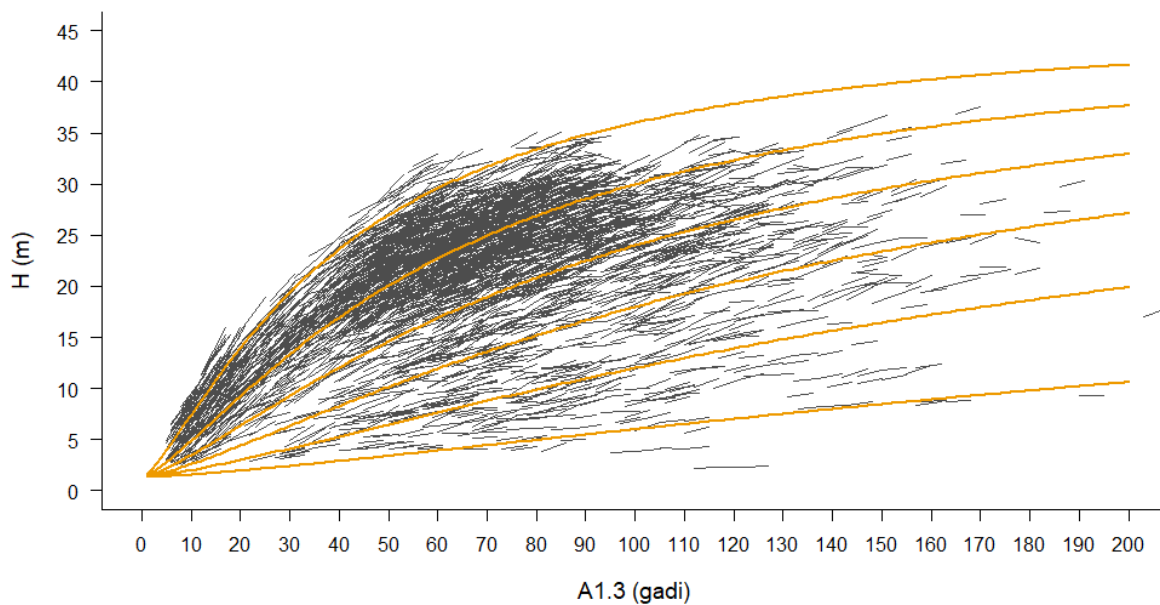
Z<sub>H</sub><sup>VP</sup> – piecu gadu vidējais periodiskais augstuma pieaugums, m; H – augstums piecu gadu perioda beigās, m.

P – priede; E – egle; B – bērzs; M – melnalksnis; A – apse; Ba – baltalksnis; Plat – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava; Citi – citi lapu koki.

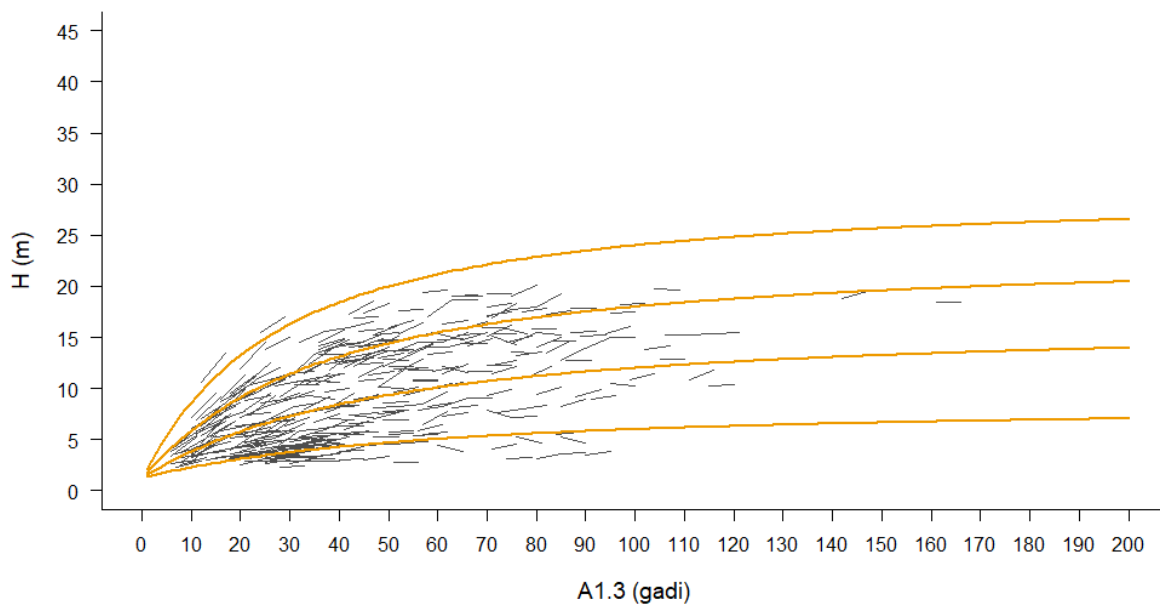
VID - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES<sup>^</sup> - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE<sup>^</sup> - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; VR - dispersijas attiecība; R<sup>2</sup> - determinācijas koeficients.

Vidējā augstuma augšanas gaitas modeļi ar 2024. gadā apkošimētajām koeficientu vērtībām prognozē bioloģiski loģiskas augstuma izmaiņas visām sugām jeb sugu grupām pie dažādām bonitātēm jeb augstumiem bāzes vecumā. Pie tam augstuma izmaiņas bioloģiski loģiskas tiek modelētas arī ārpus modeļu izstrādē iekļauto datu vērtību (vecums un augstums) diapazona (2.2.1. – 2.2.8. attēli).

a)



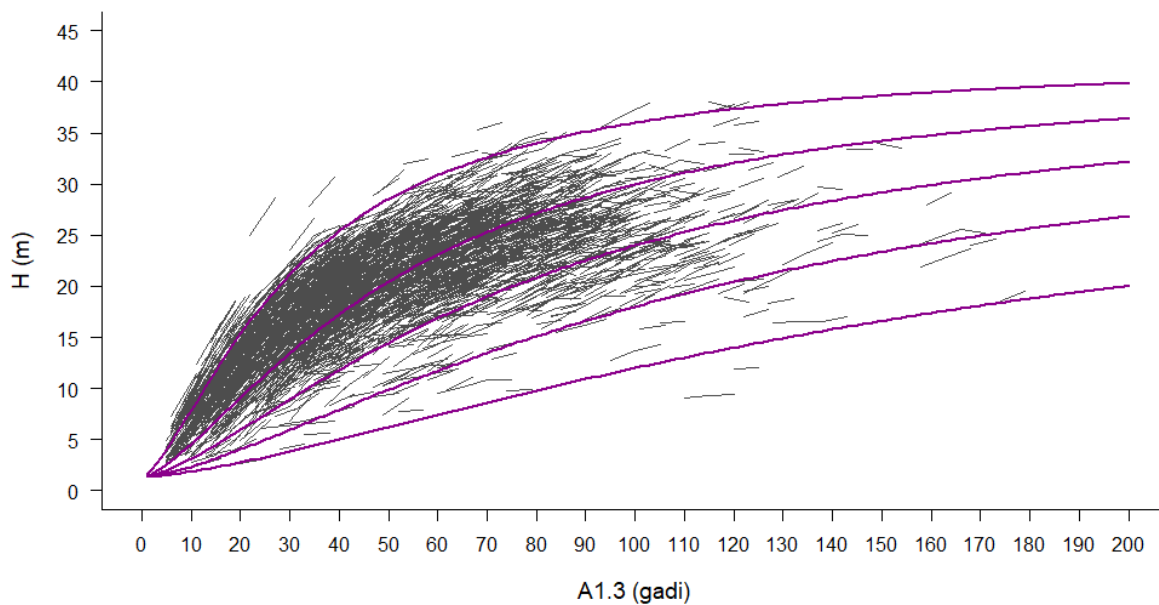
b)



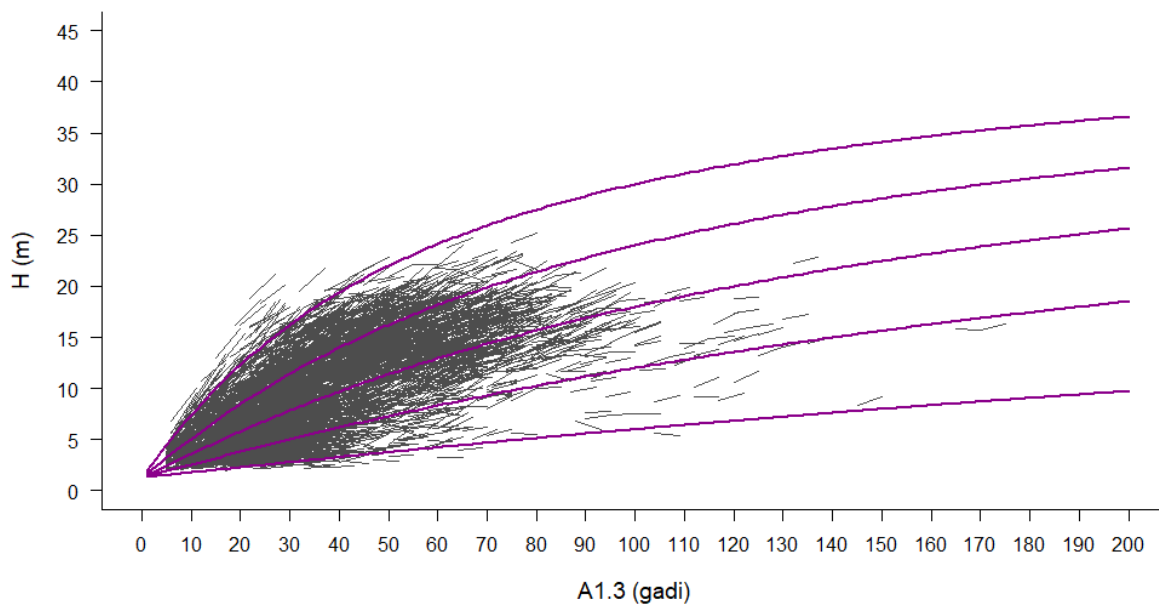
**2.2.1. attēls. Priedes uzmērītās vidējā augstuma ( $H$ ) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ( $A1.3$ ) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi:**

a) I stāvs ( $H_{100} = 36; 30; 24; 18; 12; 6$  m); b) II stāvs ( $H_{100} = 24; 18; 12; 6$  m).

a)



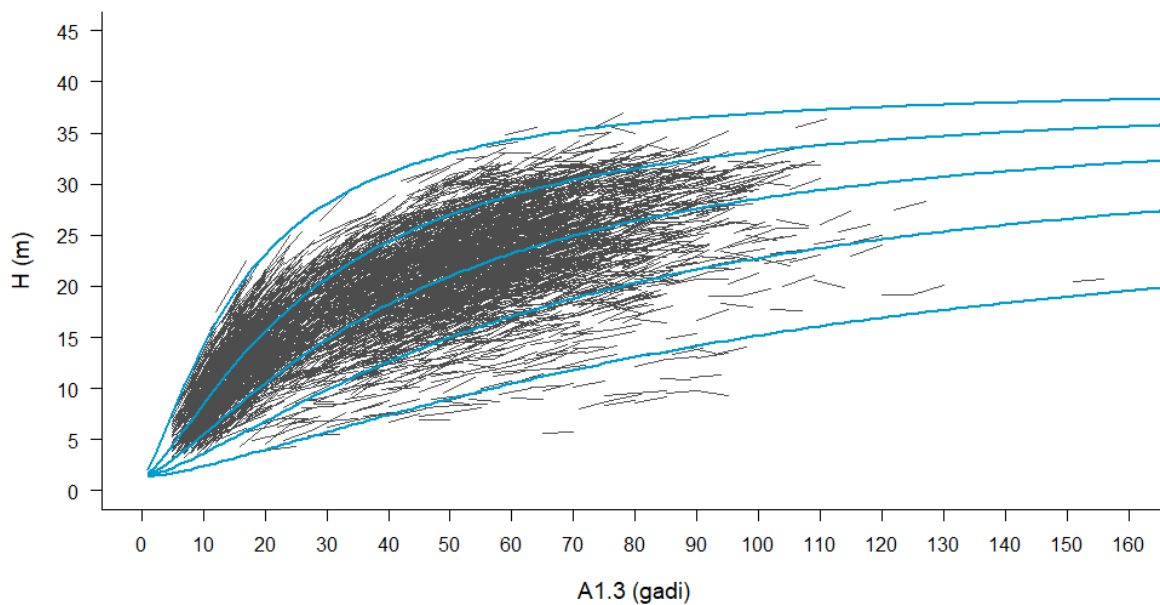
b)



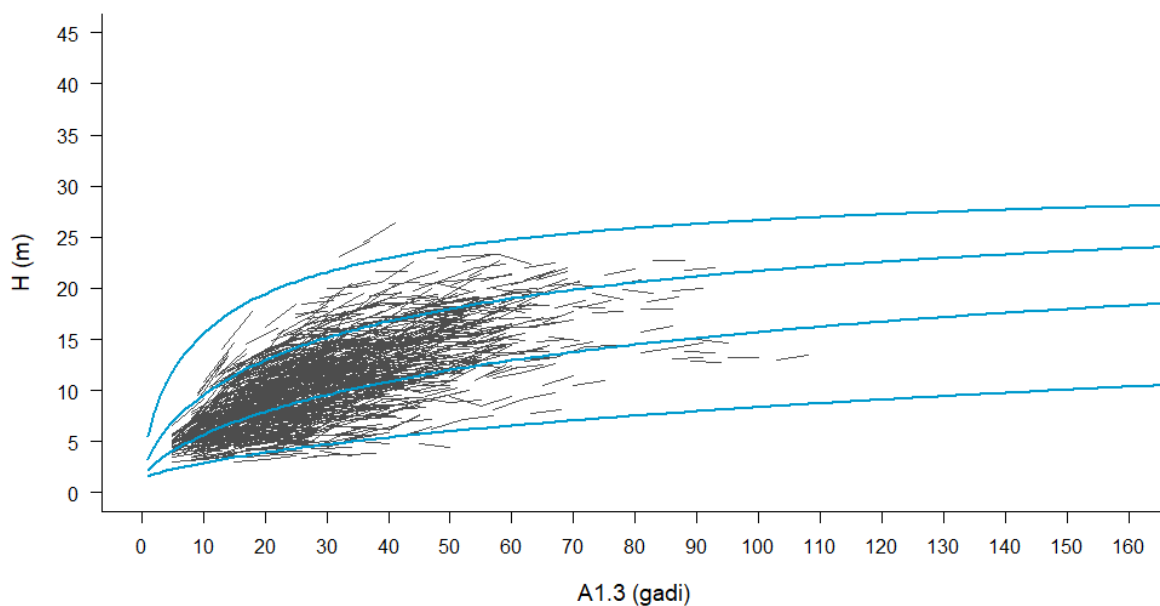
**2.2.2. attēls. Egles 1. stāva uzņēmētās vidējā augstuma ( $H$ ) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ( $A_{1.3}$ ) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi:**

a) I stāvs ( $H_{100} = 36; 30; 21; 18; 12$  m); b) II stāvs ( $H_{100} = 30; 24; 18; 12; 6$  m).

a)



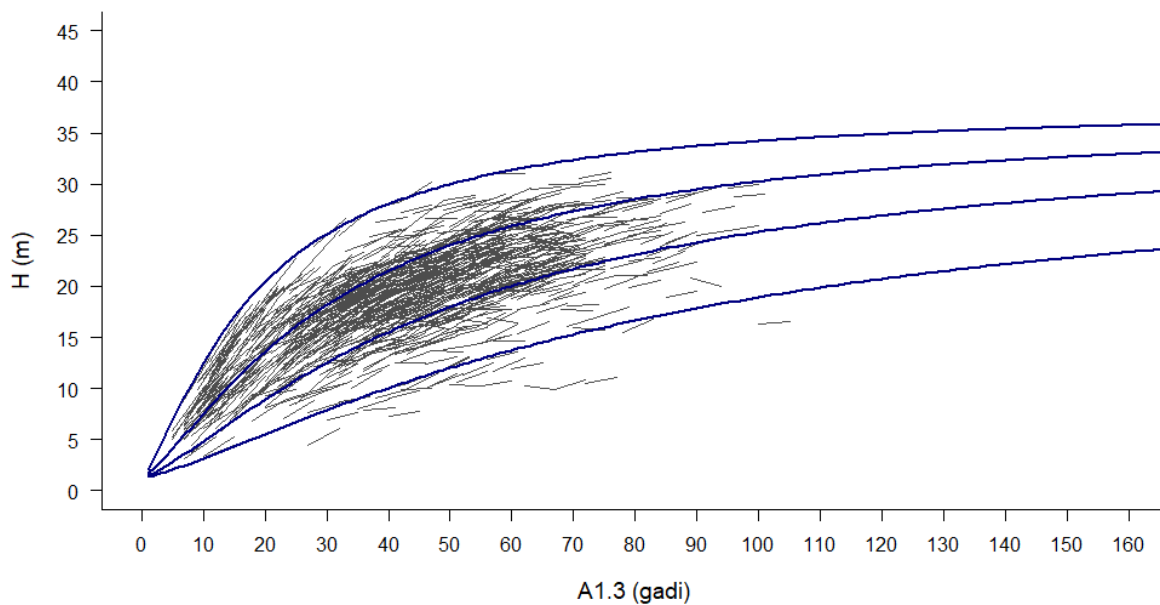
b)



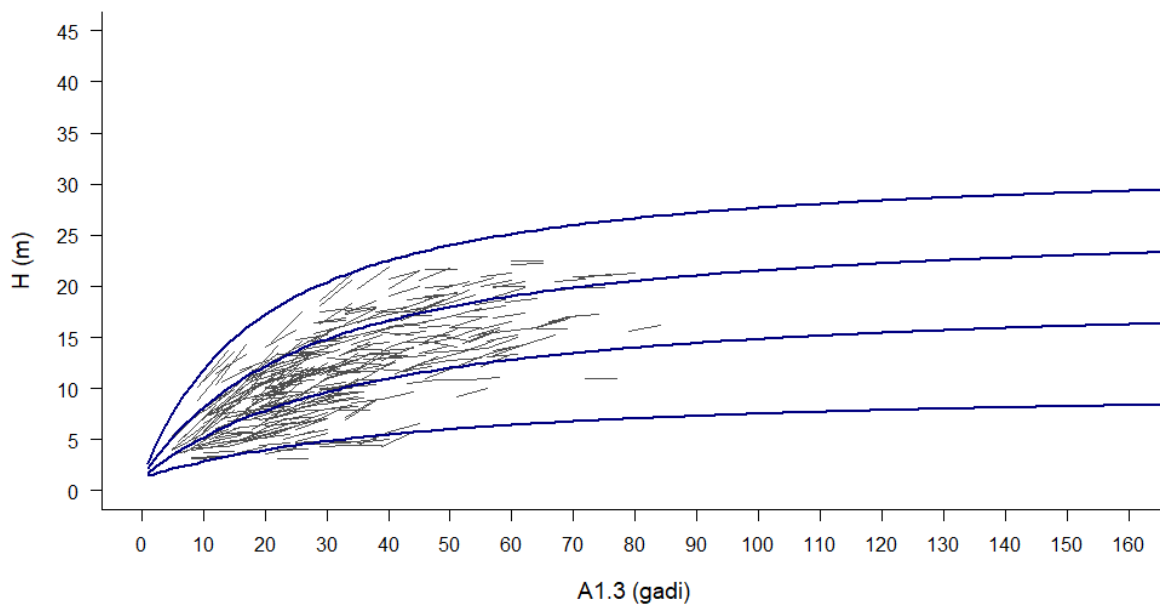
**2.2.3. attēls. Bērza uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi:**

a) I stāvs ( $H_{50} = 33; 27; 21; 15; 9$  m); b) II stāvs ( $H_{50} = 24; 18; 12; 6$  m).

a)



b)

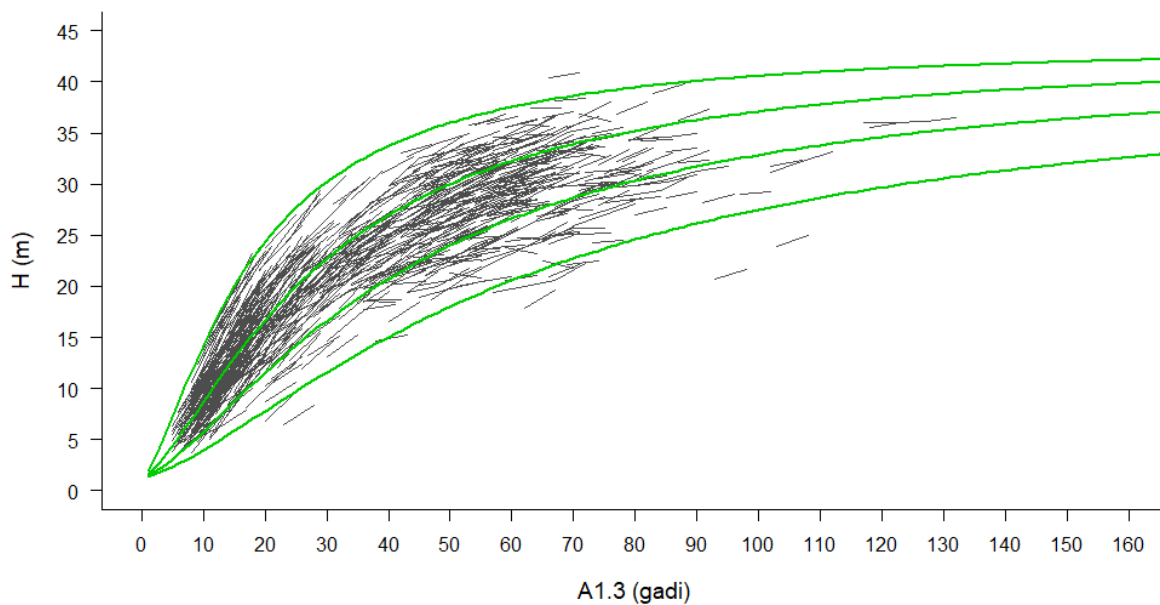


**2.2.4. attēls. Melnalkšņa uzmērītās vidējā augstuma ( $H$ ) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ( $A_{1.3}$ ) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi:**

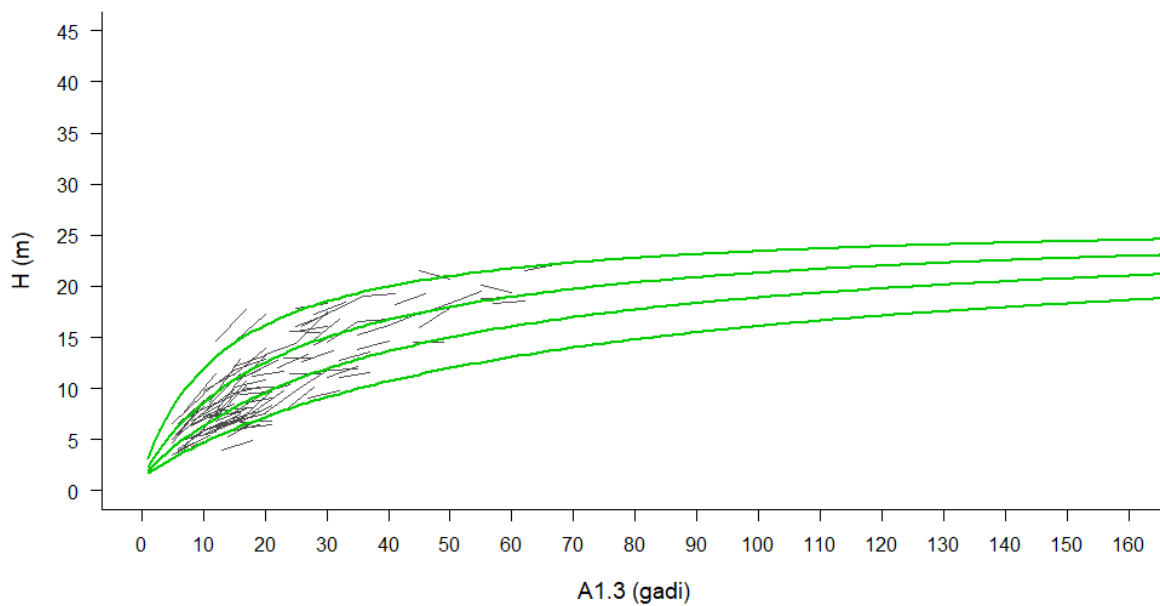
a) I stāvs ( $H_{50} = 30; 24; 18; 12$  m); b) II stāvs ( $H_{50} = 24; 18; 12; 6$  m).



a)



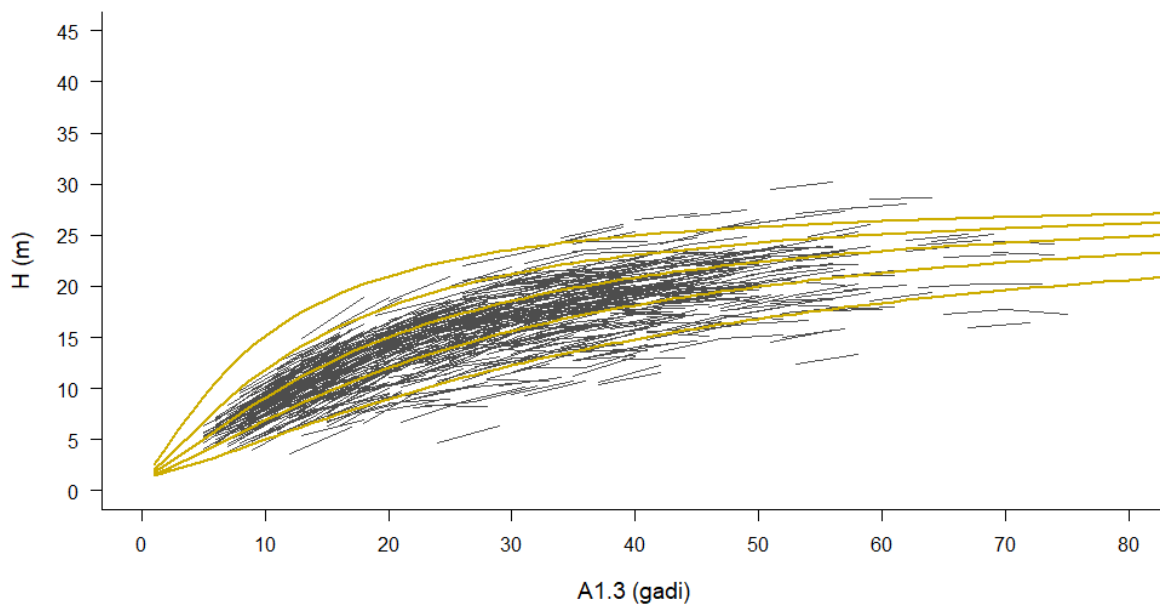
b)



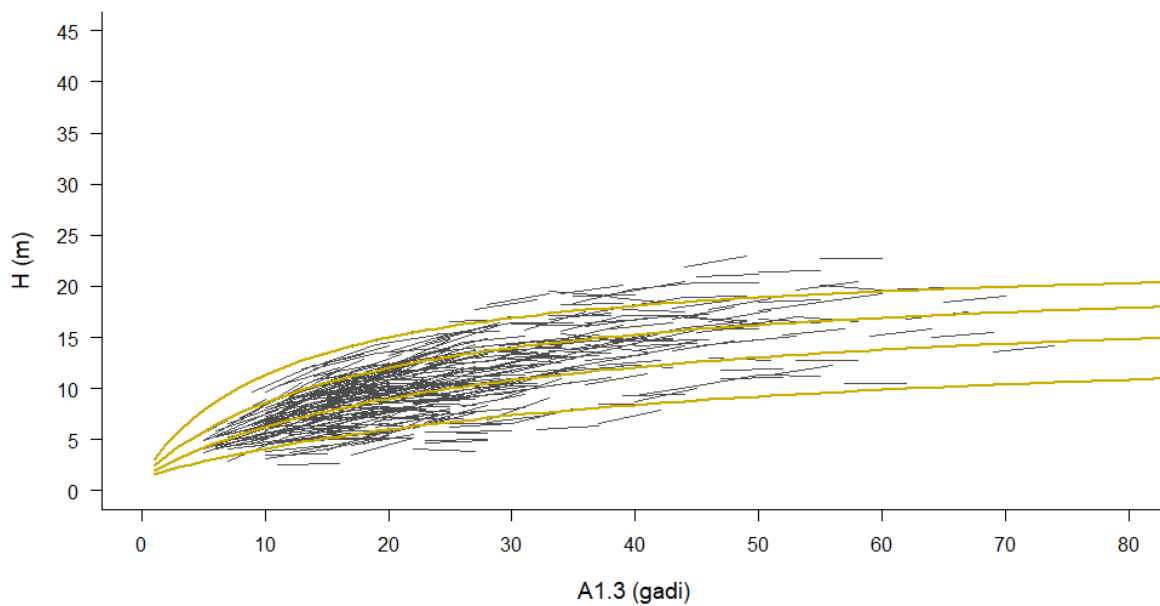
**2.2.5. attēls. Apses uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi:**

a) I stāvs ( $H_{50} = 36; 30; 24; 18$  m); b) II stāvs ( $H_{50} = 21; 18; 15; 12$  m).

a)



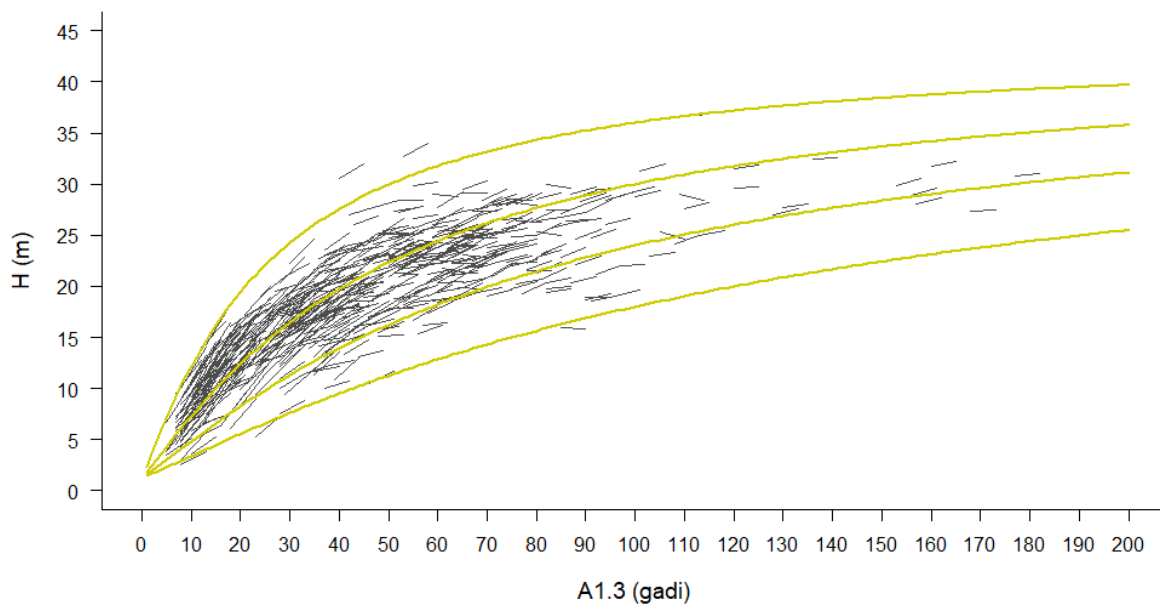
b)



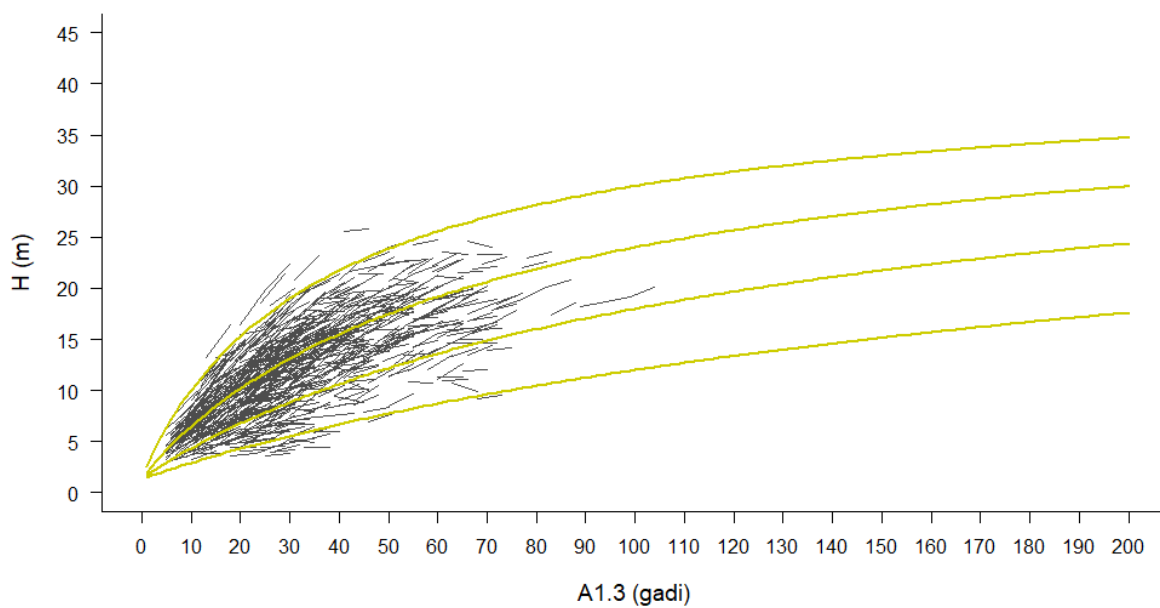
**2.2.6. attēls. Baltalkšņa uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 20 gadi:**

a) I stāvs ( $H_{20} = 21; 18; 15; 12; 9$  m); b) II stāvs ( $H_{20} = 15; 12; 9; 6$  m).

a)



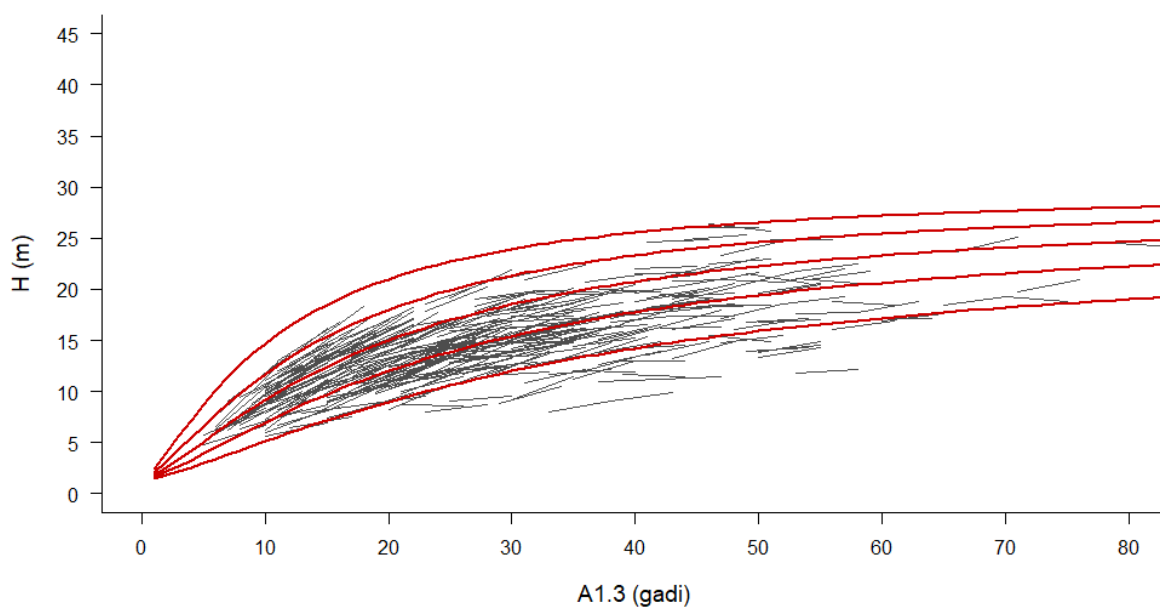
b)



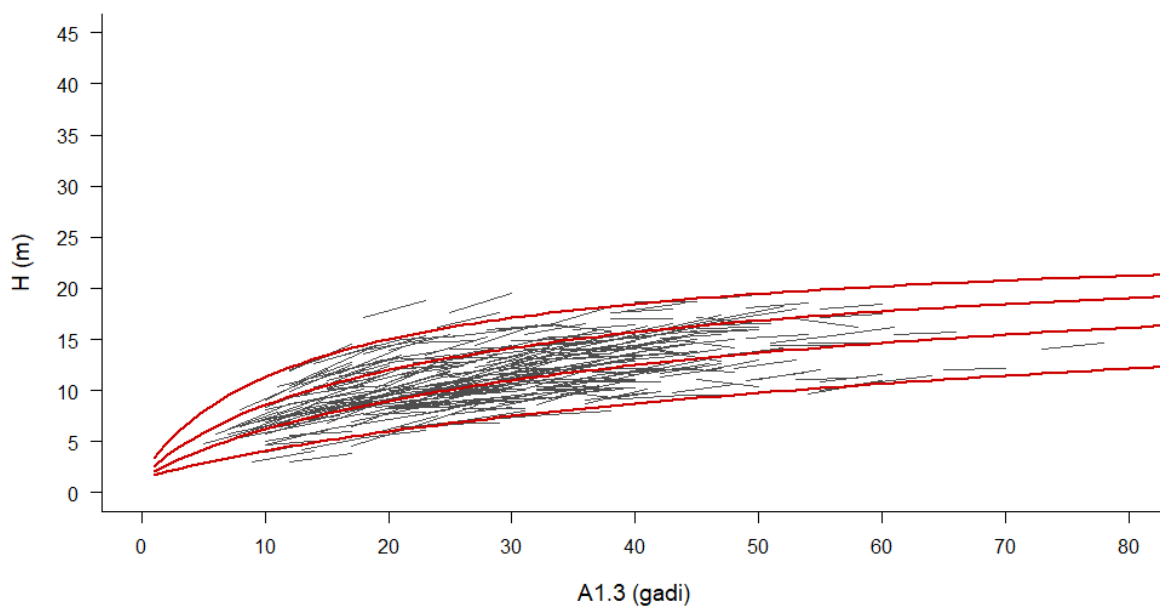
**2.2.7. attēls. Platlapju uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi:**

a) I stāvs ( $H_{100} = 36; 30; 24; 18$  m); b) II stāvs ( $H_{100} = 30; 24; 18; 12$  m).

a)



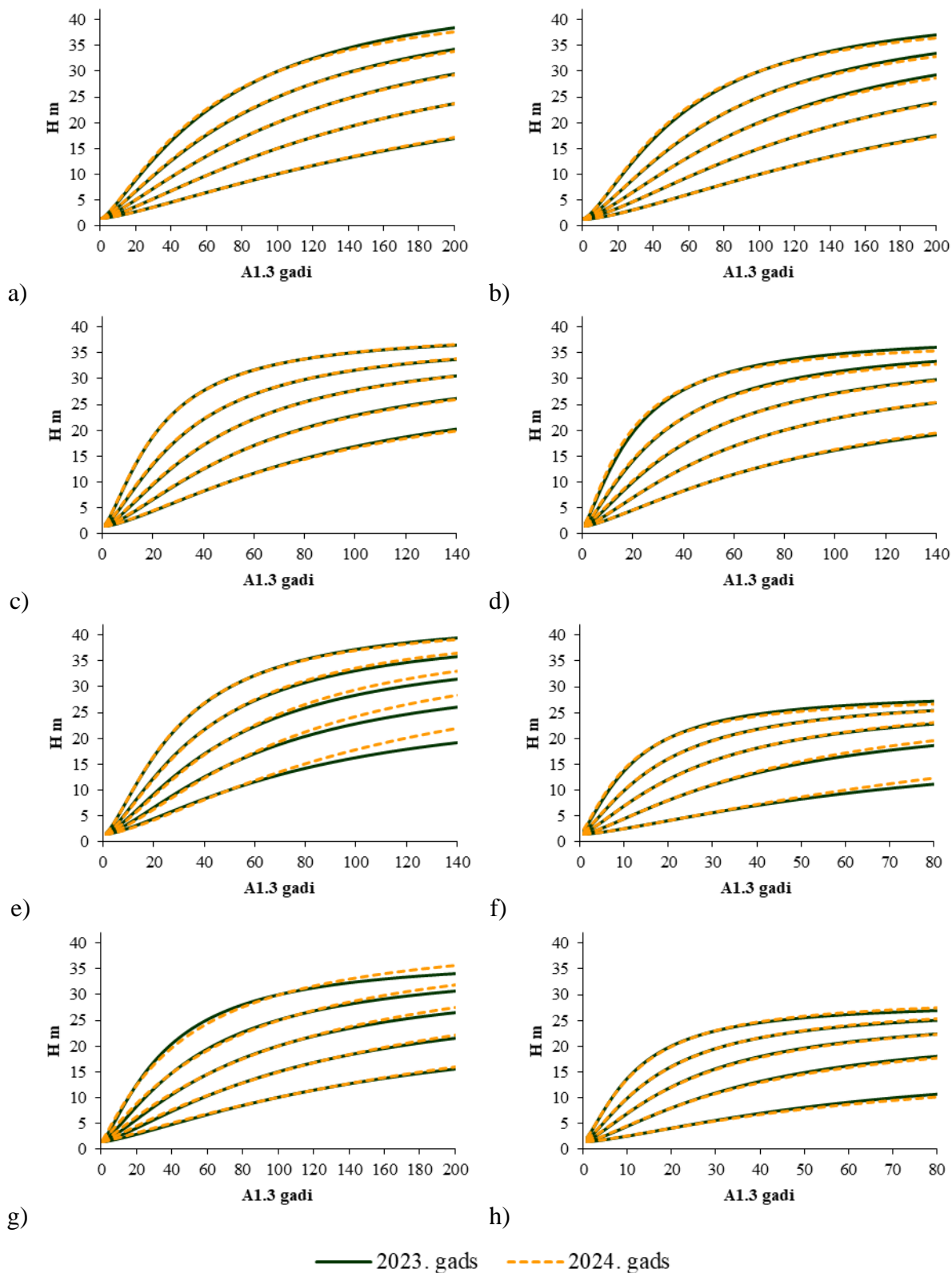
b)



**2.2.8. attēls. Citu lapu koku uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 20 gadi:**

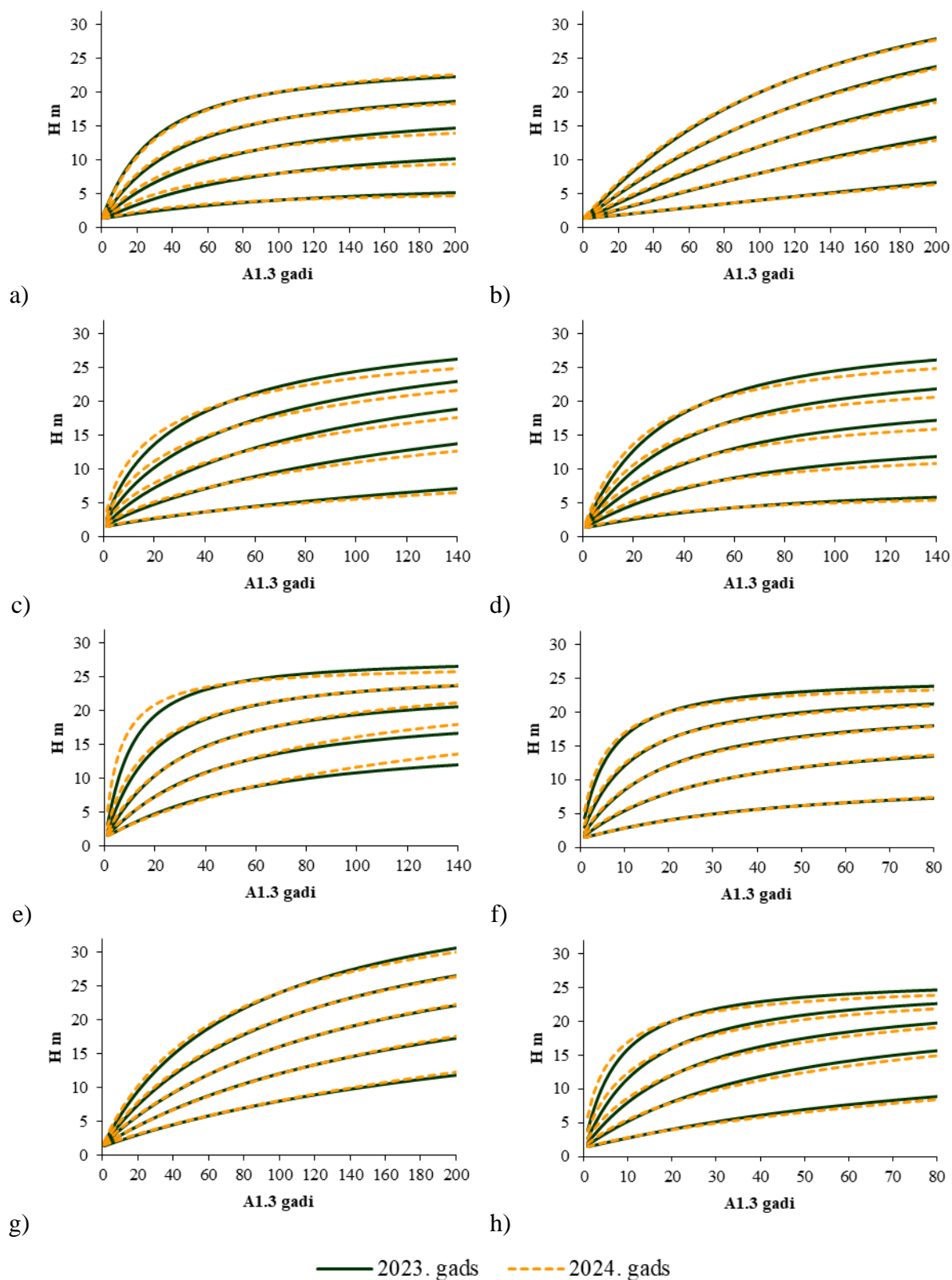
a) I stāvs ( $H_{20} = 18; 15; 12; 9$  m); b) II stāvs ( $H_{20} = 15; 12; 9; 6$  m).

Vidējā augstuma augšanas gaitas modelis ar 2024. gada aproksimētajām koeficientu vērtībām augstuma izmaiņas prognozē līdzīgas, bet pamatā nedaudz piesardzīgākas kā ar 2023. gada aproksimētajām koeficientu vērtībām. Starp abiem gadiem izteiktākas izmaiņas ir apses 1. stāva meža elementiem un bērzu un melnalkšņa 2. stāva meža elementiem, bet pārējiem meža elementiem izmaiņas ir salīdzinoši nelielas (2.2.9. un 2.2.10. attēls).



**2.2.9. attēls. I stāva meža elementu vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) ar 2023. un 2024. gada aproksimētajām koeficientu vērtībām:**

a) priede, b) egļu 1. stāvs, c) bērzs, d) melnalksnis, e) apse, f) baltalksnis, g) platlapji, h) citas lapu koku sugas; bāzes augstumi un vecumi – priede, egļu un platlapji  $A=100$  gadi un  $H_{100} = 10, 15, 20, 25$  un  $30\text{m}$ ; bērzs, melnalksnis un apse  $A=50$  gadi un  $H_{50} = 10, 15, 20, 25$  un  $30\text{m}$ ; baltalksnis un citi lapu koki  $A=20$  gadi un  $H_{20} = 4, 8, 12, 16$  un  $20\text{m}$ .



**2.2.10. attēls. II stāva meža elementu vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) ar 2023. un 2024. gada aproksimētajām koeficientu vērtībām:**

a) priede, b) egļu 1. stāvs, c) bērzs, d) melnalksnis, e) apse, f) baltalksnis, g) platlapji, h) citas lapu koku sugas;  
 bāzes augstumi un vecumi – priede, egļu un platlapji A=100 gadi un  $H_{100} = 8, 12, 16, 20$  un 24 m; bērzs, melnalksnis un apse A=50 gadi un  $H_{50} = 4, 8, 12, 16$  un 20 m; baltalksnis un citi lapu koki A=20 gadi un  $H_{20} = 4, 8, 12, 16$  un 20 m.

Turpmācai meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modelēšanai ieteicams izmantot Hossfeld IV vienādojuma vispārinātās algebriskās diferences pieejas modeli ar 2023. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām.

### 2.1.2.2. Virsaugstums

#### Metodika

Pētījumā par mežaudzes virsaugstumu pieņem 100 uz hektāra vienmērīgi izvietotu resnāko koku aritmētiski vidējo augstumu. Mežaudzes virsaugstuma augšanas gaita modelēta kā atsevišķu virsaugstumam piederošu koku reāli uzmērīto augstumu starpība.

Datu analīzē izmantoja datus par 20271 virsaugstuma kokiem no 4351 MSI parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- 1) koku suga ir priede (7426 koki), egļe (4672), bērzs (4569), apse (1245), melnalksnis (1080), baltalksnis (571), platlapji – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, skābardis un dižskābardis, kļava (448) un citi lapu koki (260);
- 2) visās uzmērīšanas reizēs zināms koka (meža elementa) vecums;
- 3) kokam visās uzmērīšanas reizēs nav konstatēti galotnes bojājumi;
- 4) koks ir virsaugstumam piederošs koks (ir starp 100 uz ha resnākajiem kokiem);
- 5) koks ir pirmajā stāvā un ir valdaudzei (I-III Krafta klase) piederošs koks;
- 6) augstuma izmaiņas ir bioloģiski loģiskas
  - a) koka prognozētais augstums bāzes vecumā (P, E 100 gadi; B, M, A 50 gadi; Ba 20 gadi) starp uzmērīšanas cikliem neatšķiras vairāk kā 20% vai 3 m;
  - b) koka augstuma tekošais vidēji periodiskais pieaugums neatšķiras vairāk kā divas standartnovirzes no tam atbilstošās vecuma desmitgades aritmētiski vidējās vērtības.

Analīzē izmanto visus iespējamus piecu gadu pārmērījuma ciklus, līdz ar to atsevišķs koks var tikt izmantots līdz trim reizēm (I vs II cikls; II vs III cikls, III vs IV cikls). Šādā veidā netiek ņemta vērā autokorelācija, bet vienādojumi tiek izstrādāti uz 5 gadu pārmērījuma datiem, kas saskan uz paredzēto vienas modelēšanas perioda garumu. Pie tik liela datu apjoma un atkārtotu uzmērījumu maza skaita autokorelācija iegūtos rezultātus neizmaina būtiski.

Virsaugstuma augšanas gaitas aproksimācijai izmanto to pašu Hossfeld IV vienādojuma (Кивисте, 1988) vispārinātās algebriskās diferences pieejas modeli (Krumland & Eng, 2005);, ko vidējā augstuma modelēšanai (2.1. formula).

Meža elementa virsaugstuma augšanas gaitas modelēta datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows, izmantojot rīku Non-linear regression un bootstrap funkciju.

Vienādojumu atbilstība izvērtēta izmantojot sekojošus statistiskos rādītājus: vidējā novirze (MRES), procentuālā vidējā novirze (MRES%), vidējā absolūtā novirze (AMRES), standartnovirze (RMSE), variācijas koeficients (RMSE%), vidējā kvadrātiskā kļūda (MSE), modeļa efektivitāte (MEF) un dispersijas attiecība (VR). Šo statistisko rādītāju aprēķināšanas formulas dotas 1. pielikumā.

### 2.2.2.2. Rezultāti

Papildinot datus ar 2023. gada monitoringa mērījumiem un rezultātiem aproksimētas jaunas koeficientu vērtības iepriekš izstrādātajiem augšanas gaitas vienādojumiem meža elementa virsaugstuma izmaiņu prognozēšanai. Aproksimētas atsevišķas koeficientu vērtības priežu, egļu, bērzu, melnalkšņu, apšu, baltalkšņu, platlapju (ozolu, ošu, liepu, gobu, vīksnu, skābaržu, dižskābaržu, kļavu) un citu lapu koku meža elementa virsaugstuma izmaiņu prognozēšanai (2.2.5. tabulas).

**2.2.5. tabula. Meža elementa virsausgustuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) 2023. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji**

Suga	Koeficients	Vērtība	Standart- klūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
Priede	b1	1,14877	0,01163	1,12550	1,17205
	b2	-70,80465	0,17794	-71,16072	-70,44859
	b3	35,05636	0,29292	34,47023	35,64248
Egle	b1	1,34916	0,01137	1,32641	1,37191
	b2	-82,28336	0,17611	-82,63575	-81,93097
	b3	35,66176	0,29137	35,07874	36,24479
Bērzs	b1	1,42470	0,01490	1,39490	1,45451
	b2	-25,16003	3,82414	-32,81211	-17,50794
	b3	10,65842	1,42962	7,79776	13,51909
Melnalksnis	b1	1,24032	0,02226	1,19579	1,28486
	b2	-73,78768	0,16821	-74,12426	-73,45110
	b3	28,34669	0,43349	27,47928	29,21410
Apse	b1	1,44658	0,02271	1,40114	1,49202
	b2	-75,79458	127,72941	-331,38054	179,79137
	b3	34,48798	56,05451	-77,67683	146,65280
Baltalksnis	b1	1,21954	0,03178	1,15596	1,28313
	b2	-83,40096	0,14743	-83,69596	-83,10596
	b3	24,74907	0,48694	23,77470	25,72344
Ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava	b1	1,29233	0,04077	1,21074	1,37392
	b2	-72,34162	0,31428	-72,97049	-71,71275
	b3	30,42670	0,79020	28,84551	32,00789
Citi lapu koki	b1	1,43839	0,11984	1,19860	1,67818
	b2	-33,33047	10179,77414	-20403,01147	20336,35053
	b3	7,79027	2174,60319	-4343,58066	4359,16119

Ar 2024. gadā aproksimētajām vērtībām meža elementa virsausgustuma augšanas gaitas vienādojumi precīzi raksturo virsausgustuma izmaiņas piecu gadu laikā. Lai statistiski raksturotu vienādojumu, salīdzināts uzmērītais un prognozētais augstums piecu gadu perioda beigās un šajā laika posmā uzmērītais un prognozētais augstuma pieaugums. Vienādojumu kalibrācija veikta uz vienādojumu izstrādē izmantotajiem datiem. Vienādojuma statistiskie rādītāji ar 2024. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām ir augsti un tuvi to ideālajām vērtībām. Piemēram, prognozētā augstuma pieauguma vidējā nepārsniedz 1 cm, kas lielākā daļā gadījumu ir mazāk kā 3% no to vidējās uzmērītās vērtības (2.2.6. tabula).

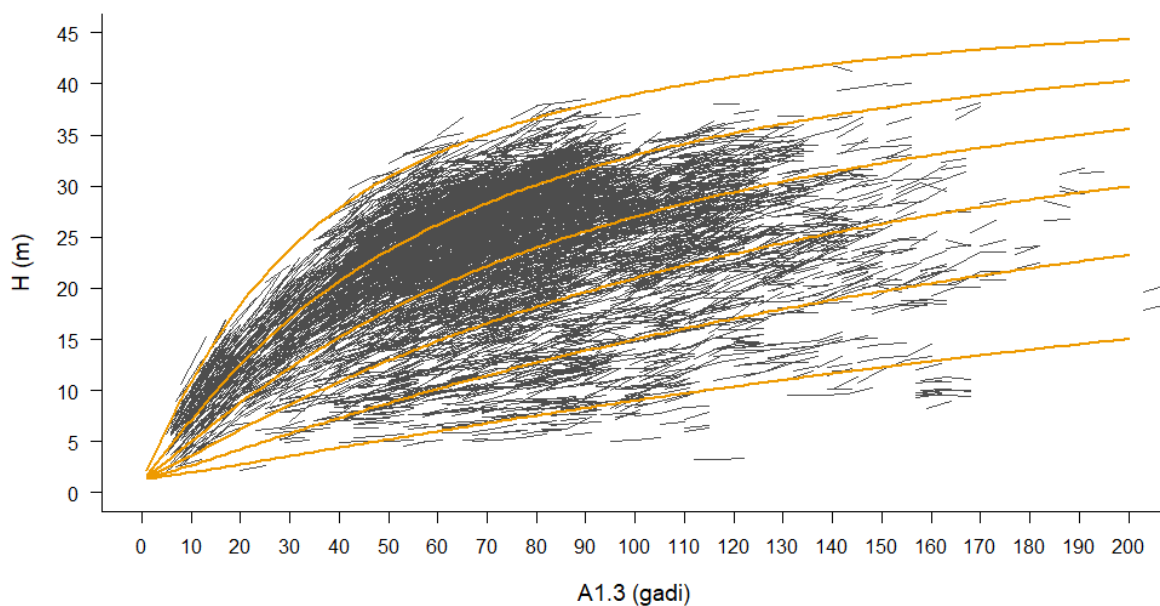


**2.2.6. tabula. Meža elementa virsausgustuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) prognozētā ikgadējā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji ar 2024. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām**

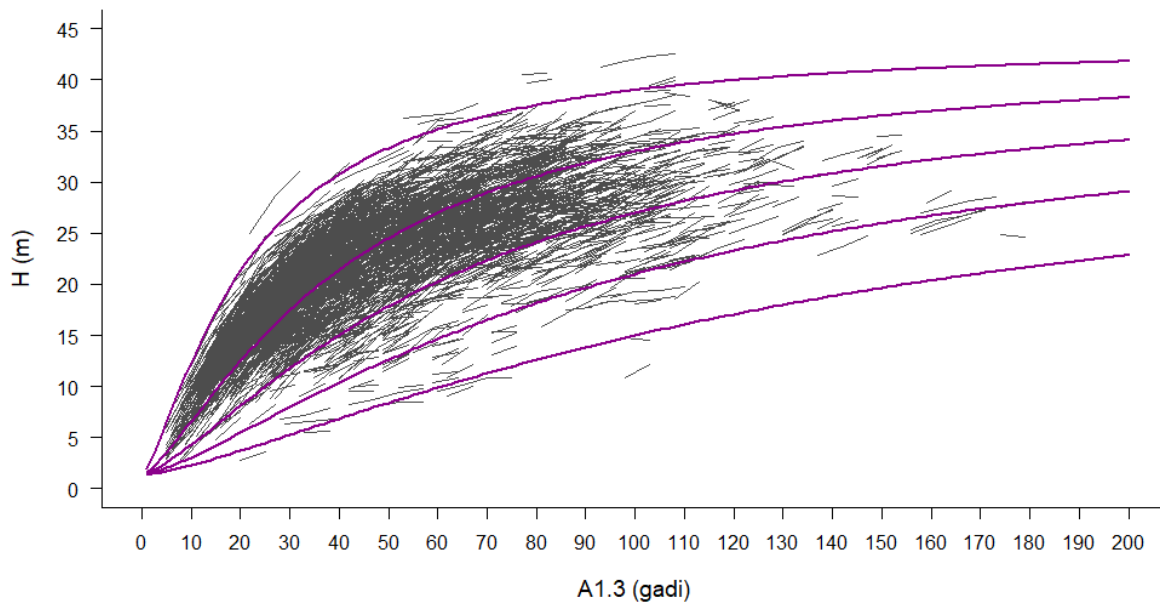
Rādītājs	Suga	Vid	MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	VR	R2	N
Z <sub>Hvp</sub>	Priede	0,20	0,00	1,4	0,09	0,12	57,3	0,01	0,47	0,43	0,20
	Egle	0,32	0,01	2,8	0,11	0,14	42,7	0,02	0,67	0,56	0,32
	Bērzs	0,30	0,00	0,4	0,11	0,13	45,2	0,02	0,71	0,70	0,30
	Melnalksnis	0,28	0,00	0,6	0,10	0,12	43,8	0,02	0,61	0,60	0,28
	Apse	0,36	0,00	0,3	0,11	0,14	38,1	0,02	0,77	0,77	0,36
	Baltalksnis	0,33	0,00	1,5	0,12	0,14	42,0	0,02	0,68	0,61	0,33
	Platlapji	0,25	0,01	3,4	0,11	0,13	50,9	0,02	0,61	0,51	0,25
	Citi lapu koki	0,25	0,00	0,5	0,11	0,14	53,4	0,02	0,51	0,49	0,25
H	Priede	23,16	0,01	0,06	0,47	0,58	2,51	0,34	0,99	0,99	23,16
	Egle	23,49	0,05	0,19	0,57	0,69	2,94	0,48	1,00	0,99	23,49
	Bērzs	24,62	0,01	0,02	0,56	0,67	2,74	0,45	0,98	0,98	24,62
	Melnalksnis	21,94	0,01	0,04	0,51	0,62	2,83	0,39	0,99	0,98	21,94
	Apse	28,87	0,00	0,02	0,57	0,68	2,37	0,47	0,99	0,99	28,87
	Baltalksnis	18,50	0,02	0,13	0,58	0,68	3,70	0,47	1,00	0,98	18,50
	Platlapji	23,41	0,04	0,18	0,53	0,63	2,70	0,40	0,99	0,99	23,41
	Citi lapu koki	15,97	0,01	0,04	0,56	0,68	4,23	0,45	0,95	0,96	15,97

Z<sub>Hvp</sub> – vidējais periodiskais virsausgustuma pieaugums, m gadā; H – prognozētais augstums piecu gadu perioda beigās, m.  
 Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; 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; R2 - determinācijas koeficients; N - elementu skaits.

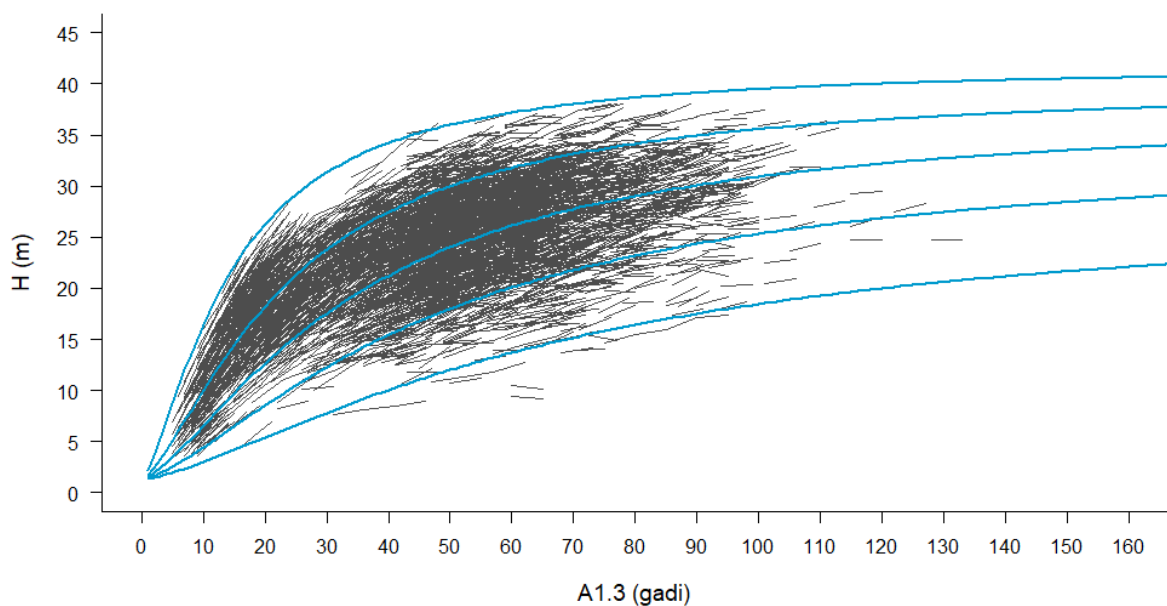
Virsausgustuma augšanas gaitas modeļi ar 2024. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām prognozē bioloģiski korektas augstuma izmaiņas visām sugām jeb sugu grupām pie dažādām bonitātēm jeb augstumiem bāzes vecumā. Pie tam augstuma izmaiņas bioloģiski loģiskas tiek modelētas arī ārpus modeļu izstrādē iekļauto datu vērtību (vecums un augstums) diapazona (2.2.11. – 2.2.18. attēli).



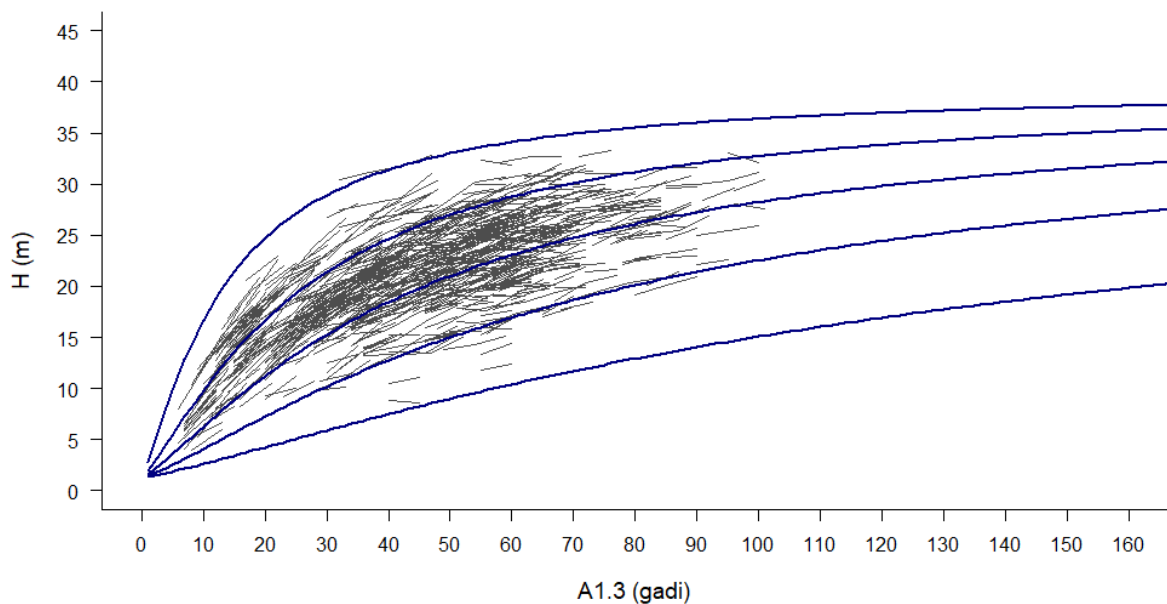
**2.2.11. attēls.** Priedes uzmērītās virsaugstuma ( $H$ ) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ( $A1.3$ ) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ( $H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$  m).



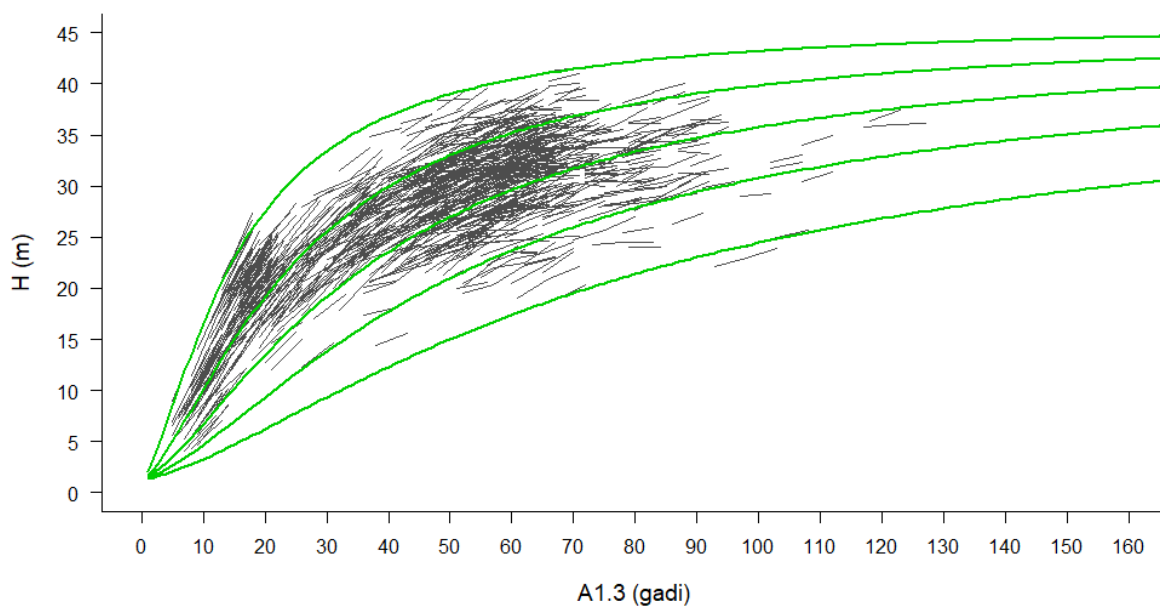
**2.2.12. attēls.** Egles uzmērītās virsaugstuma ( $H$ ) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ( $A1.3$ ) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ( $H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15$  m).



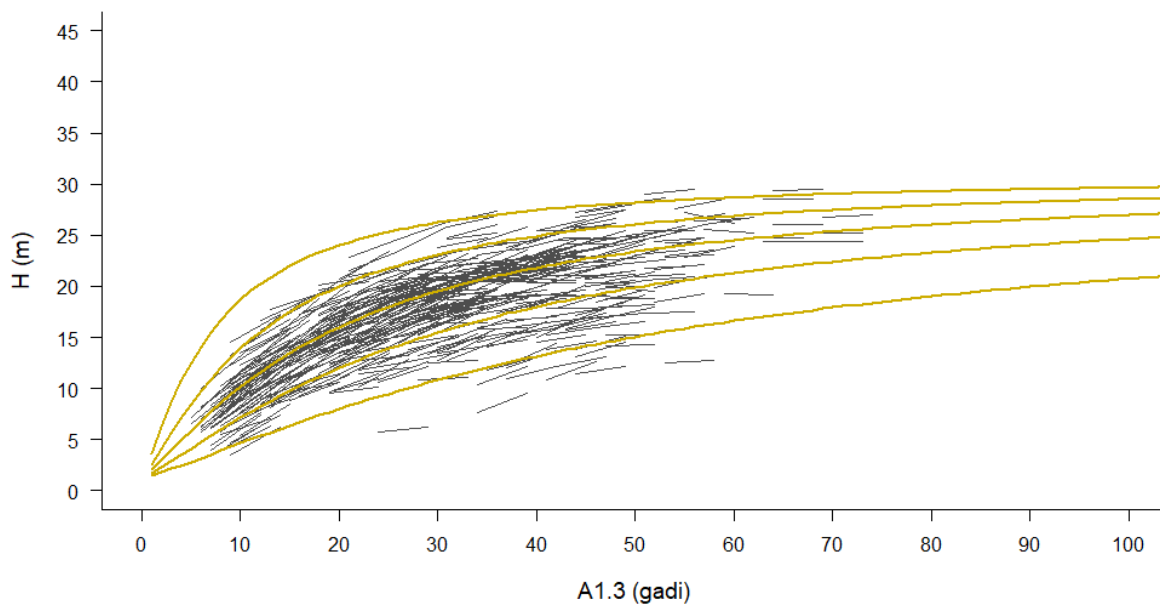
**2.2.13. attēls. Bērza uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ( $H_{50} = 36; 30; 24; 18; 12$  m).**



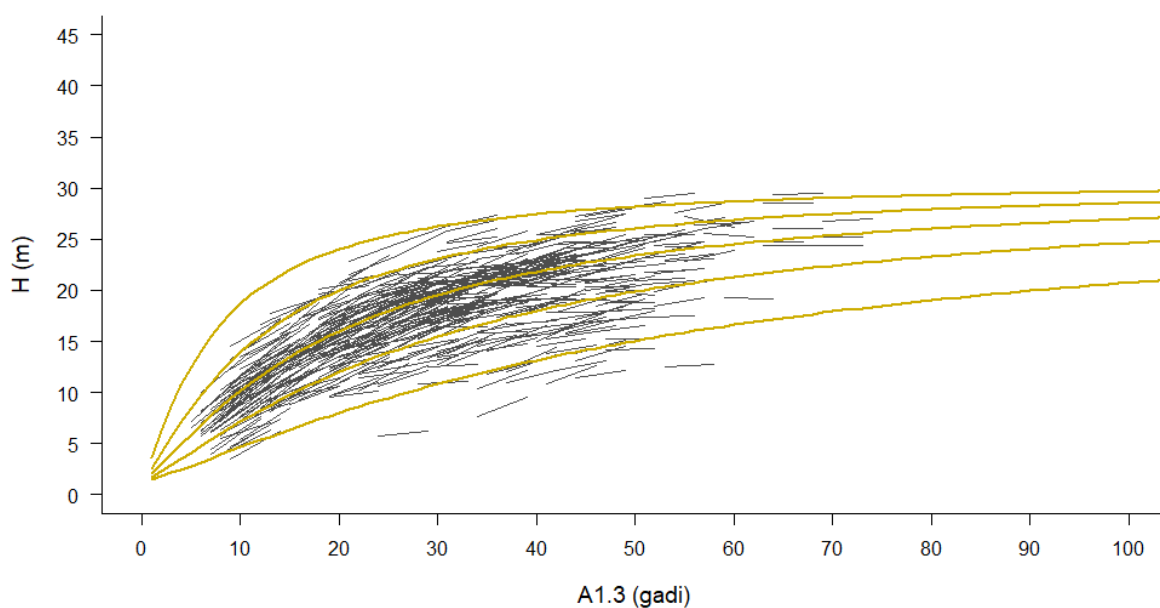
**2.2.14. attēls. Melnalkšņa uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ( $H_{50} = 33; 27; 21; 15; 9$  m).**



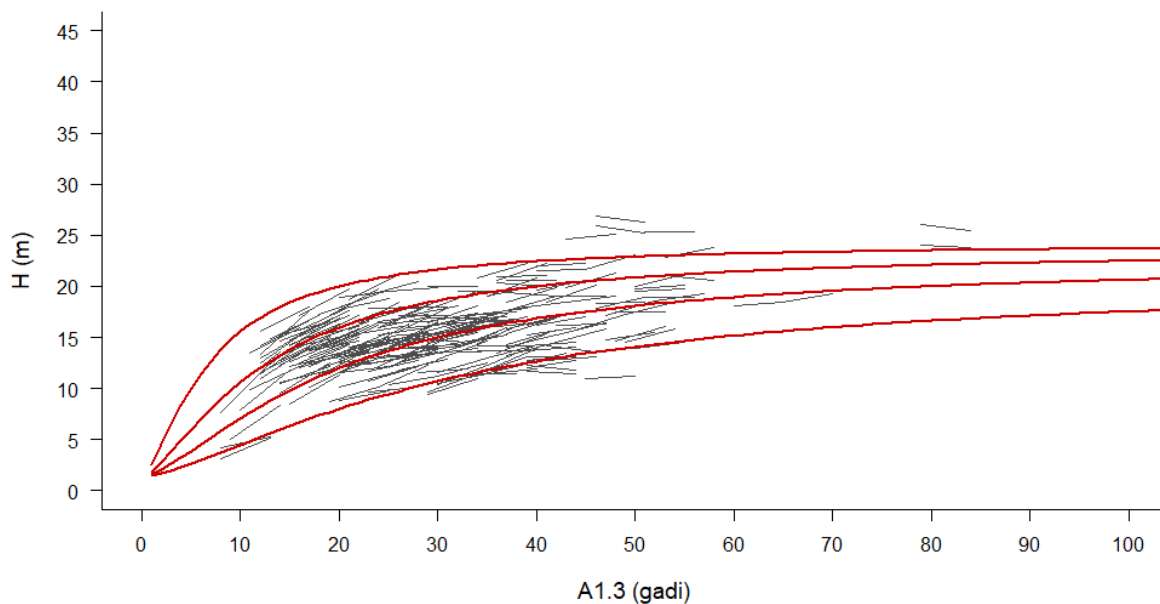
**2.2.15. attēls.** Apes uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ( $H_{50} = 39; 33; 27; 21; 15$  m).



**2.2.16. attēls.** Baltalkšņa uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 20 gadi ( $H_{20} = 24; 20; 16; 12; 8$  m).

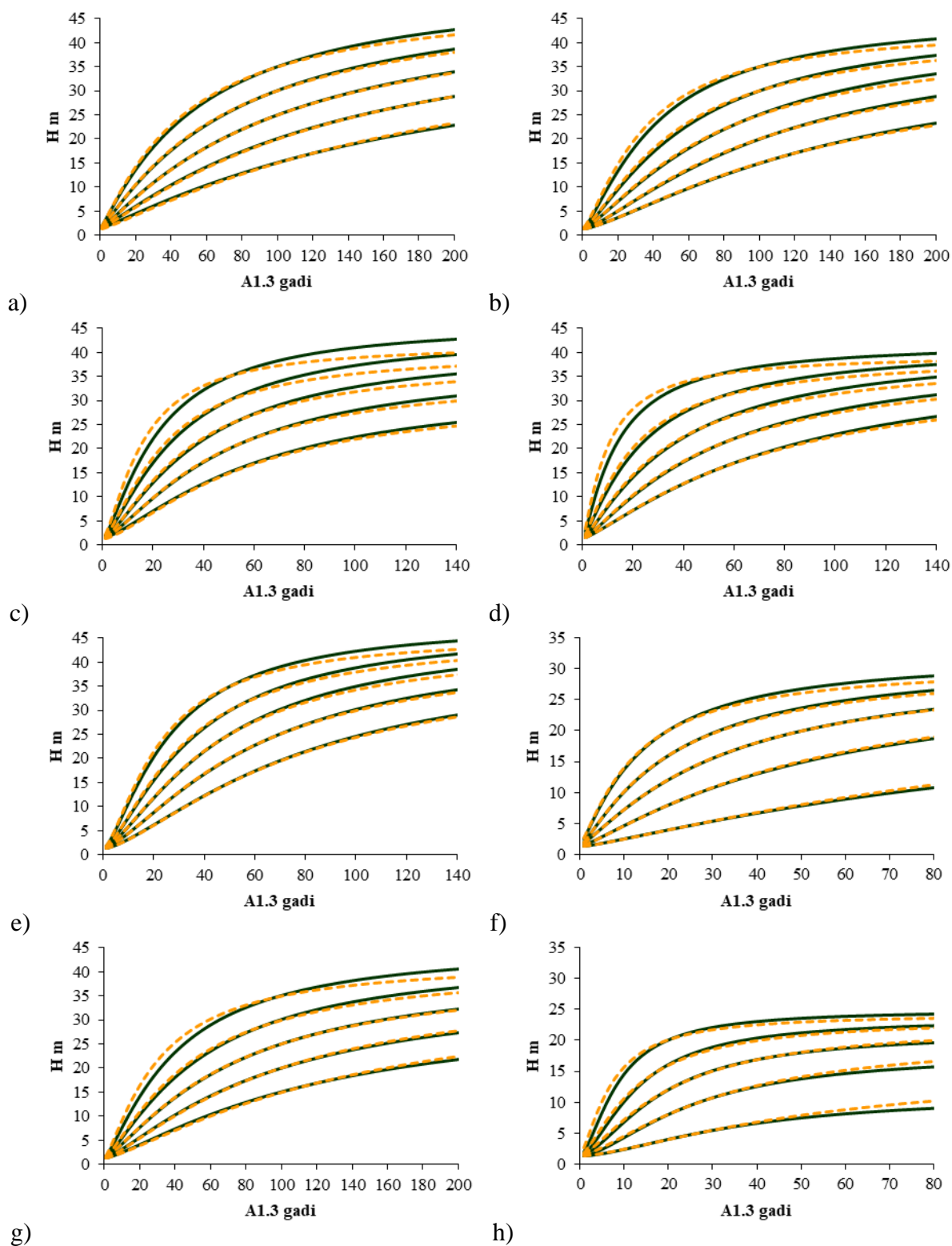


**2.2.17. attēls. Platlapju uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ( $H_{100} = 36; 30; 24; 18; 12$  m).**



**2.2.18. attēls. Citu lapu koku uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 20 gadi ( $H_{20} = 20; 16; 12; 8$  m).**

Virsaugstuma augšanas gaitas modelis ar 2024. gada aproksimētajām koeficientu vērtībām augstuma izmaiņas prognozē līdzīgas, bet pamatā nedaudz piesardzīgākas kā ar 2023. gada aproksimētajām koeficientu vērtībām (2.2.19. attēls).



**2.2.19. attēls. Virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) ar 2023. un 2024. gada aproksimētajām koeficientu vērtībām:**

a) priede, b) egle 1. stāvs, c) bērzs, d) melnalksnis, e) apse, f) baltalksnis, g) platlapji, h) citas lapu koku sugas; bāzes augstumi un vecumi – priede, egle un platlapji  $A=100$  gadi un  $H_{100} = 15, 20, 25, 30$  un  $35$  m; bērzs, melnalksnis un apse  $A=50$  gadi un  $H_{50} = 15, 20, 25, 30$  un  $35$  m; baltalksnis un citi lapu koki  $A=20$  gadi un  $H_{20} = 4, 8, 12, 16$  un  $20$  m.

Turpmākai meža elementa virsaugstuma augšanas gaitas modelēšanai ieteicams izmantot Hossfeld IV vienādojuma vispārinātās algebriskās diferences pieejas modeli ar 2024. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām.

### 2.1.2.3. Vidējais caurmērs

#### Metodika

Meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņu modelēšanai aproksimēti divi iepriekš izstrādāti vienādojumi.

Viens vienādojums balstīts uz vispārinātās algebriskās diferences pieeju. Algebriskās diferences vienādojums ir papildināts vēl ar audzes I stāva biežības rādītāju, kas raksturo koku savstarpējo konkurenci (Donis et al., 2022). Caurmēra augšanas gaitas aproksimācijai pārbaudīts iepriekš izstrādātais Hossfeld IV vienādojuma (Кивисте, 1988) vispārinātās algebriskās diferences pieejas modelis (Krumland & Eng, 2005), kurš modificēts iekļaujot papildus audzes relatīvo biežību kā arī atsevišķā vienādojumā arī koku ciršanas rādītāju:

$$D_2 = \frac{A_2^{b_1}}{b_2 \cdot \frac{N_1}{N_{max}} + 100 \cdot b_3 \cdot X_0 + X_0 \cdot A_2^{b_1}} \quad (2.2a)$$

$$D_2 = \frac{A_2^{b_1}}{b_2 \cdot \frac{N_1}{N_{max}} + 100 \cdot b_3 \cdot X_0 + X_0 \cdot A_2^{b_1}} + b_4 \cdot c_{0-5} \quad (2.2b)$$

$$X_0 = \frac{\frac{A_1^{b_1}}{D_1} - b_2 \cdot \frac{N_1}{N_{max}}}{100 \cdot b_3 + A_1^{a_1}} \quad (2.2.1)$$

$$N_{max} = \sum ip_i \cdot n_{max i} \quad (2.2.2)$$

$$n_{max} = \beta_1 \cdot D_1^{\beta_2} \cdot H_1^{\beta_3} \quad (2.2.3)$$

kur	$D_2$	– meža elementa vidējais caurmērs aktualizācijas perioda beigās, cm;
	$D_1$	– meža elementa vidējais caurmērs aktualizācijas perioda sākumā, cm;
	$A_1$	– meža elementa vecums 1.3 m augstumā aktualizācijas perioda sākumā, gadi;
	$A_2$	– meža elementa vecums 1.3 m augstumā aktualizācijas perioda beigās, gadi;
	$N_1$	– kokaudzes I stāva koku skaits aktualizācijas perioda sākumā, ha <sup>-1</sup> ;
	$c_{0-5}$	– fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta koku ciršana, (nav 0, ir 1);
	$N_{max}$	– kokaudzes I stāva maksimālais koku skaits aktualizācijas perioda sākumā, ha <sup>-1</sup> ;
	$n_{max}$	– atsevišķa I stāva meža elementa maksimālais koku skaits aktualizācijas perioda sākumā, ha <sup>-1</sup> ;
	$ip$	– atsevišķa I stāva meža elementa īpatsvars;
	$H_1$	– meža elementa vidējais augstums aktualizācijas perioda sākumā, m;

- $D'_2$  – meža elementa vidējais caurmērs aktualizācijas perioda beigās, ja audzē veikta krājas kopšanas cirte, cm;  
 Biez – kokaudzes I stāva biežība pēc kopšanas cirtes;  
 Inten – kopšanas cirtē relatīvi nocirstais apjoms;  
 t – modelēšanas perioda garums, gadi;  
 $b_{1-4}; \beta_{1-3}$ ; – koeficienti.

Otrs vienādojums paredzēts vidējā caurmēra koka šķērslaukuma pieauguma modelēšanai nākamo piecu gadu periodam:

$$i_{g5} = \exp(b_0 + b_1 \cdot \ln(A) + b_2 \cdot \ln(D) + b_3 \ln(G) + b_4 \cdot BAL + b_5 \cdot c_{0-5}) \quad (2.3)$$

- kur  $i_{g5}$  – koka nākošo 5 gadu šķērslaukuma pieaugums,  $\text{cm}^2$ ;  
 A – meža elementa krūšaugstuma vecums, gadi  
 D – koka krūšaugstuma caurmērs, cm;  
 G – mežaudzes šķērslaukums,  $\text{m}^2\text{ha}^{-1}$ ;  
 BA – meža elementu šķērslaukuma summa, kas lielāki par konkrēto meža elementu (I stāvam 0, II stāvam I stāva šķērslaukums, paaugai I un II stāva šķērslaukuma summa),  $\text{m}^2\text{ha}^{-1}$ ;  
 $c_{0-5}$  – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta koku ciršana, (nav 0, ir 1);  
 $b_{0-5}$  – koeficienti.

Izmantojot 2.3. formulu, meža elementa nākošā perioda caurmērs aprēķināms ar sekojošu vienādojumu:

$$D_2 = \sqrt{D_1^2 + \frac{4 \cdot i_{g5}}{\pi}} \quad (2.4)$$

- kur  $D_2$  – koka krūšaugstuma caurmērs perioda beigās (pēc 5 gadiem), cm;  
 $i_{g5}$  – koka nākošo 5 gadu šķērslaukuma pieaugums,  $\text{cm}^2$ ;  
 D – koka krūšaugstuma caurmērs perioda sākumā, cm;

Meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra vai tā šķērslaukuma izmaiņas modelētas datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows, izmantojot rīku Non-linear regression un bootstrap funkciju.

Vienādojumu atbilstība izvērtēta izmantojot sekojošus statistiskos rādītājus: vidējā novirze (MRES), procentuālā vidējā novirze (MRES%), vidējā absolūtā novirze (AMRES), standartnovirze (RMSE), variācijas koeficients (RMSE%), vidējā kvadrātiskā kļūda (MSE), modeļa efektivitāte (MEF) un dispersijas attiecība (VR). Šo statistisko rādītāju aprēķināšanas formulas dotas 1. pielikumā.

Analīzē izmantoja datus par 24433 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paaudzes vienā stāvā esošus kokus) no 4279 MSI parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- I stāva meža elementi ir priede (3553 meža elementi), egle (3194), bērzs (4301), apse (955), melnalksnis (1121), baltalksnis (876), platlapji – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, skābardis un dižskābardis, kļava (626) un citi lapu koki (396), un II stāva meža elementi ir priede (429), egle (4911), bērzs (1797), apse (135), melnalksnis (417), baltalksnis (423), platlapji (908) un citi lapu koki (391);



- visās uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums;
- starp inventarizācijas periodā parauglaukumā nav cirsti koki;
- meža elementa aprēķinātais caurmēra tekošais ikgadējais pieaugums neatšķiras vairāk kā divas standartnovirzes no meža elementa vecuma desmitgades aritmētiski vidējā caurmēra tekošā ikgadējā pieauguma.

## Rezultāti

### 2.2.a vienādojums

Papildinot datus ar 2023. gada mērījumiem un rezultātiem aproksimētas jaunas koeficientu vērtības iepriekš izstrādātajiem augšanas gaitas algebriskās diferences vienādojumam (2.2.a formula) meža elementa vidējā caurmēra izmaiņu prognozēšanai. Aproksimētas atsevišķas koeficientu vērtības kokaudzes 1. un 2. stāva priežu, egļu, bērzu, melnalkšņu, apšu, baltalkšņu, platlapju (ozolu, ošu, liepu, gobu, vīksnu, skābaržu, dižskābaržu, kļavu) un citu lapu koku meža elementa vidējā caurmēra izmaiņu prognozēšanai (2.2.7. un 2.2.8. tabulas).

**2.2.7. tabula. I stāva meža elementu vispārinātās algebriskās diferences vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) 2024. gadā aproksimētās koeficientu vērtības**

Suga	Koeficients	Vērtība	Standart- klūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
Priede	b1	0,84514	0,01890	0,80733	0,88296
	b2	-7,19488	4,03786	-15,27462	0,88487
	b3	5,32180	2,73977	-0,16047	10,80407
Egle	b1	1,01844	0,01098	0,99646	1,04042
	b2	-39,56936	0,23576	-40,04112	-39,09759
	b3	21,18969	0,33683	20,51570	21,86368
Bērzs	b1	1,17215	0,01349	1,14516	1,19915
	b2	-3,29764	0,29738	-3,89269	-2,70259
	b3	1,91194	0,09452	1,72280	2,10108
Melnalksnis	b1	1,02238	0,02772	0,96691	1,07785
	b2	-8,83834	6,60069	-22,04629	4,36961
	b3	3,85736	2,47703	-1,09916	8,81389
Apse	b1	1,22772	0,01968	1,18833	1,26711
	b2	-4,33569	0,97337	-6,28341	-2,38798
	b3	5,39343	0,67762	4,03751	6,74934
Baltalksnis	b1	1,05209	0,03219	0,98768	1,11649
	b2	-2,17034	0,39030	-2,95132	-1,38935
	b3	0,76081	0,07928	0,60217	0,91945
Ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis	b1	1,08209	0,02157	1,03892	1,12525
	b2	-13,22267	12,44268	-38,12041	11,67508
	b3	7,41092	6,13915	-4,87350	19,69534
Citi lapu koki	b1	1,22229	0,03718	1,14789	1,29668
	b2	-2,25036	0,39187	-3,03450	-1,46623
	b3	1,18439	0,11156	0,96116	1,40762

**2.2.8. tabula. II stāva meža elementu vispārinātās algebriskās diferences vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) 2024. gadā aproksimētās koeficientu vērtības**

Suga	Koeficients	Vērtība	Standart- klūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
Priede	b1	0,82918	0,07949	0,67012	0,98824
	b2	-1,09972	0,38050	-1,86109	-0,33834
	b3	0,28642	0,05640	0,17356	0,39929
Egle	b1	0,78883	0,00974	0,76934	0,80831

Suga	Koeficients	Vērtība	Standart- klūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
	b2	-31,38884	1,93204	-35,25484	-27,52284
	b3	31,48505	2,07059	27,34182	35,62828
	b1	0,43362	0,01412	0,40535	0,46188
Bērzs	b2	-74,11911	0,31151	-74,74243	-73,49579
	b3	16,52819	1,37142	13,78397	19,27240
	b1	0,76330	0,07806	0,60710	0,91951
Melnalksnis	b2	-1,10719	62,38142	-125,93212	123,71773
	b3	0,34237	19,93615	-39,54978	40,23451
	b1	0,60971	0,04936	0,51095	0,70848
Apse	b2	-48,65303	0,95144	-50,55685	-46,74921
	b3	9,92471	3,92923	2,06234	17,78709
	b1	0,84124	0,03674	0,76772	0,91477
Baltalksnis	b2	-2,29143	0,59637	-3,48476	-1,09810
	b3	0,40218	0,07302	0,25607	0,54829
	b1	0,76012	0,02610	0,70790	0,81234
Ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis	b2	-2,24254	391,54786	-785,72799	781,24292
	b3	2,36629	373,04460	-744,09422	748,82680
	b1	0,75196	0,05402	0,64388	0,86005
Citi lapu koki	b2	-7,10813	602,14577	-1211,99902	1197,78277
	b3	1,76599	140,75020	-279,87452	283,40649

Lai statistiski raksturotu vienādojumu, salīdzināts uzmērītais un prognozētais caurmērs piecu gadu perioda beigās un šajā laika posmā uzmērītais un prognozētais vidējais caurmēra pieaugums. Vienādojumu kalibrācija veikta uz vienādojumu izstrādē izmantotajiem datiem. Vienādojuma statistiskie rādītāji ar 2024. gadā apkošimētajām koeficientu vērtībām ir augsti un tuvi to ideālajām vērtībām. Piemēram, prognozētā caurmēra pieauguma vidējā novirze gan I stāva, gan II stāva elementiem nepārsniedz 0.1 mm, kas lielākā daļā gadījumu ir mazāk kā 3% no to vidējās uzmērītās vērtības (2.2.9. un 2.2.10. tabulas).

**2.2.9. tabula. I stāva meža elementu vispārinātās algebriskās diferences vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) statistiskie rādītāji ar 2024. gadā apkošimētajām koeficientu vērtībām**

Rādītājs	Suga	Vid	MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	VR	R2
Z <sub>Dvp</sub>	Priede	0,26	0,01	2,1	0,09	0,12	46,1	0,01	0,49	0,51
	Egle	0,36	0,01	2,2	0,12	0,14	39,8	0,02	0,46	0,54
	Bērzs	0,31	0,00	0,8	0,11	0,14	45,1	0,02	0,38	0,62
	Melnalksnis	0,32	0,00	1,2	0,11	0,14	43,0	0,02	0,49	0,51
	Apse	0,57	0,01	1,4	0,14	0,18	31,1	0,03	0,45	0,55
	Baltalksnis	0,32	0,01	3,6	0,11	0,13	42,6	0,02	0,50	0,50
	Platlapji	0,41	0,00	1,1	0,12	0,15	36,7	0,02	0,39	0,61
	Citi lapu koki	0,43	0,00	1,0	0,14	0,17	40,4	0,03	0,43	0,57
D	Priede	26,88	0,03	0,10	0,44	0,59	2,20	0,35	0,00	1,00
	Egle	25,06	0,04	0,16	0,58	0,72	2,89	0,52	0,01	0,99
	Bērzs	20,99	0,01	0,06	0,55	0,69	3,31	0,48	0,01	0,99
	Melnalksnis	21,66	0,02	0,09	0,55	0,69	3,16	0,47	0,01	0,99
	Apse	27,97	0,04	0,14	0,71	0,88	3,14	0,77	0,00	1,00
	Baltalksnis	15,49	0,06	0,37	0,54	0,67	4,34	0,45	0,01	0,99
	Platlapji	25,64	0,02	0,09	0,62	0,75	2,94	0,57	0,00	1,00
	Citi lapu koki	18,45	0,02	0,12	0,72	0,87	4,71	0,75	0,01	0,99

Z<sub>Dvp</sub> – vidējā caurmēra tekošais vidēji periodiskais pieaugums, cm gadā; D – caurmērs perioda beigās, cm;

Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; VR - dispersijas attiecība; R2 - determinācijas koeficients.

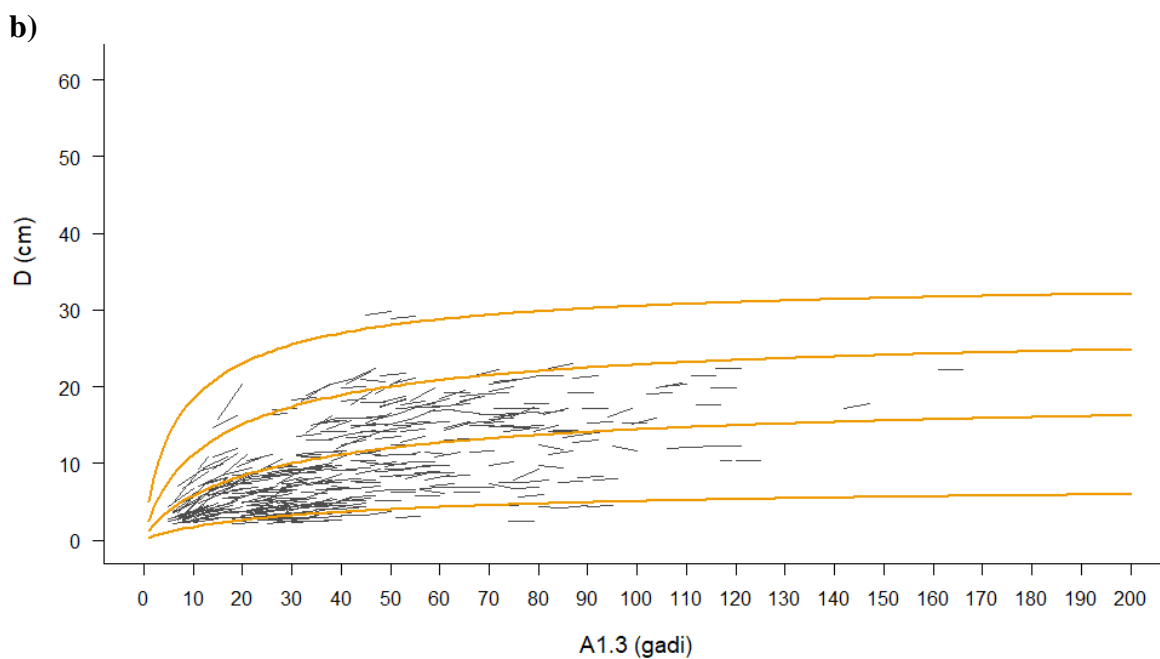
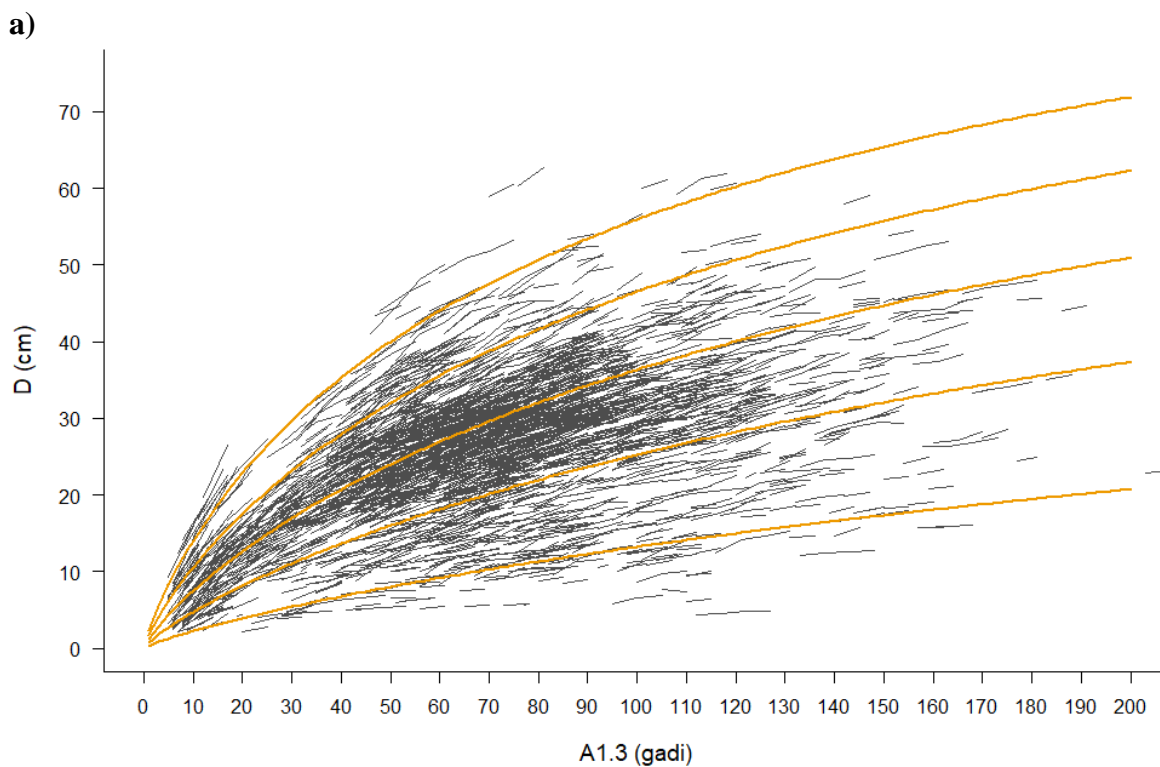
**2.2.10. tabula. II stāva meža elementu vispārinātās algebriskās diferences vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) statistiskie rādītāji ar 2024. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām**

Rādītājs	Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	VR	R2
Z <sub>Dvp</sub>	Priede	0,10	0,00	0,2	0,07	0,10	96,0	0,01	0,56	0,44
	Egle	0,22	0,00	-0,9	0,10	0,13	59,6	0,02	0,62	0,38
	Bērzs	0,10	0,00	2,2	0,08	0,10	101,5	0,01	0,88	0,12
	Melnalksnis	0,16	0,00	-0,2	0,10	0,12	78,4	0,01	0,68	0,32
	Apse	0,18	0,01	3,3	0,10	0,14	77,5	0,02	0,91	0,09
	Baltalksnis	0,17	0,00	1,9	0,09	0,12	68,1	0,01	0,68	0,32
	Platlapji	0,26	0,00	-0,6	0,11	0,13	52,7	0,02	0,62	0,38
	Citi lapu koki	0,22	0,00	0,8	0,10	0,12	56,2	0,02	0,61	0,39
D	Priede	9,75	0,00	0,01	0,36	0,50	5,15	0,25	0,01	0,99
	Egle	11,93	-0,01	-0,08	0,52	0,65	5,49	0,43	0,01	0,99
	Bērzs	8,42	0,01	0,13	0,39	0,51	6,08	0,26	0,01	0,99
	Melnalksnis	11,14	0,00	-0,01	0,49	0,61	5,49	0,37	0,01	0,99
	Apse	7,99	0,03	0,36	0,52	0,68	8,50	0,46	0,02	0,98
	Baltalksnis	10,25	0,02	0,16	0,45	0,59	5,71	0,34	0,01	0,99
	Platlapji	12,34	-0,01	-0,06	0,56	0,67	5,45	0,45	0,01	0,99
	Citi lapu koki	13,58	0,01	0,06	0,50	0,62	4,57	0,38	0,01	0,99

Z<sub>Dvp</sub> – vidējā caurmēra tekošais vidēji periodiskais pieaugums, cm gadā; D – caurmērs perioda beigās, cm;

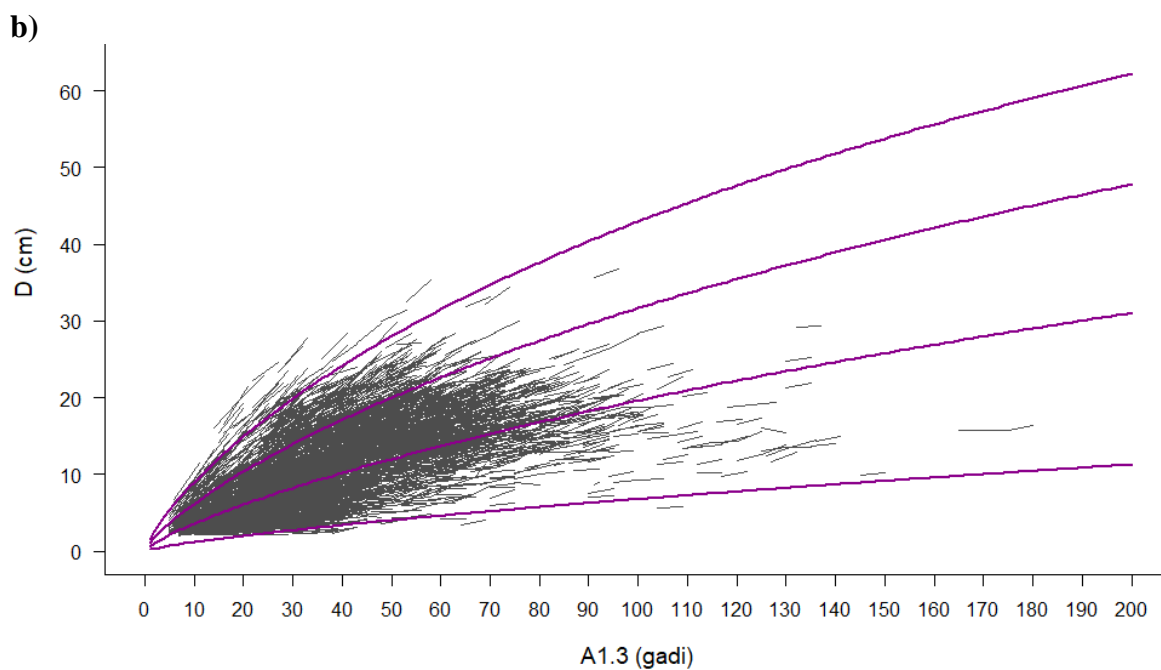
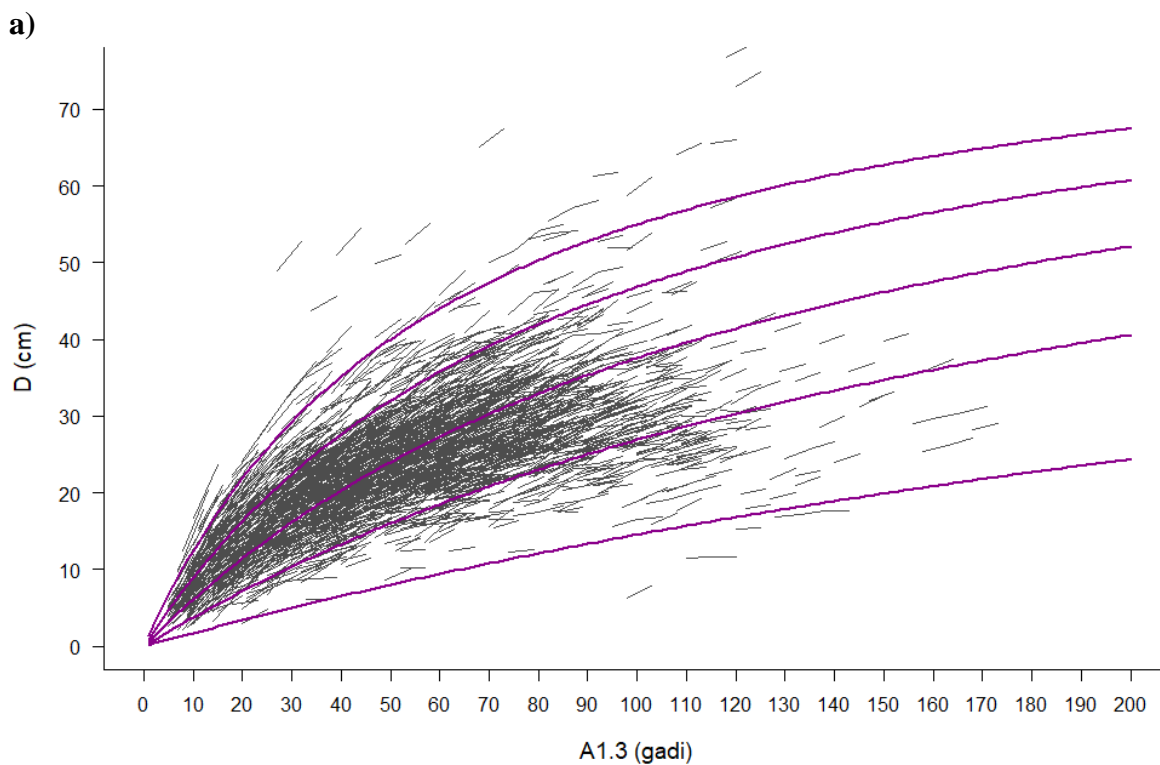
Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; VR - dispersijas attiecība; R2 - determinācijas koeficients.

Vidējā caurmēra augšanas gaitas algebriskās diferences vienādojums ar 2024. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām I stāva meža elementiem prognozē bioloģiski korektas caurmēra izmaiņas visām sugām jeb sugu grupām pie dažādiem caurmēriem bāzes vecumā. Pie tam caurmēra izmaiņas bioloģiski loģiskas tiek modelētas arī ārpus modeļu izstrādē iekļauto datu vērtību (vecums un augstums) diapazona (2.2.20. – 2.2.27. attēli).



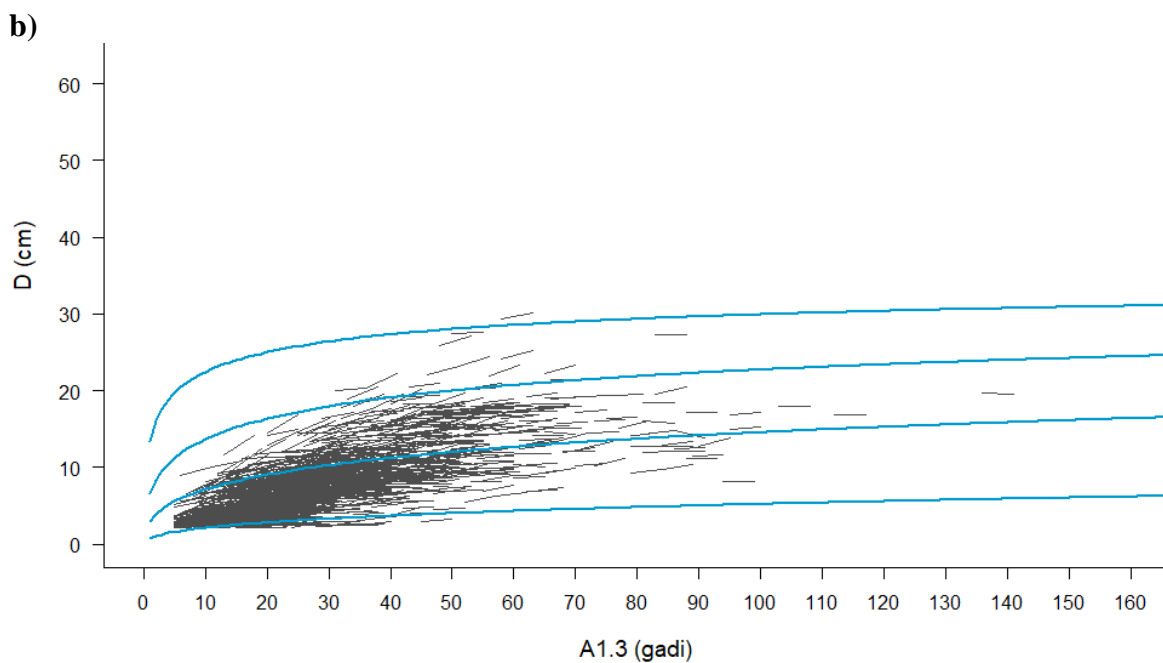
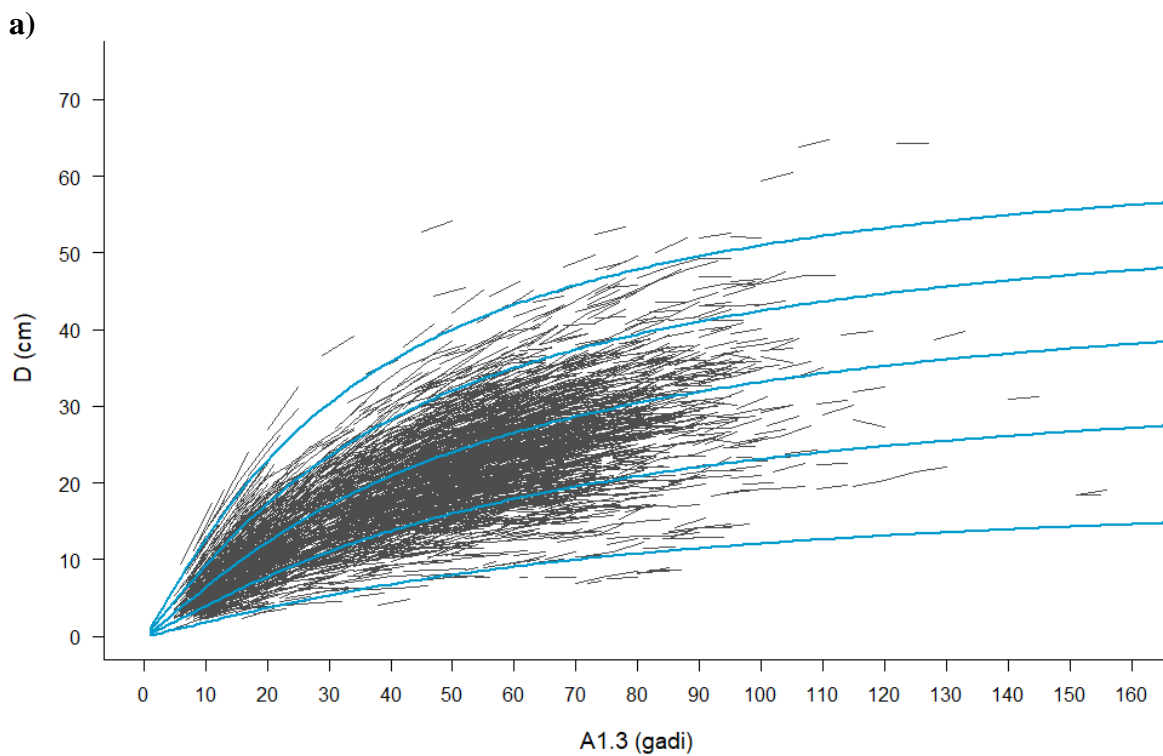
**2.2.20. attēls. Priedes uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 50 gadi:**

a) I stāvs ( $D_{50} = 40; 32; 24; 16; 8$  cm); b) II stāvs ( $D_{50} = 28; 20; 12; 4$  cm); Relatīvā biezība (RB) konstanta – 0.60.



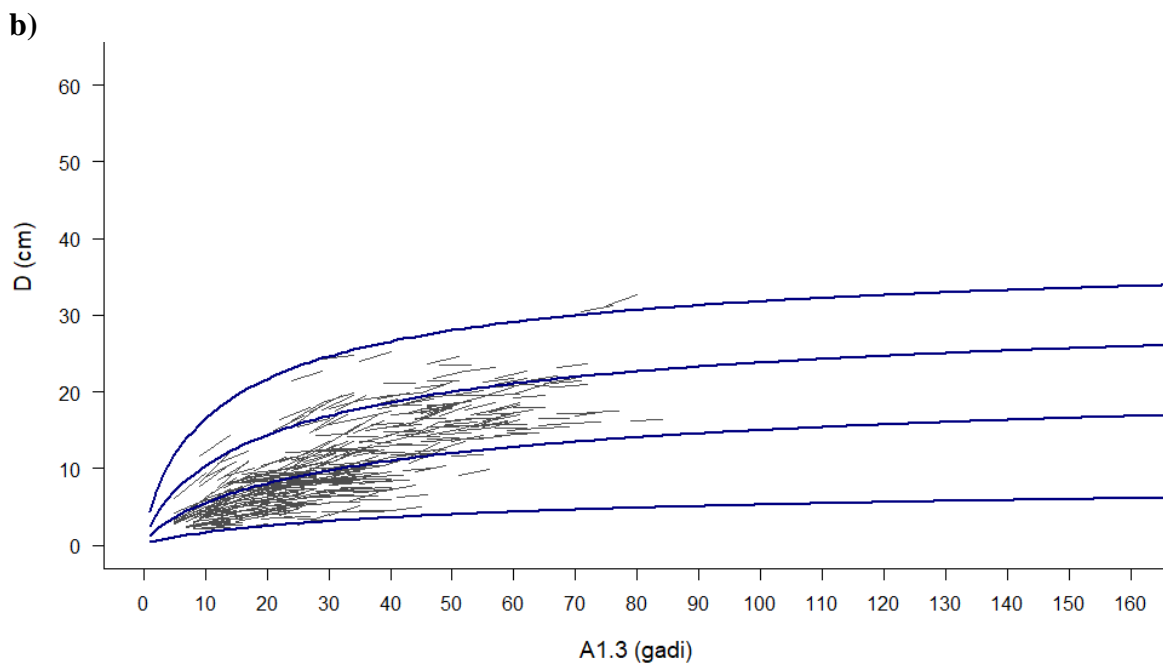
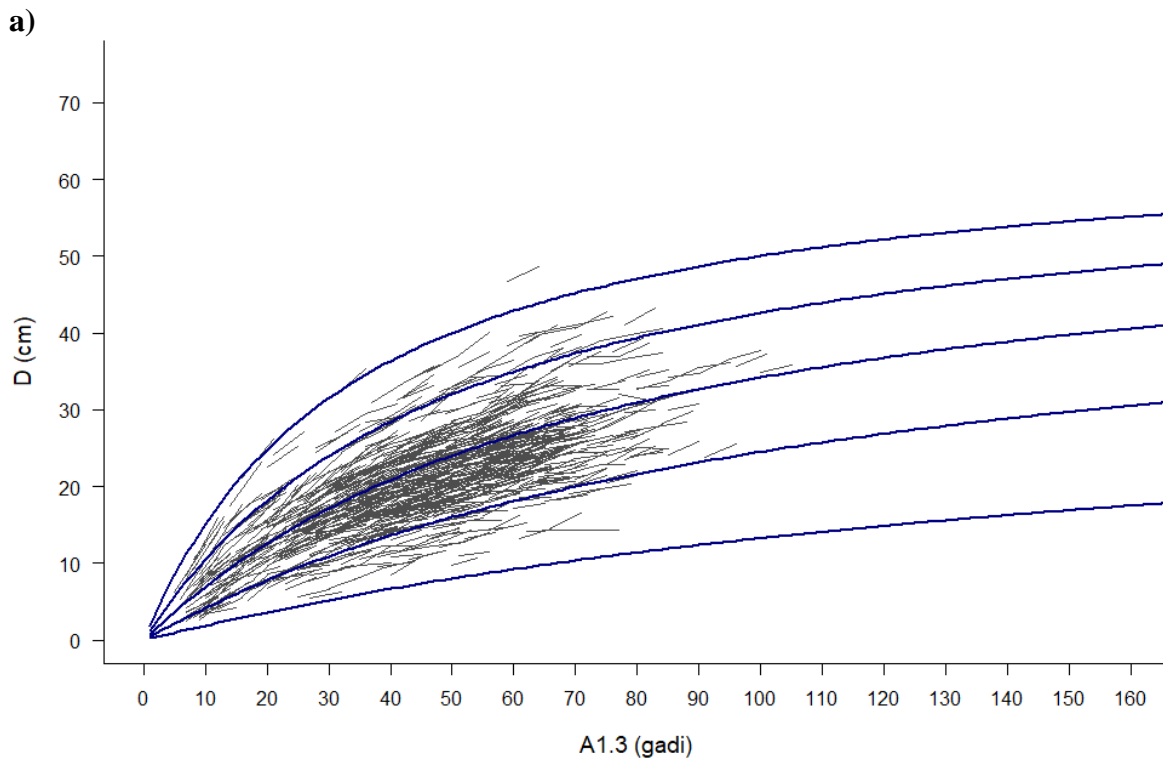
**2.2.21. attēls. Egles uzņēmētās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 50 gadi:**

a) I stāvs ( $D_{50} = 40; 32; 24; 16; 8$  cm); b) II stāvs ( $D_{50} = 28; 20; 12; 4$  cm); Relatīvā biezība (RB) konstanta – 0.60.



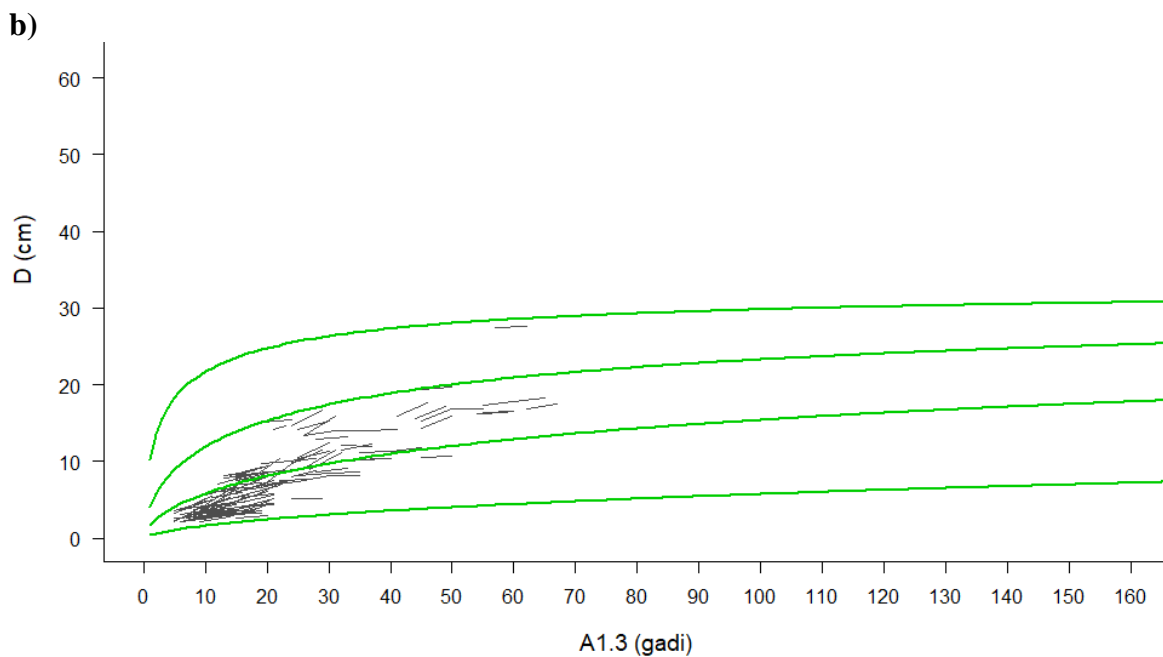
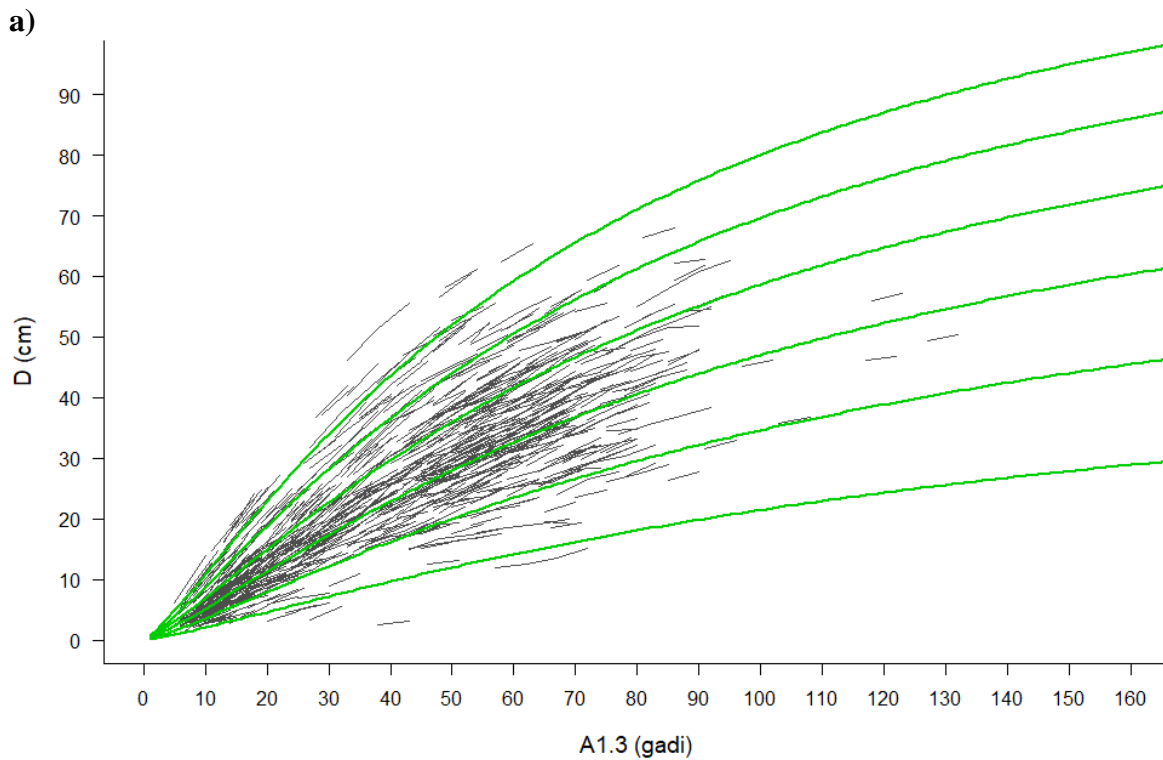
**2.2.22. attēls. Bērza uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 50 gadi:**

a) I stāvs ( $D_{50} = 40; 32; 24; 16; 8$  cm); b) II stāvs ( $D_{50} = 16; 12; 8; 4$  cm); Relatīvā biezība (RB) konstanta – 0.60.



**2.2.23. attēls. Melnalkšņa uzņēmētās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 50 gadi:**

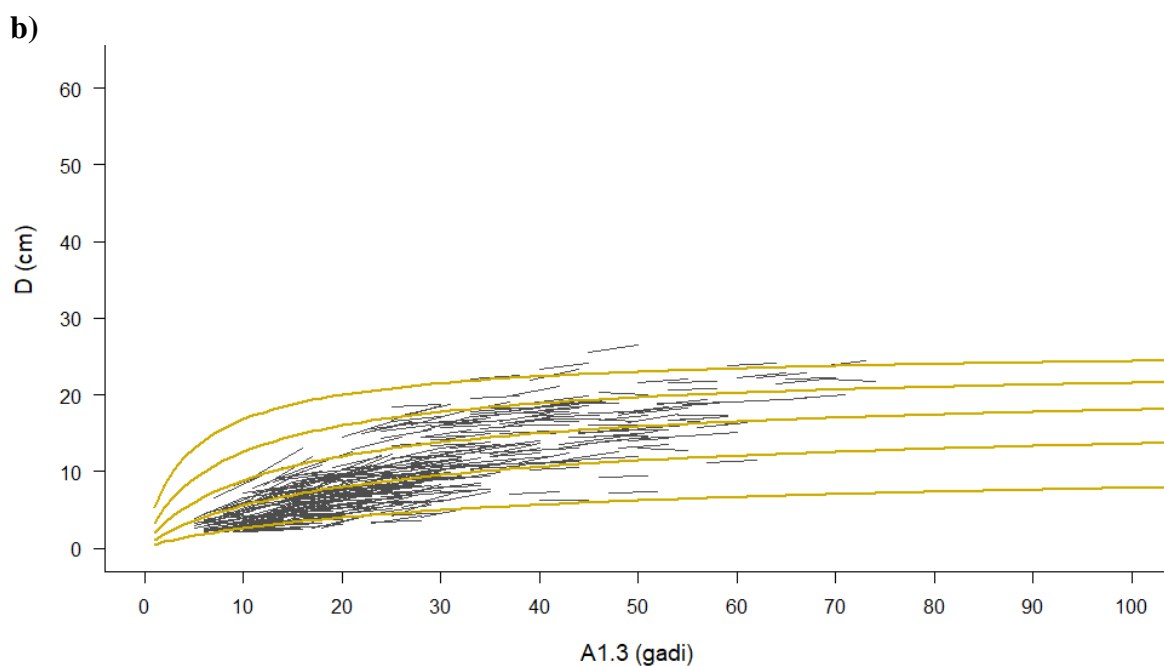
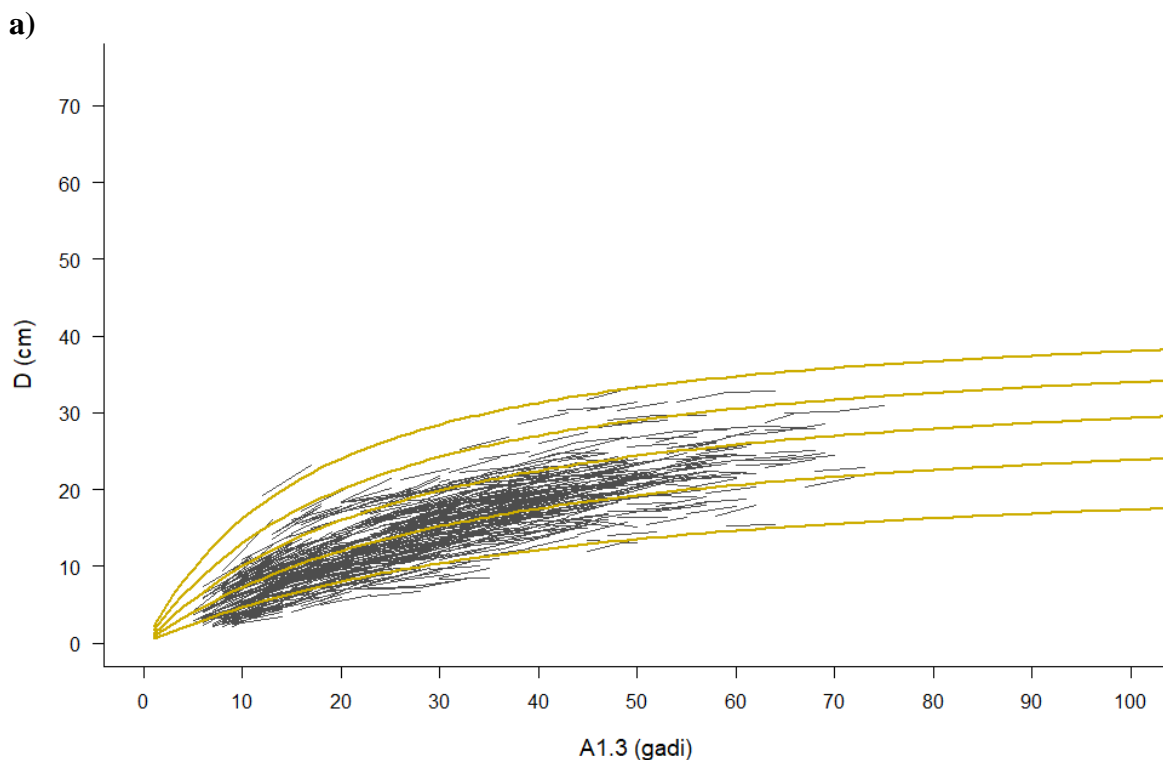
a) I stāvs ( $D_{50} = 40; 32; 24; 16; 8$  cm); b) II stāvs ( $D_{50} = 28; 20; 12; 4$  cm); Relatīvā biezība (RB) konstanta – 0.60.



**2.2.24. attēls. Apses uzņēmētās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 50 gadi:**

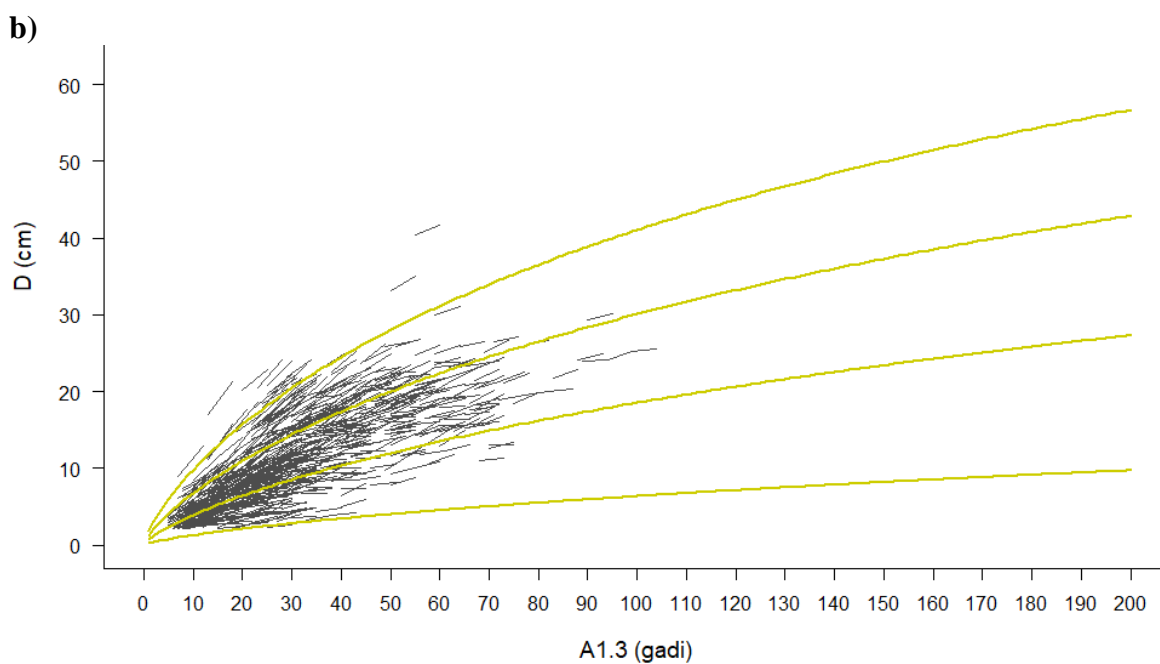
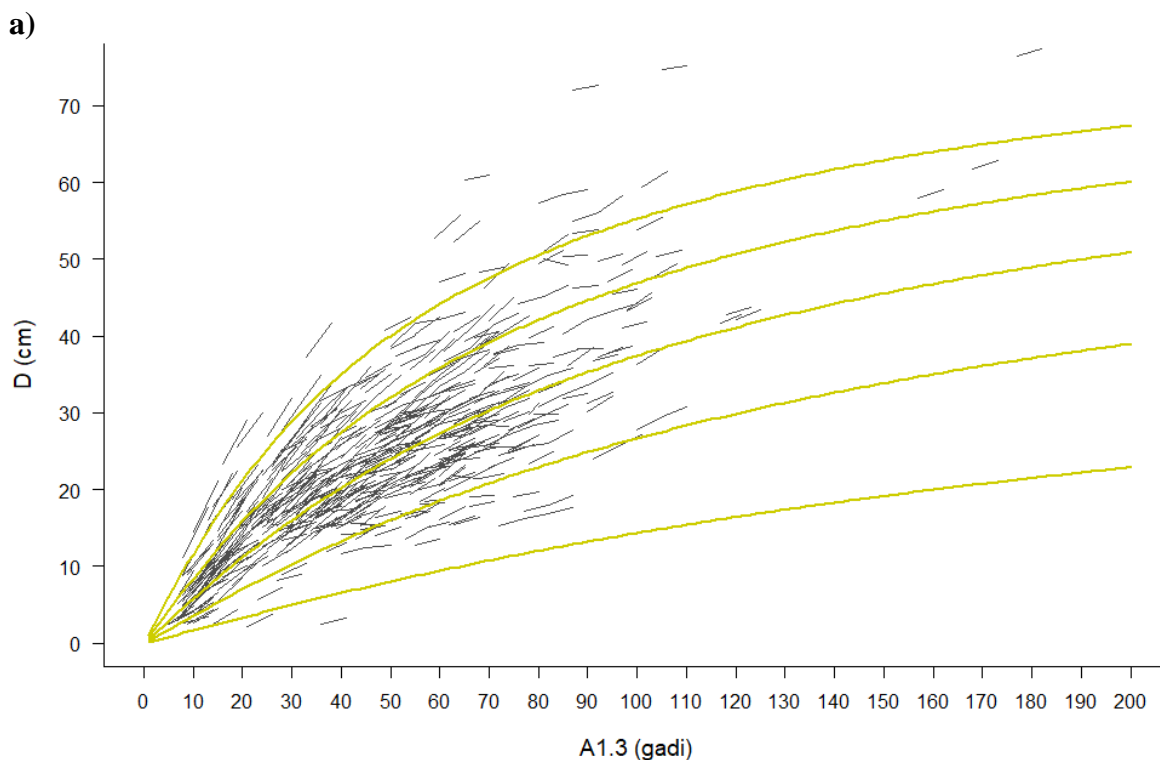
a) I stāvs ( $D_{50} = 52; 44; 36; 28; 20; 12$  cm); b) II stāvs ( $D_{50} = 28; 20; 12; 4$  cm); Relatīvā biežība (RB) konstanta – 0.60.





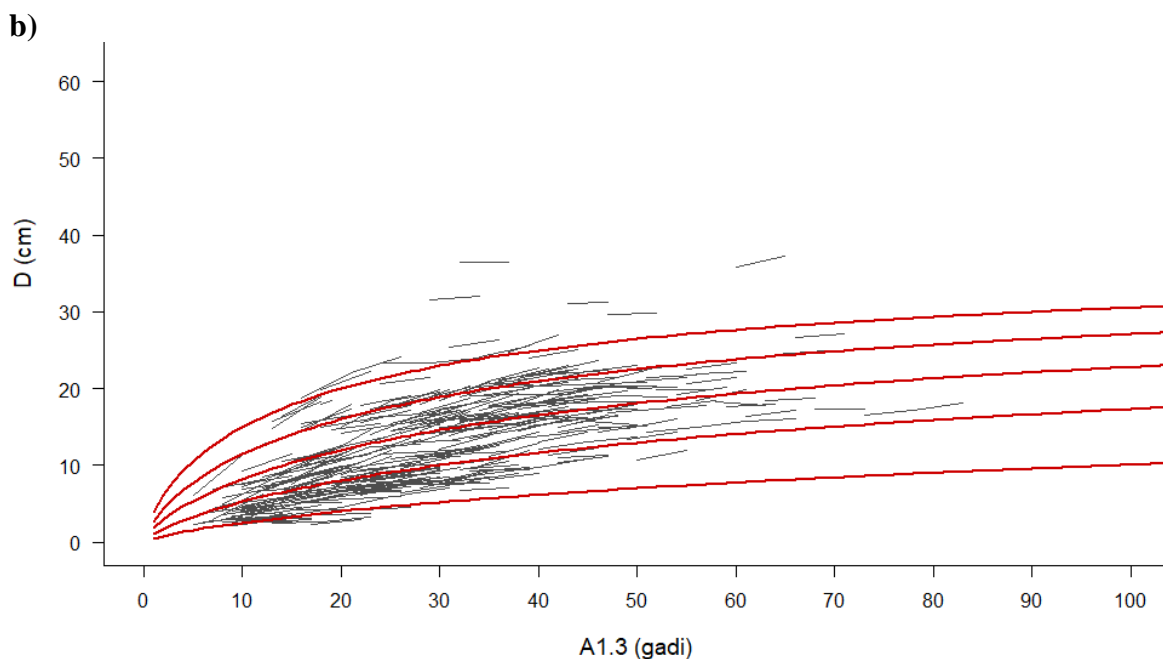
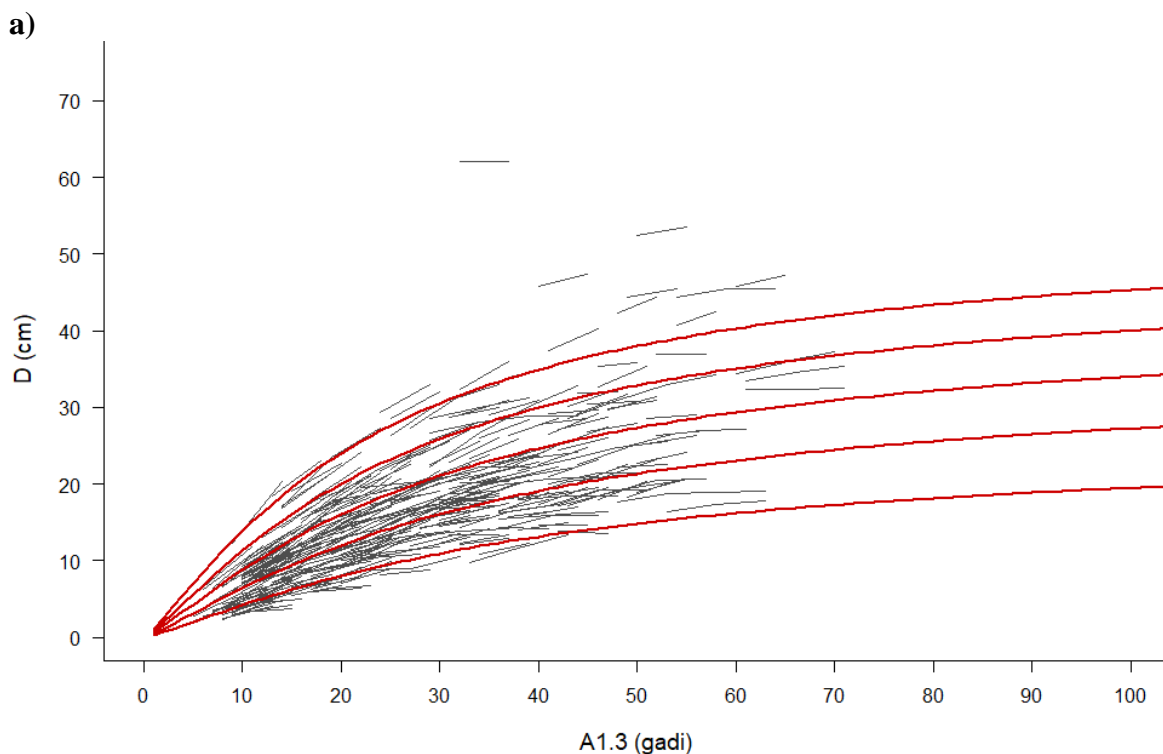
**2.2.25. attēls. Baltalkšņa uzņēmētās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 50 gadi:**

a) I stāvs ( $D_{20} = 24; 20; 16; 12; 8$  cm); b) II stāvs ( $D_{20} = 20; 16; 12; 8; 4$  cm); Relatīvā biežība (RB) konstanta – 0.60.



**2.2.26. attēls. Platlapju uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 50 gadi:**

a) I stāvs ( $D_{50} = 40; 32; 24; 16; 8$  cm); b) II stāvs ( $D_{50} = 36; 28; 20; 12; 4$  cm); Relatīvā biezība (RB) konstanta – 0.60.



**2.2.27. attēls. Citu lapu koku uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 50 gadi:**

a) I stāvs ( $D_{20} = 24; 20; 16; 12; 8$  cm); b) II stāvs ( $D_{20} = 16; 12; 8; 4$  cm); Relatīvā biežība (RB) konstanta – 0.60.  
0.60.

Jāatzīmē, ka atsevišķiem gaismas prasīgākiem II stāva meža elementiem (piemēram, bērzam un apsei) vienādojuma forma nav īsti atbilstoša. Dažādu sugu bioloģisko īpatnību dēļ to II stāva meža elementi ne visā to dzīves gaitā ir II stāvam piederoši, piemēram, jaunaudzēs visi elementi ir pieskaitāmi I stāvam, bet egļu kā ēncietīga koku suga nereti ar laiku atpaliek augšanā un kļūst par II stāvu, vai arī piemēram, baltalkšņi nereti sākotnēji aug strauji un tie pieskaitāmi mežaudzes I stāvam,

bet vēlāk to augšana apstājas un to pāraug egles un tad tie pieskaitāmi mežaudzes II stāvam. Šāda veida īpatnības ar algebriskās diferences pieejas modeļiem ne vienmēr var raksturot korekti.

Turpmākai meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modelēšanai, izmantojot vispārinātās algebriskās diferences vienādojumu (2.2. formula), ieteicams izmantot 2024. gadā aproksimētās koeficientu vērtības.

### 2.2.b vienādojums

Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas vispārinātās algebriskās diferences vienādojumu 2024. gadā papildināts ar koku ciršanas efekta rādītāju (2.2.b formula). Arī šajā gadījumā aproksimētas atsevišķas koeficientu vērtības kokaudzes I un II stāvam (2.11. un 2.12. tabula).

**2.2.11. tabula. I stāva meža elementu vispārinātās algebriskās diferences vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa ar koku ciršanas efekta rādītāju (2.2.b formula) 2024. gadā aproksimētās koeficientu vērtības**

Suga	Koeficients	Vērtība	Standart- kļūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
Priede	b1	0.83872	0.01870	0.80161	0.87582
	b2	-5.17222	2.10401	-9.34703	-0.99741
	b3	3.91966	1.43287	1.07654	6.76278
	b4	0.18093	0.02916	0.12307	0.23879
Egle	b1	1.00200	0.01076	0.98066	1.02334
	b2	-41.50091	0.18246	-41.86296	-41.13887
	b3	22.02169	0.34988	21.32745	22.71593
	b4	0.25359	0.04357	0.16713	0.34005
Bērzs	b1	1.16874	0.01448	1.14001	1.19747
	b2	-3.04793	0.27791	-3.59937	-2.49649
	b3	1.79609	0.08914	1.61923	1.97296
	b4	0.16694	0.03862	0.09030	0.24358
Melnalksnis	b1	1.00874	0.02743	0.95431	1.06318
	b2	-6.58154	3.59787	-13.72049	0.55741
	b3	2.99351	1.40766	0.20041	5.78661
	b4	0.37230	0.08295	0.20772	0.53688
Apse	b1	1.21370	0.02053	1.17297	1.25442
	b2	-3.73907	0.86854	-5.46245	-2.01570
	b3	4.88090	0.60419	3.68205	6.07974
	b4	0.31351	0.10144	0.11224	0.51479
Baltalksnis	b1	1.05132	0.02802	0.99573	1.10691
	b2	-1.99854	0.40034	-2.79291	-1.20417
	b3	0.71199	0.07697	0.55926	0.86472
	b4	0.19939	0.08602	0.02871	0.37007
Ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis	b1	1.07286	0.02617	1.02094	1.12479
	b2	-11.95393	6.35051	-24.55472	0.64687
	b3	6.69189	3.17074	0.40045	12.98332
	b4	0.29769	0.11009	0.07926	0.51613
Citi lapu koki	b1	1.22287	0.03710	1.14925	1.29649
	b2	-2.16442	0.38236	-2.92310	-1.40573
	b3	1.14129	0.10776	0.92747	1.35511
	b4	0.26845	0.15894	-0.04692	0.58381

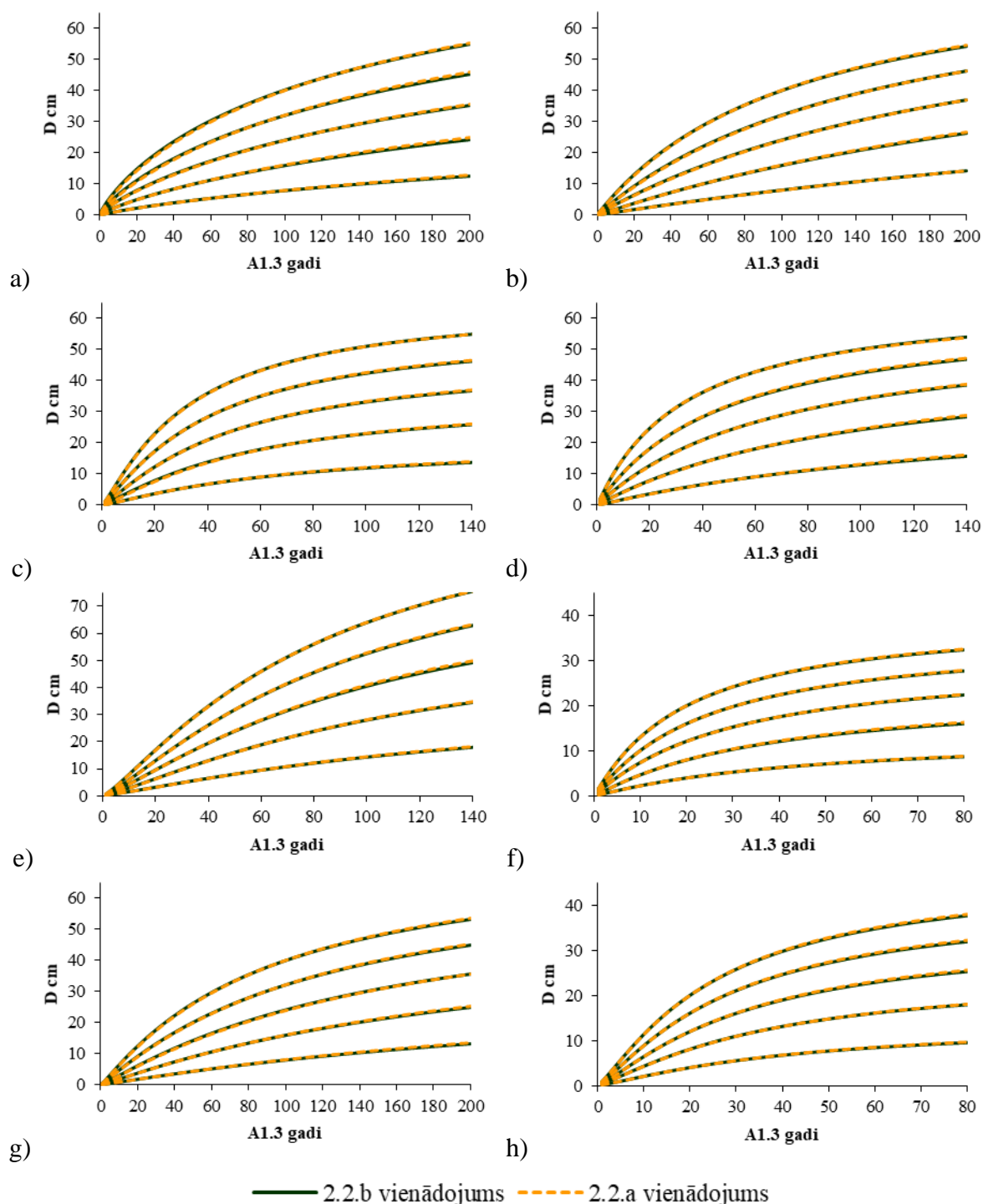
**2.2.12. tabula. II stāva meža elementu vispārinātās algebriskās diferences vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa ar koku ciršanas efekta rādītāju (2.2.b formula) 2024. gadā aproksimētās koeficientu vērtības**

Suga	Koeficients	Vērtība	Standart- klūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
Priede	b1	0.83213	0.08519	0.66309	1.00116
	b2	-1.03895	0.38356	-1.80002	-0.27788
	b3	0.26744	0.05960	0.14918	0.38570
	b4	0.27014	0.16278	-0.05285	0.59314
Egle	b1	0.76294	0.00718	0.74868	0.77719
	b2	-31.64483	0.14149	-31.92558	-31.36407
	b3	35.57738	0.13183	35.31580	35.83896
	b4	0.31632	0.03229	0.25225	0.38038
Bērzs	b1	0.42103	0.01306	0.39512	0.44695
	b2	-64.93014	1.09324	-67.09936	-62.76092
	b3	14.67486	0.58323	13.51759	15.83212
	b4	0.19776	0.05351	0.09159	0.30394
Melnalksnis	b1	0.76598	0.07299	0.62115	0.91082
	b2	-1.01723	3.53612	-8.03367	5.99920
	b3	0.32180	0.93621	-1.53584	2.17944
	b4	0.14896	0.14132	-0.13145	0.42936
Apse	b1	0.60964	0.04906	0.51229	0.70700
	b2	-20.70427	0.75346	-22.19929	-19.20925
	b3	4.29990	2.30643	-0.27657	8.87636
	b4	0.03604	0.25600	-0.47193	0.54401
Baltalksnis	b1	0.83796	0.05042	0.73792	0.93800
	b2	-2.23846	0.69636	-3.62018	-0.85673
	b3	0.39215	0.08895	0.21565	0.56865
	b4	0.06394	0.09326	-0.12110	0.24898
Ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis	b1	0.75578	0.02587	0.70445	0.80710
	b2	-1.75274	217.94344	-434.19981	430.69432
	b3	2.03983	207.08687	-408.86544	412.94510
	b4	0.11017	0.09188	-0.07214	0.29249
Citi lapu koki	b1	0.75154	0.05409	0.64422	0.85886
	b2	-7.31592	494.03199	-987.58257	972.95072
	b3	1.81618	123.60981	-243.45250	247.08485
	b4	-0.01647	0.11489	-0.24445	0.21150

Pie konstantas relatīvās I stāva biežības (0.60) vidējā caurmēra augšanas gaitas algebriskās diferences vienādojuma a (bez koku ciršanas efekta) un b (ar koku ciršanas efektu) versijas prognozē ļoti līdzīgas caurmēra izmaiņas, ja b versijā pieņem, ka koku ciršana nav bijusi (2.2.28. un 2.2.29. attēls). Šāda pieeja izmantota tikai abu versiju grafiskai salīdzināšanai, bet ne modelēšanai, jo audze savas dzīves laikā nesaglabā konstantu biežību.

Koku ciršanas efekts (vienādojuma  $b_4$  koeficients) ir pozitīvs (izņemot II stāva citiem lapu kokiem) – I stāva kokiem tas ir 0.16 – 0.37 cm piecos gados, bet II stāva kokiem 0.04 – 0.32 cm. Lai gan šis koeficients neatspoguļo visu koku ciršanas efektu, jo daļēji šis efekts ir iekļauts jau vienādojumā pie biežības izmaiņām – retākās audzēs pieaugums tiek prognozēts lielāks. Klasiskajā mežsaimniecībā, veicot kopšanu no apakšas, vidējais caurmērs meža elementiem “mehāniski” palielinās, līdz ar to arī šis faktors jau bāzes vienādojumā iekļauj kopšanas efektu, jo resnākiem kokiem pieaugums tiek prognozēts lielāks. Tātad šis rādītājs norāda uz papildus pieaugumu pirmajos gados, ja divās dažādās audzēs ir līdzīga biežība un līdzīgas dimensijas koki, bet vienā ir veikta kopšana, bet otrā nav. Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas vispārinātās algebriskās diferences vienādojumā koku ciršanas efekta rādītāju lieto, ja iepriekšējā piegadē ir audzē cirsti koki. Bet tā efekts netieši

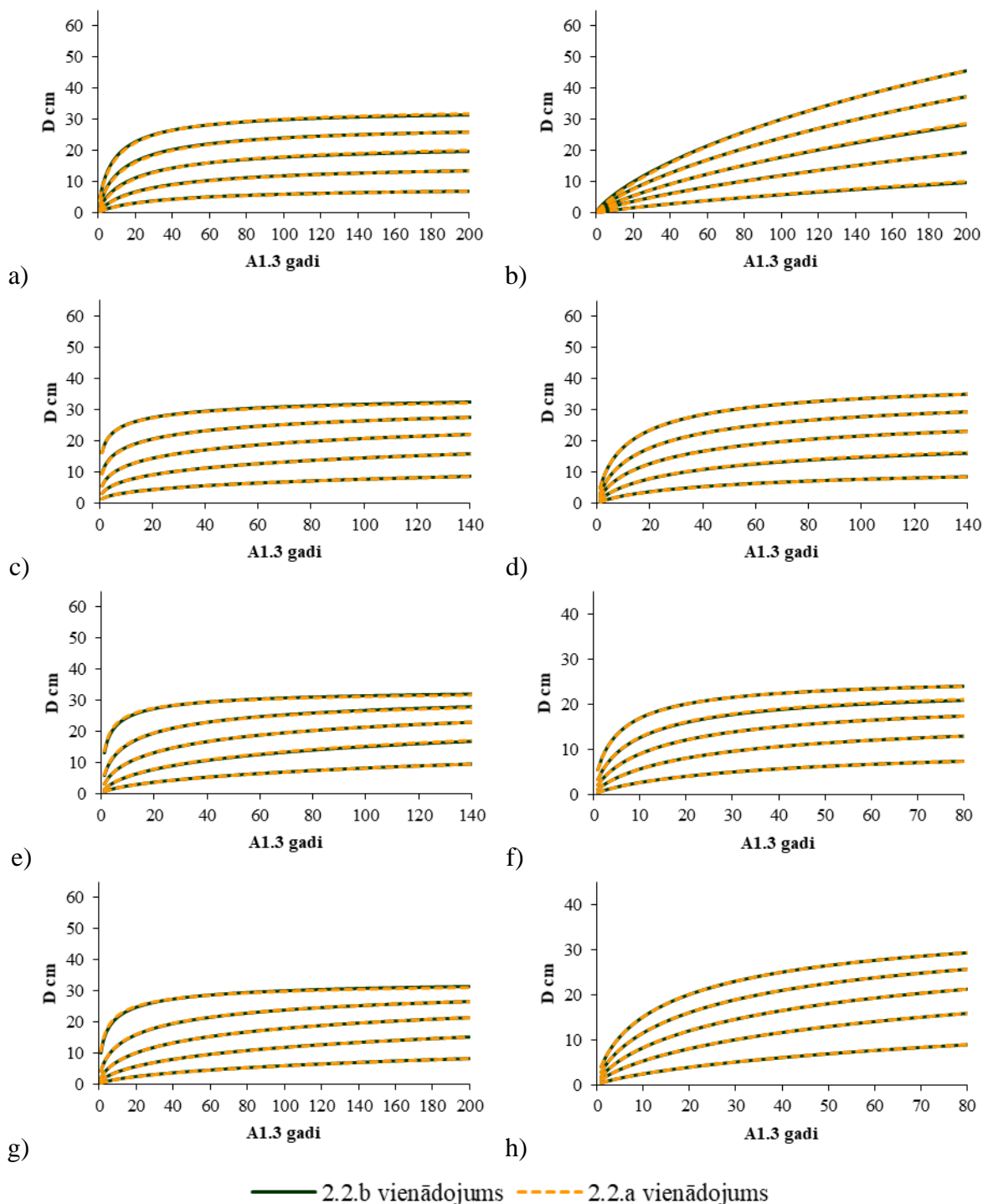
saglabājas arī turpmākā audzes augšanas gaitā, jo kā jau iepriekš rakstīts, resnākiem kokiem caurmēra pieaugums tiek prognozēts lielāks nekā tievākiem.



**2.2.28. attēls. I stāva meža elementu vidējā caurmēra ( $D$ ) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ( $A_{1.3}$ ) ar un bez koku ciršanas efekta rādītāju:**

a) priede, b) egle 1. stāvs, c) bērzs, d) melnalksnis, e) apse, f) baltalksnis, g) platlapji, h) citas lapu koku sugas; vienādojumos konstanti saglabājas relatīvā I stāva biežība 0.60, un fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta koku ciršana, ir nulle;

bāzes augstumi un vecumi – priede, egle un platlapji  $A=100$  gadi un  $H_{100} = 8, 16, 24, 32$  un  $40$  cm; bērzs, melnalksnis un apse  $A=50$  gadi un  $H_{50} = 8, 16, 24, 32$  un  $40$  cm; baltalksnis un citi lapu koki  $A=20$  gadi un  $H_{20} = 4, 8, 12, 16$  un  $20$  cm.



**2.2.29. attēls. II stāva meža elementu vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) ar un bez koku ciršanas efekta rādītāju:**

a) priede, b) egle 1. stāvs, c) bērzs, d) melnalksnis, e) apse, f) baltalksnis, g) platlapji, h) citas lapu koku sugas; vienādojumos konstanti saglabājas relatīvā I stāva biezība 0.60, un fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta koku ciršana, ir nulle; bāzes augstumi un vecumi – priede, egle un platlapji A=100 gadi un  $H_{100} = 8, 16, 24, 32$  un 40 cm; bērzs, melnalksnis un apse A=50 gadi un  $H_{50} = 8, 16, 24, 32$  un 40 cm; baltalksnis un citi lapu koki A=20 gadi un  $H_{20} = 4, 8, 12, 16$  un 20 cm.

Vienādojumu kalibrācija veikta uz vienādojumu izstrādē izmantotajiem datiem. Vienādojuma statistiskie rādītāji ar 2024. gadā apromsimētajām koeficientu vērtībām ir augsti un tuvi to ideālajām vērtībām un ļoti līdzīgi ar 2.2.a vienādojuma rādītājiem. Piemēram, prognozētā caurmēra

pieauguma vidējā novirze gan I stāva, gan II stāva elementiem nepārsniedz 0.1 mm, kas lielākā daļā gadījumu ir mazāk kā 3% no to vidējās uzmērītās vērtības (2.2.13. un 2.2.14. tabulas).

**2.2.13. tabula. I stāva meža elementu vispārinātās algebriskās diferences vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa ar koku ciršanas efekta rādītāju (2.2.b formula) statistiskie rādītāji ar 2024. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām**

Rādītājs	Suga	Vid	MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	VR	R2
Z <sub>Dvp</sub>	Priede	0.26	0.01	2.2	0.09	0.12	45.9	0.01	0.63	0.52
	Egle	0.36	0.01	2.2	0.11	0.14	39.5	0.02	0.68	0.54
	Bērzs	0.31	0.00	0.9	0.11	0.14	45.0	0.02	0.66	0.62
	Melnalksnis	0.32	0.00	1.3	0.11	0.14	42.6	0.02	0.60	0.52
	Apse	0.57	0.01	1.3	0.14	0.17	30.9	0.03	0.68	0.56
	Baltalksnis	0.32	0.01	3.7	0.11	0.13	42.4	0.02	0.71	0.50
	Platlapji	0.41	0.00	1.1	0.12	0.15	36.4	0.02	0.68	0.61
	Citi lapu koki	0.43	0.00	1.0	0.14	0.17	40.3	0.03	0.62	0.57
D	Priede	26.88	0.03	0.10	0.44	0.59	2.19	0.34	1.01	1.00
	Egle	25.06	0.04	0.16	0.57	0.72	2.87	0.52	1.00	0.99
	Bērzs	20.99	0.01	0.06	0.55	0.69	3.30	0.48	0.99	0.99
	Melnalksnis	21.66	0.02	0.10	0.54	0.68	3.13	0.46	0.99	0.99
	Apse	27.97	0.04	0.13	0.71	0.87	3.13	0.76	1.01	1.00
	Baltalksnis	15.49	0.06	0.37	0.54	0.67	4.32	0.45	1.02	0.99
	Platlapji	25.64	0.02	0.09	0.62	0.75	2.93	0.56	1.00	1.00
	Citi lapu koki	18.45	0.02	0.11	0.72	0.87	4.69	0.75	1.00	0.99

Z<sub>Dvp</sub> – vidējā caurmēra tekošais vidēji periodiskais pieaugums, cm gadā; D – caurmērs perioda beigās, cm;

Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; VR - dispersijas attiecība; R2 - determinācijas koeficients.

**2.2.14. tabula. II stāva meža elementu vispārinātās algebriskās diferences vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa ar koku ciršanas efekta rādītāju (2.2.b formula) statistiskie rādītāji ar 2024. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām**

Rādītājs	Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	VR	R2
Z <sub>Dvp</sub>	Priede	0.10	0.00	0.6	0.07	0.10	95.5	0.01	0.46	0.45
	Egle	0.22	0.00	-1.0	0.10	0.13	59.0	0.02	0.36	0.39
	Bērzs	0.10	0.00	2.0	0.08	0.10	101.1	0.01	0.16	0.13
	Melnalksnis	0.16	0.00	-0.1	0.10	0.12	78.4	0.01	0.32	0.32
	Apse	0.18	0.01	3.2	0.10	0.14	77.8	0.02	0.19	0.09
	Baltalksnis	0.17	0.00	1.9	0.09	0.12	68.1	0.01	0.38	0.32
	Platlapji	0.26	0.00	-0.6	0.11	0.13	52.7	0.02	0.35	0.38
	Citi lapu koki	0.22	0.00	0.8	0.10	0.12	56.2	0.02	0.42	0.39
D	Priede	9.75	0.00	0.0	0.36	0.50	5.1	0.25	0.98	0.99
	Egle	11.93	-0.01	-0.10	0.52	0.65	5.43	0.42	0.96	0.99
	Bērzs	8.42	0.01	0.12	0.38	0.51	6.05	0.26	0.98	0.99
	Melnalksnis	11.14	0.00	0.00	0.48	0.61	5.49	0.37	0.98	0.99
	Apse	7.99	0.03	0.35	0.52	0.68	8.53	0.46	0.98	0.98
	Baltalksnis	10.25	0.02	0.16	0.45	0.59	5.71	0.34	1.00	0.99
	Platlapji	12.34	-0.01	-0.06	0.56	0.67	5.45	0.45	0.99	0.99
	Citi lapu koki	13.58	0.01	0.07	0.50	0.62	4.57	0.38	0.99	0.99

Z<sub>Dvp</sub> – vidējā caurmēra tekošais vidēji periodiskais pieaugums, cm gadā; D – caurmērs perioda beigās, cm;

Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; VR - dispersijas attiecība; R2 - determinācijas koeficients.

### 2.3. vienādojums

Aproksimētas jaunas koeficientu vērtības 2.3. vienādojumam, kas paredzēts vidējā caurmēra koka šķērslaukuma izmaiņu modelēšanai (2.2.15. tabula). Vienādojums paredzēts priedes, egles, bērza,



apses, melnalkšņa, baltalkšņa, platlapju (ozola, oša, liepas, vīksnas, gobas, kļavas) un citu mīksto lapu koku meža elementu vidējā caurmēra izmaiņu modelēšanai.

**2.2.15. tabula. Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.3. formula) aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji**

Suga	Koeficients	Vērtība	Standart- klūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
Priede	b0	2.88430	0.06133	2.76406	3.00453
	b1	-0.89770	0.01955	-0.93603	-0.85936
	b2	1.64351	0.02922	1.58621	1.70080
	b3	-0.18096	0.01630	-0.21292	-0.14899
	b4	-0.03468	0.00583	-0.04610	-0.02325
	b5	0.11573	0.01786	0.08072	0.15074
Egle	b0	3.05482	0.03623	2.98380	3.12584
	b1	-0.79100	0.01345	-0.81737	-0.76464
	b2	1.61608	0.01743	1.58190	1.65025
	b3	-0.28740	0.01081	-0.30859	-0.26622
	b4	-0.00122	0.00059	-0.00238	-0.00006
	b5	0.09998	0.01269	0.07510	0.12486
Bērzs	b0	3.50527	0.03731	3.43214	3.57841
	b1	-1.23160	0.01867	-1.26820	-1.19500
	b2	1.82220	0.02280	1.77750	1.86690
	b3	-0.16762	0.00983	-0.18689	-0.14836
	b4	-0.04734	0.00348	-0.05417	-0.04052
	b5	0.08066	0.01552	0.05025	0.11108
Melnalksnis	b0	3.02064	0.08496	2.85399	3.18729
	b1	-0.83142	0.03970	-0.90928	-0.75355
	b2	1.64565	0.04774	1.55201	1.73928
	b3	-0.30366	0.02128	-0.34540	-0.26192
	b4	-0.02334	0.00321	-0.02964	-0.01704
	b5	0.16922	0.03009	0.11020	0.22824
Apse	b0	3.64319	0.07494	3.49615	3.79024
	b1	-1.04635	0.03427	-1.11359	-0.97912
	b2	1.60197	0.03388	1.53549	1.66846
	b3	-0.06138	0.02370	-0.10789	-0.01487
	b4	-0.07786	0.02113	-0.11932	-0.03640
	b5	0.08651	0.02795	0.03166	0.14136
Baltalksnis	b0	3.47771	0.07048	3.33946	3.61597
	b1	-0.98347	0.04470	-1.07117	-0.89577
	b2	1.37769	0.05186	1.27596	1.47942
	b3	-0.14547	0.02232	-0.18926	-0.10167
	b4	-0.02631	0.00290	-0.03201	-0.02061
	b5	0.07987	0.03465	0.01189	0.14784
Ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis	b0	3.55727	0.07477	3.41062	3.70393
	b1	-0.97766	0.03633	-1.04893	-0.90639
	b2	1.58933	0.04136	1.50820	1.67046
	b3	-0.19242	0.02115	-0.23392	-0.15093
	b4	-0.00865	0.00150	-0.01159	-0.00571
	b5	0.00418	0.03326	-0.06106	0.06941
Citi lapu koki	b0	4.14767	0.10759	3.93647	4.35888
	b1	-1.00052	0.05573	-1.10993	-0.89111
	b2	1.30391	0.05249	1.20086	1.40696
	b3	-0.18797	0.02836	-0.24364	-0.13230
	b4	-0.02262	0.00282	-0.02815	-0.01708
	b5	0.16928	0.05094	0.06928	0.26927

Šim modelim nozīmīgākā priekšrocība salīdzinājumā ar vispārinātās algebriskās diferences pieejas modeli (2.2.a vienādojums) ir tas, ka šajā modelī tiek ņemts vērā vai pirms prognozes perioda ir

veikta koku ciršana. Šis vienādojums salīdzinājumā ar 2.2.a vienādojumu nav pārbaudīts ilgtermiņa prognozēs, modelējot mežaudzes izmaiņas ilgākā (100 gadu) periodā.

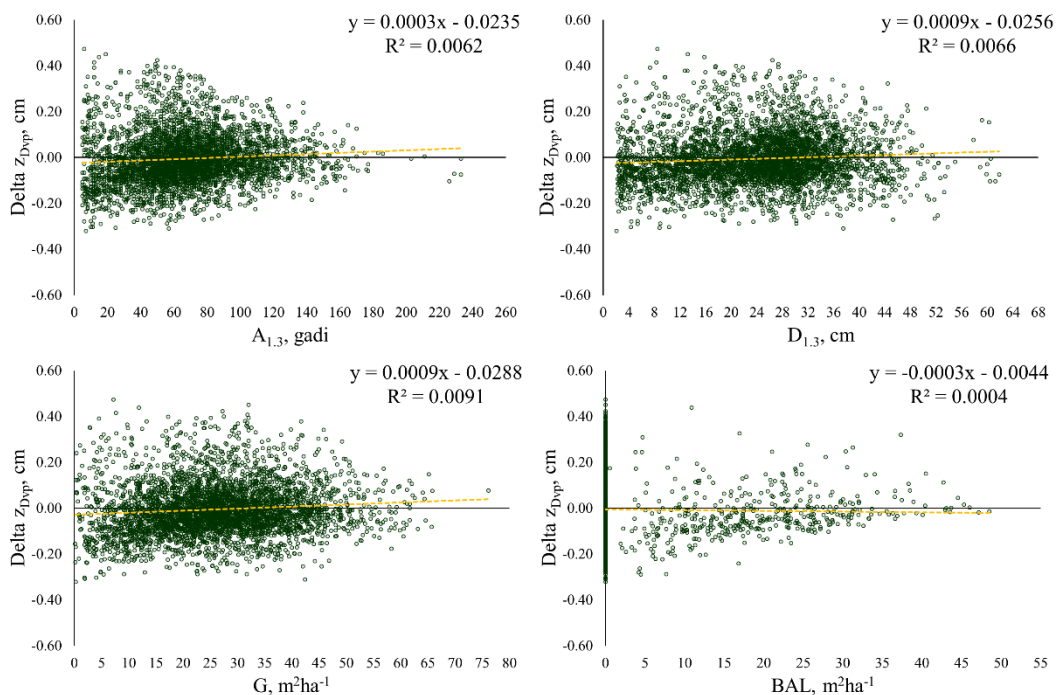
Ar 2.3. vienādojumu vidējā caurmēra izmaiņas tiek prognozētas sistemātiski lielākas, bet nevienai sugai vai sugu grupai sistemātiskā novirze, pārbaudot to uz vienādojumu izstrādē izmantoto datu kopas, prognozētajam piecu gadu vidējam periodiskajam caurmēra pieaugumam nav lielāka par 0.3 mm (2.2.16. tabula).

**2.2.16. tabula. Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.3. formula) prognozētā ikgadējā caurmēra pieauguma statistiskie rādītāji ar 2023. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām**

Rādītājs	Suga	Vid	MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	VR	R2
Z <sub>Dvp</sub>	Priede	0.24	-0.01	-2.1	0.09	0.11	47.0	0.01	0.59	0.57
	Egle	0.28	-0.02	-6.6	0.11	0.14	49.3	0.02	0.48	0.53
	Bērzs	0.25	-0.01	-3.0	0.10	0.13	53.4	0.02	0.70	0.64
	Melnalksnis	0.27	0.00	-1.5	0.10	0.13	47.0	0.02	0.59	0.57
	Apse	0.52	-0.02	-4.4	0.15	0.18	35.4	0.03	0.74	0.58
	Baltalksnis	0.27	-0.01	-2.2	0.10	0.12	46.1	0.02	0.66	0.55
	Platlapji	0.32	-0.03	-8.3	0.13	0.16	49.6	0.03	0.59	0.46
	Citi lapu koki	0.33	-0.02	-7.6	0.14	0.17	53.5	0.03	0.71	0.48
D	Priede	25.03	-0.03	-0.10	0.43	0.56	2.26	0.32	0.99	1.00
	Egle	17.10	-0.09	-0.53	0.55	0.68	3.99	0.47	0.97	0.99
	Bērzs	17.29	-0.04	-0.21	0.51	0.66	3.82	0.44	0.99	1.00
	Melnalksnis	18.81	-0.02	-0.11	0.51	0.65	3.44	0.42	0.99	0.99
	Apse	25.49	-0.11	-0.45	0.73	0.92	3.59	0.84	0.98	1.00
	Baltalksnis	13.79	-0.03	-0.22	0.50	0.62	4.52	0.39	0.98	0.99
	Platlapji	17.77	-0.13	-0.74	0.64	0.79	4.46	0.63	0.97	0.99
	Citi lapu koki	16.03	-0.12	-0.77	0.69	0.87	5.45	0.76	0.94	0.99

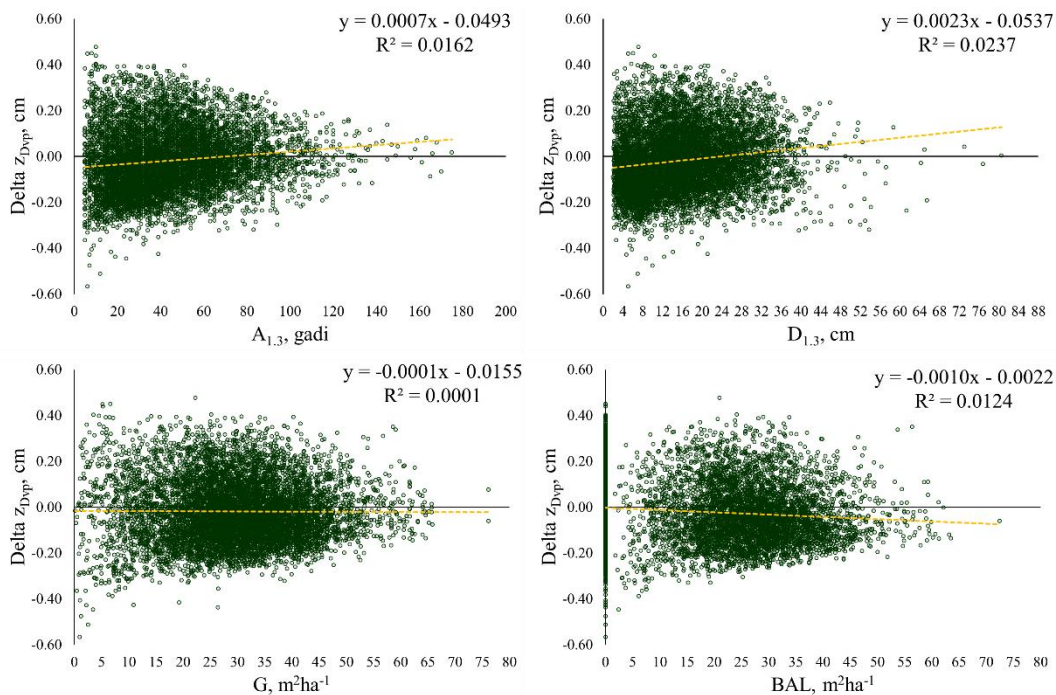
Z<sub>Dvp</sub> – vidējā caurmēra tekošais vidēji periodiskais pieaugums, cm gadā; D – caurmērs perioda beigās, cm; Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; VR - dispersijas attiecība; R2 - determinācijas koeficients.

Starpībai starp uzmērīto un prognozēto piecu gadu vidējo periodisko meža elementa vidējo caurmēra pieaugumu nav konstatētas korelatīvas sakarības ar meža elementa krūšaugstuma vecumu un vidējo caurmēru, mežaudzes šķērslaukumu un meža elementu, kas lielāki par konkrēto meža elementu, šķērslaukuma summu, (2.2.30. – 2.2.37. attēli). Lielā novērojumu skaita dēļ atsevišķos gadījumos sakarības var uzrādīt statistiski būtisku korelāciju, bet visos gadījumos korelācijas ir vājas un tās atgādina haotisku punktu kopu.



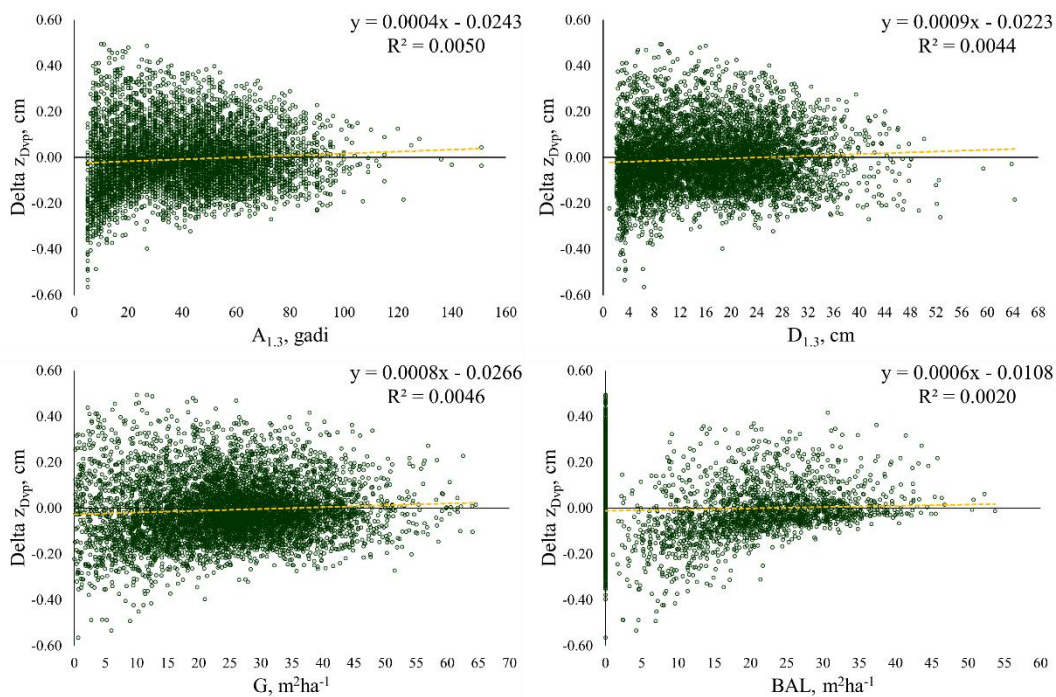
### 2.2.30. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu priedēm:

$\Delta Z_{Dvp}$  – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzņēmīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1.3}$  – meža elementa krūšaugstuma vecums,  $D_{1.3}$  – meža elementa vidējais kvadrātiskais caurmērs,  $G$  – meža audzes šķērslaukums,  $BAL$  – meža elementu, kas lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



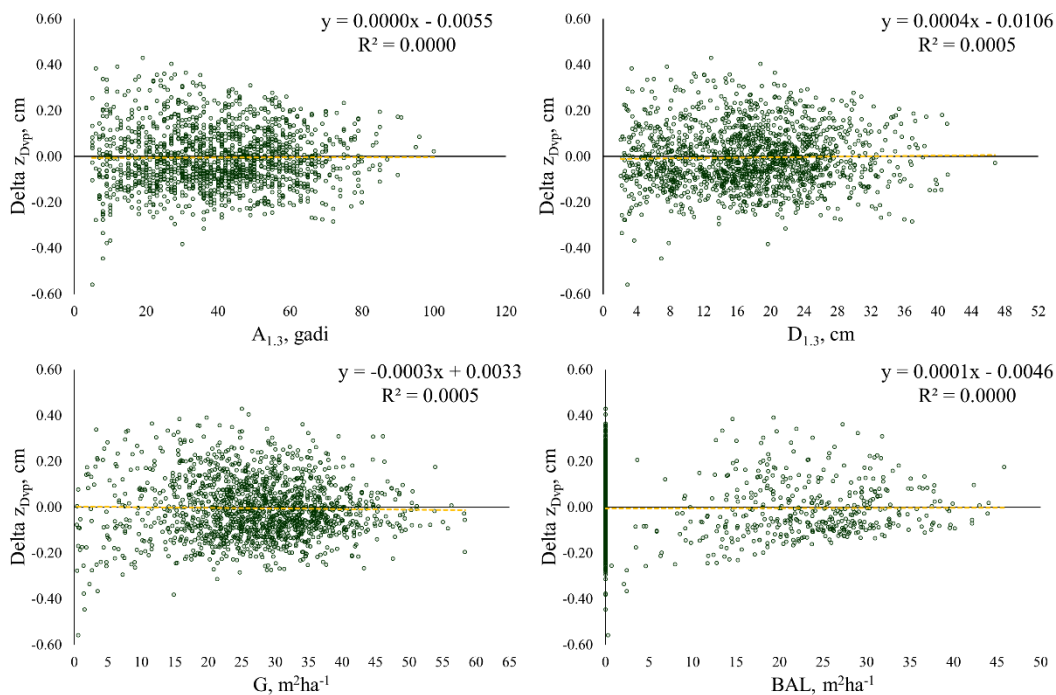
### 2.2.31. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu eglēm:

$\Delta Z_{Dvp}$  – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzņēmīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1.3}$  – meža elementa krūšaugstuma vecums,  $D_{1.3}$  – meža elementa vidējais kvadrātiskais caurmērs,  $G$  – meža audzes šķērslaukums,  $BAL$  – meža elementu, kas lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



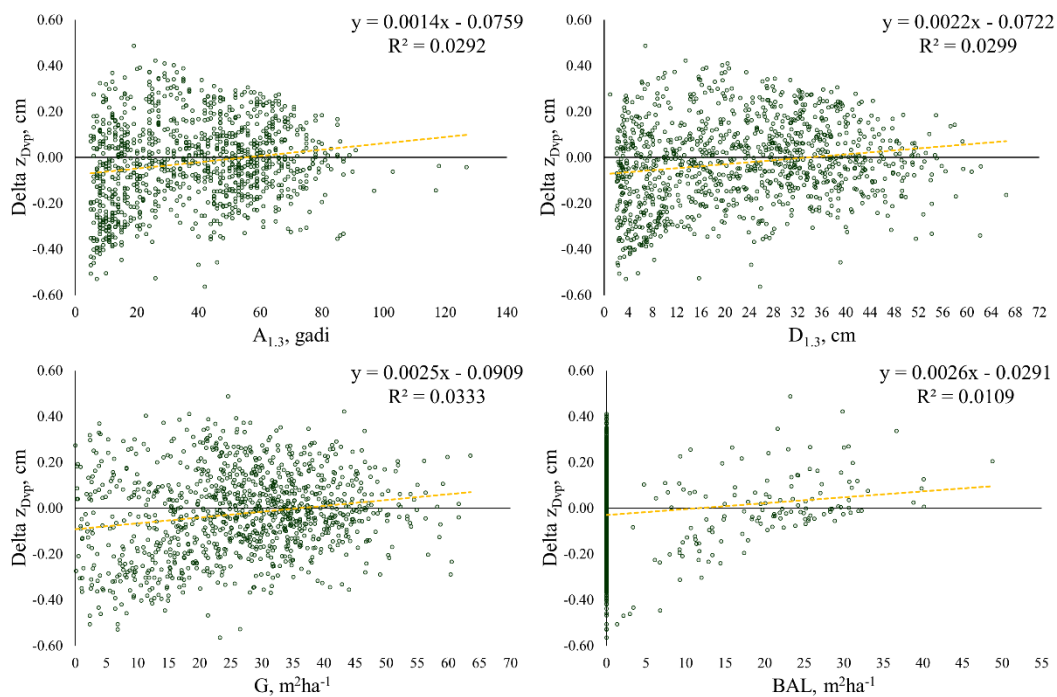
### 2.2.32. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu bērziem:

$\Delta Z_{Dvpr}$  – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzņēmīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1,3}$  – meža elementa krūšaugstuma vecums,  $D_{1,3}$  – meža elementa vidējais kvadrātiskais caurmērs,  $G$  – meža audzes šķērslaukums,  $BAL$  – meža elementu, kas lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



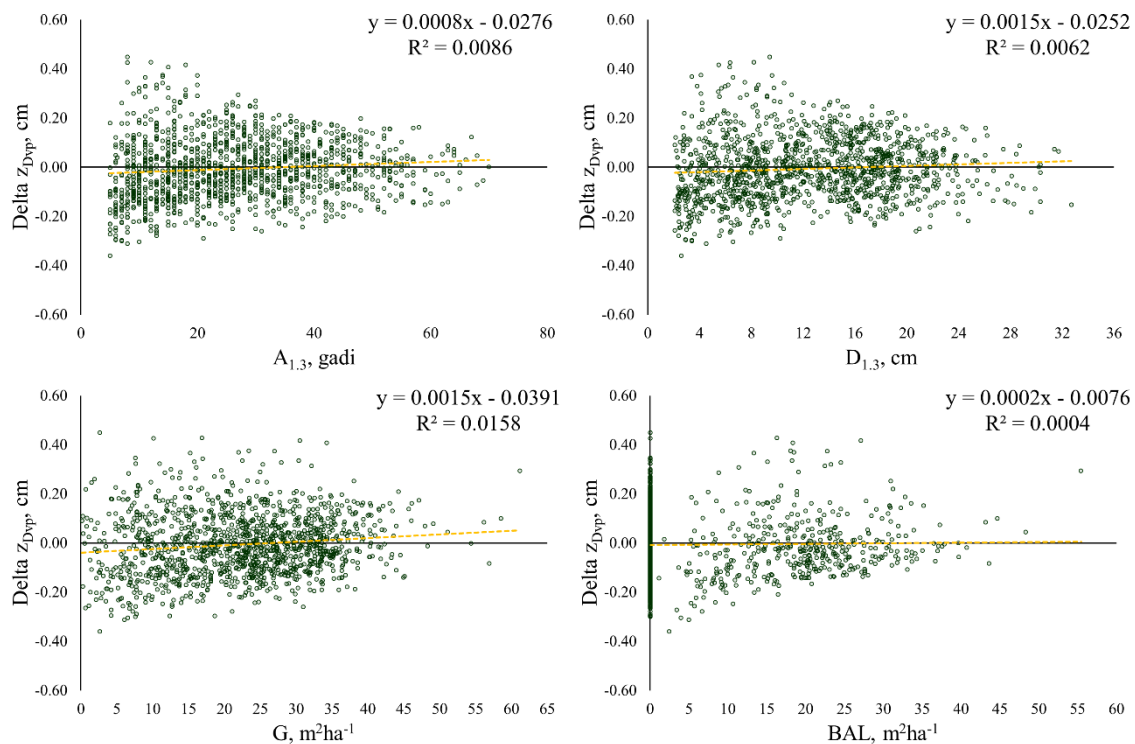
### 2.2.33. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu melnalkšņiem:

$\Delta Z_{Dvpr}$  – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzņēmīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1,3}$  – meža elementa krūšaugstuma vecums,  $D_{1,3}$  – meža elementa vidējais kvadrātiskais caurmērs,  $G$  – meža audzes šķērslaukums,  $BAL$  – meža elementu, kas lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



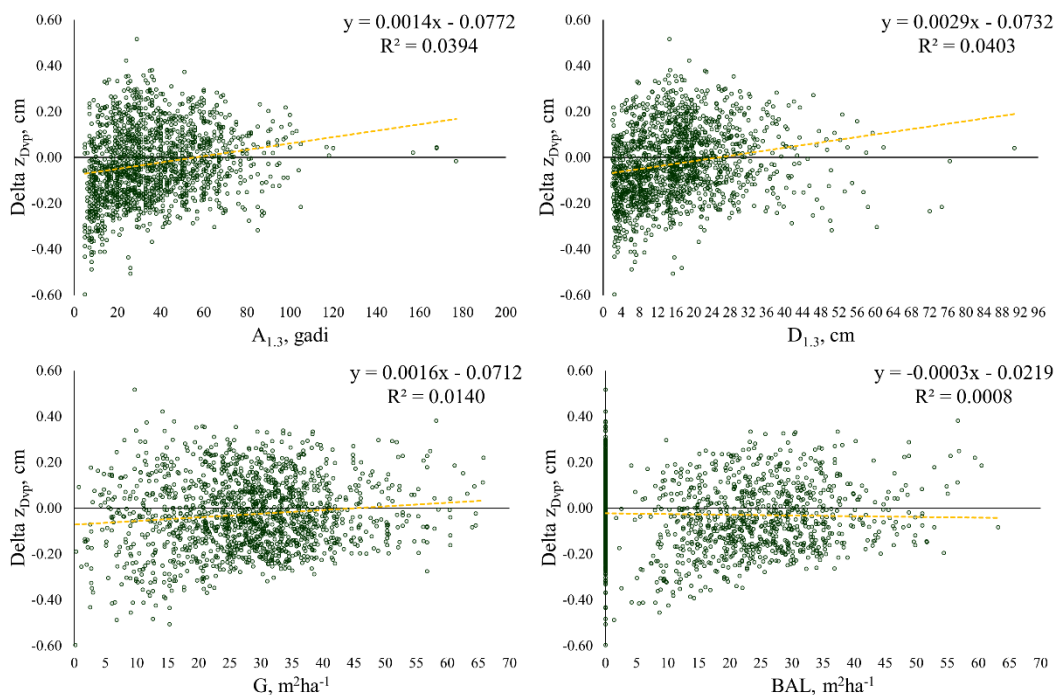
**2.2.34. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu apsēm:**

$\Delta Z_{Dvp}$  – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzņēmīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1.3}$  – meža elementa krūšaugstuma vecums,  $D_{1.3}$  – meža elementa vidējais kvadrātiskais caurmērs,  $G$  – mežaudzes šķērslaukums,  $BAL$  – meža elementu, kas lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



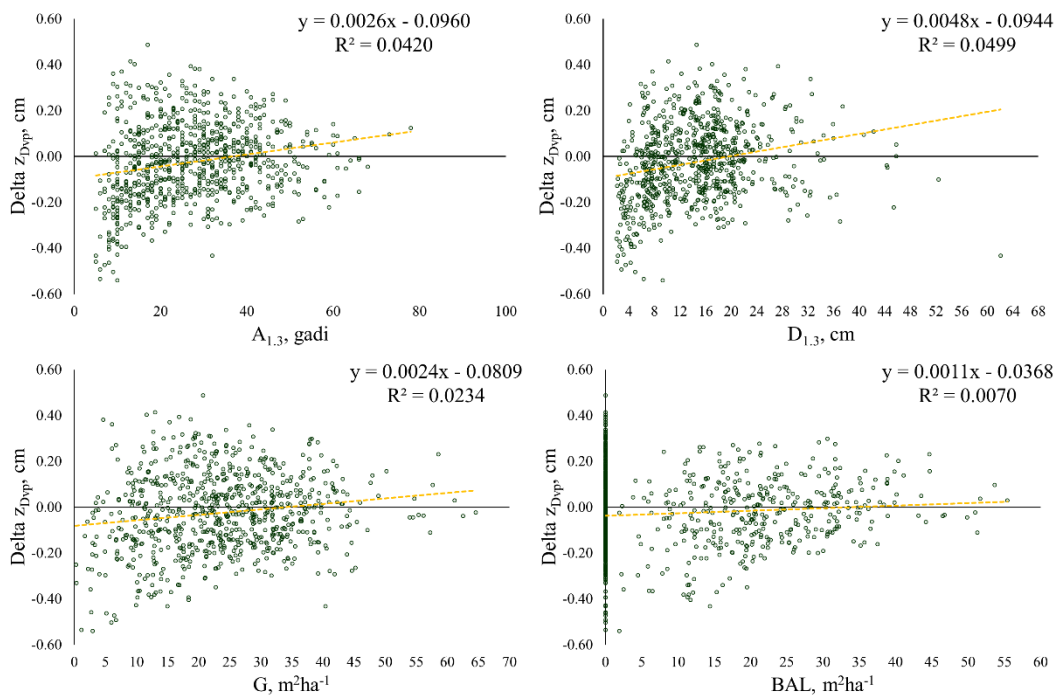
**2.2.35. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu baltalkšņiem:**

$\Delta Z_{Dvp}$  – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzņēmīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1.3}$  – meža elementa krūšaugstuma vecums,  $D_{1.3}$  – meža elementa vidējais kvadrātiskais caurmērs,  $G$  – mežaudzes šķērslaukums,  $BAL$  – meža elementu, kas lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



**2.2.36. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu platlapjiem:**

$\Delta Z_{DVP}$  – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1.3}$  – meža elementa krūšaugstuma vecums,  $D_{1.3}$  – meža elementa vidējais kvadrātiskais caurmērs,  $G$  – mežaudzes šķērslaukums,  $BAL$  – meža elementu, kas lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



**2.2.37. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu citiem lapu kokiem:**

$\Delta Z_{DVP}$  – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1.3}$  – meža elementa krūšaugstuma vecums,  $D_{1.3}$  – meža elementa vidējais kvadrātiskais caurmērs,  $G$  – mežaudzes šķērslaukums,  $BAL$  – meža elementu, kas lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.

Ilgtermiņa prognozēs ieteicams lietot 2.2.a vai 2.2.b vienādojumus, jo ar šo vienādojumu tiek modelētas konservatīvākas caurmēra izmaiņas.

## 2.1.2.4. Šķērslaukums

### Metodika

Datu analīzē izmantoja datus par 27031 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paaudzes vienā stāvā esošus kokus) no 4334 MSI parauglaukumiem, kas atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- meža elementi ir priede (4106 meža elementi), egļe (8808), bērzs (6618), apse (1354), melnalksnis (1713), baltalksnis (1434), platlapji – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, skābardis un dižskābardis, kļava (1967) un citi lapu koki (1031);
- visās uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums;
- starp inventarizācijas periodā parauglaukumā nav cirsti koki;
- meža elementa aprēķinātais šķērslaukuma tekošais vidēji periodiskais pieaugums neatšķiras vairāk kā divas standartnovirzes no meža elementa vecuma desmitgades aritmētiski vidējā šķērslaukuma tekošā vidēji periodiskā pieauguma.

Meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modelēšanai aproksimēts iepriekš izveidotais vienādojums (Donis et al., 2023), kas papildināts ar koku ciršanas faktoriālo pazīmi:

$$G_2 = G_1 + \left( b_0 + b_1 \cdot \frac{A_1}{100} + b_2 \cdot A_1^{-2} + b_3 \cdot \frac{GL}{A_1} + b_4 \cdot \frac{GL}{A_1} + b_5 \cdot \frac{SI}{A_1} + b_6 \cdot c_{0-5} \right) \cdot (A_2 - A_1) \quad (2.5)$$

<i>kur</i>	$G_2$	–	meža elementa šķērslaukums perioda beigās, $m^2ha^{-1}$ ;
	$G_1$	–	meža elementa šķērslaukums perioda sākumā, $m^2ha^{-1}$ ;
	$A_1$	–	meža elementa krūšaugsstuma vecums perioda sākumā, gadi;
	$A_2$	–	meža elementa krūšaugsstuma vecums perioda beigās, gadi;
	GL	–	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), $m^2ha^{-1}$ ;
	SI	–	pēc 2.1. formulas prognozētais vidējais augstums krūšaugsstuma bāzes vecumā (P, E un platlapji 100 gadi; B, M, A 50 gadi; Ba un citi lapu koki 20 gadi), m;
	$c_{0-5}$	–	fiktīvais mainīgais, vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta koku ciršana, (0 vai 1);
	$b_{0-6}$	–	koeficienti.

Meža elementa šķērslaukuma pieauguma izmaiņas modelētas datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows, izmantojot rīku *Linear Regression*.

Vienādojumu atbilstība izvērtēta izmantojot sekojošus statistiskos rādītājus: vidējā novirze (MRES), procentuālā vidējā novirze MRES%), vidējā absolūtā novirze (AMRES), standartnovirze (RMSE), variācijas koeficients (RMSE%), vidējā kvadrātiskā kļūda (MSE), modeļa efektivitāte (MEF) un dispersijas attiecība (VR). Šo statistisko rādītāju aprēķināšanas formulas dotas 1. pielikumā.

### Rezultāti

Papildinot datu bāzi, aproksimētas jaunas koeficientu vērtības šķērslaukuma pieauguma modelim (2.5. formula). Lai atvieglo modeļa praktisku lietošanu, tajā ir saglabāti arī koeficienti, kas nav statistiski būtiski, bet to vērtības ir bioloģiski loģiskas (2.2.17. tabula).

**2.2.17. tabula. Meža elementa šķērslaukuma izmaiņas modeļa (2.5. formula) aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji**

Suga	Koeficients	Vērtība	Standartkļūda	t-vērtība	p-vērtība
Priede	b0	0,0534	0,0117	4,5713	0,0000

Suga	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	t-vērtība	p-vērtība
	b1	-0,0528	0,0108	-4,8966	0,0000
	b2	3,6786	1,3392	2,7469	0,0060
	b3	0,8436	0,0150	56,3749	0,0000
	b4	-0,1876	0,0116	-16,1335	0,0000
	b5	0,0836	0,0081	10,2999	0,0000
	b6	0,0392	0,0082	4,7899	0,0000
Egle	b0	0,0722	0,0083	8,7326	0,0000
	b1	-0,0707	0,0100	-7,0590	0,0000
	b2	6,6431	0,9095	7,3040	0,0000
	b3	1,0283	0,0106	97,0900	0,0000
	b4	-0,0866	0,0034	-25,1715	0,0000
	b5	0,0348	0,0055	6,3722	0,0000
Bērzs	b6	0,0406	0,0054	7,5290	0,0000
	b0	0,0491	0,0099	4,9396	0,0000
	b1	-0,1417	0,0138	-10,2950	0,0000
	b2	-5,0783	0,7595	-6,6866	0,0000
	b3	0,8317	0,0128	64,7581	0,0000
	b4	-0,1104	0,0046	-24,1009	0,0000
Melnalksnis	b5	0,1305	0,0060	21,7825	0,0000
	b6	0,0447	0,0068	6,5291	0,0000
	b0	0,1118	0,0190	5,8810	0,0000
	b1	-0,1585	0,0292	-5,4196	0,0000
	b2	5,2361	1,5645	3,3467	0,0008
	b3	0,8531	0,0205	41,7062	0,0000
Apse	b4	-0,1010	0,0078	-12,8750	0,0000
	b5	0,0304	0,0130	2,3481	0,0190
	b6	0,0159	0,0139	1,1455	0,2522
	b0	0,1446	0,0283	5,1153	0,0000
	b1	-0,1449	0,0388	-3,7330	0,0002
	b2	0,0760	1,7275	0,0440	0,9649
Baltalksnis	b3	1,3154	0,0267	49,2615	0,0000
	b4	-0,1578	0,0119	-13,2190	0,0000
	b5	0,0556	0,0126	4,4043	0,0000
	b6	0,0038	0,0153	0,2449	0,8066
	b0	0,1631	0,0276	5,9087	0,0000
	b1	-0,4485	0,0579	-7,7428	0,0000
Ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis	b2	5,6866	1,6594	3,4270	0,0006
	b3	0,8164	0,0207	39,5001	0,0000
	b4	-0,1502	0,0096	-15,7023	0,0000
	b5	0,0466	0,0254	1,8340	0,0669
	b6	0,0422	0,0174	2,4207	0,0156
	b0	0,0210	0,0101	2,0804	0,0376
Citi lapu koki	b1	-0,0295	0,0138	-2,1367	0,0327
	b2	-0,5317	0,9338	-0,5694	0,5692
	b3	0,9991	0,0333	30,0078	0,0000
	b4	-0,0225	0,0033	-6,8668	0,0000
	b5	0,0225	0,0067	3,3706	0,0008
	b6	0,0093	0,0071	1,3162	0,1883
	b0	0,0680	0,0215	3,1567	0,0016
	b1	-0,1250	0,0443	-2,8221	0,0049
	b2	-0,1608	1,6851	-0,0954	0,9240
	b3	0,6496	0,0373	17,4146	0,0000
	b4	-0,0664	0,0074	-8,9702	0,0000
	b5	0,0651	0,0209	3,1087	0,0019
	b6	0,0246	0,0144	1,7118	0,0872

Izstrādātais vienādojums pārbaudot uz vienādojumu izstrādē izmantotajiem datiem nav vērojamas sistemātiskas novirzes (2.2.18. tabula).



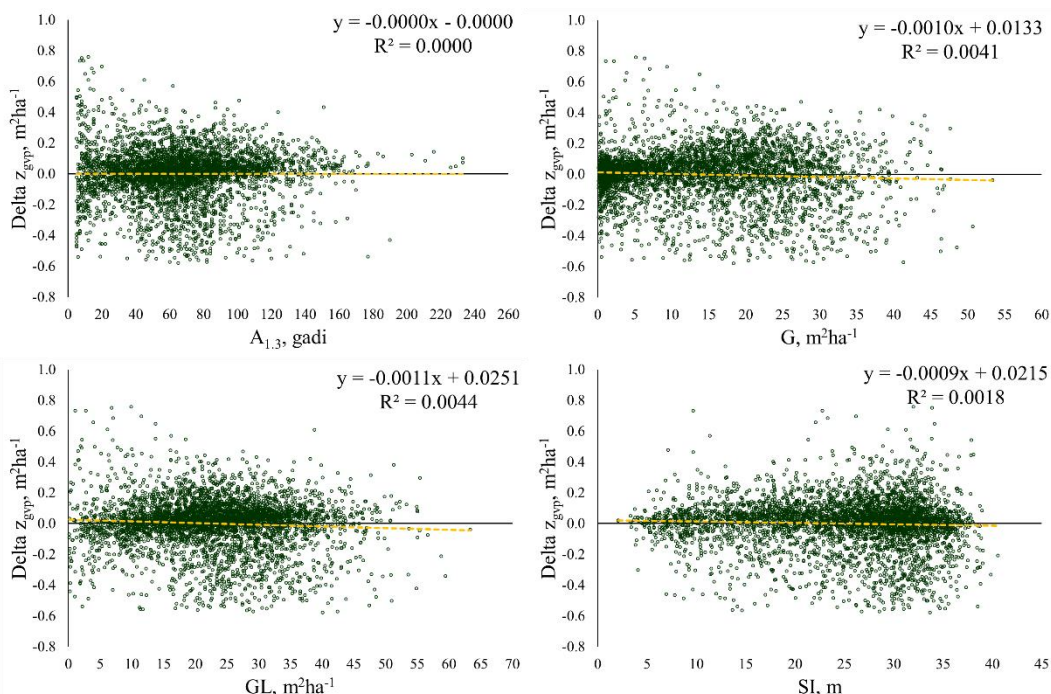
**2.2.18. tabula. Meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modeļa (2.5. formula) prognozētā ikgadējā šķērslaukuma pieauguma statistiskie rādītāji**

Rādītājs	Suga	Vid	MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	VR	R2
Z <sub>gvp</sub>	Priede	0,18	0,00	0,0	0,12	0,17	90,5	0,03	0,56	0,56
	Egle	0,15	0,00	0,0	0,10	0,16	104,1	0,02	0,61	0,61
	Bērzs	0,14	0,00	0,0	0,11	0,17	121,6	0,03	0,59	0,59
	Melnalksnis	0,14	0,00	0,0	0,10	0,15	107,0	0,02	0,57	0,57
	Apse	0,26	0,00	0,0	0,12	0,19	70,3	0,03	0,71	0,71
	Baltalksnis	0,16	0,00	0,0	0,15	0,21	131,6	0,04	0,62	0,62
	Platlapji	0,07	0,00	0,0	0,06	0,10	141,7	0,01	0,36	0,36
	Citi lapu koki	0,06	0,00	0,0	0,08	0,13	199,5	0,02	0,34	0,34
G	Priede	14,42	0,00	0,0	0,58	0,83	5,8	0,69	1,00	0,99
	Egle	5,88	0,00	0,0	0,50	0,79	13,4	0,62	1,00	0,99
	Bērzs	6,23	0,00	0,0	0,57	0,83	13,3	0,69	1,01	0,98
	Melnalksnis	6,50	0,00	0,0	0,48	0,75	11,6	0,56	1,00	0,99
	Apse	7,04	0,00	0,0	0,59	0,93	13,2	0,86	1,01	0,99
	Baltalksnis	5,82	0,00	0,0	0,76	1,05	18,0	1,10	1,01	0,98
	Platlapji	2,30	0,00	0,0	0,28	0,49	21,1	0,24	0,98	0,98
	Citi lapu koki	2,12	0,00	0,0	0,39	0,64	30,1	0,40	0,95	0,94

Z<sub>gvp</sub> – meža elementa šķērslaukuma tekošais vidējais periodiskais pieaugums, m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup> gadā; G – meža elementa šķērslaukums, m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>;

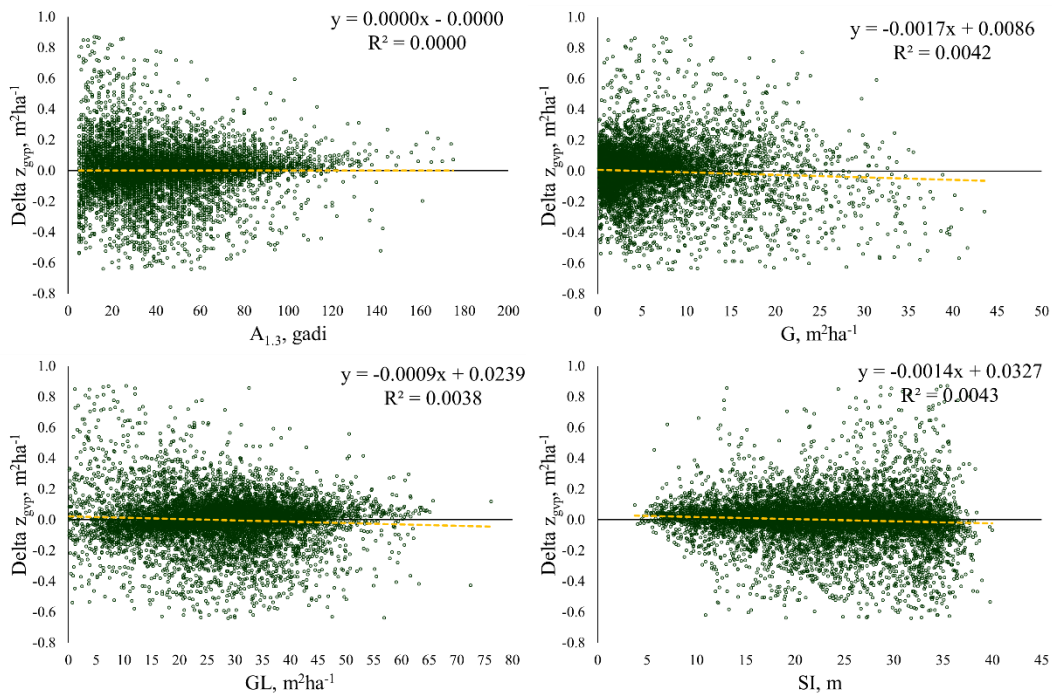
Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; VR - dispersijas attiecība; R2 - determinācijas koeficients,

Starpībai starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu nav konstatētas korelatīvas sakarības ar meža elementa krūšaugstuma vecumu, bonitātes rādītāju jeb prognozēto augstumu bāzes vecumā, meža elementa šķērslaukumu un meža elementu, kas vienādi vai lielāki par konkrēto meža elementu, šķērslaukuma summu, (2.2.36. – 2.2.43. attēli).



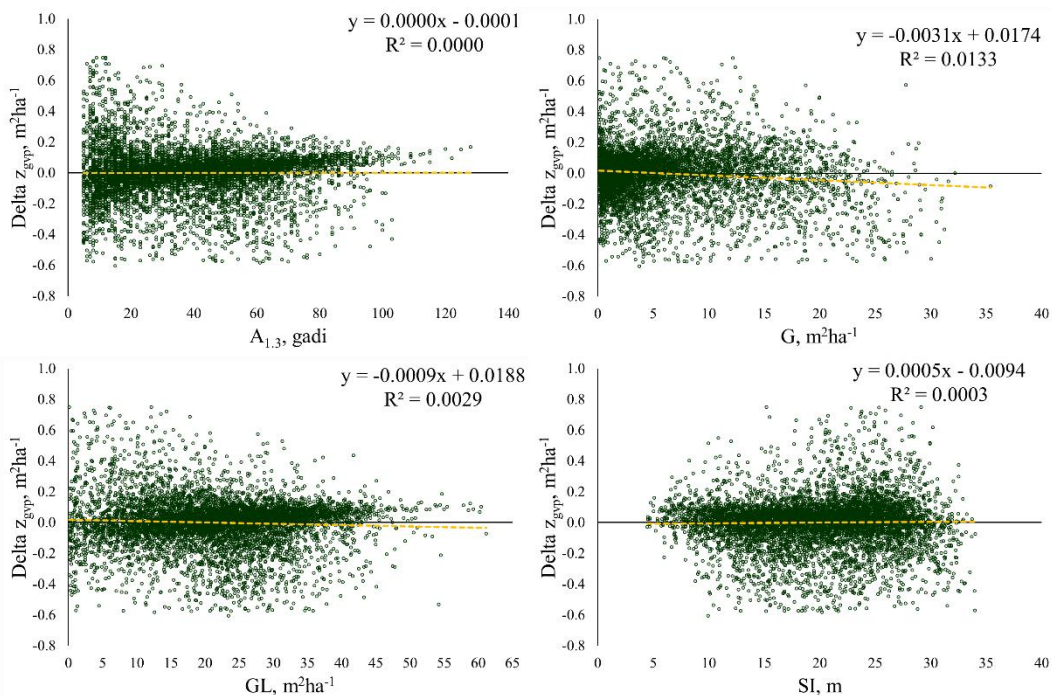
**2.2.36. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu piedēm:**

Delta Z<sub>gvp</sub> – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A<sub>1,3</sub> – meža elementa krūšaugstuma vecums, SI – meža elementa augstums bāzes vecumā (priede, egle platlapji – 100 gadi, bērzs, apse, melnalksnis 50 gadi, baltalksnis un citi lapu koki 20 gadi), G – meža elementa šķērslaukums, GL – meža elementu, kas vienādi vai lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



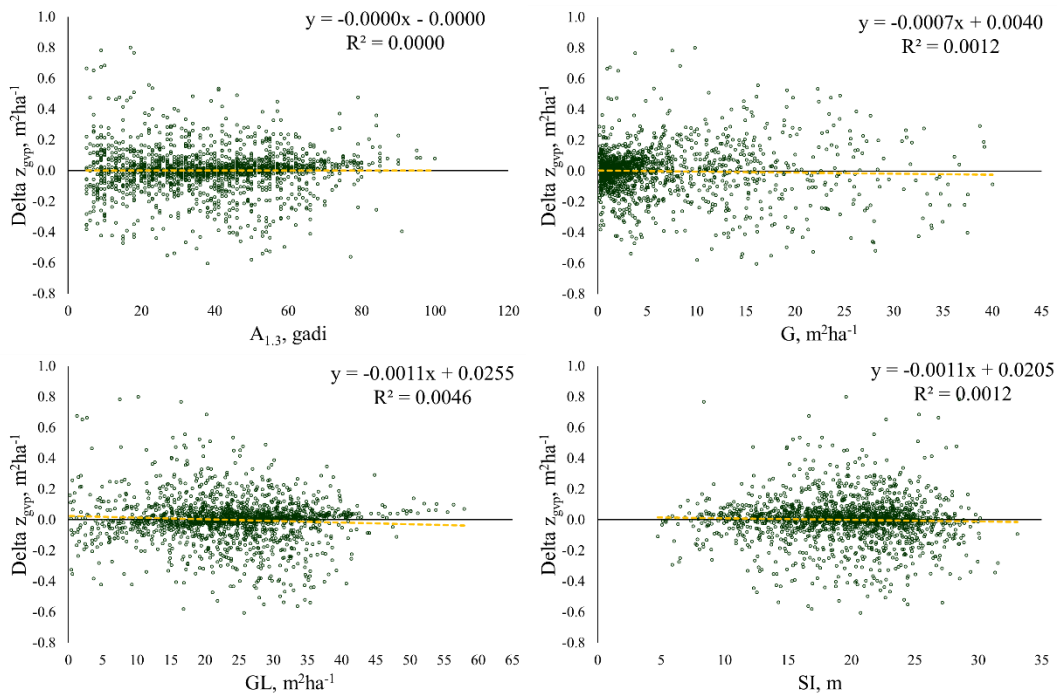
**2.2.37. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu eglēm:**

$\Delta Z_{gvp}$  – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma starpība starp uzņēmīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1,3}$  – meža elementa krūšaugstuma vecums,  $SI$  – meža elementa augstums bāzes vecumā (priede, egle platlapji – 100 gadi, bērzs, apse, melnalksnis 50 gadi, baltalksnis un citi lapu koki 20 gadi),  $G$  – meža elementa šķērslaukums,  $GL$  – meža elementu, kas vienādi par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



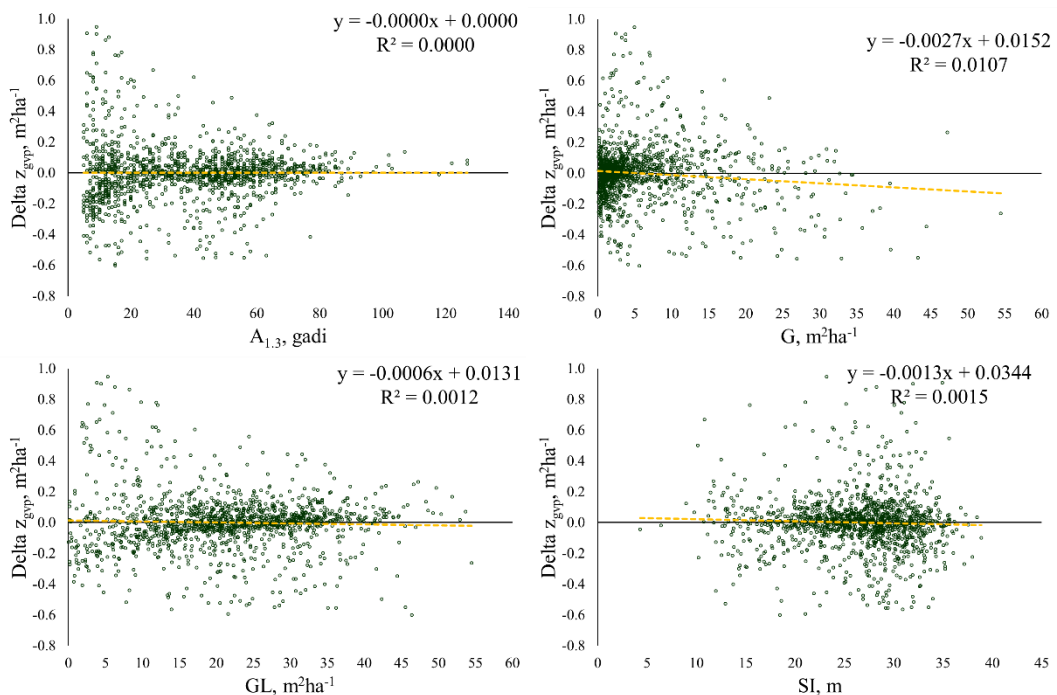
**2.2.38. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu bērziem:**

$\Delta Z_{gvp}$  – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma starpība starp uzņēmīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1,3}$  – meža elementa krūšaugstuma vecums,  $SI$  – meža elementa augstums bāzes vecumā (priede, egle platlapji – 100 gadi, bērzs, apse, melnalksnis 50 gadi, baltalksnis un citi lapu koki 20 gadi),  $G$  – meža elementa šķērslaukums,  $GL$  – meža elementu, kas vienādi par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



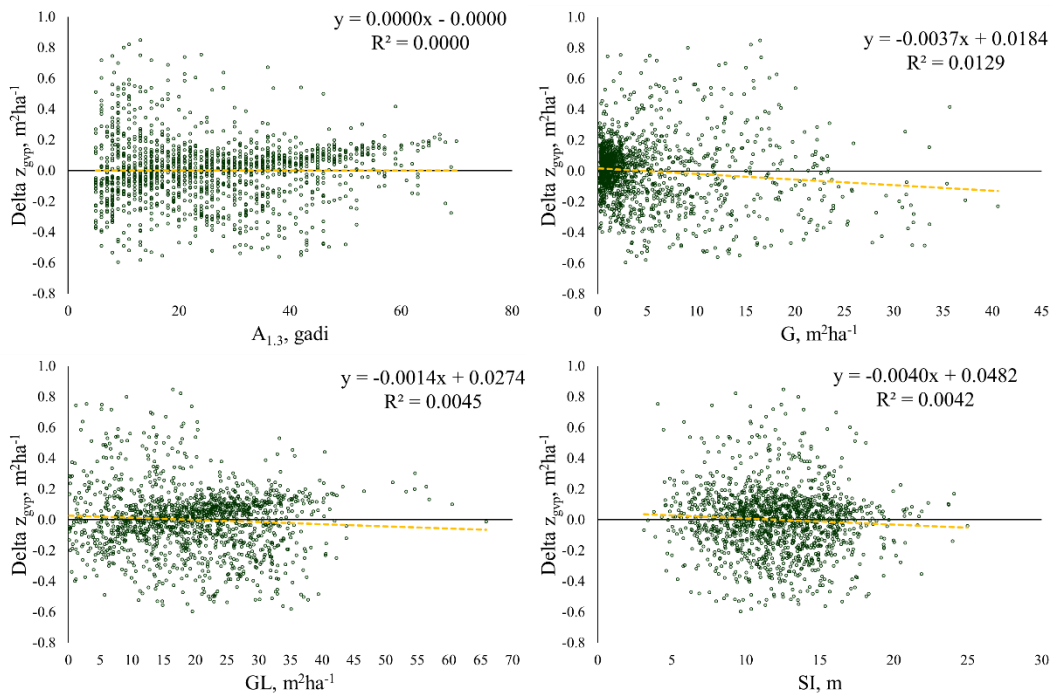
### 2.2.39. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu melnalkšņiem:

$\Delta Z_{gvp}$  – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1,3}$  – meža elementa krūšaugstuma vecums,  $SI$  – meža elementa augstums bāzes vecumā (priede, egļu platlapji – 100 gadi, bērzs, apse, melnalksnis 50 gadi, baltalksnis un citi lapu koki 20 gadi),  $G$  – meža elementa šķērslaukums,  $GL$  – meža elementu, kas vienādi par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



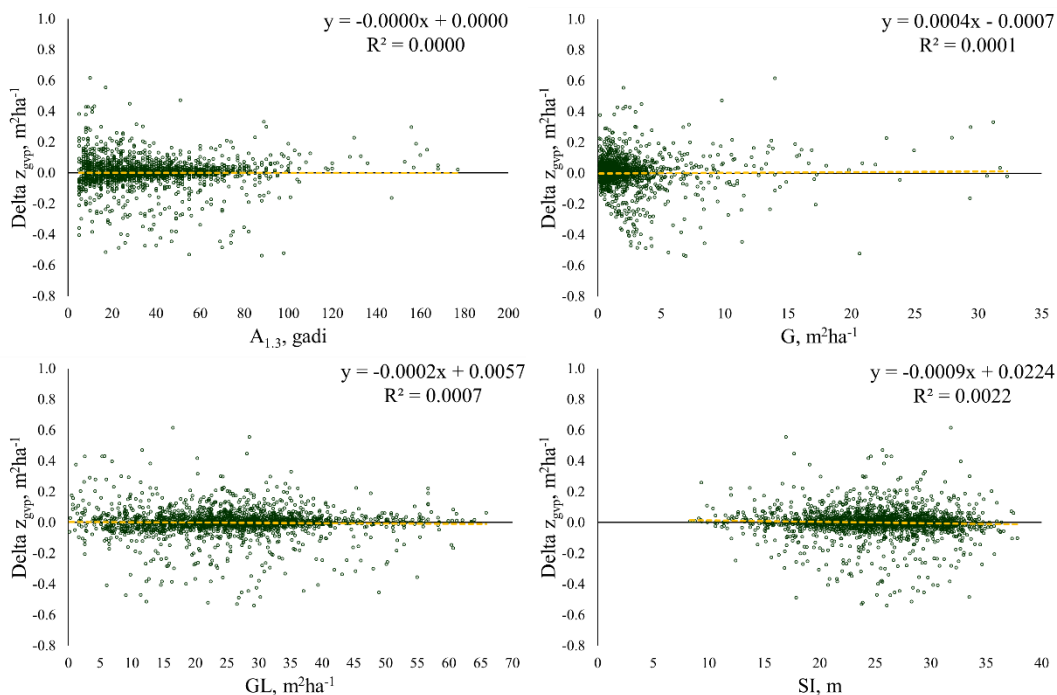
### 2.2.40. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu apsēm:

$\Delta Z_{gvp}$  – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1,3}$  – meža elementa krūšaugstuma vecums,  $SI$  – meža elementa augstums bāzes vecumā (priede, egļu platlapji – 100 gadi, bērzs, apse, melnalksnis 50 gadi, baltalksnis un citi lapu koki 20 gadi),  $G$  – meža elementa šķērslaukums,  $GL$  – meža elementu, kas vienādi par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



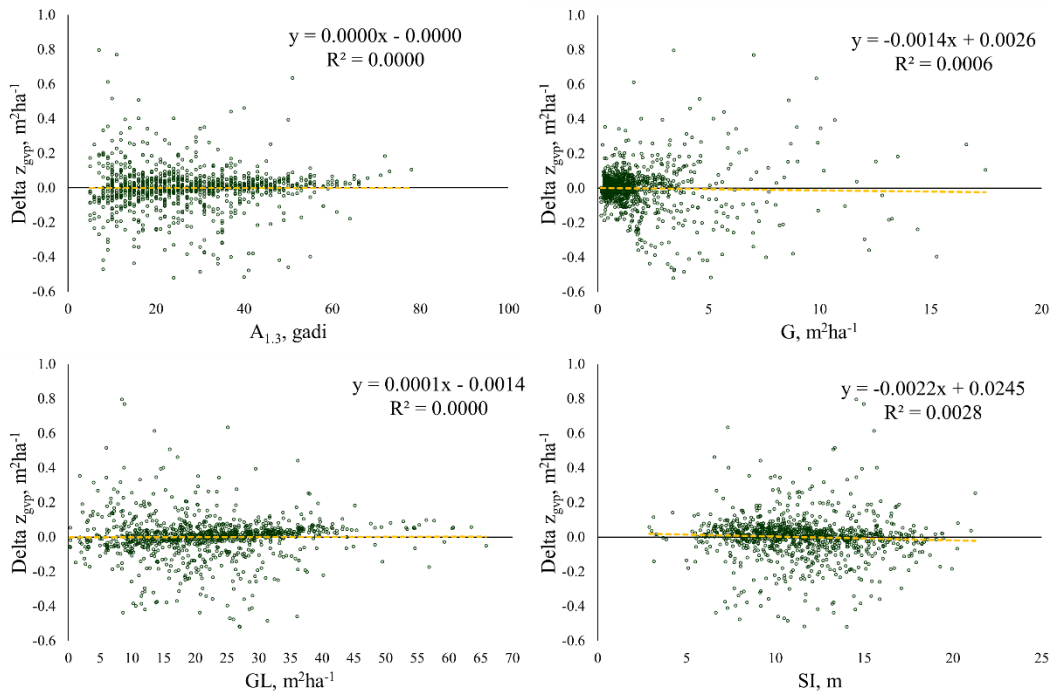
### 2.2.41. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu baltalkšņiem:

$\Delta Z_{gvp}$  – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1,3}$  – meža elementa krūšaugstuma vecums,  $SI$  – meža elementa augstums bāzes vecumā (priede, egļu platlapji – 100 gadi, bērzs, apse, melnalksnis 50 gadi, baltalksnis un citi lapu koki 20 gadi),  $G$  – meža elementa šķērslaukums,  $GL$  – meža elementu, kas vienādi par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



### 2.2.42. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu platlapjiem:

$\Delta Z_{dgp}$  – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1,3}$  – meža elementa krūšaugstuma vecums,  $SI$  – meža elementa augstums bāzes vecumā (priede, egļu platlapji – 100 gadi, bērzs, apse, melnalksnis 50 gadi, baltalksnis un citi lapu koki 20 gadi),  $G$  – meža elementa šķērslaukums,  $GL$  – meža elementu, kas vienādi par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa



### 2.2.43. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu citiem lapu kokiem:

Delta Z<sub>gvp</sub> – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma starpība starp uzņēmīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A<sub>1,3</sub> – meža elementa krūšaugstuma vecums, SI – meža elementa augstums bāzes vecumā (priede, egļe platlapji – 100 gadi, bērzs, apse, melnalksnis 50 gadi, baltalksnis un citi lapu koki 20 gadi), G – meža elementa šķērslaukums, GL – meža elementu, kas vienādi un lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.

### Secinājumi

Ar papildinātajiem datiem sagatavotie vienādojumi augšanas gaitas (vidējā augstuma, virsaugstuma, šķērslaukuma, vidējā caurmēra modeļi ir izmantojami augšanas gaitas prognozēšanai stratēģiskā līmenī, bet atsevišķu nogabalu (parauglaukumu) līmenī var būt ievērojamas atšķirības starp prognozēto un faktisko taksācijas parametru lielumu.

Vienādojumu kopa papildināta ar vidējā augstuma un caurmēra pieaugumu vienādojumiem II stāva koku augšanas aproksimācijai.

Ieteicams modelēšanas sistēmā izmantot jaunākos vienādojumu koeficientus.

### 3. Individuāla koka augšanas gaitas modeļi

#### 3.1. Individuāla koka augšanas gaitas modeļi, kas balstīti 4 MSI cikla datos

##### 3.1.1. Kandidātvienādojumu kopas izveide (literatūras apskats)

Literatūras apskats par individuāla koka augšanas gaitas modeļiem ir iekļauts pētījuma pirmā posma (2021.g.) pārskatā. Tajā apkopota informācija par Zviedrijā (Heureka<sup>3</sup>), Somijā (MOTTI) un Vācijā (SILVA) (Pretsch et al., 2002) izstrādātajiem individuāla koka augšanas gaitas modeļiem (vienādojumu sistēmām). Tādēļ tie šajā pārskatā vairs nav iekļauti.

##### 3.1.2. Netelpiskie (non-spatial) individuāla koka augšanas gaitas modeļu (h, d, g, atmiršanas varbūtība, ieaugšanās varbūtība) (P, E, B, M, A) aproksimācija

#### Caurmēra pieaugums

##### Materiāls un metodika

Datu analīzē izmantoja datus par 205387 kokiem (priedes – 57764, egles – 64949, bērzi – 47565, melnalkšņi – 12727, apses – 7837, baltalkšņi – 14545) no 4657 MSI 2014. – 2023. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem. Datu analīzē izmanto tikai tos koku datus, kas atkārtotajā uzmērīšanas reizē ir dzīvi koki.

Caurmēra augšanas gaitas raksturošanai izmanto atsevišķu koku šķērslaukuma pieauguma modeli, kas paredzēts nākamo 5 gadu caurmēra pieauguma aprēķināšanai:

$$i_{g5} = \exp \left( b_0 + b_1 \cdot \frac{SI_i}{10} + b_2 \cdot \frac{10}{H_{\text{vald}}} + b_3 \cdot \frac{10}{H_{\text{vald}}^2} + b_4 \cdot \ln(d) + \alpha_5 \cdot \left( \frac{d}{100} \right)^2 + b_6 \cdot \ln(\text{RDF} + 1) + b_7 \cdot \text{RDFL} + b_8 \cdot \frac{T_{\text{sum}}}{1000} + b_9 \cdot c_{0-5} \right) \quad (3.1)$$

- kur
- $i_{g5}$  – koka nākošo 5 gadu šķērslaukuma pieaugums,  $\text{cm}^2$ ;
  - $SI_i$  – koka augstums bāzes vecumā (p, e – 100 gadi; b, m, a – 50 gadi; ba – 20 gadi), m;
  - $H_{\text{vald}}$  – mežaudzes valdaudzes augstums (koku, kas resnāki par mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo kvadrātisko caurmēru, aritmētiski vidējais augstums), m;
  - d – koka krūšaugstuma caurmērs, cm;
  - RDF – mežaudzes relatīvās biežības faktors;
  - RDFL – relatīvās biežības faktors kokiem, kas resnāki par konkrēto koku;
  - $T_{\text{sum}}$  – aktīvās veģetācijas ( $t^\circ > 5^\circ\text{C}$ ) temperatūru summa,  $^\circ\text{C}$ ;
  - $c_{0-5}$  – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta koku ciršana, (0 vai 1);
  - $b_{0-9}$  – koeficienti.

Atsevišķu koku caurmēra augšanas gaita modelēta datorprogrammā SPSS for Windows izmantojot rīku *nonlinear regression*, kur kā atkarīgais mainīgais ir koka nākošo 5 gadu šķērslaukuma pieaugums, bet kā neatkarīgie mainīgie izmantoti koka augstums bāzes vecumā, mežaudzes valdaudzes augstums, koka krūšaugstuma caurmērs, mežaudzes relatīvās biežības faktors, aktīvās

<sup>3</sup> [Category:Model - Heureka Wiki \(heurekaslu.se\)](https://heureka.se/wiki/Category:Model).

veģetācijas ( $t^{\circ} > 5^{\circ}\text{C}$ ) temperatūru summa un fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta koku ciršana.

### Rezultāti

Balstoties uz MSI 2014. – 2023. gadā atkārtoti uzņēmētajiem parauglaukumu datiem aproksimētas koeficientu vērtības netelpiskajam atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modelim (3.1.1. tabula). Vienādojumā atstāti visi bioloģiski loģiskie faktori, bet faktori, kas ir bioloģiski nelōģiski (koeficientam pretēja zīme) vienādojumos nav atstāti. Priedei, bērzam un apsei nelōģisks faktors un arī statistiski nebūtisks ( $p=0.05$ ) ir aktīvās veģetācijas ( $t^{\circ} > 5^{\circ}\text{C}$ ) temperatūru summa, tādēļ šīm sugām šo faktoru vienādojumos neņem vērā un tā koeficients ir nulle.

Netelpiskajam atsevišķa koka caurmēra prognožu modelim statistiskie rādītāji, pārbaudot to uz izstrādē izmantoto paraugkopu, ir augsti. Piemēram, vidējā periodiskā caurmēra pieauguma vidējā novirze nevienam no meža elementiem nepārsniedz 0,01 cm gadā, kas attiecinot to pret vidējo pieaugumu svārstās no -2,3% līdz 0,5% (3.1.2. tabula).

Atsevišķa koka šķērslaukuma pieauguma modelim, salīdzinot uzņēmēto un prognozēto vidējo periodisko caurmēra pieaugumu, nav konstatētas korelatīvas novirzes ar koka vecumu, caurmēru, koka un audzes bonitāti jeb ražību un audzes biežību (3.1.1. – 3.1.6. attēli). Tomēr dažām modelētajām sugām ir vērojama tendence, ka mazākiem kokiem un zemākās audzēs (zemāks valdaudzes augstums) prognozētās vērtības ir sistemātiski lielākas nekā uzņēmētās. Lai gan no praktiskā pielietojuma ērtāk ir lietot vienu algoritmu, tomēr šāda tendence norāda uz to, ka nākotnē potenciāli būtu jāizsver iespēja izstrādāt augšanas gaitas vienādojumus atsevišķi jaunākām vai mazākas dimensijas audzēm.

**3.1.1. tabula. Netelpiska atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modeļa (3.1. formula) 2024. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji**

Suga	Koeficients	Parametrs	Vērtība	Standartklūda
Priede	b0	Intercept	-2,7984	0,0967
	b1	SI	0,5319	0,0045
	b2	Hvald	1,0910	0,0268
	b3	Hvald <sup>2</sup>	-0,6352	0,0980
	b4	lnD	1,6471	0,0273
	b5	D <sup>2</sup>	-0,0277	0,0011
	b6	RDF	-0,7339	0,0185
	b7	RDFL	-0,4908	0,0174
	b8	Tsum	0,0000	-
Egle	b9	c05	0,0698	0,0062
	b0	Intercept	-1,3603	0,1109
	b1	SI	0,4055	0,0060
	b2	Hvald	0,6886	0,0166
	b3	Hvald <sup>2</sup>	0,6762	0,0608
	b4	lnD	1,4246	0,0206
	b5	D <sup>2</sup>	-0,0273	0,0010
	b6	RDF	-0,8943	0,0181
	b7	RDFL	-0,6171	0,0158
Bērzs	b8	Tsum	0,1128	0,0349
	b9	c05	0,0699	0,0061
	b0	Intercept	-1,6625	0,0966
	b1	SI	0,7296	0,0075
	b2	Hvald	1,0386	0,0417
	b3	Hvald <sup>2</sup>	-0,5821	0,1364
	b4	lnD	1,4266	0,0252
	b5	D <sup>2</sup>	-0,0497	0,0014
b6	RDF	-0,7817	0,0202	
	b7	RDFL	-1,2545	0,0216

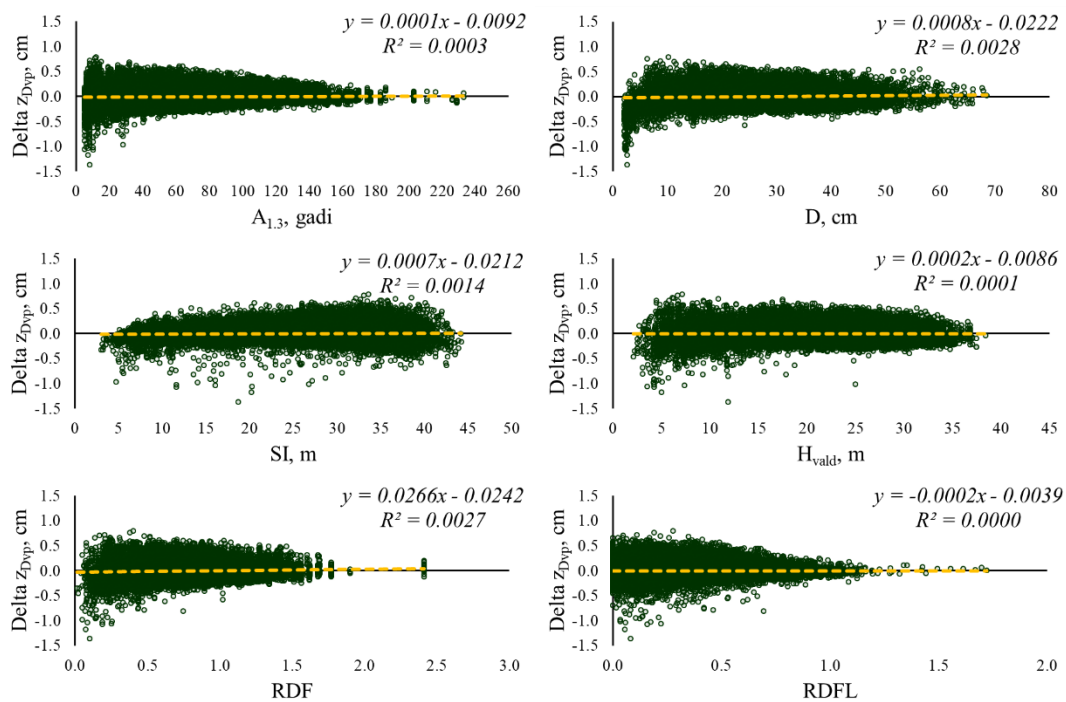
Suga	Koeficients	Parametrs	Vērtība	Standartklūda
	b8	Tsum	0,0000	-
	b9	c05	0,0469	0,0080
Melnalksnis	b0	Intercept	-1,9818	0,2834
	b1	SI	0,4855	0,0157
	b2	Hvald	0,9305	0,0773
	b3	Hvald^2	-0,0755	0,2743
	b4	lnD	1,5944	0,0560
	b5	D^2	-0,0604	0,0032
	b6	RDF	-0,9538	0,0398
	b7	RDFL	-0,9608	0,0391
	b8	Tsum	0,2437	0,0747
	b9	c05	0,0785	0,0165
Apse	b0	Intercept	-0,7178	0,2141
	b1	SI	0,3624	0,0162
	b2	Hvald	1,2162	0,1177
	b3	Hvald^2	-1,4419	0,4637
	b4	lnD	1,4615	0,0497
	b5	D^2	-0,0236	0,0016
	b6	RDF	-0,6087	0,0409
	b7	RDFL	-1,4294	0,0461
	b8	Tsum	0,0000	-
	b9	c05	0,0277	0,0160
Baltalksnis	b0	Intercept	-1,6907	0,2817
	b1	SI	0,5438	0,0211
	b2	Hvald	0,6425	0,0740
	b3	Hvald^2	1,2652	0,2268
	b4	lnD	1,4456	0,0522
	b5	D^2	-0,1041	0,0060
	b6	RDF	-0,5164	0,0406
	b7	RDFL	-1,3831	0,0387
	b8	Tsum	0,4126	0,0819
	b9	c05	0,1286	0,0152

**3.1.2. tabula. Atsevišķa koka caurmēra augšanas gaitas modeļa (3.1. formula) prognozētā ikgadējā caurmēra pieauguma statistiskie rādītāji**

Suga	Vid	MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	VR	R2
Priede	0,22	0,00	-1,80	0,10	0,13	59,43	0,02	0,44	0,37
Egle	0,31	-0,01	-3,47	0,14	0,19	61,84	0,04	0,40	0,34
Bērzs	0,27	-0,01	-3,07	0,13	0,17	63,62	0,03	0,51	0,45
Melnalksnis	0,29	-0,01	-1,98	0,13	0,16	57,17	0,03	0,38	0,35
Apse	0,49	-0,03	-6,27	0,20	0,25	52,04	0,06	0,45	0,36
Baltalksnis	0,26	-0,01	-3,70	0,12	0,16	59,32	0,02	0,38	0,36

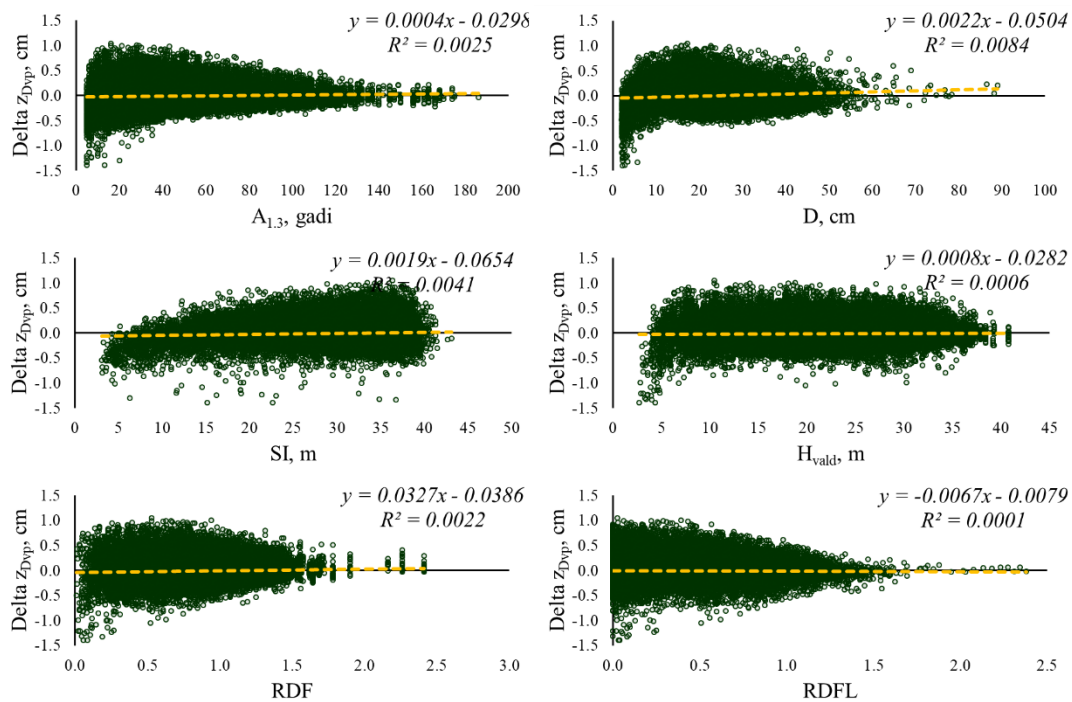
Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; VR - dispersijas attiecība; R2 - determinācijas koeficients,





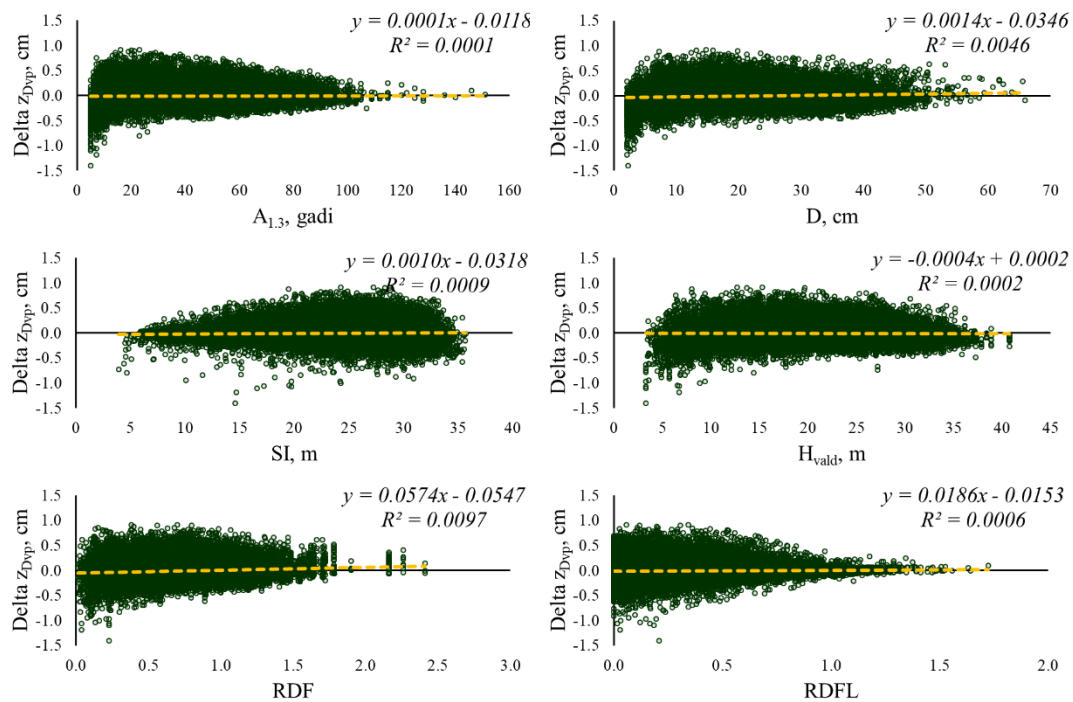
### 3.1.1. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu piedēm:

Delta  $Z_{Dvp}$  – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzņēmīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1.3}$  – koka (meža elementa) krūšaugstuma vecums,  $D_{1.3}$  – koka caurmērs 1.3 m augstumā,  $SI$  – koka bonitāte jeb augstums bāzes vecumā (P, E 100 gadi, B, M, A 50 gadi, Ba 20 gadi),  $H_{vald}$  – mežaudzes valdaudzes augstums (koku, kas resnāki par mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo kvadrātisko caurmēru, aritmētiski vidējais augstums),  $RDF$  – mežaudzes relatīvās biežības faktors,  $RDFL$  – relatīvās biežības faktors kokiem, kas resnāki par konkrēto koku.



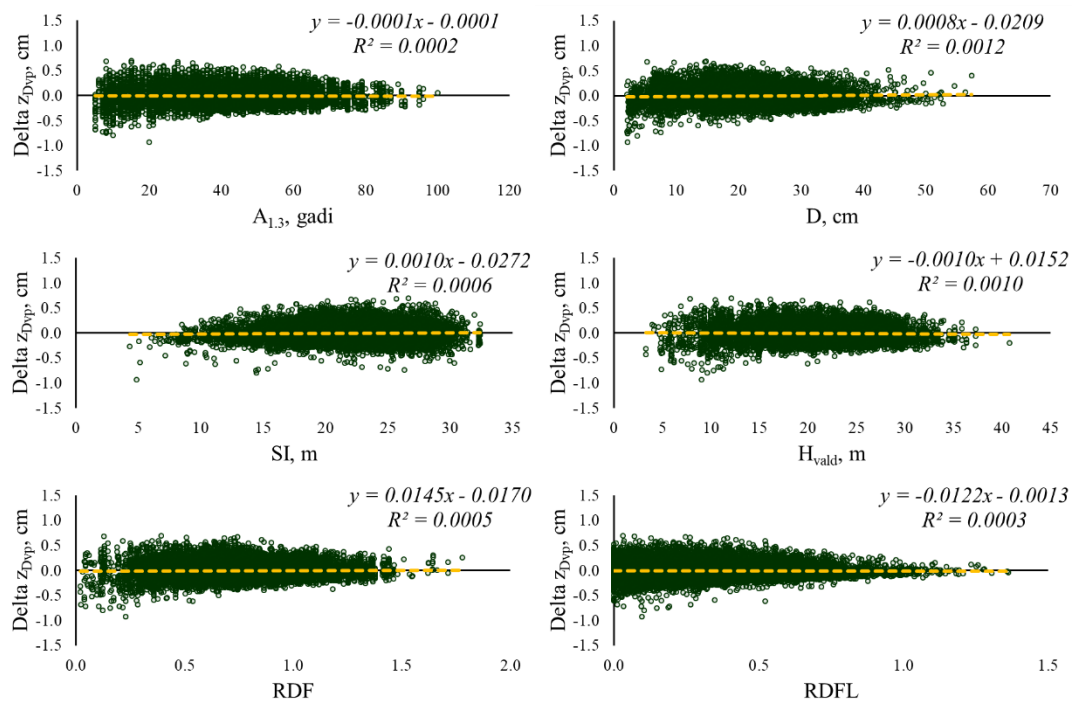
### 3.1.2. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu eglēm:

Delta  $Z_{Dvp}$  – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1.3}$  – koka (meža elementa) krūšaugstuma vecums,  $D_{1.3}$  – koka caurmērs 1.3 m augstumā,  $SI$  – koka bonitāte jeb augstums bāzes vecumā (P, E 100 gadi, B, M, A 50 gadi, Ba 20 gadi),  $H_{vald}$  – mežaudzes valdaudzes augstums (koku, kas resnāki par mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo kvadrātisko caurmēru, aritmētiski vidējais augstums),  $RDF$  – mežaudzes relatīvās biežības faktors,  $RDFL$  – relatīvās biežības faktors kokiem, kas resnāki par konkrēto koku.



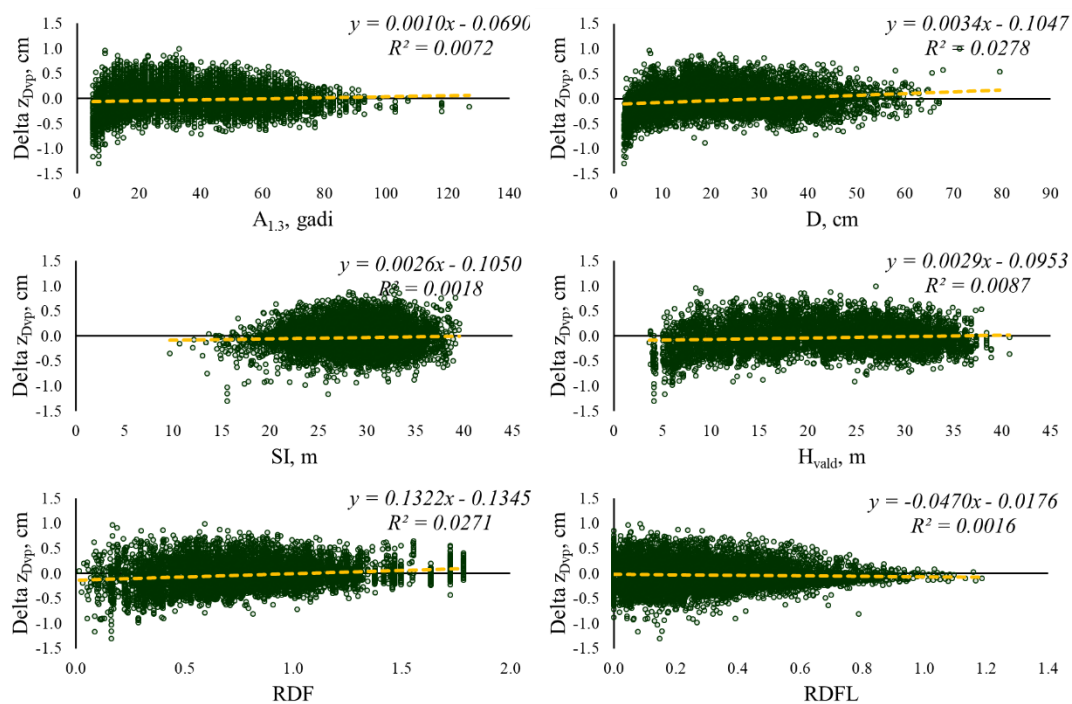
### 3.1.3. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu bērziem:

$\Delta Z_{Dvp}$  – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzņēmīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1.3}$  – koka (meža elementa) krūšaugstuma vecums,  $D_{1.3}$  – koka caurmērs 1.3 m augstumā,  $SI$  – koka bonitāte jeb augstums bāzes vecumā (P, E 100 gadi, B, M, A 50 gadi, Ba 20 gadi),  $H_{vald}$  – mežaudzes valdaudzes augstums (koku, kas resnāki par mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo kvadrātisko caurmēru, aritmētiski vidējais augstums),  $RDF$  – mežaudzes relatīvās biežības faktors,  $RDFL$  – relatīvās biežības faktors kokiem, kas resnāki par konkrēto koku.



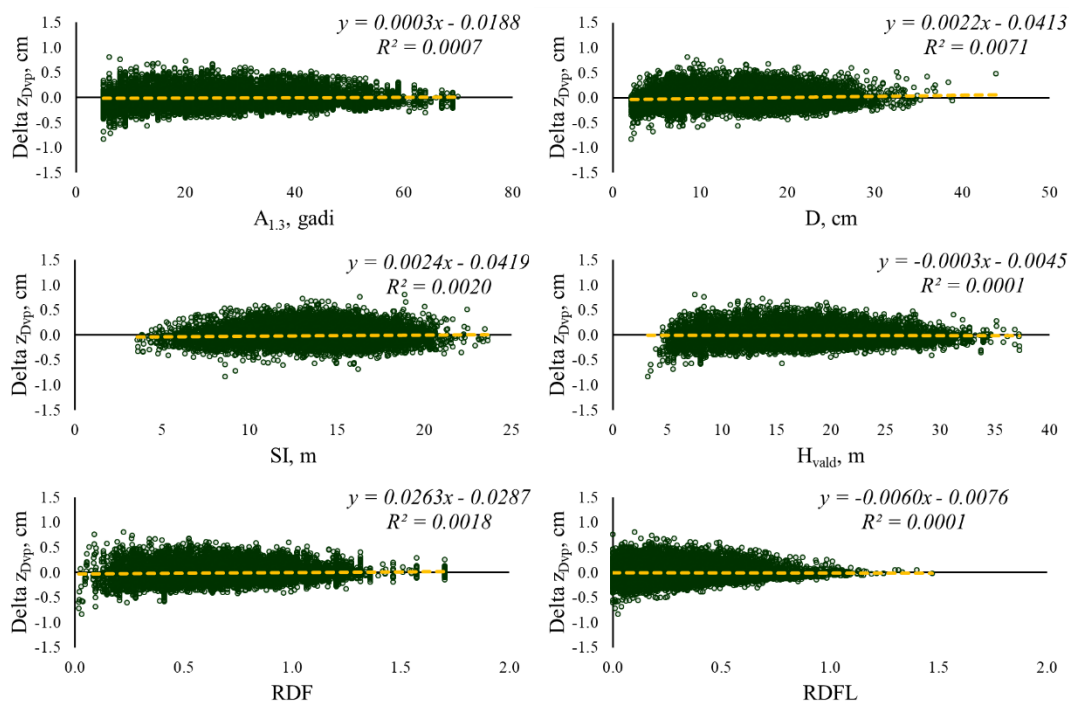
### 3.1.4. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu melnalkšņiem:

Delta Z<sub>Dvp</sub> – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzņēmīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A<sub>1.3</sub> – koka (meža elementa) krūšaugstuma vecums, D<sub>1.3</sub> – koka caurmērs 1.3 m augstumā, SI – koka bonitāte jeb augstums bāzes vecumā (P, E 100 gadi, B, M, A 50 gadi, Ba 20 gadi), H<sub>vald</sub> – mežaudzes valdaudzes augstums (koku, kas resnāki par mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo kvadrātisko caurmēru, aritmētiski vidējais augstums), RDF – mežaudzes relatīvās biežības faktors, RDFL – relatīvās biežības faktors kokiem, kas resnāki par konkrēto koku.



### 3.1.5. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu apsēm:

Delta  $Z_{Dvp}$  – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzņēmīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1.3}$  – koka (meža elementa) krūšaugstuma vecums,  $D_{1.3}$  – koka caurmērs 1.3 m augstumā,  $SI$  – koka bonitāte jeb augstums bāzes vecumā (P, E 100 gadi, B, M, A 50 gadi, Ba 20 gadi),  $H_{vald}$  – mežaudzes valdaudzes augstums (koku, kas resnāki par mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo kvadrātisko caurmēru, aritmētiski vidējais augstums),  $RDF$  – mežaudzes relatīvās biežības faktors,  $RDFL$  – relatīvās biežības faktors kokiem, kas resnāki par konkrēto koku.



### 3.1.6. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu baltalkšņiem:

Delta Z<sub>dvp</sub> – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzņēmīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A<sub>1,3</sub> – koka (meža elementa) krūšaugstuma vecums, D<sub>1,3</sub> – koka caurmērs 1.3 m augstumā, SI – koka bonitāte jeb augstums bāzes vecumā (P, E 100 gadi, B, M, A 50 gadi, Ba 20 gadi), H<sub>vald</sub> – mežaudzes valdaudzes augstums (koku, kas resnāki par mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo kvadrātisko caurmēru, aritmētiski vidējais augstums), RDF – mežaudzes relatīvās biežības faktors, RDFL – relatīvās biežības faktors kokiem, kas resnāki par konkrēto koku.

### Koku atmirums

#### Materiāls un metodika

Datu analīzē izmantoja datus par 206008 kokiem (priedes – 54989, egles – 62596, bērzi – 50216, melnalkšņi – 13179, apses – 8395, baltalkšņi – 16633) no 4376 MSI 2014. – 2023. gadā atkārtoti uzņēmītajiem parauglaukumiem. Analīzē neiekļauj ekoloģiskos kokus. Tāpat no analīzes izslēdz parauglaukumus, kuros starpinventarizācijas periodā ir bijusi koku ciršana.

Atsevišķa koka atmiršanas modelēšanā tiek ņemta vērā gan kokaudzes konkurences ietekme, gan koka vecuma ietekme. Atsevišķa koka atmiršanas varbūtība, ka tas atmirs nākamā piecu gadu laikā, tiek modelēta sekojoši:

$$p = 1 - (1 - p_{comp5}) \cdot (1 - p_{old5}) \quad (3.2)$$

- kur
- $p$  – varbūtība, ka koks atmirs nākošo piecu gadu laikā;
  - $p_{comp5}$  – varbūtība, ka koks konkurences dēļ atmirs nākošo piecu gadu laikā;
  - $p_{old5}$  – varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs nākošo piecu gadu laikā.

Varbūtība, ka koks konkurences dēļ atmirs nākošo piecu gadu laikā modelēšanā izmantots sekojošs vienādojums:

$$p_{comp5} = \frac{1}{1 + \exp(-(b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot G + b_3 \cdot BAL))} \quad (3.3)$$

- kur  $p_{comp5}$  – varbūtība, ka koks konkurences dēļ atmirs nākošo piecu gadu laikā;  
 $d$  – koka krūšaugstuma caurmērs perioda sākumā, cm  
 $G$  – mežaudzes šķērslaukums perioda sākumā,  $m^2ha^{-1}$ ;  
 $BAL$  – šķērslaukuma summa kokiem, kas lielāki par konkrēto koku,  $m^2ha^{-1}$ ;  
 $b_0 - b_3$  – koeficienti.

Varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs, aprēķināma pēc sekojoša vienādojuma:

$$p_{old} = \frac{\exp\left(-10 + \frac{10 \cdot a}{0.82 \cdot A_{max}}\right)}{1 + \exp\left(-10 + \frac{10 \cdot a}{0.82 \cdot A_{max}}\right)} \quad (3.4)$$

- kur  $p_{old}$  – varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs;  
 $a$  – koka vecums, gadi;  
 $A_{max}$  – koka sugas maksimālais vecums (P-500, E-300, B,M,A-200, Ba-100), gadi.

Varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs nākošo piecu gadu laikā, aprēķināma pēc sekojoša vienādojuma:

$$p_{old5} = \frac{p_{old(a+5)} - p_{old(a)}}{1 - p_{old(a)}} \quad (3.5)$$

- kur  $p_{old5}$  – varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs nākošo piecu gadu laikā;  
 $p_{old(a+5)}$  – varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs vecumā  $a+5$ ;  
 $p_{old(a)}$  – varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs vecumā  $a$ .

Atsevišķu koku atmiruma varbūtība modelēta datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows, izmantojot rīku *Binary Logistic Regression*.

### Rezultāti

Balstoties uz MSI 2014. – 2023. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumu datiem aproksimētas koeficientu vērtības atsevišķu koku atmiruma modelim (3.1.3. tabula). Ar atsevišķa koka atmiruma modeli (3.2. formula) tiek prognozēta varbūtība, vai koks aizies bojā konkurences, vai vecuma dēļ. Ar šo modeli nav iespējams prognozēt lielu tā saucamo “dabisko” traucējumu dēļ (vēja, dzīvnieku, kukaiņu vai uguns) masveidā bojā gājušos kokus. Tāpat jāatzīmē, ka rezultāts, ko ar modeli iegūst, ir varbūtība, nevis binomināls rezultāts – koks ir dzīvs vai miris. Tādēļ lietotājam modelējot pašam ir jāvērtē un jānodedinē, pie kādas prognozētās vērtības koku atzīt vai neatzīt par bojā gājušu.

**3.1.3. tabula. Netelpiska atsevišķu koku atmiruma modeļa (3.3. formula) 2023. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji**

Koka suga	Faktors	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	Būtiskums
Priede	d	b1	-0,0899	0,0045	0,0000
	G	b2	0,0022	0,0045	0,6270
	BAL	b3	0,0681	0,0044	0,0000
	konstante	b0	-2,4906	0,0683	0,0000
Egle	d	b1	-0,0025	0,0035	0,4781
	G	b2	-0,0300	0,0039	0,0000
	BAL	b3	0,0459	0,0039	0,0000
	konstante	b0	-2,9395	0,0678	0,0000
Bērzs	d	b1	-0,0508	0,0039	0,0000
	G	b2	-0,0443	0,0046	0,0000

	BAL	b3	0,1012	0,0047	0,0000
	konstante	b0	-2,4067	0,0550	0,0000
Melnalksnis	d	b1	-0,0442	0,0080	0,0000
	G	b2	-0,0520	0,0087	0,0000
	BAL	b3	0,1078	0,0084	0,0000
	konstante	b0	-2,5705	0,1464	0,0000
Apse	d	b1	-0,0472	0,0076	0,0000
	G	b2	-0,0712	0,0089	0,0000
	BAL	b3	0,1280	0,0090	0,0000
	konstante	b0	-1,5143	0,0797	0,0000
Baltalksnis	d	b1	-0,0100	0,0055	0,0675
	G	b2	-0,0898	0,0058	0,0000
	BAL	b3	0,1563	0,0058	0,0000
	konstante	b0	-1,9129	0,0710	0,0000

### 3.1.3. Telpiskie (spatial) individuāla koka augšanas gaitas modeļu (h, d, g, atmiršanas varbūtība, ieaugšanās varbūtība) (P, E, B, M, A) aproksimācija

#### Metodika

Datu analīzē izmanto 103747 koku datus, kas no parauglaukuma centra neatrodas tālāk par 7,62 m (priedes – 24696, egles – 34117, bērzi – 25462, melnalkšņi – 6100, apses – 4228, baltalkšņi – 9144).

Caurmēra augšanas gaitas raksturošanai izmanto telpisko atsevišķu koku šķērslaukuma pieauguma modeli, kas paredzēts nākamo 5 gadu caurmēra pieauguma aprēķināšanai:

$$i_{g5} = \exp \left( b_0 + b_1 \cdot \frac{SI_i}{10} + b_2 \cdot \frac{10}{H_{vald}} + b_3 \cdot \frac{10}{H_{vald}^2} + b_4 \cdot \ln(d) + \alpha_5 \cdot \left( \frac{d}{100} \right)^2 + b_6 \cdot \frac{T_{sum}}{1000} + b_7 \cdot c_{0-5} + b_8 \cdot CI_x \right) \quad (3.6)$$

$$CI = \sum_{ij \ 5m} \frac{d_j}{d_i} \cdot \tan^{-1} \frac{d_j}{l} \quad (3.6)$$

- kur*
- $i_{g5}$  – koka nākošo 5 gadu šķērslaukuma pieaugums, cm<sup>2</sup>;
  - $SI_i$  – koka augstums bāzes vecumā (p, e – 100 gadi; b, m, a – 50 gadi; ba – 20 gadi), m;
  - $H_{vald}$  – mežaudzes valdaudzes augstums (koku, kas resnāki par mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo kvadrātisko caurmēru, aritmētiski vidējais augstums), m;
  - $d$  – koka krūšaugstuma caurmērs, cm;
  - $cr$  – koka vainaga īpatsvars;
  - $T_{sum}$  – aktīvās veģetācijas ( $t^\circ > 5^\circ C$ ) temperatūru summa, °C;
  - $c_{0-5}$  – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta koku ciršana, (0 vai 1);
  - $CI$  – konkurences indekss;
  - $d_i$  – koka, kam aprēķina konkurences indeksu, krūšaugstuma caurmērs, cm;
  - $d_j$  – konkurējošā koka krūšaugstuma caurmērs, cm;
  - $l$  – attālums starp kokiem, m;



b<sub>0-8</sub> – koeficienti.

Atsevišķu koku caurmēra augšanas gaita modelēta datorprogrammā SPSS for Windows izmantojot rīku *nonlinear regression*, kur kā atkarīgais mainīgais ir koka nākošo 5 gadu šķērslaukuma pieauguma, bet kā neatkarīgie mainīgie izmantoti koka augstums bāzes vecumā, mežaudzes valdaudzes augstums, koka krūšaugstuma caurmērs, aktīvās veģetācijas ( $t^{\circ} > 5^{\circ}\text{C}$ ) temperatūru summa, fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta koku ciršana, un konkurences indekss, kas raksturo koku telpisko savstarpējo konkurenci.

Konkurences indekss rēķināts 5 m rādiusā ap koku, ņemot vērā konkrētā koka krūšaugstuma caurmēru un konkurējošo koku attālumu un krūšaugstuma caurmēru.

### Rezultāti

Balstoties uz MSI 2014. – 2023. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumu datiem aproksimētas koeficientu vērtības telpiskam atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modelim (3.2.1. tabula). Vienādojumā atstāti visi bioloģiski loģiskie faktori, lai arī atsevišķos gadījumos tie nav būtiski, bet faktori, kas ir nebūtiski un ir bioloģiski neloģiski (koeficientam pretēja zīme) vienādojumos nav atstāti.

**3.2.1. tabula. Telpiska atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modeļa (3.6. formula) 2022. gadā aproksimētas koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji**

Suga	Koeficients	Parametrs	Vērtība	Standartklūda
Priede	b0	Intercept	-2,6813	0,1328
	b1	SI	0,5419	0,0068
	b2	Hvald	1,1096	0,0312
	b3	Hvald <sup>2</sup>	-0,4878	0,0928
	b4	lnD	1,5070	0,0383
	b5	D <sup>2</sup>	-0,0267	0,0016
	b6	Tsum	0,0000	-
	b7	c05	0,1003	0,0092
Egle	b8	CI	-0,0441	0,0014
	b0	Intercept	-2,4123	0,1504
	b1	SI	0,5011	0,0076
	b2	Hvald	0,8899	0,0201
	b3	Hvald <sup>2</sup>	0,6733	0,0628
	b4	lnD	1,4349	0,0281
	b5	D <sup>2</sup>	-0,0377	0,0015
	b6	Tsum	0,2356	0,0478
Bērzs	b7	c05	0,1090	0,0081
	b8	CI	-0,0439	0,0009
	b0	Intercept	-2,8743	0,2032
	b1	SI	0,8286	0,0103
	b2	Hvald	1,3593	0,0416
	b3	Hvald <sup>2</sup>	0,0359	0,1408
	b4	lnD	1,5259	0,0312
	b5	D <sup>2</sup>	-0,0559	0,0020
Melnalksnis	b6	Tsum	0,0108	0,0672
	b7	c05	0,1450	0,0108
	b8	CI	-0,0382	0,0011
	b0	Intercept	-4,1460	0,3734
	b1	SI	0,6071	0,0220

Suga	Koeficients	Parametrs	Vērtība	Standartklūda
	b2	Hvald	1,6483	0,0737
	b3	Hvald <sup>2</sup>	0,0347	0,2300
	b4	lnD	2,0242	0,0750
	b5	D <sup>2</sup>	-0,0829	0,0049
	b6	Tsum	0,1779	0,1087
	b7	c05	0,1581	0,0232
	b8	CI	-0,0364	0,0020
	Apse	b0	Intercept	-1,7803
b1		SI	0,4373	0,0229
b2		Hvald	1,6849	0,1266
b3		Hvald <sup>2</sup>	-1,7688	0,4669
b4		lnD	1,5537	0,0635
b5		D <sup>2</sup>	-0,0250	0,0022
b6		Tsum	0,0000	-
b7		c05	0,1399	0,0210
Baltalksnis	b8	CI	-0,0433	0,0025
	b0	Intercept	-4,2425	0,3533
	b1	SI	0,8003	0,0258
	b2	Hvald	1,4211	0,0730
	b3	Hvald <sup>2</sup>	0,8951	0,2002
	b4	lnD	2,0193	0,0629
	b5	D <sup>2</sup>	-0,1813	0,0088
	b6	Tsum	0,4134	0,1105
b7	c05	0,1894	0,0195	
b8	CI	-0,0266	0,0012	

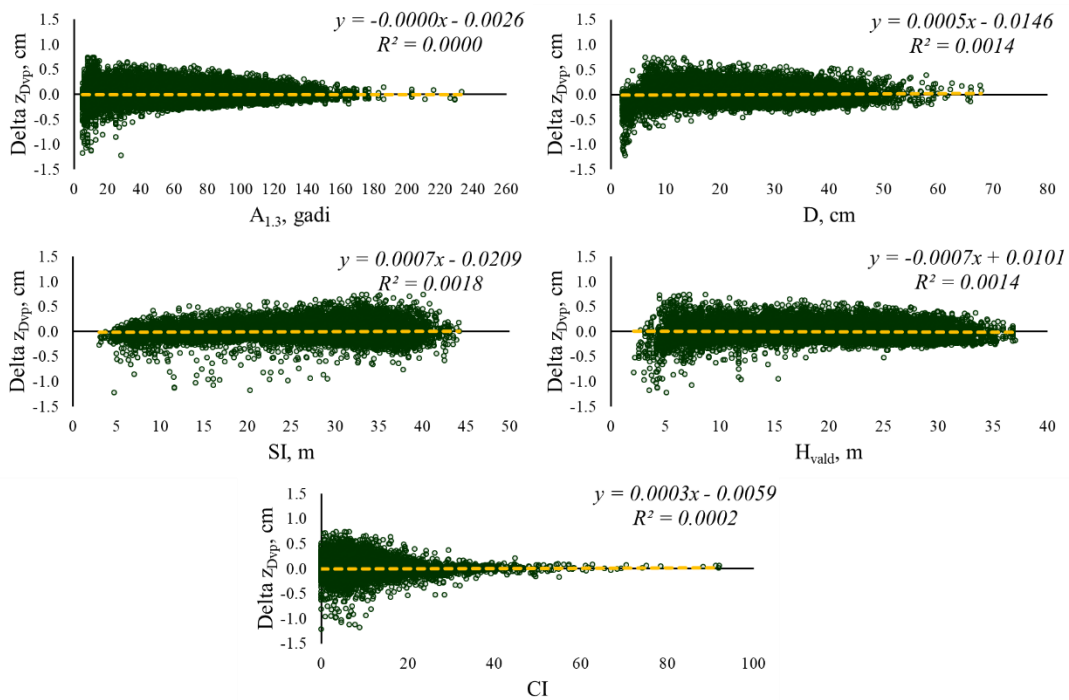
Telpiskajam atsevišķa koka šķērslaukuma prognožu modelim statistiskie rādītāji, pārbaudot to uz izstrādē izmantoto paraugkopu, ir augsti. Piemēram, vidējā periodiskā caurmēra pieauguma vidējā novirze nevienam no meža elementiem nepārsniedz 0.03 cm gadā, kas attiecinot to pret vidējo pieaugumu svārstās no -5.7% līdz 0.3% (3.2.2. tabula).

### 3.2.2.tabula Atsevišķa koka caurmēra augšanas gaitas modeļa (3.1. formula) prognozētā ikgadējā caurmēra pieauguma statistiskie rādītāji

Suga	Vid	MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	VR	R2
Priede	0,22	0,00	-1,51	0,10	0,14	61,46	0,02	0,53	0,41
Egle	0,30	0,00	0,35	0,14	0,19	63,05	0,03	0,54	0,41
Bērzs	0,28	-0,01	-3,22	0,14	0,18	66,12	0,03	0,52	0,44
Melnalksnis	0,29	0,00	-0,11	0,14	0,18	62,37	0,03	0,43	0,31
Apse	0,48	-0,03	-5,73	0,22	0,28	57,58	0,08	0,44	0,28
Baltalksnis	0,27	-0,01	-2,88	0,13	0,17	62,03	0,03	0,38	0,37

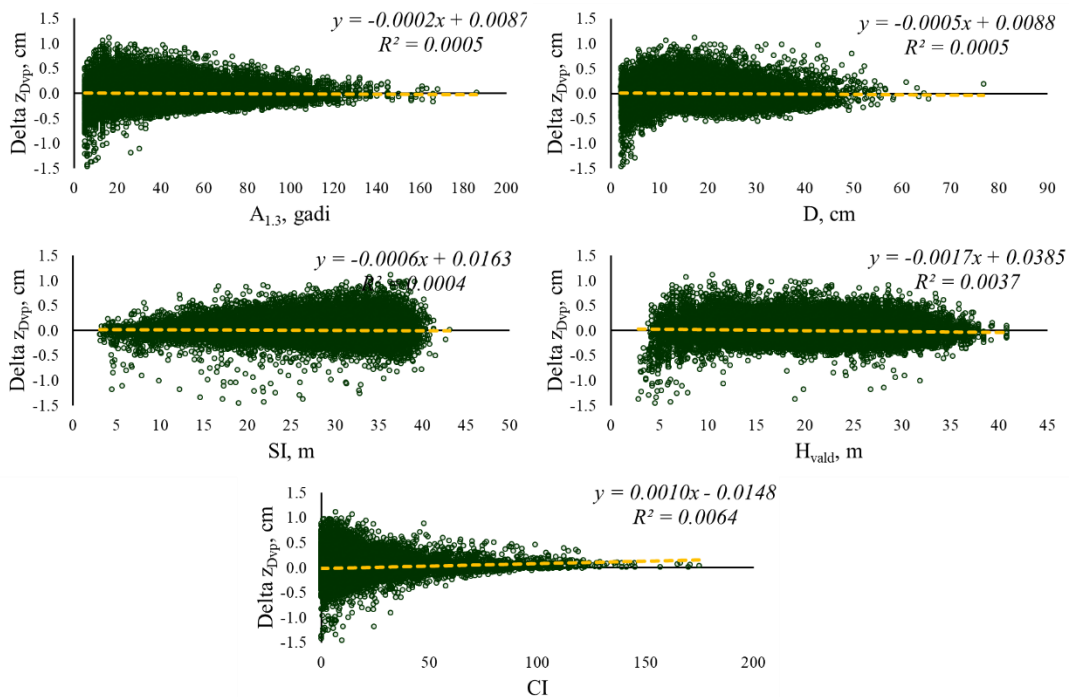
Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; VR - dispersijas attiecība; R2 - determinācijas koeficients,

Telpiskajam atsevišķa koka šķērslaukuma pieauguma modelim, salīdzinot uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko caurmēra pieaugumu, nav konstatētas korelatīvas novirzes ar koka vecumu, caurmēru, koka un audzes bonitāti jeb ražību un konkurences indeksu (3.2.1. – 3.2.6. attēli).



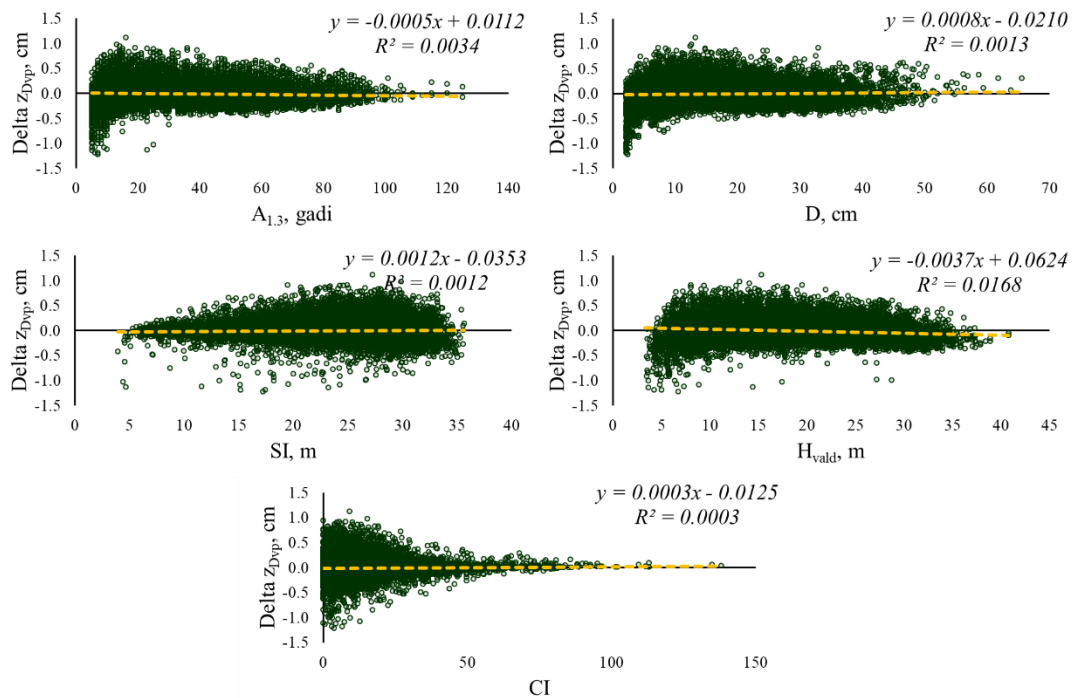
### 3.2.1. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.2. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu priedēm:

Delta  $Z_{dvp}$  – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1.3}$  – koka (meža elementa) krūšaugstuma vecums,  $D_{1.3}$  – koka caurmērs 1.3 m augstumā,  $SI$  – koka bonitāte jeb augstums bāzes vecumā (P, E 100 gadi, B, M, A 50 gadi, Ba 20 gadi),  $H_{vald}$  – mežaudzes valdaudzes augstums (koku, kas resnāki par mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo kvadrātisko caurmēru, aritmētiski vidējais augstums),  $CI$  – konkurences indekss.



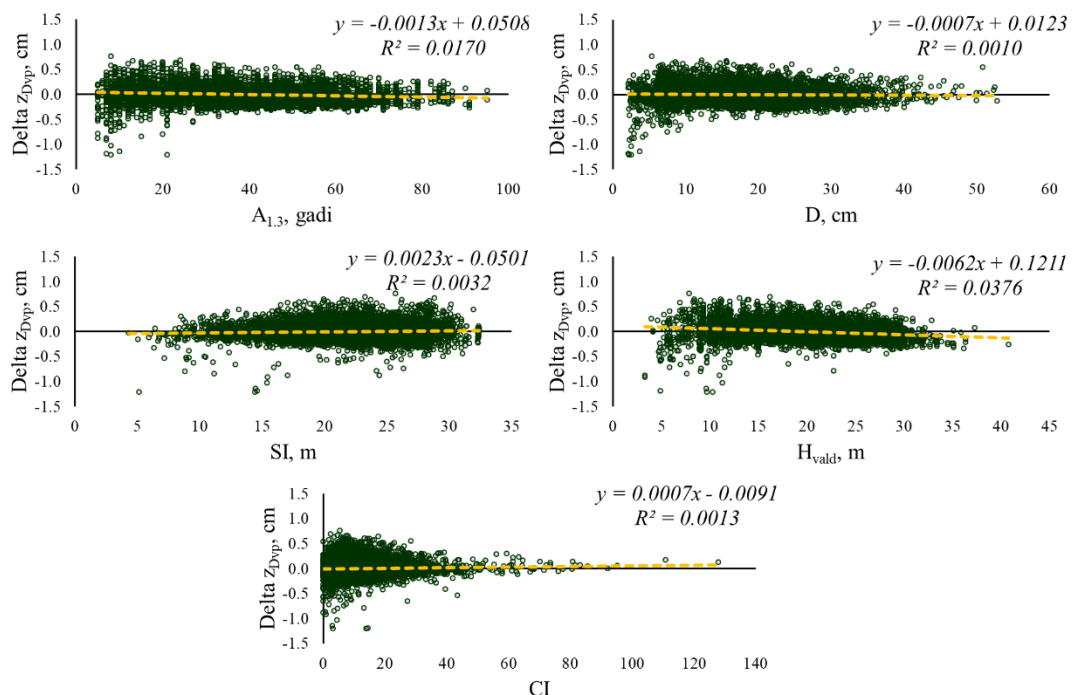
### 3.2.2. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.2. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu eglēm:

Delta  $Z_{dvp}$  – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1.3}$  – koka (meža elementa) krūšaugstuma vecums,  $D_{1.3}$  – koka caurmērs 1.3 m augstumā,  $SI$  – koka bonitāte jeb augstums bāzes vecumā (P, E 100 gadi, B, M, A 50 gadi, Ba 20 gadi),  $H_{vald}$  – mežaudzes valdaudzes augstums (koku, kas resnāki par mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo kvadrātisko caurmēru, aritmētiski vidējais augstums),  $CI$  – konkurences indekss.



### 3.2.3. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.2. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu bērziem:

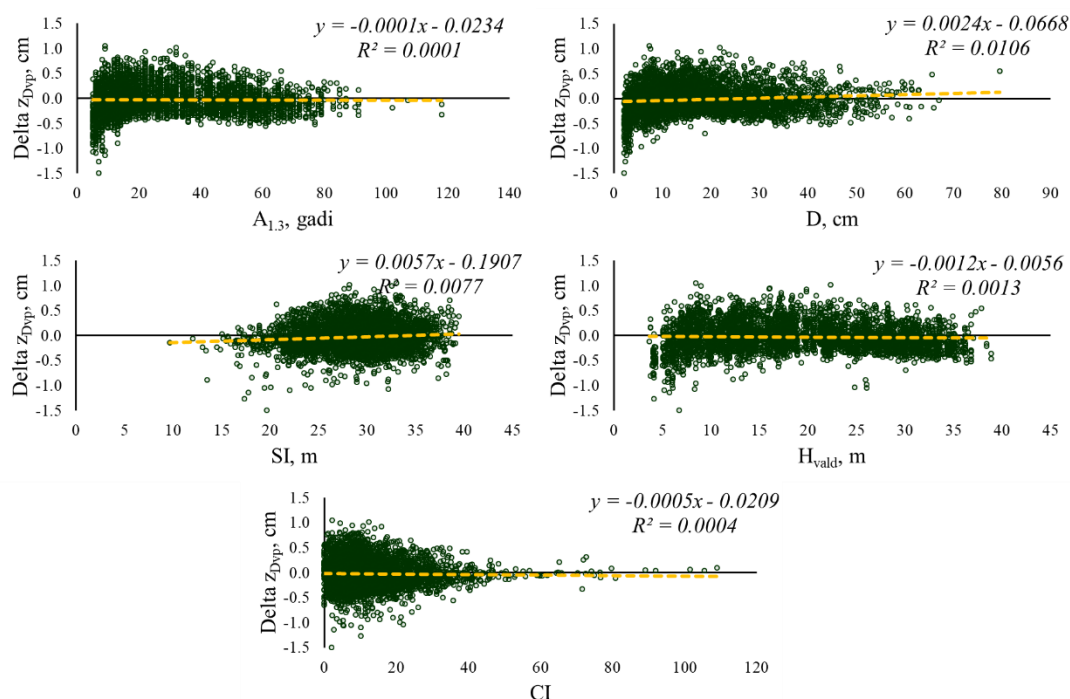
$\Delta Z_{Dvp}$  – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1.3}$  – koka (meža elementa) krūšaugstuma vecums,  $D_{1.3}$  – koka caurmērs 1.3 m augstumā,  $SI$  – koka bonitāte jeb augstums bāzes vecumā (P, E 100 gadi, B, M, A 50 gadi, Ba 20 gadi),  $H_{vald}$  – mežaudzes valdaudzes augstums (koku, kas resnāki par mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo kvadrātisko caurmēru, aritmētiski vidējais augstums),  $CI$  – konkurences indekss.



### 3.2.4. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.2. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu melnalkšņiem:

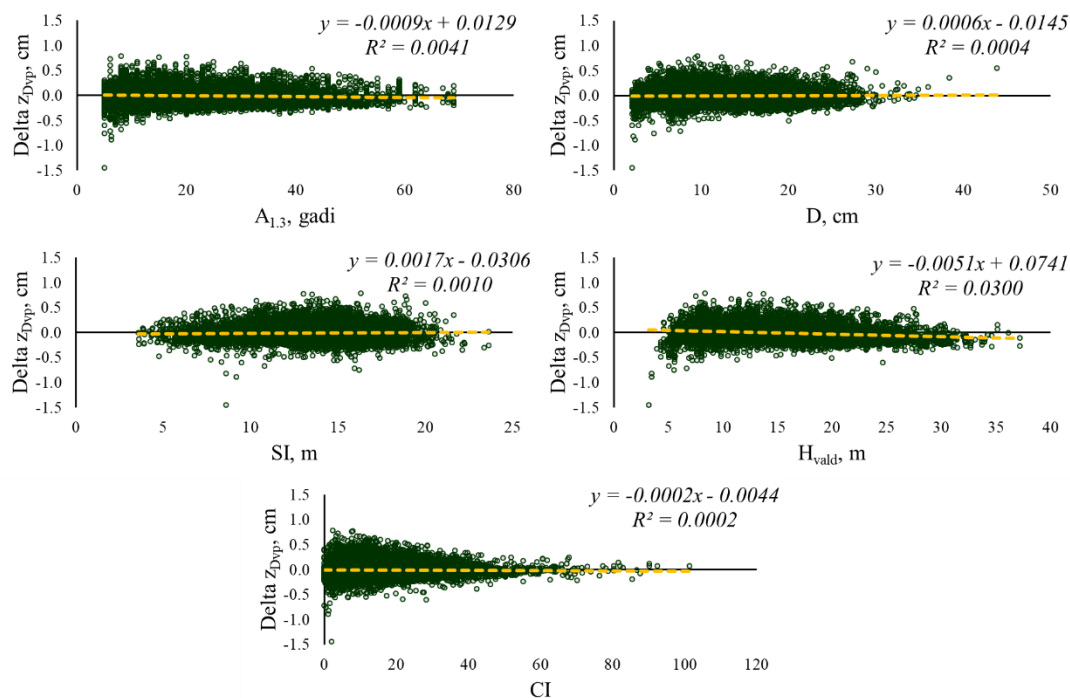
$\Delta Z_{Dvp}$  – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1.3}$  – koka (meža elementa) krūšaugstuma vecums,  $D_{1.3}$  – koka caurmērs 1.3 m augstumā,  $SI$  – koka bonitāte jeb augstums bāzes vecumā (P, E 100

gadi, B, M, A 50 gadi, Ba 20 gadi), Hvald – mežaudzes valdaudzes augstums (koku, kas resnāki par mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo kvadrātisko caurmēru, aritmētiski vidējais augstums), CI – konkurences indekss.



### 3.2.5. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto (3.2. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu apsēm:

Delta  $Z_{Dvp}$  – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzņēmīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn),  $A_{1.3}$  – koka (meža elementa) krūšaugstuma vecums,  $D_{1.3}$  – koka caurmērs 1.3 m augstumā,  $SI$  – koka bonitāte jeb augstums bāzes vecumā (P, E 100 gadi, B, M, A 50 gadi, Ba 20 gadi),  $H_{vald}$  – mežaudzes valdaudzes augstums (koku, kas resnāki par mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo kvadrātisko caurmēru, aritmētiski vidējais augstums),  $CI$  – konkurences indekss.



### 3.2.6. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto (3.2. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu baltalkšņiem:

Delta Zdvp – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A<sub>1.3</sub> – koka (meža elementa) krūšaugstuma vecums, D<sub>1.3</sub> – koka caurmērs 1.3 m augstumā, SI – koka bonitāte jeb augstums bāzes vecumā (P, E 100 gadi, B, M, A 50 gadi, Ba 20 gadi), Hvald – mežaudzes valdaudzes augstums (koku, kas resnāki par mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo kvadrātisko caurmēru, aritmētiski vidējais augstums), CI – konkurences indekss.

## Koku atmirums

### Materiāls un metodika

Datu analīzē izmantoja datus par 108825 kokiem (priedes – 23963, egles – 34012, bērzi – 28579, melnalkšņi – 6502, apses – 4882, baltalkšņi – 10887) no 4367 MSI 2014. – 2022. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem. Analīzē izmanto tos kokus, kas no parauglaukuma centra neatrodas tālāk par 7,62 m, jo konkurences indekss rēķināts 5m rādiusā ap koku. Analīzē neiekļauj ekoloģiskos kokus. Tāpat no analīzes izslēdz parauglaukumus, kuros starpinventarizācijas periodā ir bijusi koku ciršana.

“Telpiska modeļa” gadījumā algoritms saglabājas tas pats, kas “netelpiskā modeļa” gadījumā (3.2. formula), vienīgi izmaiņas skar konkurences atmiruma modeli (3.3. formula).

Varbūtība, ka koks konkurences dēļ atmirs nākošo piecu gadu laikā “telpiska modeļa” gadījumā izmantots sekojošs vienādojums:

$$p_{comp5} = \frac{1}{1 + \exp(-(b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot BAL + b_3 \cdot CI))} \quad (3.7)$$

kur  $p_{comp5}$  – varbūtība, ka koks konkurences dēļ atmirs nākošo piecu gadu laikā;

$d$  – koka krūšaugstuma caurmērs perioda sākumā, cm

$G$  – mežaudzes šķērslaukums perioda sākumā,  $m^2ha^{-1}$ ;

$BAL$  – šķērslaukuma summa kokiem, kas lielāki par konkrēto koku,  $m^2ha^{-1}$ ;

$b_0 - b_3$  – koeficienti.

Atsevišķu koku atmiruma varbūtība modelēta datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows, izmantojot rīku *Binary Logistic Regression*.

### Rezultāti

Loģistiskās binārās regresijas analīzes rezultātā iegūtie vienādojumu koeficienti apkopoti 3.2.3. tabulā. Ar atsevišķa koka atmiruma modeli tiek prognozēta varbūtība, vai koks aizies bojā konkurences dēļ nākamo piecu gadu laikā.

### 3.2.3. tabula

#### 3.2.3. Netelpiska atsevišķu koku atmiruma modeļa (3.7. formula) 2023. gadā aproximētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

Koka suga	Faktors	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	Būtiskums
Priede	d	b1	-0,1132	0,0066	0,0000
	BAL	b2	0,0583	0,0037	0,0000
	CI	b3	0,0315	0,0036	0,0000
	konstante	b0	-2,8194	0,1070	0,0000
Egle	d	b1	-0,0186	0,0041	0,0000
	BAL	b2	0,0135	0,0022	0,0000
	CI	b3	0,0151	0,0013	0,0000
	konstante	b0	-3,2834	0,0891	0,0000
Bērzs	d	b1	-0,0811	0,0051	0,0000
	BAL	b2	0,0380	0,0025	0,0000
	CI	b3	0,0260	0,0015	0,0000
	konstante	b0	-2,8937	0,0769	0,0000
Melnalksnis	d	b1	-0,0748	0,0120	0,0000
	BAL	b2	0,0332	0,0065	0,0000
	CI	b3	0,0311	0,0044	0,0000

	konstante	b0	-3,1154	0,2187	0,0000
Apse	d	b1	-0,1119	0,0123	0,0000
	BAL	b2	0,0371	0,0057	0,0000
	CI	b3	0,0310	0,0040	0,0000
	konstante	b0	-2,0213	0,1315	0,0000
Baltalksnis	d	b1	-0,0596	0,0082	0,0000
	BAL	b2	0,0371	0,0036	0,0000
	CI	b3	0,0347	0,0024	0,0000
	konstante	b0	-2,7053	0,1072	0,0000

Telpiskajam atsevišķa koka atmiruma algoritmam vecuma atmiruma modelis saglabājas iepriekšējais (3.4. un 3.5. formulas). Kombinējot abus šos modeļus var prognozēt atsevišķa koka atmiršanas varbūtību nākamo piecu gadu laikā. Šeit vēlreiz jāatzīmē, ka masveida atmiršanu “dabisko” traucējumu rezultātā ar šo algoritmu nav iespējams prognozēt.

## Secinājumi

Aprēķināti jauni koeficienti iepriekš izvēlētajiem individuāla koka augšanas gaitas modeļiem.

Modeļi ir izmantojami stratēģisku lēmumu pieņemšanai, statistiski ticamākā atsevišķa koka augšanas gaitas prognozēšanai, bet atsevišķa koka augšanas gaitas prognozes var ievērojami atšķirties no faktiskās augšanas gaitas.

Telpisko modeļu prognozes ir tikai nedaudz labākās (precīzākas nekā netelpisko modeļu prognozes, tādēļ sākotnēji stratēģisko lēmumu pieņemšanai var izmantot arī netelpiskos modeļus.

## 3.2. Individuāla koka augšanas gaitas modeļi, kas balstītu uz attālās izpētes metožu pārmērījumu datiem

### 3.2.1. LĢIA LiDAR datu / ortofoto datu apstrāde (KKC parauglaukumi)

#### Materiāls un metodika

Pētījuma vajadzībām izvēlēti 10 objekti no 2023. g. vai 2024. g. sākumā pārmērītajiem objektiem, kuros lauku darbos veikta individuāla koka uzmērīšana vietējā koordinātu sistēmā, un kuri atbilda prasībām, kādas nosaka lidojuma drošības nosacījumi. Izvēlēto pētījumu objektu saraksts ir 3.2.1. tabulā un izvietojuma shēma 3.2.1. attēlā.

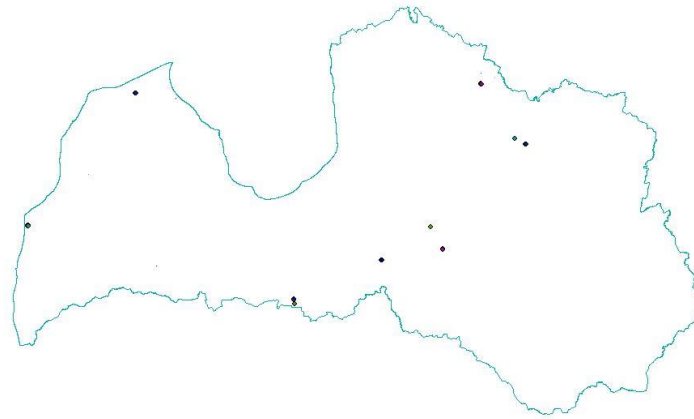
No LĢIA mājas lapas (<https://www.lgia.gov.lv/lv/Digit%C4%81lais%20virsmas%20modelis>) lejuplādēti nogabaliem atbilstošo karšu lapu .las faili un aerofoto 5. un 6. cikla CIR un RGB attēli. LĢIA LiDAR skenēšana Kurzemē (DK, ZK) veikta 2016.g. pavasarī, Vidusdaugavas (VD) objektiem - 2015.g. pavasarī, bet Austrumvidzemes objektiem – 2019.g. un 2018.g. pavasarī, kas nozīmē, ka lāzerskenēšana veikta 2 - 3 gadus pirms parauglaukumu ierīkošanas un eksperimentu iekārtošanas, izņemot Austrumvidzemi, kurā LĢIA lidar dati iegūti pēc parauglaukumu ierīkošanas.

Datorprogrammā FUSION 4.21. aprēķināti digitālais virsmas modelis (DTM) un koku vainagu augstumu modelis (CHM) 1m<sup>2</sup> lielam pikselim.

#### 3.2.4. tabula. KKC parauglaukumi, kuriem veikta 3D attēlu ieguve ar dronu

Nrpk	Reģions	Objekts	PL skaits	Dmin, cm	MT	Bon	A, gadi	Sastāvs
1	AV	103_310_17	10	2,1	Mr	I	27	10P
2	AV	109_45_5	10	6,1	As	Ia	56	8B2E+M
3	AV	110_238_5	10	4,1	Ln	Ia	28	10P+B;E
4	DK	203_155_19	12	6,1	Mrs	I	37	10P

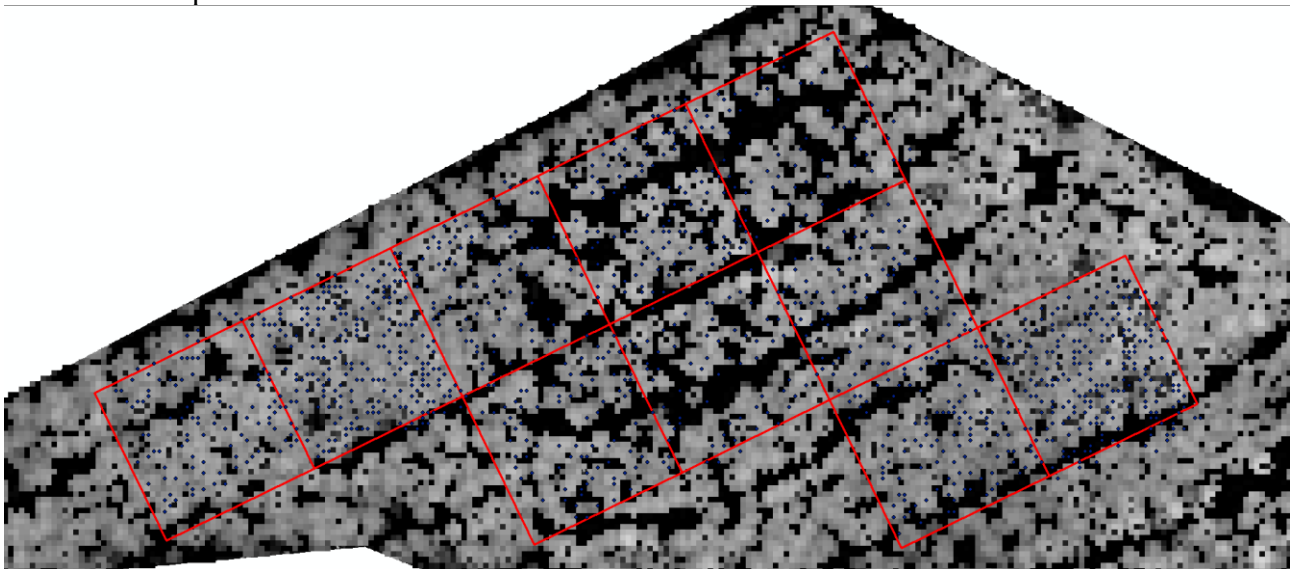
5	VD	502_226_3	10	4,1	Ap	Ia	28	10E+B
6	VD	503-345-1	10	4,1	Vr	Ia	24	10B+E
7	VD	505-92-1	10	4,1	Mrs	II	39	10P
8	VD	509-255-16	10	6,1	Gr	Ia	37	10B
9	VD	509-273-15	10	6,1	Gr	Ia	43	10B
10	ZK	702_106_16	10	4,1	Sl	IV	52	10P



**3.2.1. attēls. Krājas kopšanas ciršu objektu, kuros iegūti dronu attēli, shematisks izvietojums Latvijā**

### Rezultāti

Atbilstoši metodikai visiem 10 objektiem izveidoti CHM attēli ar 1m pikseli, kas saglabāti .tif formātā. Skat. piemēru 3.2.2. attēlā.



**3.2.2. attēls. Piemērs pētījumu objektu CHM noteikšanai 110-238-5 objektā. (CHM veidots no LĢIA (c) las datu failiem.**



### 3.2.2. Aerofotoainu ieguve izmantojot multispektrālo kameru, kas uzmontēta uz drona

#### Materiāls un metodika

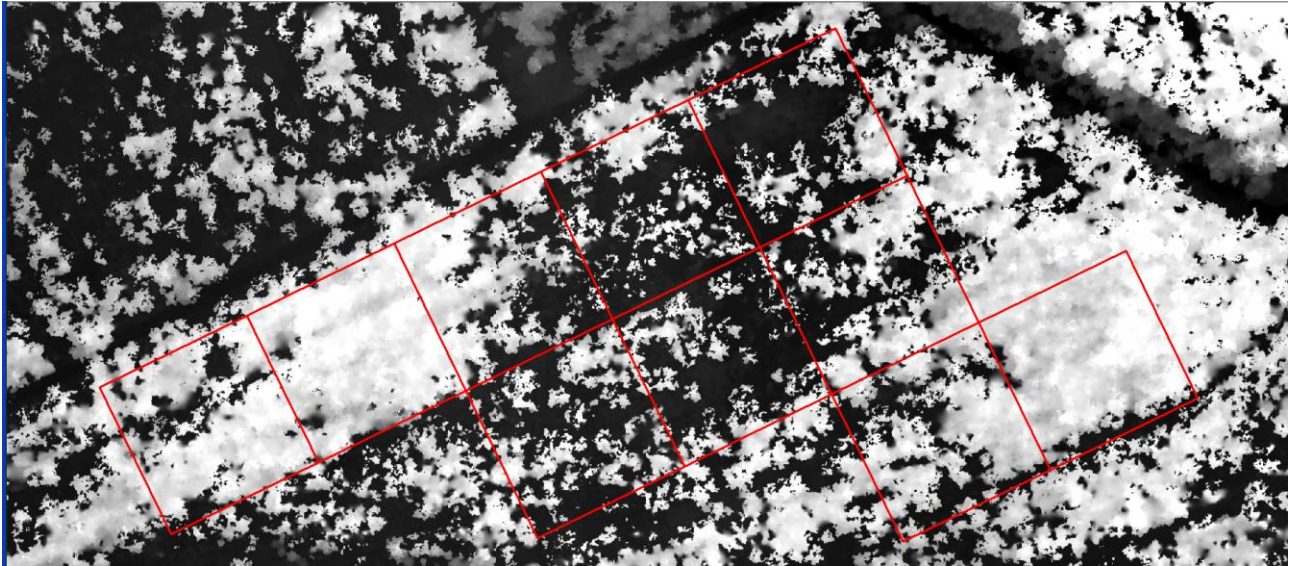
3.2.1. tabulā uzskaitītajos objektos aerofoto ainas iegūtas ar dronu DJI ar CMOS 20MP RGB kameru (attēlu izmērs 5472x3078). Rastra izmērs ~5cm ortofotoattēla pikselī. Lidojums tika plānots izmantojot UGCS ground station software. Datu tālākajā apstrādē izmantota datorprogramma AgisoftMetashape Professional Edition 1.8.4.. Attēlu pārveide LAS formātā veikta, izmantojot CloudCompare. Agisoft balstās uz algoritmiem, kuru pamatā ir attēlu stereo savienošana un Structure-from-Motion metode (Verhoeven et al., 2012). Virsmas modeļa izveidošanai tika izmantots blīvais punktu mākonis ar augstāko kvalitāti. Izveidotais virsmas modelis tika eksportēts GeoTiff formātā. Visos gadījumos izveidotajiem modeļiem bija 10 cm pikseļu izšķirtspēja. Papildus tam ar dronu tika iegūti arī lāzerskenēšanas dati.

#### Rezultāti

Piemērs pētījuma objektu ortofotomozaīkai atspoguļots 3.2.3. attēlā. Savukārt no drona datiem izveidota CHM piemērs atspoguļots 3.2.4. attēlā.



**3.2.3. attēls. Piemērs pētījumu objektu ortofotomozaīkai 110-238-5 objektā. Mozaīka veidota no drona RGB datu failiem.**



**3.2.4. attēls. Piemērs pētījumu objektu CHM 110-238-5 objektā. (CHM veidots drona LiDAR datiem).**

### **3.2.3. Individuāla koka detektēšana KKC parauglaukumos, balstot uz attālās izpētes datiem**

#### **Materiāls un metodika**

Individuāli koku augstumi no virsmas modeļa izdalīti, aprēķinot vietējo minimum (Local minimum) izmantojot QGIS 3.22 programmā pieejamo watershed segmentation algoritmu, kas pielāgots individuālu koku augstuma noteikšanai no fotogrammetrijas vai LiDAR punktu mākoņiem radīta CHM modeļa. Virsmas modelis tika apstrādāts, izmantojot Gausa izlīdzināšanas rīku, lai izslēgtu lokālas nevienādības un noteiktu lokālos maksimumus, kas tika uzskatīti par individuāliem kokiem. Minimālais punkta augstums tika norādīts 5 m. Iegūtais rastra attēls tika konvertēts uz punktu vektor slāni, kur katrs punkts atbilda individuālam kokam. Noslēgumā aprēķinātais koku augstums no virsmas modeļa salīdzināts ar parauglaukumos uzmērīto koku augstumu.

#### **Rezultāti**

Informācija par koku skaitu parauglaukumos pēc uzmērīšanas dabā 2017./2018. g. un no LĢIA .las failu datiem aprēķinātie CHM atsoguļota 3.2.2. tabulā.

**3.2.5. tabula. Krājas kopšanas ciršu parauglaukumu vidējā augstuma dati pēc mērījumiem dabā (2019.g. un 2024.g.), LĢIA LiDAR, drona datiem (2024.g.) un aprēķinātie vidējie augstuma pieaugumi**

Objekts	Average of Lidar	Average of Drona	Average of pec cirtes (	Average of pec_5_gadi (2024.)	Average of Starp_gada_attālā izpēte	Average of Starp_gada_merīts
<b>103-310-17</b>	<b>12.320</b>	<b>16.465</b>	<b>12.016</b>	<b>14.168</b>	<b>0.829</b>	<b>0.430</b>
1	12.088	15.823	11.031	14.208	0.747	0.635
2	11.490	15.904	12.065	13.447	0.883	0.276
3	12.583	16.965	12.300	14.853	0.876	0.511
4	12.506	16.540	12.662	14.336	0.807	0.335

5	12.533	16.737	11.549	14.265	0.841	0.543
6	12.054	16.437	12.295	14.402	0.877	0.421
7	12.178	15.628	11.983	13.537	0.690	0.311
8	12.123	16.361	11.186	13.332	0.848	0.429
9	12.649	17.286	12.041	14.009	0.927	0.394
10	12.998	16.965	13.049	15.290	0.793	0.448
<b>109-45-5</b>	<b>27.353</b>	<b>25.997</b>	<b>26.950</b>	<b>27.817</b>	<b>-0.271</b>	<b>0.173</b>
1	27.681	24.480	27.333	29.113	-0.640	0.356
2	28.661	26.452	28.804	28.759	-0.442	-0.009
3	27.490	27.260	27.173	26.714	-0.046	-0.092
4	28.335	26.209	24.715	28.496	-0.425	0.756
5	27.612	29.550	26.504	27.553	0.387	0.210
6	27.136	24.868	27.479	26.577	-0.453	-0.180
7	27.540	25.329	26.914	28.246	-0.442	0.266
8	28.044	24.807	27.911	27.919	-0.648	0.001
9	24.320	23.913	28.390	29.266	-0.081	0.175
10	26.708	27.098	24.278	25.529	0.078	0.250
<b>110-238-5</b>	<b>14.883</b>	<b>17.406</b>	<b>14.920</b>	<b>17.299</b>	<b>0.505</b>	<b>0.476</b>
1	14.704	17.832	15.390	17.350	0.626	0.392
2	14.708	18.481	14.320	17.596	0.755	0.655
3	14.775	17.384	14.565	17.219	0.522	0.531
4	15.670	17.935	15.874	17.790	0.453	0.383
5	15.346	16.519	16.327	17.561	0.235	0.247
6	14.878	16.942	14.456	17.154	0.413	0.540
7	14.955	16.959	15.462	16.823	0.401	0.272
8	15.377	17.474	14.793	17.942	0.419	0.630
9	13.588	16.650	14.325	16.689	0.613	0.473
10	14.829	17.889	13.685	16.866	0.612	0.636
<b>203-155-19</b>	<b>13.903</b>	<b>16.831</b>	<b>15.849</b>	<b>17.920</b>	<b>0.366</b>	<b>0.414</b>
1	13.284	16.714	14.626	17.441	0.429	0.563
2	13.753	16.721	15.459	17.457	0.371	0.400
3	13.146	15.598	14.236	16.293	0.306	0.411
4	14.837	16.653	16.528	18.816	0.227	0.458
5	16.339	18.186	19.009	20.209	0.231	0.240
6	17.264	20.121	18.790	21.278	0.357	0.498
7	12.486	16.034	13.661	17.153	0.444	0.698
8	11.709	16.072	13.164	16.014	0.545	0.570
9	11.629	15.281	14.123	16.068	0.456	0.389
10	12.924	15.353	15.774	16.645	0.304	0.174
11	14.454	16.821	16.793	18.288	0.296	0.299
12	15.009	18.421	18.022	19.376	0.426	0.271
<b>502-226-3</b>	<b>10.579</b>	<b>20.601</b>	<b>15.379</b>	<b>18.835</b>	<b>0.911</b>	<b>0.691</b>
1	13.306	20.997	16.115	21.095	0.699	0.996

2	11.362	21.403	15.535	18.050	0.913	0.503
3	11.477	20.553	15.300	18.585	0.825	0.657
4	8.668	20.225	16.223	23.006	1.051	1.356
5	9.650	20.499	15.600	19.327	0.986	0.745
6	10.782	19.749	14.541	16.388	0.815	0.369
7	9.540	21.761	14.883	16.233	1.111	0.270
8	10.537	19.273	15.339	19.338	0.794	0.800
9	9.601	20.608	14.803	16.807	1.001	0.401
10	10.868	20.946	15.448	19.521	0.916	0.815
<b>503-345-1</b>	<b>10.249</b>	<b>23.600</b>	<b>18.362</b>	<b>14.978</b>	<b>1.214</b>	<b>-0.677</b>
1	12.499	24.161	18.287	14.395	1.060	-0.778
2	8.655	22.089	18.200	14.760	1.221	-0.688
3	8.972	21.863	18.455	16.120	1.172	-0.467
4	9.674	23.125	18.045	14.143	1.223	-0.781
5	9.143	23.197	18.674	16.253	1.278	-0.484
6	11.721	24.449	18.613	15.505	1.157	-0.622
7	11.955	24.285	18.119	14.174	1.121	-0.789
8	10.904	23.323	18.554	15.178	1.129	-0.675
9	9.329	24.699	18.537	15.158	1.397	-0.676
10	9.636	24.810	18.134	14.090	1.379	-0.809
<b>505-92-1</b>	<b>12.863</b>	<b>16.845</b>	<b>14.029</b>	<b>16.436</b>	<b>0.442</b>	<b>0.481</b>
1	12.482	16.089	13.710	16.366	0.401	0.531
2	12.489	15.774	12.850	15.979	0.365	0.626
3	12.761	16.502	13.797	16.369	0.416	0.514
4	13.366	17.038	15.153	17.222	0.408	0.414
5	12.979	17.508	13.541	15.865	0.503	0.465
6	12.934	16.227	14.262	16.436	0.366	0.435
7	13.113	16.636	14.750	16.659	0.391	0.382
8	13.151	17.512	14.323	16.632	0.484	0.462
9	13.200	17.559	14.267	16.082	0.484	0.363
10	12.151	17.604	13.639	16.745	0.606	0.621
<b>509-255-16</b>	<b>22.847</b>	<b>23.783</b>	<b>22.610</b>	<b>24.323</b>	<b>0.094</b>	<b>0.343</b>
1	22.593	23.556	22.617	24.527	0.096	0.382
2	23.271	23.161	22.055	24.086	-0.011	0.406
3	23.418	26.218	22.837	24.352	0.280	0.303
4	22.532	23.130	21.318	22.931	0.060	0.323
5	23.667	24.490	23.173	24.901	0.082	0.346
6	24.284	26.093	23.648	27.069	0.181	0.684
7	22.776	22.564	23.743	24.528	-0.021	0.157
8	21.730	23.568	22.633	24.694	0.184	0.412
9	21.937	20.528	22.141	22.894	-0.141	0.151
10	22.265	24.526	21.937	23.248	0.226	0.262
<b>509-273-15</b>	<b>25.181</b>	<b>24.798</b>	<b>24.622</b>	<b>26.889</b>	<b>-0.038</b>	<b>0.453</b>

1	25.651	27.234	22.527	25.517	0.158	0.598
2	25.512	26.045	24.518	28.674	0.053	0.831
3	25.176	23.387	23.748	25.359	-0.179	0.322
4	24.824	22.642	25.639	27.335	-0.218	0.339
5	23.840	24.397	24.791	27.080	0.056	0.458
6	24.758	23.349	24.600	25.523	-0.141	0.185
7	24.746	26.472	24.663	25.957	0.173	0.259
8	26.609	25.531	25.346	26.285	-0.108	0.188
9	25.338	23.758	24.774	28.491	-0.158	0.743
10	25.358	25.167	25.612	28.669	-0.019	0.611
<b>702-106-16</b>	<b>10.643</b>	<b>13.613</b>	<b>11.074</b>	<b>13.076</b>	<b>0.371</b>	<b>0.400</b>
1	9.758	13.406	10.929	12.823	0.456	0.379
2	11.270	13.988	10.779	12.247	0.340	0.294
3	9.963	13.032	10.550	11.592	0.384	0.208
4	10.160	14.130	11.456	14.047	0.496	0.518
5	10.288	13.393	11.273	13.833	0.388	0.512
6	11.069	13.342	11.305	13.842	0.284	0.507
7	11.269	13.436	11.132	13.190	0.271	0.412
8	10.483	13.544	10.684	11.749	0.383	0.213
9	11.170	13.932	11.090	12.976	0.345	0.377
10	11.000	13.924	11.543	14.462	0.366	0.584
<b>Grand Total</b>	<b>16.039</b>	<b>19.932</b>	<b>17.547</b>	<b>19.149</b>	<b>0.441</b>	<b>0.320</b>

Pēc fotogrammetrijas datiem noteiktais kopējais koku, kas augstāki par 5m, skaits nogabalā 3.2.2. tabulā ir lielāks nekā dabā uzņēmātais. Šeit gan jānorāda, ka detektēto koku (lokālo maksimumu) skaitu, būtiski ietekmē uzstādījumi. Šajā gadījumā visiem nogabaliem izmantots viens un tas pats uzstādījums, taču modeli būtu iespējams uzlabot, nosakot, ka minimālais attālums ir atkarīgs no vidējā augstuma.

Ar izmantoto algoritmu aprēķināts koku vidējais augstums (šajā gadījumā visu koku, kas augstāki par 5 m), tādējādi aprēķinā, iespējams, iekļauti arī klajākās vietās augoši II stāva un pameža / paaugas koki. Algoritms pēc būtības nespēj noteikt II stāva un paaugas kokus, kas aug zem I stāva koku vainagiem.

### 3.2.4. Individuāla koka augšanas gaitas aproksimācija KKC parauglaukumos, balstoties uz attālās izpētes datiem

#### Materiāls un metodika

Pirmās uzņēmšanas reizes attālo izpētes datu pamatā izmantoti no LGIA .las datiem ģenerētie CHM, un atbilstoši veiktā segmentācija, par pamatu izmantojot 1 m pikseļu datus. Otrās (2024.g.) uzņēmšanas reizes individuāla koka noteikšanai segmentācija veikta, izmantojot no drona datiem iegūto CHM, kas ir ar 10x10cm pikseli. Tā kā aprēķinātais koku skaits nesakrīt ar dabā uzņēmto, aprēķiniem izmantotas individuāli detektēto koku augstuma atšķirības 1. un 2. reizē. Aprēķinātas augstumu starpības starp divām metodēm 2024. g. LiDAR un uzņēmātais, kā arī vidējā periodiskā augstuma izmaiņas, kas aprēķinātas kā starpība starp LiDAR un Drona mērījumiem un

parauglaukumu koku augstuma mērījumiem pēc cirtes un 5 gadus pēc cirtes (2024.g.). Abos gadījumos veikts Vilkoksona tests atkarīgām paraugkopām

## Rezultāti

Informācija par krājas kopšanas ciršu parauglaukumu augstuma pieaugumiem pēc mērījumiem dabā (2022/2023), no dronu CHM datiem aprēķinātie un no LĢIA .las aprēķinātie doti 3.2.3. tabulā.

### 3.2.6. tabula. Krājas kopšanas ciršu parauglaukumu augstuma pieaugumi pēc mērījumiem dabā (2023/2024), no dronu CHM datiem aprēķinātie un no LĢIA .las aprēķinātie

Nogabals	p-vērtība, salīdzinot gada izmaiņas starp metodēm	p-vērtība, salīdzinot drona datus ar 2024.g dabā mērīto
103-310-17	0.002	0.002
109-45-5	0.014	0.770
110-238-5	0.557	0.002
203-155-19	0.204	0.000
502-226-3	0.131	0.002
503-345-1	0.002	0.002
505-92-1	0.432	0.002
509-255-16	0.002	0.002
509-273-15	0.002	0.014
702-106-16	0.625	0.002

Kopējā tendence ir, ka pēc mērījumiem dabā (un aprēķinātām augstumliķnēm), augstuma pieaugumi ir lielāki nekā no attālās izpētes datiem iegūtie, tomēr ar dažādām metodēm aprēķinātie augstuma pieaugumi atšķiras pa objektiem. No 2024.g. attālās izpētes datiem iegūtie augstumi 7 no 10 audzēm ir būtiski lielāki nekā uzmērītie no zemes. Arī augstuma pieaugumi pēc attālās izpētes datiem ir lielāki. Ņemot vērā, ka parauglaukumu ir nozīmīgas kļūdas koku skaita detektēšanas rezultātos gan izmantojot dronu, gan LiDAR datus, pētījuma pēdējā posmā nepieciešams salīdzināt dažādus koku detektēšanas algoritmus.

## Secinājumi

Uz attālās izpētes datiem (CHM no LĢIA las) un ar dronu iegūtie CHM iegūto koku skaits ir atšķirīgs no parauglaukumos uzmērītā, kas saistīts ne tikai ar koordinātu neprecizitāti koku identificēšanā uz zemes, bet arī ar atšķirīgu datu kopu izmantošanu atsevišķu koku detektēšanā un vainagu segmentēšanā.

Pašreiz izmantotie algoritmi ir izmantojami I stāva koku identificēšanā, bet ir nepieciešams salīdzināt ar citiem algoritmiem.

## 4. Plantāciju mežaudžu augšanas gaitas modeļi

### 4.1. Parauglaukumu ierīkošana plantāciju mežaudzēs un koku sākotnējā uzmērīšana

#### 4.1.1. Parauglaukumi P, E, B audzēs, kuras ir bijušajās lauksaimniecības zemēs ieaudzētas kokaudzes LVM ražošanas objektos

##### Materiāls un metodika

No LVM saņemtās datu bāzes, kurā ir informācija par 1433 stādītām P, E un B plantācijām tās pārvaldībā esošajās zemēs, atlasīti 99 objekti, kuros kokaudzes vecums ir no 11 līdz 30 gadiem. No tiem pēc jaunāko LĢIA ortofotoattēlu vizuālas izvērtēšanas atlasīti 16 objekti, kuros lielākajā daļā no nogabala platības ir sekmīgi ieaugusi kokaudze (objektu sarakstu un vispārējos taksācijas rādītājus skat. 4.1.1. tabula).

Objektos, atkarībā no konfigurācijas, ierīkoti 4 parauglaukumi ( $r=12.62$ ) līdzīgi kā MSI metodikā. Visiem kokiem, kas krūšaugstumā resnāki par 6 cm, uzmērīts caurmērs, reģistrēta suga, katrā objektā vismaz 36 kokiem uzmērīts koka augstums un vainaga sākuma augstums.

4.1.1. tabula. Pētniecisko objektu taksācijas apraksti LVM datu bāzē (2024)

Objekts	PLAT	MT	Valdošā suga	Vecums, gadi	D10, cm	H10, m	G, m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	Koku skaits ha <sup>-1</sup>	V, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
611-188-53	1,7	Vr	E	18	11	11	0	1400	81
712-62-51	5,0	Ks	E	19	13	11	21	0	146
712-73-51	2,0	As	E	19	16	12	21	0	135
809-50-2	2,0	Vr	E	18	14	10	23	0	146
809-50-5	2,8	Vr	E	19	13	10	24	0	153
203-380-36	6,0	Dm	P	12	12	12	9	0	74
206-281-51	12,0	Dm	P	16	6	6	0	2400	36
209-165-17	2,4	Dm	P	17	10	7	0	2200	48
209-289-51	13,4	Dm	P	13	13	7	0	3000	64
209-528-51	7,7	Ln	P	12	2	2	0	3000	8
302-305-2	5,0	Dm	P	16	11	7	0	1500	32
303-264-8	2,0	Dm	P	17	15	7	23	0	64
312-72-51	1,5	Ln	P	15	2	2	0	3200	8
313-155-16	4,5	Dm	P	20	14	11	21	0	134
712-333-51	2,3	As	P	12	6	3	0	3200	16

##### Rezultāti

Audzū taksācijas rādītāji atspoguļoti 4.1.2. tabulā. Vairumā gadījumu plantācijas ir tīraudzes. Salīdzinot uzmērītos augstumus ar LVM datu bāzē reģistrētajiem augstumiem, konstatēts, ka kopumā plantācijās koki ir auguši straujāk nekā to paredz Meža valsts reģistra aktualizācijas algoritmi. Tomēr jānorāda, ka liela daļa no plantāciju stādījumiem, vizuāli izvērtējot pēc LĢIA ortofoto attēliem, ir ieaugušies nevienmērīgi. Šādu objektu īpatsvara noteikšana varētu būt atsevišķs pētījuma darba uzdevums.

**4.1.2. tabula. Pētniecisko objektu taksācijas apraksti pēc lauku mērījumiem**

Objekts	Sastāvs	D, cm	H, m	G, m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	M, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N, koki ha <sup>-1</sup>
611-188-53	10E + P	13.7 ± 0.4	11 ± 0.2	23.5 ± 0.6	136.8 ± 5.1	1590 ± 106
712-62-51	10E ats M	13.3 ± 0.8	11.5 ± 0.5	25.8 ± 1.5	160 ± 12.7	1880 ± 106
712-73-51	10E	15.8 ± 0.4	12.3 ± 0.4	28.1 ± 2.3	174.8 ± 19.1	1420 ± 51
809-50-2	10E	12.8 ± 0.3	10.9 ± 0.1	21.4 ± 0.6	126.1 ± 5	1680 ± 109
809-50-5	10E	11.6 ± 0.3	10.4 ± 0.5	17 ± 1	99.5 ± 7.2	1625 ± 73
203-380-36	10P+B	9.2 ± 0.5	6.1 ± 0.3	22.2 ± 0.5	84.7 ± 1	3738 ± 413
206-281-51	10P	13.4 ± 0.2	10.3 ± 0.3	23.5 ± 0.6	128 ± 2.2	1665 ± 59
206-281-51-2	10P	13.4 ± 0.3	9.9 ± 0.1	25.1 ± 0.7	132.4 ± 3.1	1785 ± 106
209-165-17	10P	12.9 ± 0.2	9 ± 0.2	19.1 ± 0.3	93.8 ± 1.9	1455 ± 57
209-289-51	10P	10.3 ± 0.3	7.1 ± 0.2	23.5 ± 1.6	98.3 ± 8.7	2800 ± 84
209-528-51	10P	9.8 ± 0.3	6.4 ± 0.3	23.5 ± 1.7	92.1 ± 8.7	3138 ± 168
302-305-2	10P	11.7 ± 0.3	8.7 ± 0.1	19 ± 0.9	92.2 ± 3.6	1775 ± 161
303-264-8	10P ats B	16.3 ± 0.3	11 ± 0.2	15.5 ± 0.5	87.1 ± 3.4	745 ± 41
312-72-51	10P	11.9 ± 0.4	7.7 ± 0.3	22.6 ± 0.8	100.8 ± 4	2045 ± 133
313-155-16	10P	15.7 ± 0.4	12 ± 0.3	28.5 ± 1.2	174.7 ± 10.3	1480 ± 57
712-333-51	10P ats E	9.3 ± 0.3	5.6 ± 0.3	18 ± 1.6	63.4 ± 7.7	2655 ± 216

#### 4.1.2. Parauglaukumi P, E, B audzēs, kuras ir bijušajās lauksaimniecības zemēs ieaudzētas kokaudzes LVMI Silava agrāk iekārtotos pētījumu objektos

##### Pamatojums

Nemot vērā parastās egles nozīmi Ziemeļvalstu reģiona mežsaimniecībā, ir svarīgi, lai mežsaimniekiem būtu pieejami atbalsta instrumenti, ko var izmantot, lai pieņemtu pārdomātus lēmumus par šīs koku sugas apsaimniekošanu (Allen et al. 2020). Meža selekcija ir būtiski veicinājusi augstas kvalitātes koksnes ražošanu, ko nākotnes mainīgā klimata apstākļos varētu palīdzēt uzturēt pret dažādiem riskiem izturīgu un produktīvu klonu veģetatīvā pavairošana. Intensīvi apsaimniekotas un produktīvas egles plantācijas bijušajās lauksaimniecības zemēs varētu tikt audzētas, fokusējoties tikai uz koksnes ražošanu, meža platībās lielāku uzsvāru liekot uz dažādus ekosistēmu pakalpojumu līdzsvarotu vērtības kāpināšanu (Thiffault et al. 2023). Egles plantāciju ierīkošana atbilst arī mērķim efektīvāk izmantot meža potenciālu ilgtermiņa CO<sub>2</sub> piesaistei un transformēt daļēji aizaugušas, neizmantotas lauksaimniecības zemes produktīvās plantācijās, izmantojot selekcionētu reproduktīvo materiālu (Ahtikoski et al. 2020; Jonsson et al. 2021; Brunet-Navarro et al. 2021). Tas saskan ar lielāko daļu plānoto pasākumu šobrīd sagatavošanas stadijā esošajā Klimata un enerģētikas plānā 2030.

Lai pēc iespējas precīzāk plānotu saimnieciskās darbības un aprēķinātu sagaidāmo oglekļa uzkrājumu, ir jāizprot augšanas dinamika ilgtermiņā, ko ietekmē arī ģenētika (kloni) (Zeltiņš et al. 2023). Empīriskie modeļi parasti ir piemēroti tikai tad, ja tos izmanto datu diapazonā, kas tika izmantots modeļa izstrādei. Esošie audzes līmeņa modeļi radīti salīdzinoši sen, un to izstrādei izmantotie empīriskie dati ir vēl vecāki, neatspoguļojot pašreizējos augšanas apstākļus un apsaimniekošanas praksi plantācijām lauksaimniecības zemēs (Allen et al. 2020).

**Aktivitātes mērķi** šajā etapā ir datu ieguve 8 pētījuma objektos saskaņā ar iepriekš aprobētu metodiku, kas aprakstīta iepriekšējā pārskata etapā. Datu kompleksa analīze paredzēta pētījuma noslēguma etapā.



## Aktivitātes rezultāts

Stādījumu ierīkošana lauksaimniecībā neizmantotās zemēs ir nozīmīgākais risinājums klimata pārmaiņu mazināšanai, kas definēts arī Nacionālajā enerģētikas un klimata plānā 2021.-2030. gadam. Šajos stādījumos bieži vien tiek izmantota parastā egļu. Tomēr trūkst dati par: a) šādos stādījumos augošu egļu koksnes blīvumu (līdz ar to oglekļa saturu); b) tajos augošu egļu augšanas gaitu un stumbra formu. Dati par koksnes blīvumu pētījumā ievākti ar Pilodyn, tomēr papildus vērtējumam izmantojami dati, kas ievākti no paraugkoku šķērsriezuma ripām un urbumu skaidām (tiešie blīvuma mērījumi). Ievāktas ripas 80 koku stumbru analīzēm. Savukārt dati par pieaugumiem ievākti no 8 objektiem saskaņā ar iepriekš aprobētu un iepriekšējā pārskata etapā aprakstītu metodiku, ņemot vērā stādījumos esošās ģenētiski noteiktās koku atšķirības. Veicot šo datu analīzi, izmantots dinamiskais GADA modelis, kas iegūts no King-Prodan (Hossfeld IV) bāzes vienādojuma ar klonam specifiskiem koeficientiem  $b_1$  un  $b_2$ , uzrādīja visaugstāko precizitāti.

Izmantota King-Prodan vienādojuma GADA forma:

$$H_2 = \frac{A_2^{b_1}}{b_2 + b_3 \frac{\frac{A_1^{b_1}}{H_1-1.3} - b_2}{b_3 + A_1^{b_1}} + \frac{\frac{A_1^{b_1}}{H_1-1.3} - b_2}{b_3 + A_1^{b_1}} A_2^{b_1}} \quad (1)$$

, kur

$H_1$  – koka augstums prognozes perioda sākumā, m;

$H_2$  – koka augstums prognozes perioda beigās, m;

$A_1$  – koka vecums prognozes perioda sākumā, gadi;

$A_2$  – koka vecums prognozes perioda beigās, gadi;

$b_1$ ;  $b_2$ ;  $b_3$  – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no meža elementa.

Tika izmantots nelineārs jaukta tipa modelis (nlme). Parametrizējot modeli, fiksētie parametri (fixed)  $b_1$ ,  $b_2$ , un  $b_3$  tika iekļauti kā nemainīgi, ņemot vērā, ka tie tiek izmantoti kā globāli parametri visiem novērojumiem. Random efektu parametri  $b_1$  un  $b_2$  tika iekļauti katram klonam (4.1.3. tab.). Tika pielietota autokorelācija (AR1), lai ņemtu vērā iespējamo atkarību datu struktūrā, izmantojot formulu  $\sim 1|klons/koks$ , kas ļauj modelēt atkarību laikā starp novērojumiem, kas pieder vienam un tam pašam kokam. Tika pielietota mainīgā svāra funkcija (varIdent), lai pielāgotu svaru atšķirīgajiem stādījumu novērojumiem ( $\sim 1|stad$ ), ņemot vērā atšķirīgu pazīmes variāciju dažādās audzēs. Pētījuma noslēguma etapā ievāktie dati tiks integrēti modelī, izmantojot vienotu algoritmu.

Augšanas gaita retas biežības plantācijās Valgums un Skutuļi vērtēta veģetatīvi pavairotiem 20 (10 un 10) produktīviem vietējas izcelsmes kloniem, izmantojot atkārtoti pārmērītus augstuma datus attiecīgi 50-59 un 24-32 gadu vecumā

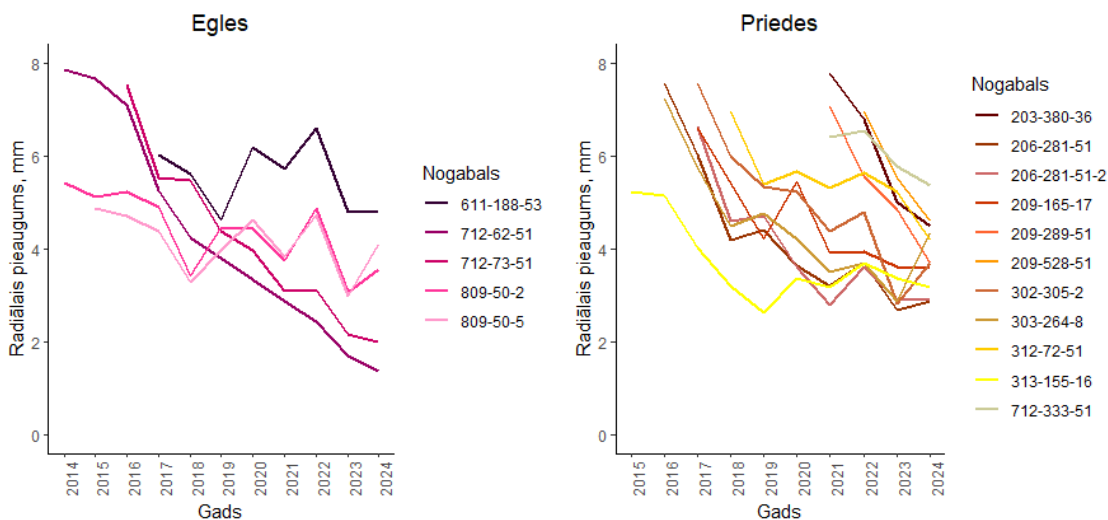
**4.1.3. tabula. Klonu specifiski King-Prodan (Hosfeld IV) GADA modeļa koeficienti plantāciju stādījumos**

Stādījums	Klons	Koeficients		
		b1	b2	b3
Skutuļi	78F3J17	2.09718	-65179010	2292867439
	80F3K79	1.518797	-65179010	2292867439
	K40	1.897777	-65179010	2292867439
	K64	1.776274	-65179010	2292867439
	O19	1.815305	-65179010	2292867439
	O235	1.781015	-65179010	2292867439
	O62	1.973971	-65179010	2292867439
	O73	1.970558	-65179010	2292867439

	R17	2.058238	-65179010	2292867439
	R62	1.870372	-65179010	2292867439
Valgums	valg1	3.056151	-65179009	2292867439
	valg12	3.5697	-65179009	2292867439
	valg13	3.070044	-65179009	2292867439
	valg16	3.670791	-65179009	2292867439
	valg18	3.283848	-65179009	2292867439
	valg3	3.229359	-65179009	2292867439
	valg4	3.399632	-65179009	2292867439
	valg7	3.537515	-65179009	2292867439
	valg8	3.518215	-65179009	2292867439
	valg9	3.621246	-65179009	2292867439

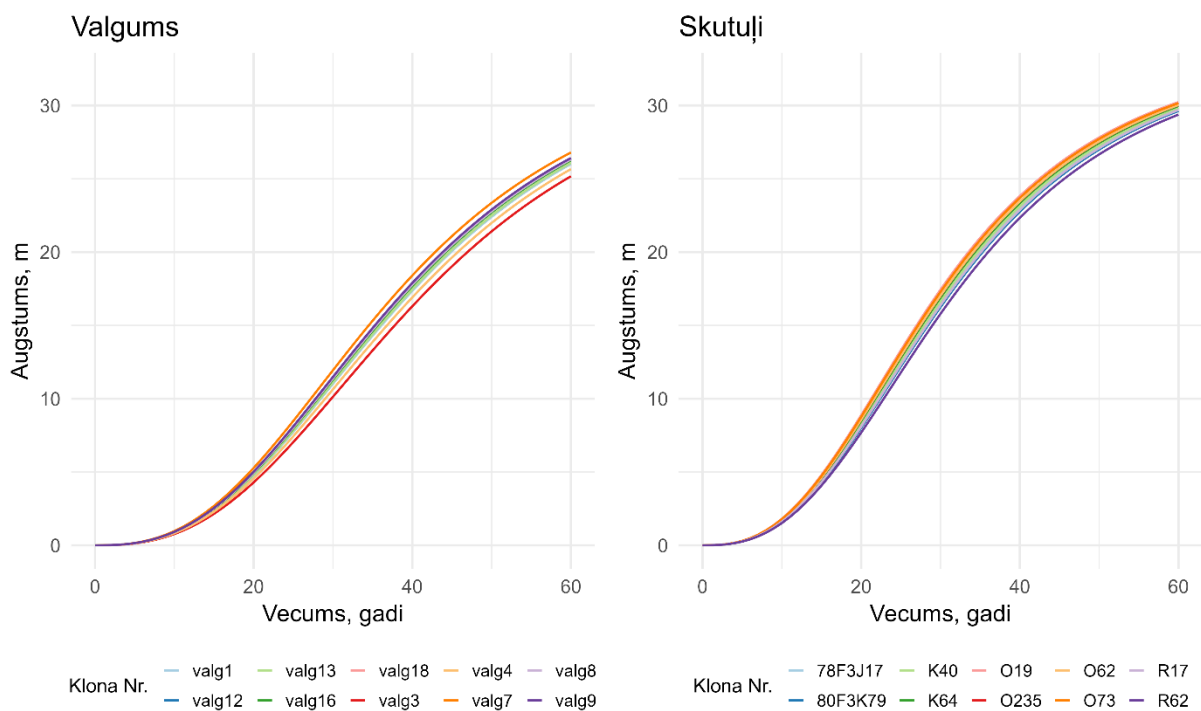
#### 4.1.3. Pieaugumu uzmērīšana

Uzmērītas radiālā pieauguma skaidas 16 ražošanas objektos un visos 8 ilglaicīgo pētījumu objektos. Ražošanas objektos iegūtas 576 urbumu skaidas. Radiālais pieaugums ražošanas objektos egļu audzēs vidēji ir  $4,93 \pm 0.04$  mm gadā, bet priežu audzēs  $5.55 \pm 0.05$  mm gadā. Taču atsevišķos objektos un gados tas arī pārsniedz arī 7 mm gadā (skat. 4.1. attēlu). Savukārt aproksimētās augstuma pieauguma vērtības pētījumu objektos atspoguļotas 4.2. attēlā.



4.1. attēls. Radiāla pieauguma mērījumu rezultāti ražošanas plantāciju objektos.

#### 4.1.4. Datu analīze/ pieaugumu aprakstošu vienādojumu koeficientu aproksimācija



**4.2.att. Ar King-Prodan GADA augšanas gaitas modeli prognozējamā klonu vidējā augstuma attīstības dinamika reta biežumos Valgums un Skutuļi.**

### Secinājumi

Plantāciju tipa stādījumi pētījumu objektos aug ievērojami labāk nekā prognozē normatīvi meža tipam (bonitātei) noteiktie augšanas gaitas modeļi.

## Literatūra

- Donis, J. (2022). Algoritmu izstrāde mežsaimniecības plānošanai. Pētījuma pārskats. 99 lpp.
- Donis, J. (2023). Algoritmu izstrāde mežsaimniecības plānošanai. Pētījuma pārskats. 116 lpp.
- 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
- Кивисте А.К. (1988) Функции роста леса учебно-справочное пособие (приложении). Тарту. ст. 172.

### Pielikums 1. Vienādojumu atbilstības izvērtēšanas statistiskie rādītāji

Vidējā novirze (Mean Residual)

$$MRES = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad (21)$$

Procentuālā vidējā novirze (Mean Residual as %)

$$MRES\% = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)}{\bar{y}_i} 100 \quad (22)$$

Vidējā absolūtā novirze (Absolute Mean residual)

$$AMRES = \frac{\sum|y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad (23)$$

Standartnovirze (Root mean square error)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 1 - p}} \quad (24)$$

Variācijas koeficients (Root mean square error as %)

$$RMSE\% = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 1 - p}} \frac{100}{\bar{y}_i} \quad (25)$$

Vidējā kvadrātiskā kļūda (Mean square error)

$$MSE = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p} \quad (26)$$

Modeļa efektivitāte (Model efficiency)

$$MEF = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (27)$$

Dispersijas attiecība (Variance ratio)

$$VR = \frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (28)$$

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

