

Saturs

Kopsavilkums.....	4
Summary	5
Tabulu saraksts.....	6
Attēlu saraksts.....	8
Ziņojumā lietotie simboli un saīsinājumi.....	12
Ievads	14
1. Starpcirtes (krājas kopšanas cirtes) modeļu pilnveidošana.....	15
1.1. Dažādu kopšanas ciršu veidu kopšanas efekta novērtējums 5 gadus pēc kopšanas cirtes. Traucējumu ietekme iekļauta augšanas gaitas vienādojumā koeficienta samazinājuma formā.....	15
1.1.1. Kopšanas ciršu parauglaukumu pārmērīšana.....	15
1.1.2. Datu analīze / pieaugumu aprakstošu vienādojumu koeficientu aproksimācija	16
1.2. Kopšanas cirtes ietekmi raksturojoši koeficienti augšanas gaitas vienādojumā E, P, B audzēs ar dažādām retināšanas intensitātēm (45% / 55% / 65%)	20
1.2.1. Faktori, kas nosaka koksnes krājas uzkrāšanās tempu pie dažādām kopšanas intensitātēm	20
1.2.2. Dažādu apsaimniekošanas programmu finanšu plūsmas prognozēšana.....	24
2.1. Meža elementu taksācijas rādītāju izmaiņu (augšanas gaitas modelis), balstot uz 4 MSI ciklu datiem	25
2.1.1. MSI parauglaukumu datu paraugkopas izveide.....	25
2.1.2. Taksācijas rādītāju prognožu modeļu pilnveidošana (vienādojumu aprēķini)	27
3. Individuāla koka augšanas gaitas modeļi.....	60
3.1. Individuāla koka augšanas gaitas modeļi, kas balstīti 4 MSI cikla datos.....	60
3.1.1. Kandidātvienādojumu kopas izveide (literatūras apskats)	60
3.1.2. Netelpiskie (<i>non-spatial</i>) individuāla koka augšanas gaitas modeļu (h, d, g, atmiršanas varbūtība, ieaugšanās varbūtība) (P, E, B, M, A) aproksimācija.....	60
3.1.3. Telpiskie (<i>spatial</i>) individuāla koka augšanas gaitas modeļu (h, d, g, atmiršanas varbūtība, ieaugšanās varbūtība) (P, E, B, M, A) aproksimācija.....	70
3.2. Individuāla koka augšanas gaitas modeļi, kas balstīti uz attālās izpētes metožu pārmērījumu datiem	80
3.2.1. LĢIA LiDAR datu / ortofoto datu apstrāde (KKC parauglaukumi).....	80
3.2.2. Aerofotoainu ieguve izmantojot multispektrālo kameru, kas uzmontēta uz drona	81
3.2.3. Individuāla koka detektēšana KKC parauglaukumos, balstot uz attālās izpētes datiem ...	82
3.2.4. Individuāla koka augšanas gaitas aproksimācija KKC parauglaukumos, balstoties uz attālās izpētes datiem	86
4. Plantāciju mežaudžu augšanas gaitas modeļi.....	88
4.1. Parauglaukumu ierīkošana plantāciju mežaudzēs un koku sākotnējā uzmērīšana.....	88
4.1.1. Parauglaukumi P, E, B audzēs, kuras ir bijušajās lauksaimniecības zemēs ieaudzētas kokaudzes LVM ražošanas objektos	88

4.1.2. Parauglaukumi P, E, B audzēs, kuras ir bijušajās lauksaimniecības zemēs ieaudzētas kokaudzes LVMI Silava agrāk iekārtotos pētījumu objektos.....	89
4.1.3. Datu analīze / pieaugumu aprakstošu vienādojumu koeficientu aproksimācija.....	93
Literatūra.....	96
Pielikums 1. Vienādojumu atbilstības izvērtēšanas statistiskie rādītāji.....	97

Kopsavilkums

Pētījuma otrajā posmā īstenoti sekojoši darba uzdevumi četrās aktivitātēs.

1. Starpcirtes (krājas kopšanas cirtes) modeļu pilnveidošana

Pārmērīti 25 krājas kopšanas ciršu objekti, kurā katrā ir 10 vai 12 parauglaukumi (30 m×30 m). Papildus veikta to objektu vai to daļu uzmērīšana, kurā akciju sabiedrība "Latvijas valsts meži" 2022. gadā bija plānojusi veikt sanitārās cirtes vai citu saimniecisko darbību. 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 ietekmes analīze. Lai arī otrajā 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 (5 no 11 objektiem).

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 1127 atkārtoti 2021. 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 egles otrā stāva meža elementiem.

3. Individuāla koka augšanas gaitas modeļi

Veikta G, D pieaugumu aproksimācija ar "netelpiskiem" un "telpiskiem" nelineārajiem regresijas vienādojumiem (modeļiem), kā arī aprēķināta koku izdzīvošanas varbūtība, atkarībā no koku savstarpējās konkurences. Sagatavoti attālās izpētes dati (LĢIA LiDAR), kā arī veikta fotogrammetrijas datu ieguve ar dronu 10 no 2021.g. 2022.g. pārmērītajiem kopšanas ciršu objektiem. Aprēķināti individuālu koku augstumi pētāmajos objektos. Rezultāti salīdzināti ar lauku darbu mērījumos iegūtajiem datiem (pirms cirtes un 5 gadus pēc cirtes). Konstatēts, ka ar atšķirīgiem attālās izpētes sensoriem dažādos laika periodos iegūtie dati vidējo augstuma vērtību izmaiņu noteikšanai pagaidām nav izmantojami modelēšanai, tādēļ nepieciešams atbilstoši pētījumā plānotajam nākamajos posmos uzlabot gan datu pirmasprādes algoritmus, gan koku detektēšanas algoritmu parametrus.

4. Plantāciju mežaudžu augšanas gaitas modeļi

Ierīkoti parauglaukumi 16 LVM ražošanas objektos, kas iekārtoti kā plantācijas bijušajās lauksaimniecības zemēs. LVMI Silava mežaudzēs bijušajās lauksaimniecības zemēs iepriekš ierīkoto parauglaukumu pārmērīšana veikta 6 objektos. Veikta gadskārtu platumu mērīšana. Noteikts koksnes blīvums bērzu koksnei salīdzinot koksni kokiem, kuri auguši bij. lauksaimniecības zemēs un mežaudzēs. Nav konstatētas būtiskas atšķirības starp paraugkopām, bet nepieciešams palielināt datu kopu. Analizēti caurmēra pieaugumi un koku taksācijas parametru izmaiņas.

Summary

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

Activity 1. Improvement of intermediate (thinning) models

Remeasured 25 sites of thinning experiments. 10 or 12 sample plots (30 m×30 m) were measured in each stand. In addition, the survey of the objects / or parts thereof in which LVM had planned to carry out sanitary felling or other economic activity in 2022 has been carried out. 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 (5 for 11 objects) had to be carried out in spruce objects after thinning, especially in plots with higher thinning intensity. Net increment in the period of 5 years after care felling was carried out.

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

Data on 1127 plots with were re-measured in 2021 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 *Picea abies* in second-storey.

Activity 3. Single tree growth models

A set of candidate equations has been created and evaluated on the basis of NFI cycle IV plot data. G increases approximation with "non-spatial" and "spatial" nonlinear regression equations (models), as well as calculated probability of survival trees was carried out. Remote sensing data - LGIA LiDAR, drone based photogrammetry data were obtained for 10 stands re-measured in Activity 1. Single trees were detected using qgis plugin. Results were compared with field plot measurements. At the moment -models are able to predict average height at stand level, but not number of trees. Thus, improvement of tree detection algorithm is needed.

Activity 4. Growth models of plantation forests

New sample plots in 16 stands planted in former agricultural lands were established. 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 6 objects. Measurement of annual tree ring widths has been carried out. Wood density of birch grown in forest land and former agricultural land was compared. No significant difference in density was detected at this stage. Average increases and changes in tree inventory parameters in research objects have been analysed.

Tabulu saraksts

1.1. tabula. 2022. g. pārmērīto pētījumu objektu sadalījums pa reģioniem un objektu taksācijas pamatrādītāji.....	15
1.2. tabula. Uzmērīto objektu grupu taksācijas rādītāji un to izmaiņas.....	17
1.3. tabula. Atmirušo koku (sausokņu, stubeņu, kritalu) īpatsvars no kopējās pārmērītās krājas pa valdošajām sugām, vecuma grupām un pēccirtes biežībām, %	19
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	21
1.6. tabula. I stāva koku skaita izmaiņas (koki ha ⁻¹) pēc cirtes pa sugām, vecuma grupām un kopšanas veidiem atkarībā no cirtes intensitātes.....	22
1.7. tabula. I stāva koku šķērslaukuma izmaiņas (m ² ha ⁻¹) pēc cirtes pa sugām, vecuma grupām un kopšanas veidiem atkarībā no cirtes intensitātes.....	22
1.8. tabula. I stāva koku tekošā periodiskā krājas diference (m ³ ha ⁻¹) 5 gadus cirtes pa sugām, vecuma grupām un kopšanas veidiem atkarībā no cirtes intensitātes	23
1.9. tabula. I stāva koku tekošās periodiskās krājas diferences procents (Liepa,1996) 5 gadus cirtes pa sugām, vecuma grupām un kopšanas veidiem atkarībā no cirtes intensitātes	24
2.1. tabula. Parauglaukumu sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām un vecuma desmitgadēm	25
2.2. tabula. Parauglaukumu sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām un bonitātēm	26
2.3. tabula. Parauglaukumu sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām un meža tipiēm... ..	26
2.4. tabula. Ceturtajā ciklā uzmērīto koku sadalījums pa koku sugām un meža tipiēm.....	26
2.5. tabula. Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) 2021. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji.....	28
2.6. tabula. Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) prognozētā ikgadējā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji ar 2021. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām	29
2.7. tabula. Meža elementa virsaugstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) 2022. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji.....	35
2.8. tabula. Meža elementa virsaugstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) prognozētā ikgadējā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji ar 2021. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām	35
2.9. tabula. Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji.....	42
2.10. tabula. Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) prognozētā ikgadējā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji ar 2022. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām	42
2.11. tabula. Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.3. formula) prognozētā ikgadējā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji ar 2022. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām	47

2.12. tabula. Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.3. formula) aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji.....	47
2.13. tabula. Meža elementa šķērslaukuma izmaiņas modeļa (2.5. formula) aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji.....	53
2.14. tabula. Meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modeļa (2.5. formula) prognozētā ikgadējā šķērslaukuma pieauguma statistiskie rādītāji.....	54
3.1. tabula. Netelpiska atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modeļa (3.1. formula) 2022. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji.....	61
3.2. tabula. Atsevišķa koka caurmēra augšanas gaitas modeļa (3.1. formula) prognozētā ikgadējā caurmēra pieauguma statistiskie rādītāji ar 2022. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām.....	62
3.3. tabula. Netelpiska atsevišķu koku atmiršanas varbūtības modelis. 2021. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji (formula 3.3).....	70
3.4. tabula. Telpiska atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modeļa (3.6. formula) 2022. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji.....	71
3.5. tabula. Atsevišķa koka caurmēra augšanas gaitas modeļa (3.6. formula) prognozētā ikgadējā caurmēra pieauguma statistiskie rādītāji ar 2022. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām.....	73
3.6. tabula. Telpiska atsevišķu koku atmiruma modeļa (3.7. formula) 2022. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji.....	79
3.7. tabula. KKC parauglaukumi, kuriem veikta 3D attēlu ieguve ar dronu.....	80
3.8. tabula. Ar fotogrammetrijas metodi detektētais koku skaits 2022.g. kopšanas ciršu parauglaukumu objektos.....	84
3.9. tabula. Koku skaits un augstums parauglaukumos pēc parauglaukumu mērījumu datiem 2021/2022. un ar fotogrammetrijas datiem.....	84
3.10. tabula. Ar LĢIA LiDAR detektētais koku skaits 2022.g. kopšanas ciršu parauglaukumu objektos.....	85
3.11. tabula. Koku skaits un augstums parauglaukumos pēc parauglaukumu mērījumu datiem (pirms cirtes) un no LĢIA LiDAR detektētais.....	86
3.12. tabula. Koku augstumu parauglaukumos pēc parauglaukumu mērījumu datiem (pirms cirtes un 5 gadus pēc cirtes) un ar attālās izpētes metodēm noteiktie.....	87
4.1. tabula. Pētniecisko objektu taksācijas apraksti LVM datu bāzē.....	88
4.2. tabula. Pētniecisko objektu taksācijas apraksti pēc lauku mērījumiem.....	89
4.3. tabula. Agrāk iekārtoto pētījumu objektu saraksts.....	90
4.4. tabula. Kopsavilkuma tabula vērtētajām bērza paraugkoku pazīmēm (SD – standartnovirze, Min un Max – minimālā un maksimālā attiecīgās pazīmes uzmērītā vērtība; N – mērījumu skaits).....	91
4.5. tabula. Egles stādījuma objektā “Saldus-2” kokaudzes vidējo taksācijas rādītāju izmaiņas.....	93
4.6. tabula. Bērza stādījumu 2x1,5m Lietuvas objektos taksācijas rādītāji.....	94
4.7. tabula. Bērza stādījumu kokaudzes vidējo taksācijas rādītāju izmaiņas.....	95

Attēlu saraksts

- 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 ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m)..... 30
- 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 ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m)..... 30
- 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 ($H_{50} = 33; 27; 21; 15; 9$ m)..... 30
- 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 ($H_{50} = 33; 27; 21; 15; 9$ m)..... 31
- 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 ($H_{50} = 36; 30; 24; 18; 12$ m)..... 31
- 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 ($H_{20} = 21; 18; 15; 12; 9; 6$ m)..... 31
- 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 ($H_{100} = 36; 30; 24; 18; 12$ m)..... 32
- 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 ($H_{20} = 18; 15; 12; 9; 6$ m)..... 32
- 2.9. attēls. Egles 2. 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 ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m)..... 32
- 2.10. attēls. Vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) ar 2021. un 2022. gada aproksimētajām koeficientu vērtībām: 33
- 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)..... 36
- 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 ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m)..... 36
- 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)..... 37
- 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)..... 37

2.15. attēls. Apses 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).....	37
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 ($H_{20} = 21; 18; 15; 12; 9; 6$ m).....	38
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 ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15$ m).....	38
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 ($H_{20} = 18; 15; 12; 9; 6$ m).....	38
2.19. attēls. Virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) ar 2021. un 2022. gada aproksimētajām koeficientu vērtībām:	39
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 ($D_{50} = 40; 32; 24; 16; 8$ cm) pie konstantas relatīvās biežības ($RB=0.60$).	43
2.21. attēls. Egles I stāva 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 ($D_{50} = 40; 32; 24; 16; 8$ cm) pie konstantas relatīvās biežības ($RB=0.60$).	44
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 ($D_{50} = 40; 32; 24; 16; 8$ cm) pie konstantas relatīvās biežības ($RB=0.60$).	44
2.23. attēls. Melnalkšņa 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 ($D_{50} = 40; 32; 24; 16; 8$ cm) pie konstantas relatīvās biežības ($RB=0.60$).	44
2.24. attēls. Apses 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 ($D_{50} = 52, 44; 36; 28; 20; 16, 8$ cm) pie konstantas relatīvās biežības ($RB=0.60$).	45
2.25. attēls. Baltalkšņa 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 20 gadi ($D_{20} = 20; 16; 12; 8$ cm) pie konstantas relatīvās biežības ($RB=0.60$).	45
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 ($D_{50} = 40; 32; 24; 16; 8$ cm) pie konstantas relatīvās biežības ($RB=0.60$).	45
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 20 gadi ($D_{20} = 20; 16; 12; 8$ cm) pie konstantas relatīvās biežības ($RB=0.60$).	46

2.28. attēls. Egles II stāva 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 ($D_{50} = 32; 24; 16; 8 \text{ cm}$) pie konstantas relatīvās biezības ($RB=0.60$).	46
2.29. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu priedēm:	48
2.30. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu eglēm:.....	49
2.31. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu bērzam:.....	49
2.32. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu melnalksnim:.....	50
2.33. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu apsei:	50
2.34. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu baltalksnim:.....	51
2.35. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu platlapjiem:.....	51
2.36. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu citiem lapu kokiem:.....	52
2.37. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu priedēm:	55
2.38. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu eglēm:.....	55
2.39. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu bērzam:.....	56
2.40. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu melnalksnim:.....	56
2.41. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu apsei:	57
2.42. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu baltalksnim:.....	57
2.43. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu platlapjiem:.....	58
2.44. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu citiem lapu kokiem:.....	58
3.1. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu priedei:.....	63
3.2. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu eglei:.....	64
3.3. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu bērzam:.....	65

3.4. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu melnalksnim:	66
3.5. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu apsei:.....	67
3.6. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu baltalksnim:	68
3.7. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.6. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu priedei:.....	73
3.8. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.6. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu eglei:	74
3.9. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.6. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu bērzam:	75
3.10. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.6. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu melnalksnim:	76
3.11. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.6. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu apsei:.....	77
3.12. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.6. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu baltalksnim:	78
3.13. attēls. Objektu shematisks izvietojums Latvijā	80
3.14. attēls. Pētījumu objekta (205-24-33) CHM, parauglaukumu stūri izvietojums. (CHM veidots no LĢIA (c) las datu failiem.	81
3.15. attēls. Piemērs ar augstumu virsmu, kas iegūta ar fotogrammetrijas metodēm. Fona karte LĢIA © CIR karte.	82
3.16. attēls. Pētījumu objektu ar fotogrammetrijas metodi iegūto DSM, parauglaukumu stūru noteikšanai un ģenerēto individuālu koku slāni.	83
3.17. attēls. Piemērs. pētījumu objekta 703-136-1 no LĢIA LiDAR iegūto CHM un ģenerēto individuālu koku slāni.	85
4.1. attēls. Pārmērīta bērza stādījuma ortofoto uzņēmums.....	90
4.2. attēls. Vidējais bērza paraugkoku (N = 700) augstums (m) un caurmērs (cm) 1,3 m virs sakņu kakla.....	91
4.3. attēls. Relatīvai koksnes blīvums (mm) abās uzmērīšanas reizēs (Pilodyn 1 un Pilodyn 2) un vidēji.....	92
4.4. attēls. Pīrsona korelācijas koeficienti starp vērtētajām bērza paraugkoku pazīmēm (Dens 5 un Dens – attiecīgi 5 ārējo gadskārtu un vidējais koksnes blīvums, P-1 un P-2 – relatīvā blīvuma Pilodyn mērījumi, P-av – vidējais relatīvais blīvums, D_cm – koka caurmērs; būtiskums: * p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001).....	92

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 2022.g. pārmērīti 25 krājas kopšanas ciršu pētījumu objekti: 9 priedes, 11 egles un 5 bērzu audzēs. Ikvienā objektā ierīkoti 10 – 12 30 m×30 m (900 m²) 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 9 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. 2022.g. pārmērīto pētījumu objektu sadalījums pa reģioniem un objektu taksācijas pamatrādītāji

Nrpk	Reģions	Objekts	PL skaits	MT	Bon	A	Sastāvs	D cm
1	Austrumvidzeme	101-425-13	10	Mr	I	67	10P	23.1
2	Austrumvidzeme	104-391-15	12	As	Ia	45	10E+B	21.2
3	Austrumvidzeme	106-446-7	10	Mr	I	54	10P ats.E	19.9
4	Austrumvidzeme	108-191-10	10	Dms	II	45	10E	14.0
5	Austrumvidzeme	108-408-12	11	Vr	Ia	31	10E ats.B	13.6
6	Austrumvidzeme	108-470-3	12	Vrs	I	61	7B3M ats.A	18.3
7	Austrumvidzeme	109-402-7	12	Ln	Ia	57	10P	24.5
8	Austrumvidzeme	111-86-5	10	Dm	Ia	22	10E ats.B	15.4
9	Dienvidkurzeme	201-399-14	12	Dm	Ia	27	9E1B ats.P,Oz	15.9
10	Dienvidkurzeme	201-473-25	10	Ln	Ia	26	10P ats.E	15.1
11	Dienvidkurzeme	202-298-10	10	Mrs	II	67	10P	22.7
12	Dienvidkurzeme	207-15-6	12	Vr	Ia	36	10E	18.0
13	Dienvidkurzeme	208-111-35	10	As	Ia	40	10E ats.P	20.1
14	Dienvidkurzeme	213-479-6	10	Dm	II	54	8B2E+M ats.A	16.8
15	Vidusdaugava	501-161-1	12	Ap	Ia	30	10E	18.5
16	Vidusdaugava	505-176-13	10	Mr	I	28	10P ats.E	12.7
17	Vidusdaugava	505-210-16	12	Dm	Ia	29	10E+ats.P	14.5
18	Vidusdaugava	506_151_38	10	Dm	Ia	54	10E	24.3
19	Vidusdaugava	510-304-1	10	Kp	Ia	29	9B1M ats.E	15.7
20	Vidusdaugava	510-356-13	10	Ap	Ia	30	10B+M;Ba	13.3
21	Ziemeļkurzeme	707-10-8	10	As	II	32	7B3M+E	12.0
22	Ziemeļkurzeme	708-256-16	10	As	Ia	25	10P+B	16.7
23	Ziemeļkurzeme	710-291-22	12	Mr	III	55	9P1B	14.2
24	Ziemeļkurzeme	710-291-26	12	Ln	II	56	9P1E+B	18.4
25	Ziemeļkurzeme	711-15-3	12	As	Ia	28	9E1B ats.M;A;Bl	14.0

1.1.2. Datu analīze / pieaugumu aprakstošu vienādojumu koeficientu aproksimācija

Atsevišķu parauglaukumu taksācijas rādītāji aprēķināti, izmantojot meža taksācijā vispārpieņemtās metodes un mērvienības (Soest et al., 1965, Liepa, 1996, van Laar, Akça, 2007, Liepa, 2018)¹.

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. 2022.g. pārmērīto objektu taksācijas rādītāju vidējās vērtības, grupējot audzes pēc valdošās sugas (priede, egle, bērzs) un vecuma grupām (20 – 30 gadi, 31 – 50 gadi, 51 – 70 gadi) atspoguļotas 1.2. tabulā.

¹ Ja LVM darbā nepieciešami atbilstošie rādītāji SI sistēmā, krāju m^3ha^{-1} uz SI sistēmu var pārveidot, izmantojot sakarību $1 \text{ ha} = 10^4 \text{ m}^2$, t.i., $1\text{m}^3\text{ha}^{-1}$ ir vienāds ar $1 \times 10^{-4} \text{ m}^3\text{m}^{-2}$. Savukārt taksācijas rādītāju ikgadējo pieaugumu SI sistēmā var pārveidot, pieņemot, ka kalendārajā gadā (pēc Gregora kalendāra) ir 31556952 sekundes (s) un pieaugums $1\text{m}^3\text{ha}^{-1}$ gadā ir vienāds ar $3.16887 \times 10^{-12} \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$

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

Suga	Pirms cirtes					Pēc cirtes						Pēc 5gadiem						
	Vecuma grupa	Biezība	D _{kv} , cm	H, m	G, m ² ha ⁻¹	M, m ³ ha ⁻¹	N, koki ha ⁻¹	D _{kv} , cm	H, m	G, m ² ha ⁻¹	M, m ³ ha ⁻¹	N, koki ha ⁻¹	D _{kv} , cm	H, m	G, m ² ha ⁻¹	M, m ³ ha ⁻¹	N, koki ha ⁻¹	
Priede	20-30 gadi	0.38	15.1	11.8	23.3	146.0	1352	16.5	12.1	11.5	72.1	539	15.7	14.3	15.4	111.9	537	
		0.53	14.9	11.9	24.3	154.2	1443	15.7	12.1	15.7	100.0	811	15.6	14.5	20.3	149.2	800	
		0.68	14.5	11.8	27.3	171.8	1683	15.3	12.1	19.7	124.9	1074	18.8	14.5	24.6	184.0	1056	
		0.53a	15.4	12.5	25.8	170.4	1430	14.9	12.4	15.5	102.2	902	13.6	14.6	20.4	155.0	894	
		Kontr	14.5	12.0	25.4	159.8	1554	14.5	12.0	25.3	159.6	1550	22.3	14.8	29.1	221.5	1430	
	51-70 gadi	0.38	19.3	18.9	26.1	253.4	914	21.8	19.7	13.7	135.7	368	20.6	21.1	16.3	169.1	368	
		0.53	19.9	19.1	26.6	261.0	869	21.6	20.0	18.5	183.5	504	20.1	21.6	20.9	219.7	494	
		0.68	19.4	18.7	29.5	288.4	1030	20.9	19.6	23.3	231.0	681	31.2	21.1	25.9	269.6	666	
		0.8	19.5	19.2	34.5	341.7	1189	20.3	19.7	27.9	278.1	867	16.2	21.8	30.9	338.1	827	
		0.53a	19.5	19.2	27.5	270.5	941	19.6	19.5	17.9	176.5	594	18.4	20.7	20.4	208.6	570	
		Kontr	19.6	19.0	27.5	273.2	921	19.6	19.0	27.5	273.0	913	31.6	20.3	29.7	309.6	857	
	Egle	20-30 gadi	0.38	15.3	14.4	27.1	216.3	1570	17.5	15.4	11.9	95.3	498	17.5	17.5	15.6	135.7	454
			0.53	15.4	14.6	29.0	231.1	1669	16.4	14.9	15.3	122.0	738	17.0	17.5	19.8	178.3	668
			0.68	15.7	15.0	29.9	241.6	1613	16.7	15.3	19.5	157.5	907	19.6	17.6	24.4	220.8	856
0.8			16.1	15.4	32.7	272.7	1739	16.9	15.7	23.9	200.0	1089	19.9	17.5	29.0	269.6	1056	
0.53a			15.7	14.9	29.7	242.8	1654	15.5	14.8	15.4	125.5	824	13.5	17.1	20.2	181.3	754	
Kontr			15.6	14.8	29.5	236.9	1657	15.6	14.8	29.4	236.0	1647	34.3	16.5	33.5	302.3	1551	
31-50 gadi		0.38	16.9	16.5	27.1	252.4	1294	19.0	17.0	12.6	117.2	447	16.9	18.4	11.7	115.4	348	
		0.53	16.9	16.7	29.6	281.4	1391	18.2	17.0	17.0	160.9	666	16.7	17.8	15.2	149.5	522	
		0.68	17.3	17.5	33.6	328.7	1466	18.9	18.1	22.0	216.5	783	28.1	19.6	22.9	242.7	691	
		0.8	18.3	18.9	39.3	409.3	1531	20.8	19.9	27.2	285.0	816	17.6	21.4	30.2	333.2	753	
		0.53a	16.9	16.9	29.5	284.9	1352	16.5	16.8	16.2	155.6	762	12.5	17.9	15.7	157.6	620	
		Kontr	16.5	16.7	30.1	288.6	1412	16.5	16.7	30.0	287.1	1409	112.3	18.3	31.3	324.3	1273	
51-70 gadi		0.38	23.8	23.1	30.3	360.1	683	26.0	24.0	15.3	183.9	289	18.1	23.1	9.3	104.2	156	
		0.53	23.3	22.9	31.6	375.2	744	25.0	23.8	20.8	248.7	422	25.2	24.6	19.6	239.2	361	

Suga	Vecuma grupa	Pirms cirtes				Pēc cirtes						Pēc 5gadiem					
		Biezība	D _{kv} , cm	H, m	G, m ² ha ⁻¹	M, m ³ ha ⁻¹	N, koki ha ⁻¹	D _{kv} , cm	H, m	G, m ² ha ⁻¹	M, m ³ ha ⁻¹	N, koki ha ⁻¹	D _{kv} , cm	H, m	G, m ² ha ⁻¹	M, m ³ ha ⁻¹	N, koki ha ⁻¹
		0.68	25.2	23.6	38.2	457.2	767	26.5	24.2	28.4	342.1	517	34.4	27.2	25.3	343.5	394
		0.53a	24.4	23.4	34.5	411.1	739	23.3	23.1	19.7	233.3	461	16.3	25.3	14.4	181.2	278
		Kontr	25.0	23.6	36.2	432.3	739	25.0	23.6	36.2	432.3	739	23.5	25.4	35.8	464.6	683
Bērzs	20-30 gadi	0.38	14.8	20.0	21.5	208.5	1197	17.1	21.1	10.9	108.2	461	14.7	22.9	14.5	155.3	458
		0.53	13.6	19.1	20.4	189.2	1397	14.8	19.6	13.9	131.2	797	16.5	21.1	17.4	177.7	781
		0.68	15.1	20.2	23.4	226.2	1311	15.8	20.6	18.0	175.1	917	18.3	22.6	21.1	225.9	872
		0.53a	14.7	19.6	22.1	209.7	1294	14.4	19.5	13.8	129.6	839	12.7	21.5	16.5	167.1	769
		Kontr	13.7	19.2	22.0	205.2	1464	13.7	19.2	22.0	204.9	1456	36.1	20.6	25.1	248.8	1328
	31-50 gadi	0.38	13.8	14.9	19.0	140.5	1272	15.6	15.7	8.4	63.6	444	14.9	18.0	11.2	95.6	439
		0.53	11.5	15.1	24.5	192.7	2061	13.6	16.2	12.5	102.4	778	12.6	17.6	15.6	134.4	728
		0.68	11.6	15.3	27.0	213.1	2256	12.7	16.1	15.6	124.8	1111	15.7	17.2	18.8	157.9	1061
		0.53a	12.4	15.1	27.3	212.7	2056	12.0	15.1	12.8	98.8	1017	10.2	16.0	15.9	131.2	944
		Kontr	11.1	14.1	25.2	191.1	2233	11.1	14.1	25.2	191.1	2233	19.2	16.4	29.0	243.1	2000
	51-70 gadi	0.38	17.2	22.1	24.7	267.3	1025	19.6	23.4	11.9	134.0	383	19.2	23.5	12.7	140.6	353
		0.53	18.6	23.0	26.5	289.8	944	20.7	24.2	15.3	170.9	447	18.8	24.6	15.9	180.2	417
		0.68	17.5	21.9	28.1	299.9	1094	18.9	22.8	18.8	203.4	642	27.6	24.0	19.8	224.0	603
		0.8	17.2	22.9	31.4	338.5	1272	18.4	23.4	23.1	251.8	828	15.4	23.7	23.4	262.1	756
		0.53a	17.5	21.7	26.7	283.7	1047	17.5	21.9	14.0	147.8	569	14.6	22.9	14.1	155.0	478
		Kontr	17.3	22.3	26.6	281.9	1086	17.3	22.3	26.6	281.9	1086	34.5	22.9	27.2	296.8	975

Dabiskais atmirums pēc kopšanas cirtes

Atmirušo koku īpatsvars kopējā pārmērītajā krājā pa valdošajām sugām, vecumgrupām un pēccirtes perioda biežības grupām dots 1.3.tabulā.

No 11 pārmērītajām egļu audzēm sanitārās cirtes ir bijušas vai gaidāmas tuvākajā laikā 5 audzēs. No 5 egļu audzēm vecumā grupā 31-50 gadi, sanitārās cirtes bijušas 4 audzēs, vienā no audzēm- 2 reizes. Lielākā negatīvā krājas diference divās no trijām audzēm konstatēta pie pēccirtes biežības 0,38, trešajā audzē pie pēccirtes biežības 0,53. Savukārt otra lielākā negatīvā krājas diference divās no trijām audzēm konstatēta pie pēccirtes biežības 0,53a. Vecuma grupā 51-70 gadi vienīgajā pārmērītajā audzē ir bijušas 2 sanitārās kopšanas cirtes un tuvākajā laikā daļā no platības ieplānota arī sanitārā kailcirte. Vecumā grupā 21-30 gadi, nevienā no 5 audzēm sanitārās cirtes nav plānotas.

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
20 – 30 gadi	0,38	0.3	3	6.2	5	0	2
	0,53	0.4	3	5.8	5	0.9	2
	0,68	0.5	3	3.6	5	0.6	2
	0,8	-	-	1.7	4	-	-
	0,53a	0.5	3	5.9	5	1.3	2
	Kontrole	2.9	3	4.2	5	1.9	2
31 – 50 gadi	0,38	-	-	11.6	5	0.4	1
	0,53	-	-	12.6	5	1.3	1
	0,68	-	-	4.4	5	2.3	1
	0,8	-	-	3.2	3	-	-
	0,53a	-	-	10.3	5	2.1	1
	Kontrole	-	-	3.6	5	2.8	1
51 – 70 gadi	0,38	0	6	0.0	1	6.6	2
	0,53	0.5	6	7	1	6.7	2
	0,68	1.3	6	3.4	1	3.5	2
	0,8	1.2	3	-	-	6.5	1
	0,53a	1.2	6	0	1	8.9	2
	Kontrole	1.8	6	3.1	1	6.6	2
Kopā	Kopā	1.0	48	6.0	62	3.4	26

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, metodiskā pieeja bija kopt objektā atsevišķas audzes daļas (parauglaukumus), samazinot tajos augošo koku skaitu līdz saglabājamas kokaudzes biežībai (pēc valdošās koku sugas krājas) ~0,4, ~0,6, ~0,7 ~0,8, kā arī saglabājot kontroles parauglaukumus, kuros kokus necērt.

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., uzņēmumā Metsa Forest 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 audzes². Šeit gan jānorāda, ka citās valstīs, piem., Lielbritānijā, ar kopšanas ciršu intensitāti saprot kopšanas cirtēs izcirstās 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 tikai pusei gradācijas klašu novērojumu skaits ir vismaz 3. Cirtes intensitāte 65% konstatēta tikai divās gradācijas klasēs – valdošā suga priede, vecuma grupa 21-30 gadi un standarta kopšana, kā arī valdošā suga egļu, vecuma grupa 31-50 gadi un standarta kopšana.

Analizējot pirmā stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņas pēc cirtes novērojama tendence - pie lielākas cirtes intensitātes vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņa pēc cirtes ir lielāka (1.4.tabula). Salīdzinot kopšanu no augšas ar standarta kopšanu (kopšanu no apakšas), vērtējot pēc vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņas - kopjot no augšas vidējais kvadrātiskais caurmērs visos gadījumos ir mazāks, bet ne visos gadījumos mazāks kā pirms cirtes.

² <https://www.metsaforest.com/lv/Documents/Noderigi/Audzu-krajas-kopšanas-cirtes.pdf>

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	-	-	-0.21	-0.31	0.21	-	-
P	21-30	standarta	-	0.40	0.26	1.18	2.35	4.10	-
P	31-50	no augšas	-	-	0.07	-0.16	-0.20	0.80	-
P	31-50	standarta	-	0.84	0.99	1.56	1.94	2.63	-
P	51-70	no augšas	-	-	-0.41	-0.12	-0.24	-	-
P	51-70	standarta	0.29	0.95	1.37	1.93	2.69	2.81	-
E	21-30	no augšas	-	-	-	-	0.00	-0.53	-
E	21-30	standarta	-	0.76	0.81	1.26	1.37	1.90	2.40
E	31-50	no augšas	-	-	-	-0.71	-0.02	0.07	-
E	31-50	standarta	0.20	1.31	1.25	1.64	2.75	3.07	4.04
E	51-70	no augšas	-	-	-	-	-1.07	-	-
E	51-70	standarta	-	0.86	1.28	1.78	1.93	-	-
B	21-30	no augšas	-	-	-	-0.45	-0.41	-	-
B	21-30	standarta	-	-	0.85	1.06	2.36	2.07	-
B	31-50	no augšas	-	-	-	-	-	-0.39	-
B	31-50	standarta	-	-	-	-	1.62	1.79	-
B	51-70	no augšas	-	-	-	-	-0.85	0.04	-
B	51-70	standarta	-	-	1.51	1.93	2.36	3.03	-
		Vidēji	0.24	0.84	1.05	1.06	1.37	2.02	2.81

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 relatīvās 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	-	-	0.00	-0.06	0.15	-	-
P	21-30	standarta	-	0.16	0.08	0.41	0.53	0.72	-
P	31-50	no augšas	-	-	0.15	0.10	-0.01	0.43	-
P	31-50	standarta	-	0.45	0.40	0.68	0.75	0.68	-
P	51-70	no augšas	-	-	-0.06	0.09	0.14	-	-
P	51-70	standarta	0.17	0.38	0.53	0.76	1.01	0.90	-
E	21-30	no augšas	-	-	-	-	0.01	-0.07	-
E	21-30	standarta	-	0.44	0.36	0.53	0.54	0.76	0.94
E	31-50	no augšas	-	-	-	-0.14	0.21	0.25	-
E	31-50	standarta	0.05	0.54	0.62	0.82	1.33	1.20	1.48
E	51-70	no augšas	-	-	-	-	-0.31	-	-
E	51-70	standarta	-	0.24	0.46	0.94	0.79	-	-
B	51-70	no augšas	-	-	-	-0.15	-0.08	-	-
B	51-70	standarta	-	-	0.40	0.27	1.24	0.92	-
		vidēji	-	-	-	-	-	-0.01	-

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

Pie cirtes intensitātes 15% I stāva koku skaits pēc cirtes samazinās vidēji par 320 kokiem ha⁻¹, bet pie cirtes intensitātes 45% - vidēji par 600 kokiem ha⁻¹ (1.6.tabula). Savukārt, I stāva koku šķērslaukums pie cirtes intensitātes 15% pēc cirtes samazinās vidēji par 4,8 m² ha⁻¹, bet pie cirtes intensitātes 45% - vidēji par 13,1 m² ha⁻¹ (1.7.tabula).

1.6. tabula. I stāva koku skaita izmaiņas (koki ha⁻¹) 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	-	-	-336	-444	-711	-	-
P	21-30	standarta	-	-288	-339	-623	-952	-1067	-
P	31-50	no augšas	-	-	-311	-500	-500	-778	-
P	31-50	standarta	-	-318	-504	-605	-804	-824	-
P	51-70	no augšas	-	-	-172	-331	-411	-	-
P	51-70	standarta	-56	-233	-354	-436	-596	-492	-
E	21-30	no augšas	-	-	-	-	-879	-767	-
E	21-30	standarta	-	-694	-615	-744	-850	-1047	-1222
E	31-50	no augšas	-	-	-	-307	-734	-761	-
E	31-50	standarta	-83	-183	-519	-724	-893	-939	-1311
E	51-70	no augšas	-	-	-	-	-281	-	-
E	51-70	standarta	-	-186	-253	-322	-397	-	-
B	51-70	no augšas	-	-	-	-367	-544	-	-
B	51-70	standarta	-	-	-393	-811	-572	-900	-

1.7. tabula. I stāva koku šķērslaukuma izmaiņas (m² ha⁻¹) 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	-	-	-5.4	-8.4	-15.6	-	-
P	21-30	standarta	-	-3.5	-4.9	-7.3	-13.5	-18.0	-
P	31-50	no augšas	-	-	-5.7	-9.1	-13.7	-19.9	-
P	31-50	standarta	-	-3.8	-6.0	-10.0	-12.3	-18.6	-
P	51-70	no augšas	-	-	-7.8	-9.4	-13.5	-	-
P	51-70	standarta	-1.4	-5.2	-7.5	-10.0	-13.0	-16.5	-
E	21-30	no augšas	-	-	-	-	-13.0	-19.1	-
E	21-30	standarta	-	-5.0	-7.3	-11.5	-13.8	-15.6	-20.1
E	31-50	no augšas	-	-	-	-8.6	-13.6	-20.5	-
E	31-50	standarta	-3.2	-5.2	-7.6	-10.5	-14.9	-15.8	-25.9
E	51-70	no augšas	-	-	-	-	-13.7	-	-
E	51-70	standarta	-	-6.2	-9.0	-10.8	-14.4	-	-
B	51-70	no augšas	-	-	-	-7.8	-8.9	-	-
B	51-70	standarta	-	-	-5.5	-7.5	-9.9	-11.4	-

Krājas pieauguma izmaiņas 5 gadus pēc cirtes atkarībā no intensitātes

Var konstatēt, 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). Egļu audzēs pēc kopšanas cirtes, lielākas cirtes intensitātes gadījumā, vecākās audzēs var būt pat negatīva. T.i., dzīvo koku krāja 5 gadus pēc cirtes ir pat mazāka nekā audzes krāja tūlīt pēc cirtes.

1.8. tabula. I stāva koku tekošā periodiskā krājas diference ($m^3 ha^{-1}$) 5 gadus 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	-	-	40.4	52.0	69.4	-	-
P	21-30	standarta	-	52.5	57.3	37.5	59.2	50.1	-
P	31-50	no augšas	-	-	33.5	39.0	54.8	28.7	-
P	31-50	standarta	-	40.6	49.9	44.6	43.6	44.5	-
P	51-70	no augšas	-	-	23.7	30.6	31.2	-	-
P	51-70	standarta	35.4	43.4	36.5	30.1	32.5	3.9	-
E	21-30	no augšas	-	-	-	-	55.4	58.8	-
E	21-30	standarta	-	35.1	65.0	73.1	63.1	44.3	41.5
E	31-50	no augšas	-	-	-	2.4	-3.6	21.1	-
E	31-50	standarta	21.1	19.0	35.0	8.9	4.7	0.6	23.8
E	51-70	no augšas	-	-	-	-	-18.3	-	-
E	51-70	standarta	-	30.6	19.4	-9.5	-30.9	-	-
B	21-30	no augšas	-	-	-	37.9	37.2	-	-
B	21-30	standarta	-	-	48.0	50.5	55.4	38.8	-
B	31-50	no augšas	-	-	-	-	-	32.4	-
B	31-50	standarta	-	-	-	-	32.6	32.0	-
B	51-70	no augšas	-	-	-	-	0.2	19.3	-
B	51-70	standarta	-	-	17.8	17.2	16.7	-8.3	-
		Vidēji	28.3	42.0	38.2	32.4	28.2	26.8	37.1

1.9. tabula. I stāva koku tekošās periodiskās krājas diferences procents (Liepa,1996) 5 gadus 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	-	-	34.0	39.4	47.5	-	-
P	21-30	standarta	-	34.7	37.9	38.2	44.4	48.8	-
P	31-50	no augšas	-	-	25.5	24.8	28.5	14.5	-
P	31-50	standarta	-	22.2	29.0	25.1	27.3	27.0	-
P	51-70	no augšas	-	-	10.7	17.0	15.7	-	-
P	51-70	standarta	10.6	15.7	16.2	16.1	20.9	-1.0	-
E	21-30	no augšas	-	-	-	-	38.3	35.0	-
E	21-30	standarta	-	17.9	34.0	34.5	34.7	32.9	36.1
E	31-50	no augšas	-	-	-	3.0	-0.4	11.1	-
E	31-50	standarta	6.2	6.0	16.8	6.8	-2.7	0.7	16.9
E	51-70	no augšas	-	-	-	-	-9.0	-	-
E	51-70	standarta	-	8.5	7.4	-3.9	-22.3	-	-
B	21-30	no augšas	-	-	-	23.4	27.6	-	-
B	21-30	standarta	-	-	25.3	36.4	37.0	34.1	-
B	31-50	no augšas	-	-	-	-	-	28.2	-
B	31-50	standarta	-	-	-	-	25.2	40.2	-
B	51-70	no augšas	-	-	-	-	0.3	15.7	-
B	51-70	standarta	-	-	8.3	8.5	12.3	-5.5	-
		Vidēji	8.4	19.4	19.6	19.3	17.4	18.8	31.3

1.2.2. Dažādu apsaimniekošanas programmu finanšu plūsmas prognozēšana

2022. gadā darbs nav paredzēts.

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

Turpmākā pētījuma gaitā ir paredzēta izstrādāto augšanas gaitas modeļu verifikācija un atsevišķu koku augšanas gaitas modeļu pilnveidošana, tādēļ nepieciešams apstrādāt ceturrtā cikla parauglaukumu datus, fiksējot ne tikai mežaudzes, bet arī 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, bet arī katra koka taksācijas rādītājus un stāvokli.

Meža statistiskās inventarizācijas (MSI) parauglaukumu datu bāzē atlasīti un MS Excel datorprogrammā ievadīti dati par 1127 atkārtoti 2021. gadā pārmērītajiem parauglaukumiem, kas tālāk izmantojami augšanas gaitas prognožu modeļu izstrādē un verifikācijā.

Galvenie sākotnējie atlasē kritēriji ir: 1) ceturrtajā ciklā parauglaukums nav sadalīts sektoros, kas nozīmē, ka viss parauglaukums ir vienas audzes robežās; 2) ceturrtajā 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. – 2.3. tabulās.

2.1. 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
1-11	13	27	57	13	22	30	1	163
11-20	14	15	55	6	15	22	6	133
21-30	17	20	45	3	11	10	4	110
31-40	15	31	17	3	6	13	2	87
41-50	10	29	25	7	6	10	2	89
51-60	18	30	49	11	7	4	2	121
61-70	30	14	37	9	10	2	1	103
71-80	42	12	21	8	5		1	89
81-90	39	13	10				1	63
91-100	41	9	8	3	3			64
101-110	32	6	2				2	42
111-120	14	5	1					20
121-130	10	1						11
131-140	11		1					12
140<	17	3						20
Kopā	323	215	328	63	85	91	22	1127

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

Bonitāte	Priede	Egle	Bērzs	Melnalksnis	Apse	Baltalksnis	Citas sugas	Visas sugas
Ia	70	93	130	12	50	29	5	389
I	85	67	88	21	18	45	11	335
II	63	40	68	24	11	12	4	222
III	35	12	20	6	3	2	1	79
IV	26	1	13			1	1	42
V	44	2	9		3	2		60
Va	323	215	328	63	85	91	22	1127
Kopā	70	93	130	12	50	29	5	389

2.3. 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	7	-	-	-	-	-	-	7
Mr	35	-	-	-	-	-	-	35
Ln	35	2	3	-	-	-	-	40
Dm	63	45	62	1	15	9	4	199
Vr	3	71	76	7	34	46	5	242
Gr	1	1	13	-	11	9	5	40
Mrs	16	2	3	-	-	-	-	21
Dms	11	14	19	3	5	-	1	53
Vrs	-	6	15	6	2	5	2	36
Grs	-	-	-	5	-	1	1	7
Pv	41	-	2	-	-	-	-	43
Nd	21	3	14	1	1	-	-	40
Db	-	4	21	19	-	3	-	47
Lk	-	-	1	-	-	-	-	1
Av	1	-	-	-	-	-	-	1
Am	9	1	1	-	-	-	-	11
As	25	28	34	2	6	2	1	98
Ap	1	13	18	9	10	13	3	67
Kv	9	-	-	-	-	-	-	9
Km	23	4	2	-	-	-	-	29
Ks	22	14	30	2	1	-	-	69
Kp	-	7	14	8	-	3	-	32
Kopā	323	215	328	63	85	91	22	1127

Kopumā ievadīta informācija par 28833 ceturtajā ciklā atkārtoti uzmērītajiem kokiem (2.4. tabula).

2.4. 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	184	1	21					206
Mr	658	55	41	3				757
Ln	559	210	64	3	1		9	847
Dm	864	1929	1137	39	274	328	279	4854

Meža tips	Priede	Egle	Bērzs	Melnalksnis	Apse	Baltalksnis	Citas sugas	Visas sugas
Vr	38	2225	1461	242	723	1273	474	6441
Gr	10	107	149	23	158	267	208	922
Mrs	373	104	72	3	3	-	-	556
Dms	159	463	490	55	32	15	27	1243
Vrs	13	253	283	117	50	99	61	878
Grs	1	22	18	52	5	2	18	118
Pv	1126	22	40	4	-	-	-	1192
Nd	496	142	433	84	9	7	2	1173
Db	38	283	654	459	5	100	19	1558
Lk	-	1	16	6	-	-	-	23
Av	19	2	-	-	-	-	-	21
Am	230	39	21	2	7	-	4	304
As	348	1086	578	73	86	50	59	2280
Ap	8	442	371	183	173	349	138	1665
Kv	271	-	3	-	-	-	-	274
Km	499	284	114	8	-	-	2	909
Ks	357	716	616	112	28	9	19	1857
Kp	1	245	278	161	5	51	13	755
Kopā	6252	8631	6860	1629	1559	2550	1332	28833

2.1.2. Taksācijas rādītāju prognožu modeļu pilnveidošana (vienādojumu aprēķini)

2.1.2.1. Vidējais augstums

Metodika

Datu analīzē izmantoja datus par 16975 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paaudzes vienā stāvā esošus kokus) no 3203 MSI parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- stāva meža elementi ir priede (3144 meža elementi), egle (2903), bērzs (3635), apse (878), melnalksnis (897), baltalksnis (741), platlapji – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, skābardis un dižskābardis, kļava (563) un citi lapu koki (367), un 2. stāva egle (3847);
- 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, 2022), kas balstīti 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.

Rezultāti

Papildinot datu bāzi ar 2021. gada mērījumiem un to rezultātiem, aproksimētas jaunas koeficientu vērtības meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modelim (2.1. formula). Modelim aproksimētas koeficientu vērtības pirmā stāva priedei, eglei, bērzam, apsei, melnalksnim, baltalksnim, platlapjiem (ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsi) un citām lapu koku sugām un otrā stāva eglei (2.5. tabula).

2.5. tabula. Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) 2021. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

Suga	Koeficients	Vērtība	Standart- kļūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
Priede	b1	1.36663	0.02288	1.33173	1.41279
	b2	-84.18042	24.39311	-141.01959	-60.79238
	b3	41.94537	11.00657	31.28750	66.71225
Egle 1. stāvs	b1	1.50269	0.02527	1.46428	1.56505
	b2	-208.70387	36.33253	-333.10205	-199.70234
	b3	94.21391	14.25190	88.72527	140.77303
Bērzs	b1	1.49381	0.02272	1.44265	1.52957
	b2	-115.82621	1561.88927	-334.29887	-75.14371
	b3	44.63399	585.41607	29.55014	123.31113
Melnalksnis	b1	1.41206	0.04354	1.29416	1.49246
	b2	-66.10643	41.98367	-210.92179	-30.70515
	b3	27.13228	15.97632	13.97692	82.25807
Apse	b1	1.49996	0.03666	1.43886	1.57857

Suga	Koeficients	Vērtība	Standart- kļūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
	b2	-44.68029	20.82206	-109.21872	-24.38107
	b3	21.05752	8.73169	12.33309	46.97764
	b1	1.39660	0.03830	1.30529	1.48752
Baltalksnis	b2	-98.19630	21.44936	-98.56444	-29.95984
	b3	28.59310	6.21862	9.31291	30.60321
	b1	1.41523	0.04661	1.33130	1.51521
Ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis	b2	-100.02559	66.47588	-270.14770	-60.42641
	b3	39.61356	24.41244	25.26797	108.31951
	b1	1.45192	0.05609	1.31937	1.55337
Citi lapu koki	b2	-43.67859	11.09084	-71.66451	-21.60606
	b3	11.89883	2.94204	6.13699	19.73128
	b1	1.15723	0.02403	1.11585	1.19628
Egle 2. stāvs	b2	-140.23286	1.20981	-142.55093	-137.84381
	b3	62.29799	2.81573	56.75240	67.63927
	b1	1.15723	0.02403	1.11585	1.19628

Vidējā augstuma augšanas gaitas vienādojumam ar 2022. gadā aproksimētajām vērtībām, pārbaudot to uz vienādojumos izmantoto datu bāzi, ir augsti statistiskie rādītāji. Piemēram, vidējā novirze augstuma periodiskajam pieaugumam nepārsniedz 3 cm, kas ir 3.0-7.5% no vidējā pieauguma (2.6. tabula). Jāatzīmē, ka visos gadījumos modelis prognozē piesardzīgākas jeb mazākas vērtības par uzmērītajām.

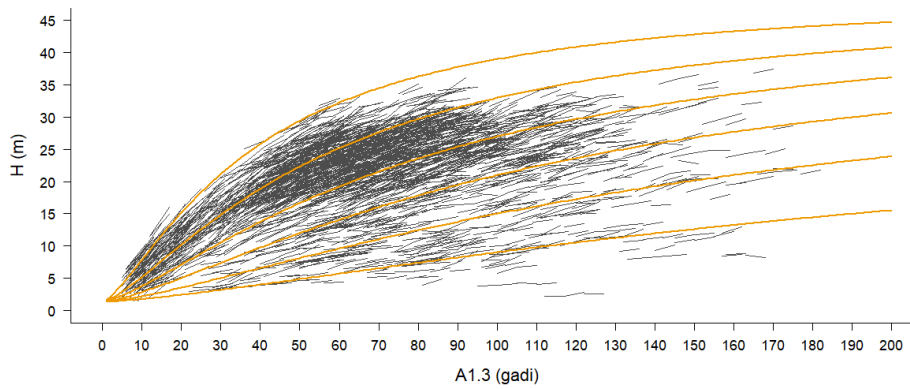
Ar šajā gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām vidējā augstuma augšanas gaitas modelis visiem modelētajiem meža elementiem (to grupām) prognozē mežsaimnieciski loģiskas augstuma izmaiņas ne tikai analīzē izmantotajā datu vērtību apgabalā (vecuma un augstuma diapazons), bet arī ārpus tā (2.1. – 2.9. attēls).

2.6. tabula. Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) prognozētā ikgadējā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji ar 2021. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām

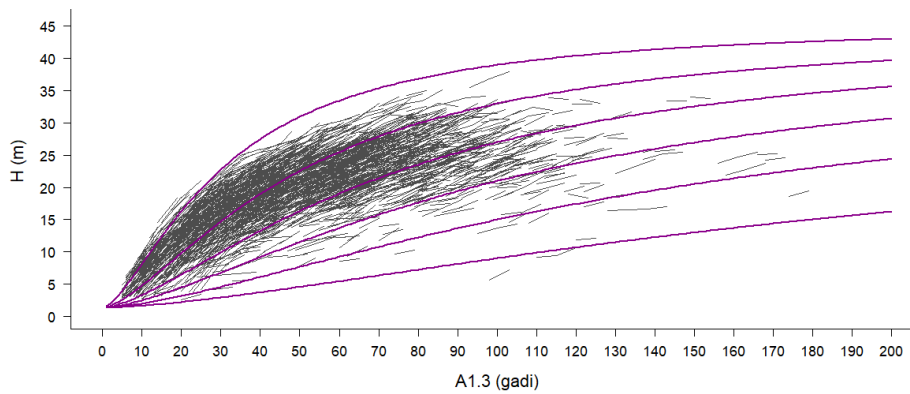
Suga	Vid.	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R2	N
Priede	0.25	0.01	4.46	0.09	0.12	47.55	0.014	0.544	0.638	0.474	3131
Egle 1. stāvs	0.36	0.02	5.02	0.12	0.16	43.70	0.024	0.618	0.693	0.650	2887
Bērzs	0.36	0.01	3.18	0.13	0.18	48.88	0.031	0.425	0.679	0.762	3622
Melnalksnis	0.35	0.02	5.31	0.11	0.14	41.36	0.021	0.540	0.709	0.700	891
Apse	0.48	0.02	5.19	0.16	0.20	42.21	0.041	0.423	0.762	0.771	877
Baltalksnis	0.41	0.03	6.89	0.14	0.18	44.65	0.033	0.581	0.689	0.676	736
Platlapji	0.36	0.02	6.05	0.13	0.17	46.92	0.028	0.574	0.702	0.679	547
Citi lapu koki	0.41	0.03	7.57	0.19	0.23	56.40	0.054	0.686	0.537	0.589	357
Egle 2. stāvs	0.24	0.02	6.99	0.13	0.16	65.45	0.024	0.878	0.346	0.407	3804

platlapji – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis;

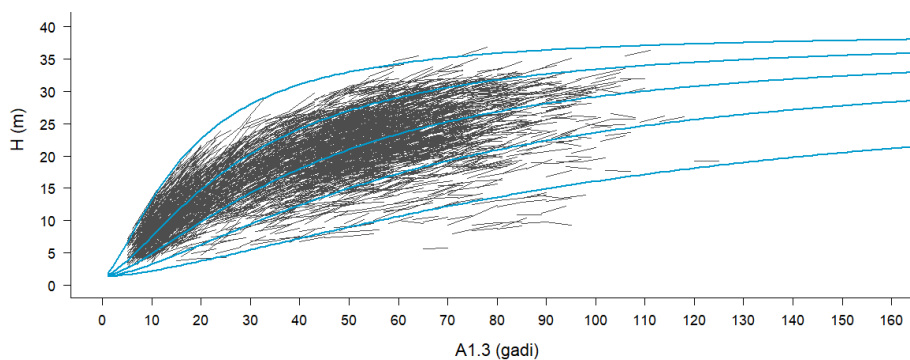
Vid. - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība;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



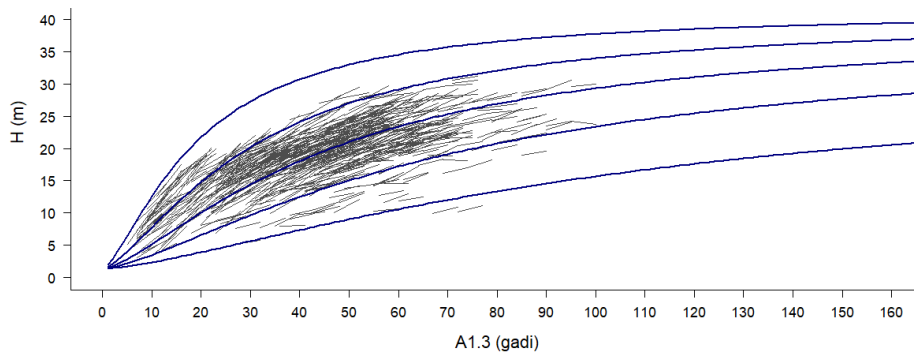
2.1. attēls. Priedes uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m).



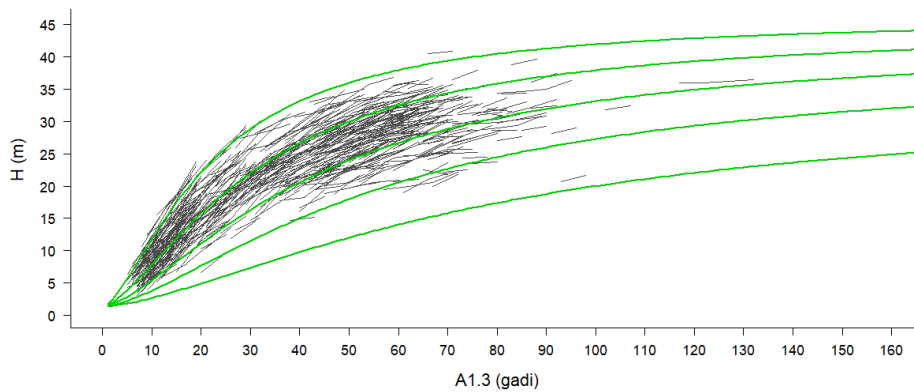
2.2. attēls. Egles 1. stāva uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m).



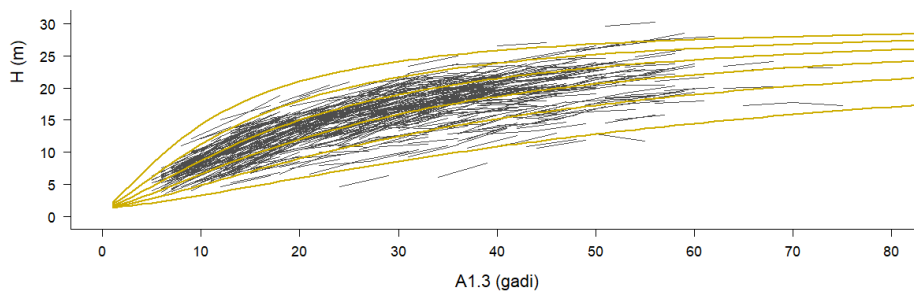
2.3. attēls. Bērza uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 33; 27; 21; 15; 9$ m).



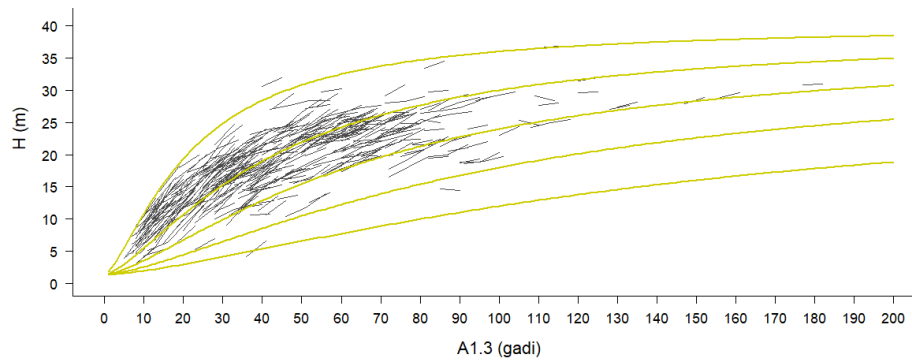
2.4. attēls. Melnalkšņa uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 33; 27; 21; 15; 9$ m).



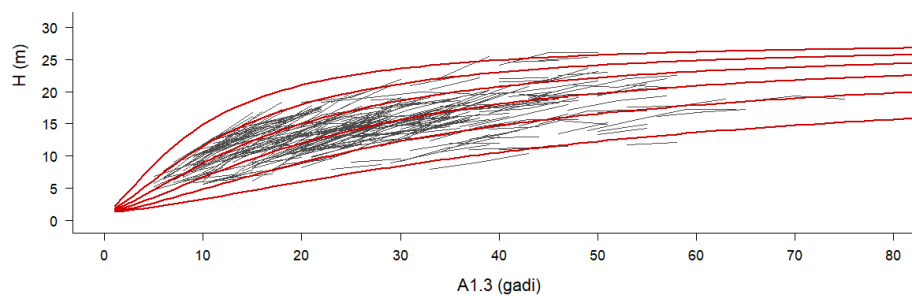
2.5. attēls. Apses uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 36; 30; 24; 18; 12$ m).



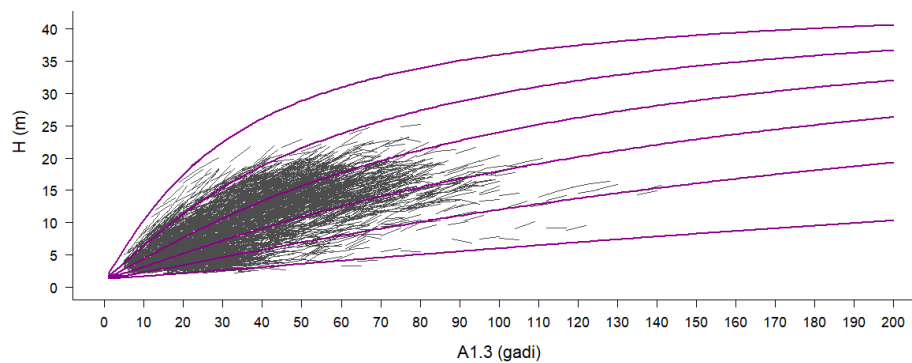
2.6. attēls. Baltalkšņa uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 20 gadi ($H_{20} = 21; 18; 15; 12; 9; 6$ m).



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 (H100 = 36; 30; 24; 18; 12 m).



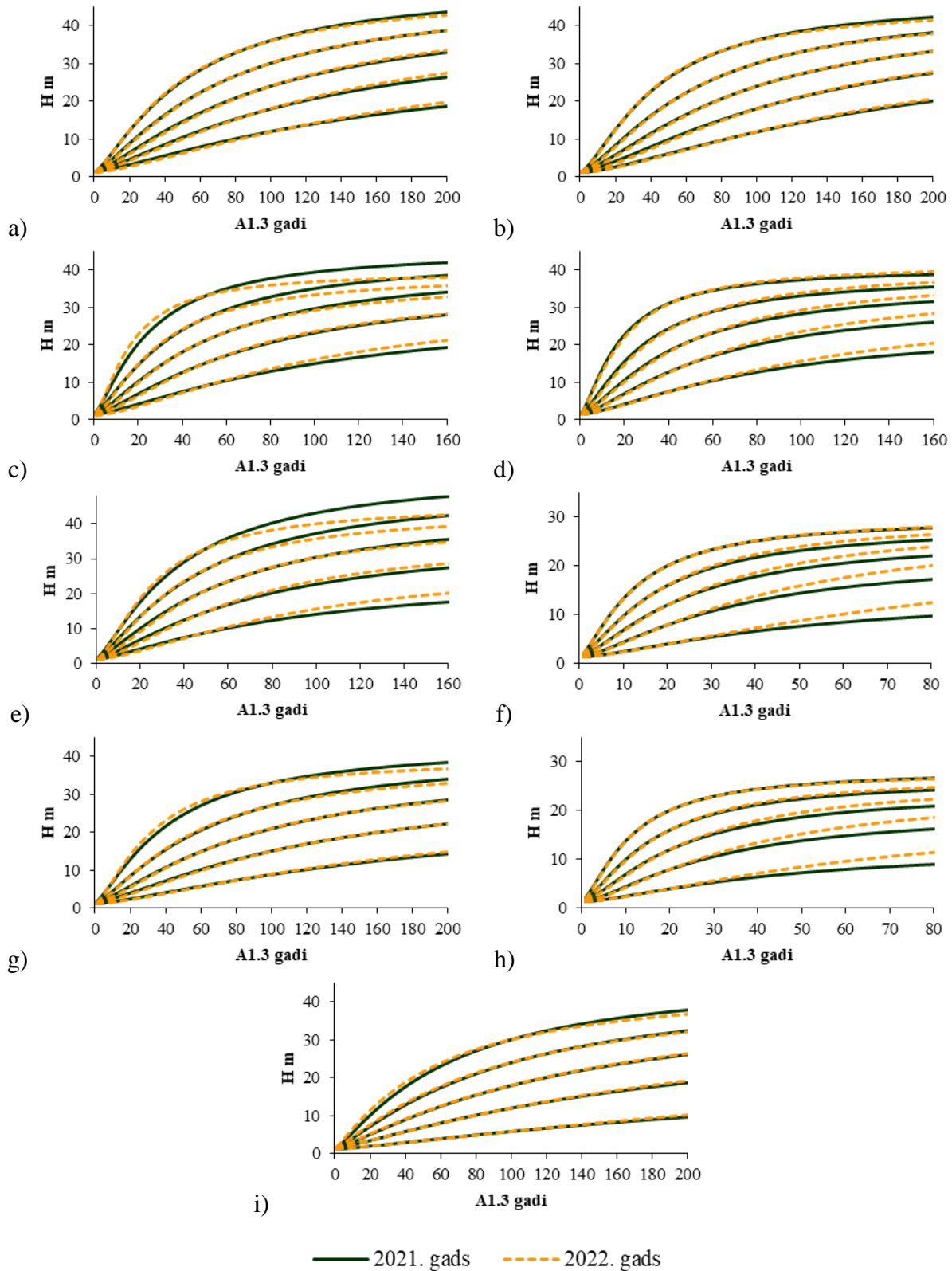
2.8. attēls. Citu lapu koku uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 20 gadi (H20 = 18; 15; 12; 9; 6 m).



2.9. attēls. Egles 2. 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 (H100 = 39; 33; 27; 21; 15; 9 m).

Salīdzinot ar iepriekš (2021. gadā) aproksimētajām koeficientu vērtībām līknes ir ļoti līdzīgas, un pamatā visām sugām vecākās audzēs ar jaunajām (2022. gadā) koeficientu vērtībām augstuma pieaugums tiek prognozēts piesardzīgāks (2.10. attēls), izņēmums ir alkšņi un citas lapu koku sugas zemākās bonitātēs.

Turpmākai meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modelēšanai ieteicams izmantot Hossfeld IV vienādojuma vispārinātās algebriskās diferences pieejas modeli ar 2022. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām.



2.10. attēls. Vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) ar 2021. un 2022. gada aproksimētajām koeficientu vērtībām:

2021. gads – zaļa nepārtraukta līnija, 2022. gads – oranža rausfīta līnija;

a) priede, b) egle 1. stāvs, c) bērzs, d) melnalksnis, e) apse, f) baltalksnis, g) egle 2. stāvs.

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 16167 virsaugstuma kokiem no 3082 MSI parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- 1) koku suga ir priede (5776 koki), egles (3782), bērzs (3756), apse (1091), melnalksnis (839), baltalksnis (433), platlapji – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, skābardis un dižskābardis, kļava (306) un citi lapu koki (184);
- 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 elements 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.

Rezultāti

Papildinot datu bāzi ar 2021. gada mērījumiem un to rezultātiem, aproksimētas jaunas koeficientu vērtības meža elementa virsaugstuma augšanas gaitas modelim (2.1. formula). Modelim aproksimētas koeficientu vērtības priedei, eglei, bērzam, apsei, melnalksnim, baltalksnim, platlapjiem (ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsi) un citām lapu koku sugām (2.7. tabula).

2.7. tabula. Meža elementa virsaugstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) 2022. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

Suga	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
Priede	b1	1.10463	0.02166	1.06429	1.15397
	b2	-28.33930	10.76877	-68.66725	-19.48990
	b3	16.46488	5.84791	11.98269	38.77322
Egle	b1	1.26675	0.01867	1.23467	1.30127
	b2	-80.04035	1050.13406	-337.11840	-48.71639
	b3	40.62376	515.86845	25.33095	168.10481
Bērzs	b1	1.31832	0.02195	1.27729	1.36712
	b2	-17.65100	4.05928	-28.57223	-13.88225
	b3	9.21519	1.78649	7.56102	13.80593
Melnalksnis	b1	1.24180	0.04898	1.14335	1.33123
	b2	-11.06054	6.21594	-32.45532	-3.99355
	b3	5.39569	2.44905	2.57218	13.61640
Apse	b1	1.38914	0.04157	1.32207	1.46527
	b2	-15.13706	10.26581	-48.16791	-8.31319
	b3	8.73556	4.82950	5.43824	23.55243
Baltalksnis	b1	1.22795	0.06606	1.11381	1.38441
	b2	-8.92106	5342.90648	-8409.87152	-3.58507
	b3	3.07278	1672.15577	1.44007	2847.83771
Ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis	b1	1.37538	0.08780	1.24071	1.59411
	b2	-43.65552	29.15713	-124.22651	-22.99207
	b3	20.19240	11.60624	12.03882	50.24950
Citi lapu koki	b1	1.58814	0.14127	1.35411	1.89235
	b2	-23.75987	16.13814	-66.20300	-7.23747
	b3	6.53785	3.80834	2.38672	16.59289

Virsaugstuma augšanas gaitas vienādojumam ar šogad aproksimētajām vērtībām ir augsti statistiskie rādītāji (2.8. tabula). Piemēram, vidējā novirze virsaugstuma tekošajam vidēji periodiskajam pieaugumam nepārsniedz četrus centimetrus, kas visos gadījumos ir 3-9% no uzmērītās vidējās vērtības. Jāatzīmē, ka visos gadījumos modelis prognozē piesardzīgākas jeb mazākas vērtības par uzmērītajām.

2.8.tabula. Meža elementa virsaugstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) prognozētā ikgadējā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji ar 2021. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām

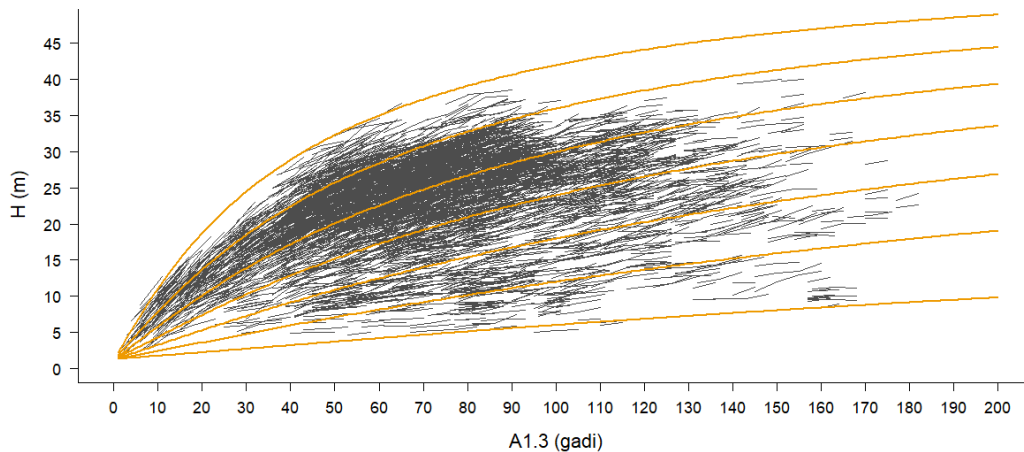
Suga	Vid.	MR ES	MRE S %	AMR ES	RMS E	RMS E %	MSE	MEF	VR	R2	N
Priede	0.22	0.01	3.12	0.09	0.11	51.17	0.013	0.562	0.526	0.443	5776
Egle	0.35	0.02	4.42	0.12	0.15	43.47	0.024	0.568	0.643	0.674	3756
Bērzs	0.36	0.01	3.29	0.14	0.17	48.40	0.030	0.437	0.643	0.753	3782
Melnalksnis	0.33	0.02	5.64	0.12	0.15	45.74	0.023	0.480	0.666	0.731	839
Apse	0.43	0.03	7.41	0.15	0.20	45.10	0.038	0.407	0.740	0.781	1091
Baltalksnis	0.40	0.04	8.96	0.14	0.17	43.10	0.030	0.523	0.746	0.721	433
Platlapji*	0.30	0.01	4.93	0.12	0.15	49.56	0.021	0.517	0.646	0.706	306
Citi lapu koki	0.34	0.03	9.37	0.14	0.18	52.54	0.032	0.641	0.631	0.636	184

*platlapji – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis;

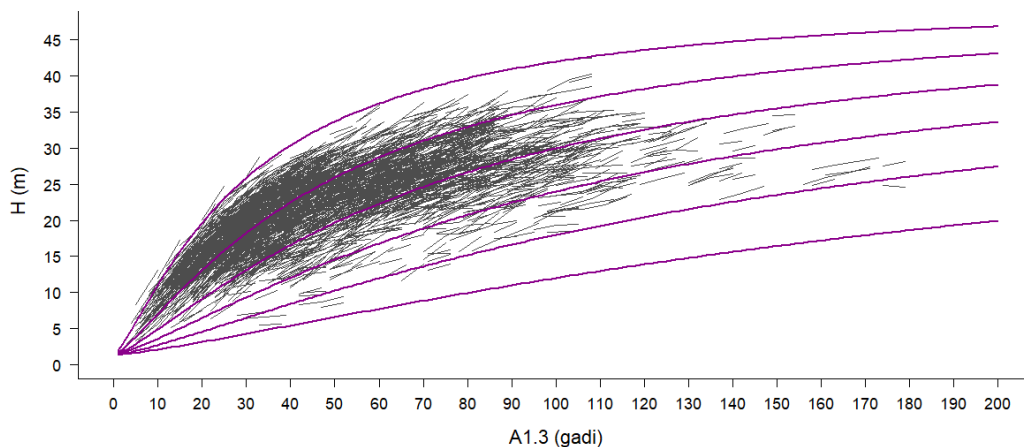
Suga	Vid.	MR ES	MRE S %	AMR ES	RMS E	RMS E %	MSE	MEF	VR	R2	N
------	------	----------	------------	-----------	----------	------------	-----	-----	----	----	---

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.

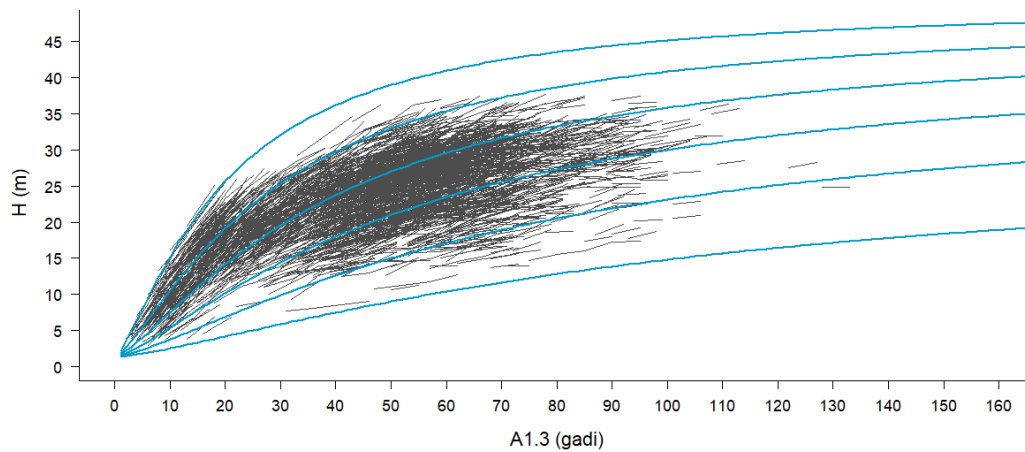
2022. gadā aproksimētais virsaugstuma augšanas gaitas modelis visām modelētajiem sugām (to grupām) prognozē mežsaimnieciski loģiskas virsaugstuma izmaiņas ne tikai analizē izmantotajā datu vērtību apgabalā (vecuma un augstuma diapazons), bet arī ārpus tā (2.11. – 2.18. attēls).



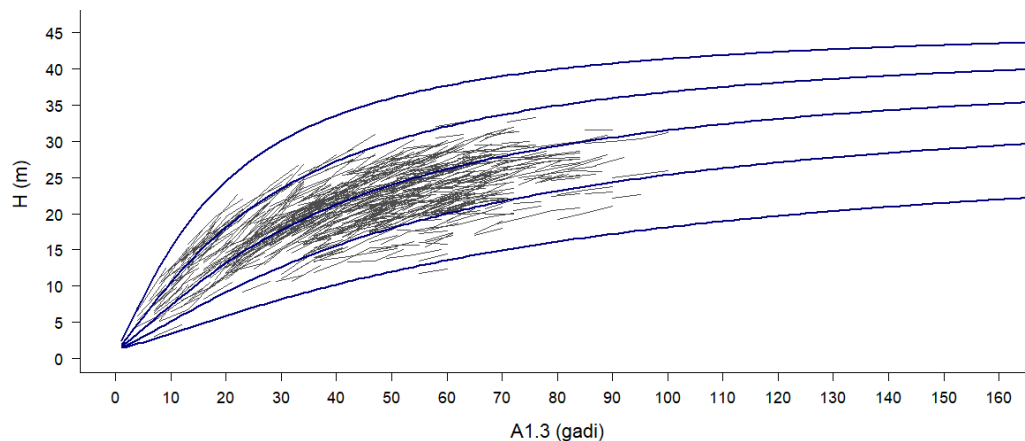
2.11. attēls. Priedes uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m).



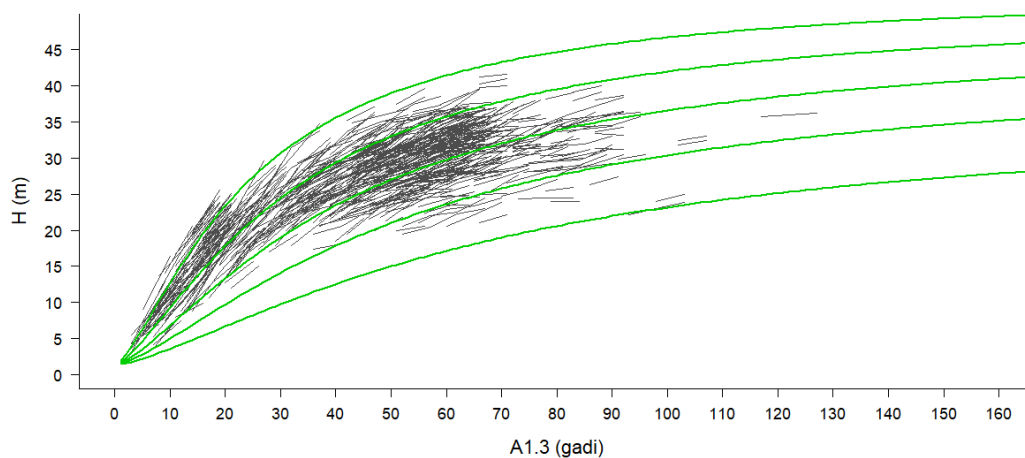
2.12. attēls. Egles uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m).



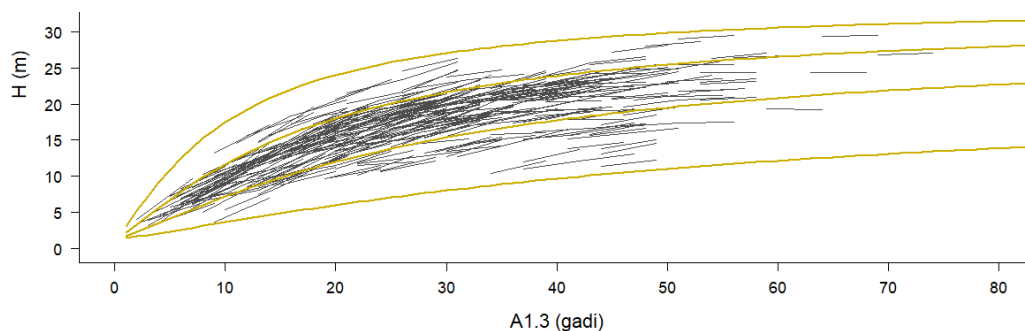
2.13. attēls. Bērza uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 36; 30; 24; 18; 12$ m).



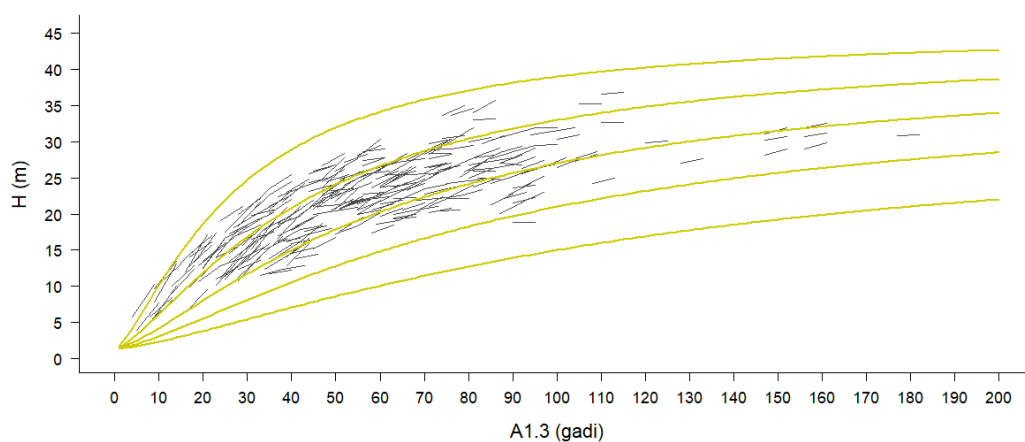
2.14. attēls. Melnalkšņa uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 33; 27; 21; 15; 9$ m).



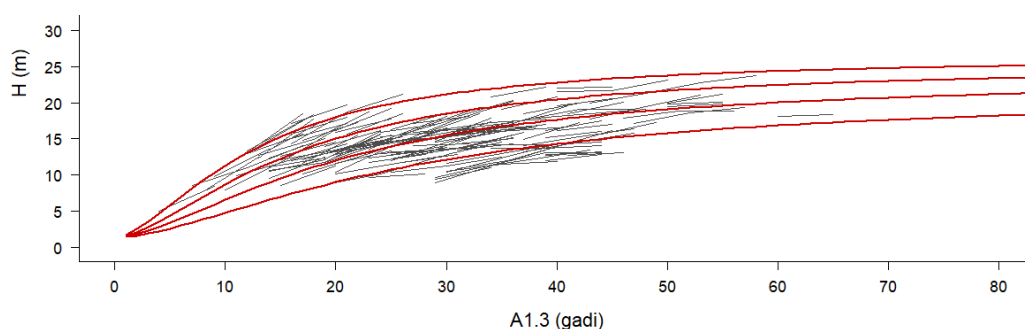
2.15. attēls. Apses uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 36; 30; 24; 18; 12$ m).



2.16. 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 ($H_{20} = 21; 18; 15; 12; 9; 6$ m).

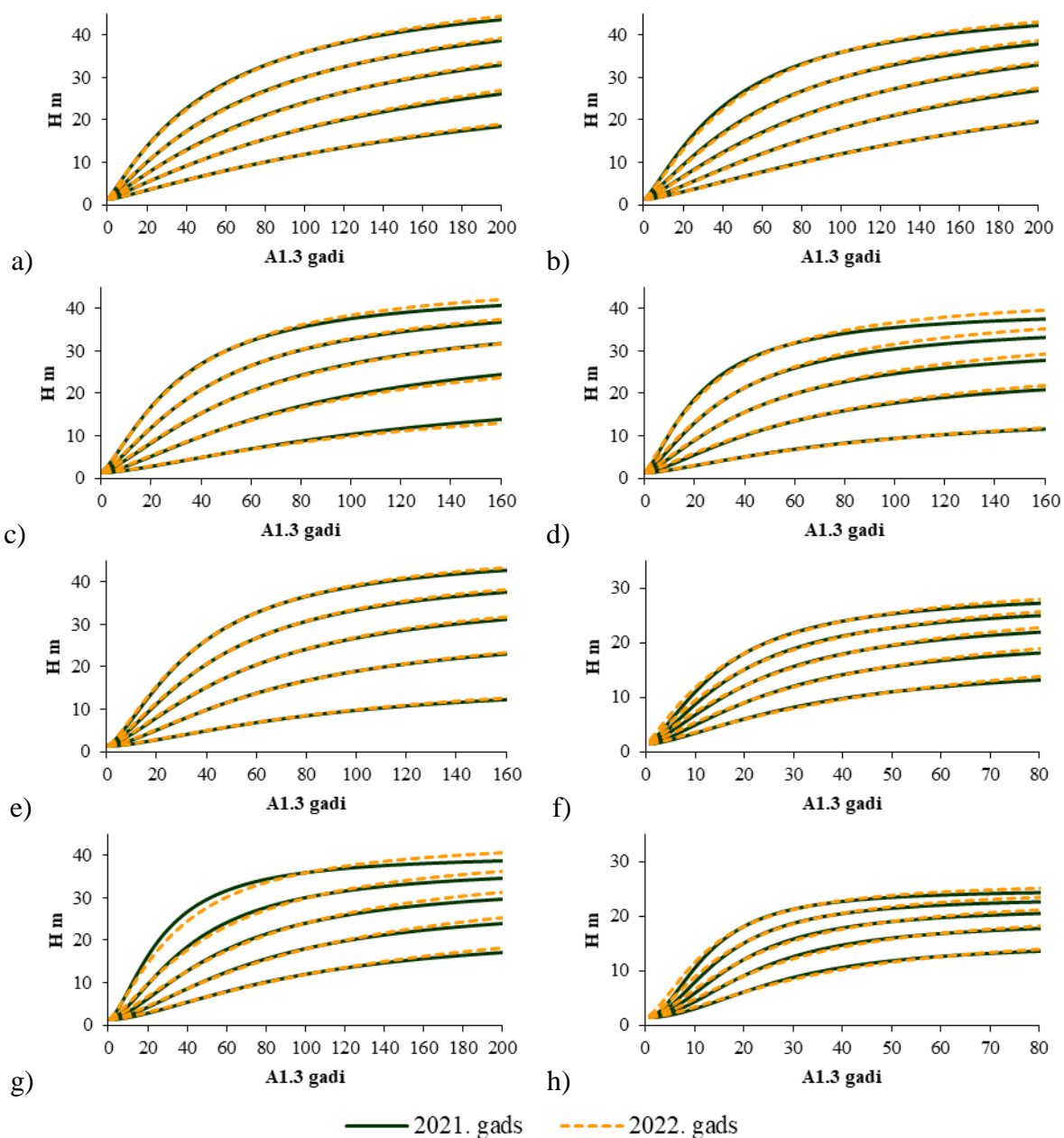


2.17. attēls. Platlapju uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15$ m).



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 ($H_{20} = 18; 15; 12; 9; 6$ m).

Salīdzinot ar iepriekš (2021. gadā) aproksimētajām koeficientu vērtībām līknes ir ļoti līdzīgas, un pamatā visām sugām vecākās audzēs ar jaunajām (2022. gadā) koeficientu vērtībām augstuma pieaugums tiek prognozēts piesardzīgāks (2.19. attēls), izņēmums ir alkšņi un citas lapu koku sugas zemākās bonitātēs.



2.19. attēls. Virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) ar 2021. un 2022. gada aproksimētajām koeficientu vērtībām:

2021. gads – zaļa nepārtraukta līnija, 2022. gads – oranža raustīta līnija; a) priede, b) egļe, c) bērzs, d) melnalksnis, e) apse, f) baltalksnis.

Turpmākai meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modelēšanai ieteicams izmantot Hossfeld IV vienādojuma vispārinātās algebriskās diferences pieejas modeli ar 2022. 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., 2019). 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:

$$D_2 = 1.3 + \frac{A_2^{b_1}}{b_2 \cdot \frac{N_1}{N_{max}} + 100 \cdot b_3 \cdot X_0 + X_0 \cdot A_2^{b_1}} \quad (2.2)$$

$$X_0 = \frac{\frac{A_1^{b_1}}{D_1 - 1.3} - b_2 \cdot \frac{N_1}{N_{max}}}{100 \cdot b_3 + A_1^{\alpha_1}} \quad (2.2.1)$$

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

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

- 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⁻¹;
 - N_{max} – kokaudzes I stāva maksimālais koku skaits aktualizācijas perioda sākumā, ha⁻¹;
 - n_{max} – atsevišķa I stāva meža elementa maksimālais koku skaits aktualizācijas perioda sākumā, ha⁻¹;
 - ip – atsevišķa I stāva meža elementa īpatsvars;
 - H_1 – meža elementa vidējais augstums aktualizācijas perioda sākumā, m;
 - $b_{1-3}; \beta_{1-3}$ – koeficienti.

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

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

- kur
- i_{g5} – koka nākošo 5 gadu šķērslaukuma pieaugums, cm²;
 - A – meža elementa krūšaugstuma vecums, gadi
 - D – koka krūšaugstuma caurmērs, cm;
 - G – mežaudzes šķērslaukums, m²ha⁻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), m²ha⁻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, cm²;
 D – koka krūšaugstuma caurmērs perioda sākumā, cm;

Meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra šķērslaukuma pieauguma izmaiņas modelētas datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows. Aproximējot 2.2. formulu, izmantots rīks *Non-linear regression* un *bootstrap* funkcija, bet aproximējot 2.3. formulu, izmantots rīks *Mixed models*, kur kā nejaušais faktors ir izmantots parauglaukums, jo tiek izmantoti atkārtoti uzmērīti meža elementi, kas savā starpā ir saistīti.

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.

Aproximējot 2.2. formulu analizē izmantoja datus par 15734 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paaudzes vienā stāvā esošus kokus) no 2994 MSI parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- meža elementi ir I stāva priede (2792 meža elementi), egles (2566), bērzs (3387), apse (814), melnalksnis (844), baltalksnis (652), platlapji – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, skābardis un dižskābardis, kļava (502) un citi lapu koki (319) un II stāva egles (3858);
- 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.

Aproximējot 2.3. formulu analizē izmantoja datus par 19126 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paaudzes vienā stāvā esošus kokus) no 2975 MSI parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- meža elementi ir priede (3103 meža elementi), egles (6517), bērzs (4722), apse (883), melnalksnis (1182), baltalksnis (883), platlapji – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, skābardis un dižskābardis, kļava (1193) un citi lapu koki (591);
- visās uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums;
- meža elementa aprēķinātais caurmēra tekošais ikgadējais pieaugums neatšķiras vairāk kā divas standartnovirzes no meža elementa vecuma desmitgades aritmētiski vidējā caurmēra tekošā ikgadējā pieauguma.

Rezultāti

Aproximētas jaunas koeficientu vērtības iepriekš (Donis et al., 2019) izstrādātajam vidējā caurmēra vispārīgās algebriskās diferences pieejas modelim (2.9. tabula). Šis vienādojums izstrādāts I stāva priedes, egles, bērza, apses, melnalkšņa, baltalkšņa, platlapju un citu mīksto lapu koku sugu,

un II stāva egles vidējā kvadrātiskās caurmēra izmaiņu modelēšanai. Tāpat jāatzīmē, ka vienādojums atspoguļo atsevišķu meža elementu vidējā kvadrātiskā caurmēra statistiski vidējās jeb ticamākās izmaiņas pie noteiktas I stāva biežības piecu gadu periodam. Tātad modelējot ilgākam laika periodam, ir nepieciešams ik pa pieciem gadiem pārrēķināt mežaudzes relatīvās biežības rādītū. Tāpat jāatzīmē, ka šajā vienādojumā tiešā veidā nav ņemtas vērā augšanas gaitas izmaiņas pēc kopšanas cirtes, vai pēc lieliem dabiskiem traucējumiem. Tomēr netiešā veidā šo faktoru ietekme ir iekļauta, jo vienādojumu aproksimācijā iekļauti dati gan pēc kopšanas cirtēm, gan pēc dabiskiem traucējumiem.

2.9. tabula. Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

Suga	Koeficients	Vērtība	Standart- kļūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
Priede	b1	0.83511	0.02180	0.79836	0.87722
	b2	-2.98430	1.13234	-5.62371	-2.12834
	b3	2.52007	0.94109	2.02287	4.30342
Egle 1. stāvs	b1	1.03516	0.02357	0.99396	1.07852
	b2	-20.23259	13.94585	-54.84477	-13.24575
	b3	11.28963	7.71267	7.67334	32.31743
Bērzs	b1	1.12083	0.01897	1.08577	1.15490
	b2	-3.34073	0.44329	-4.47067	-2.80139
	b3	1.96656	0.13954	1.79234	2.32310
Melnalksnis	b1	1.08712	0.03884	1.03289	1.15818
	b2	-5.29562	1.94760	-10.37737	-2.79534
	b3	2.39115	0.61654	1.65749	3.91194
Apse	b1	1.24971	0.02736	1.19379	1.30489
	b2	-3.47383	1.38311	-6.59651	-1.59918
	b3	4.52949	0.85241	3.17545	6.44033
Baltalksnis	b1	1.08715	0.03135	1.03891	1.15382
	b2	-2.76003	0.95100	-5.43909	-1.33650
	b3	0.92292	0.19113	0.66354	1.47605
Ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis	b1	1.07319	0.03161	1.00946	1.12750
	b2	-9.74597	4.68216	-21.23481	-5.41316
	b3	5.78305	2.24061	3.66824	11.68115
Citi lapu koki	b1	1.12399	0.05120	1.04306	1.22453
	b2	-2.42443	1.21419	-5.04264	-0.63706
	b3	1.26699	0.32705	0.86053	2.09390
Egle 2. stāvs	b1	0.81730	0.01110	0.79679	0.84367
	b2	-13.59057	0.28261	-14.37129	-12.68485
	b3	8.77269	0.58811	8.13972	11.09812

Vidējā caurmēra vispārīgās algebriskās diferences pieejas 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 1.2% līdz 5.5% (2.10. tabula).

2.10. tabula. Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) prognozētā ikgadējā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji ar 2022. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām

Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R2	N
Priede	0.26	0.01	5.26	0.09	0.12	48.35	0.016	0.578	0.638	0.446	2792

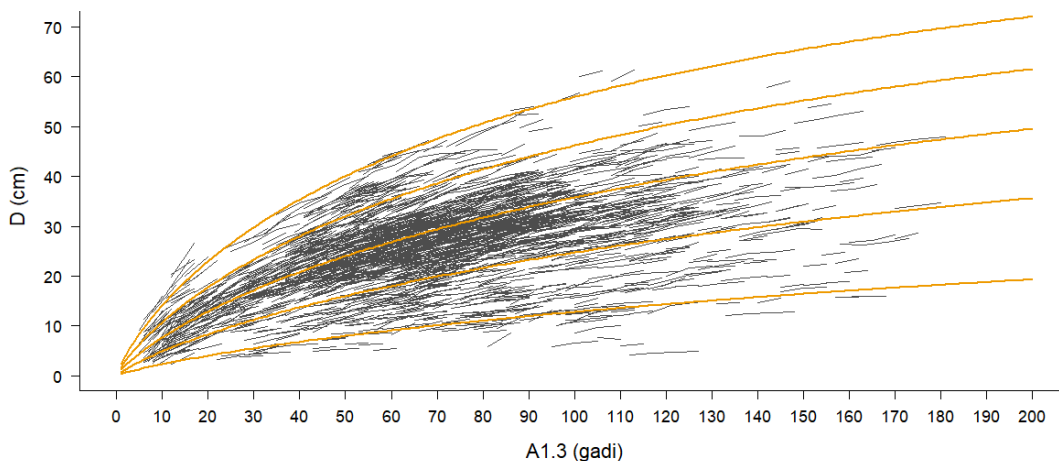
Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R2	N
Egle I stāvs	0.38	0.02	4.63	0.13	0.17	43.95	0.028	0.567	0.663	0.677	2566
Bērzs	0.32	0.00	1.22	0.12	0.16	50.04	0.025	0.470	0.568	0.729	3387
Melnalksnis	0.32	0.01	3.14	0.12	0.15	47.26	0.023	0.534	0.592	0.689	844
Apse	0.60	0.03	5.48	0.19	0.24	40.13	0.057	0.719	0.596	0.577	814
Baltalksnis	0.34	0.02	4.97	0.12	0.16	45.68	0.024	0.583	0.658	0.667	652
Platlapji	0.46	0.02	5.25	0.16	0.21	46.64	0.046	0.641	0.602	0.624	502
Citi lapu koki	0.45	0.01	2.61	0.18	0.23	51.73	0.054	0.633	0.438	0.609	319
Egle II stāvs	0.23	0.01	3.65	0.11	0.15	65.68	0.022	0.758	0.320	0.499	3858

platlapji – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis;

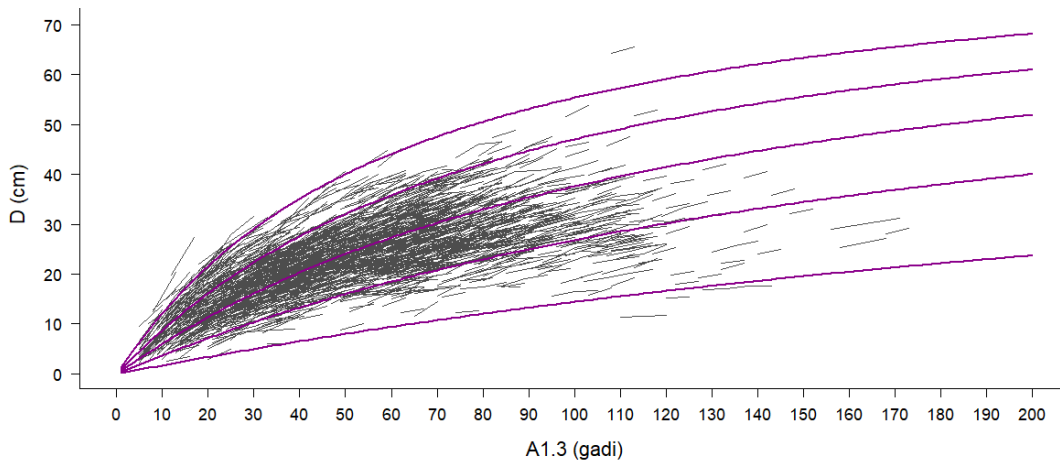
Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, cm; MRES - vidējā novirze, cm; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, cm; RMSE – standartnovirze, cm; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, cm; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība;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

Vidējā caurmēra vispārīgās algebriskās diferences pieejas modelis spēj raksturot loģiskas caurmēra izmaiņas arī ārpus vienādojuma izstrādē izmantoto datu vērtības apgabala (2.20. – 2.28. attēls). Jāatzīmē, ka šiem attēliem ir tikai ilustratīva nozīme, jo augšanas gaita modelēta pie konstantas mežaudzes I stāva relatīvās biežības (0.60).

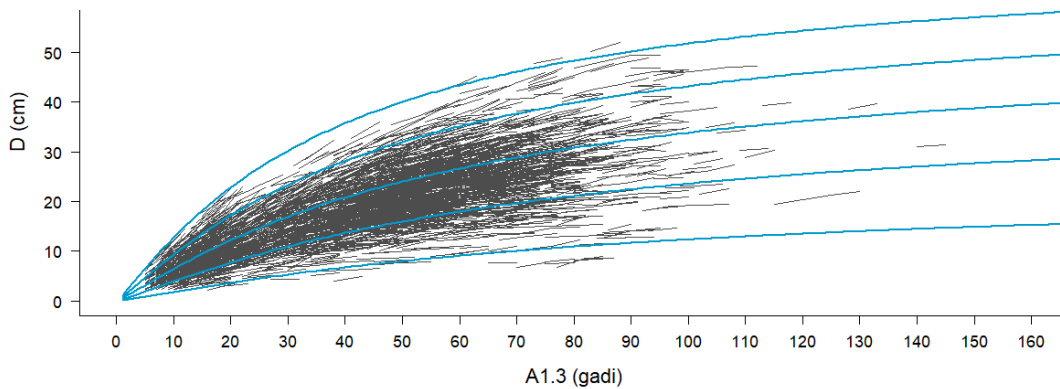
Vidējā caurmēra vispārīgās algebriskās diferences pieejas modelis spēj raksturot loģiskas caurmēra izmaiņas arī ārpus vienādojuma izstrādē izmantoto datu vērtības apgabala (2.20. – 2.28. attēls). Jāatzīmē, ka šiem attēliem ir tikai ilustratīva nozīme, jo augšanas gaita modelēta pie konstantas mežaudzes I stāva relatīvās biežības (0.60).



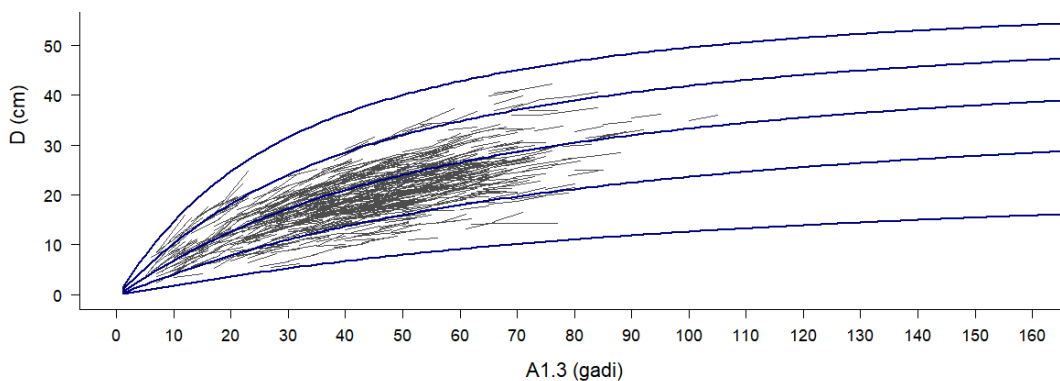
2.20. attēls. Priedes uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($D_{50} = 40; 32; 24; 16; 8$ cm) pie konstantas relatīvās biežības (RB=0.60).



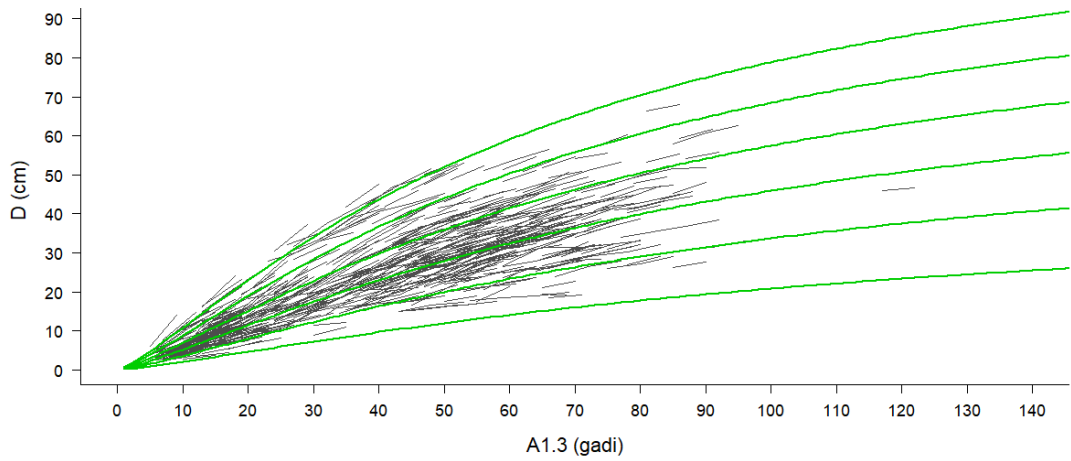
2.21. attēls. Egles I stāva uzņēmētās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($D_{50} = 40; 32; 24; 16; 8$ cm) pie konstantas relatīvās biezības (RB=0.60).



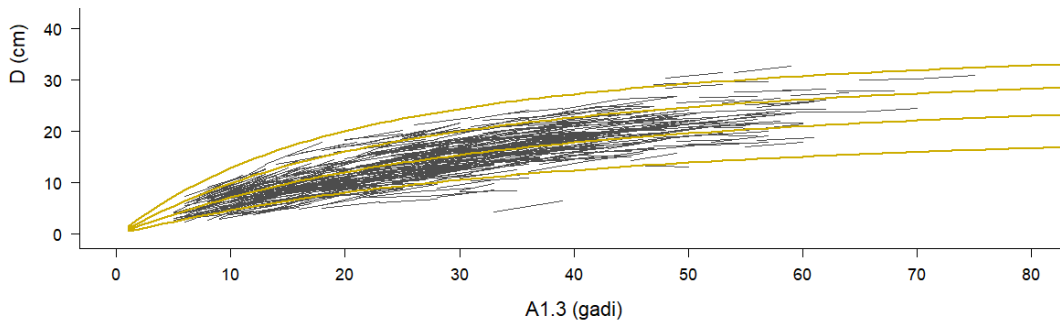
2.22. attēls. Bērza uzņēmētās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($D_{50} = 40; 32; 24; 16; 8$ cm) pie konstantas relatīvās biezības (RB=0.60).



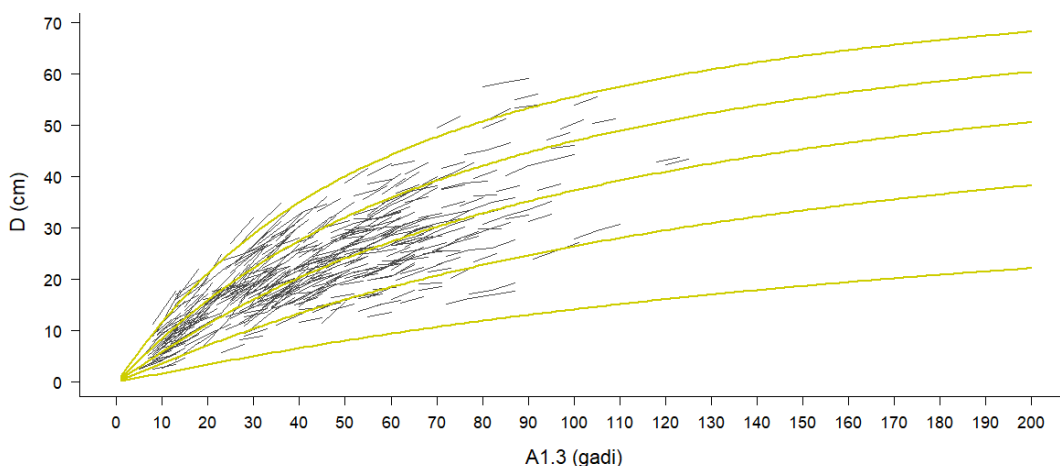
2.23. attēls. Melnalkšņa uzņēmētās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($D_{50} = 40; 32; 24; 16; 8$ cm) pie konstantas relatīvās biezības (RB=0.60).



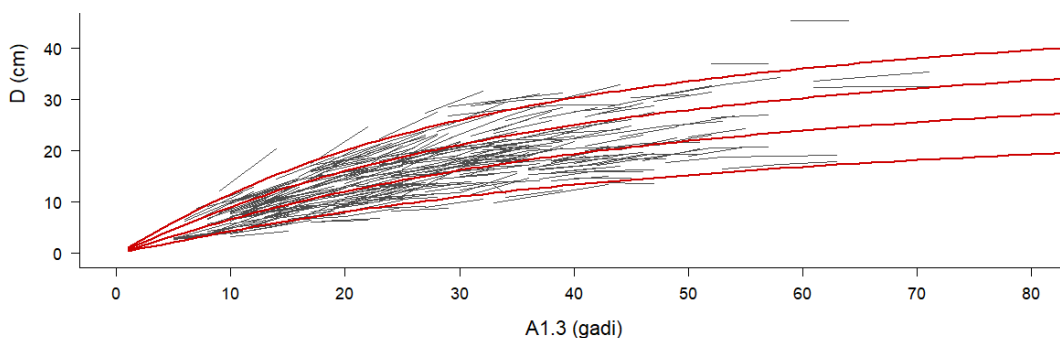
2.24. attēls. Apses uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($D_{50} = 52, 44; 36; 28; 20; 16, 8$ cm) pie konstantas relatīvās biezības (RB=0.60).



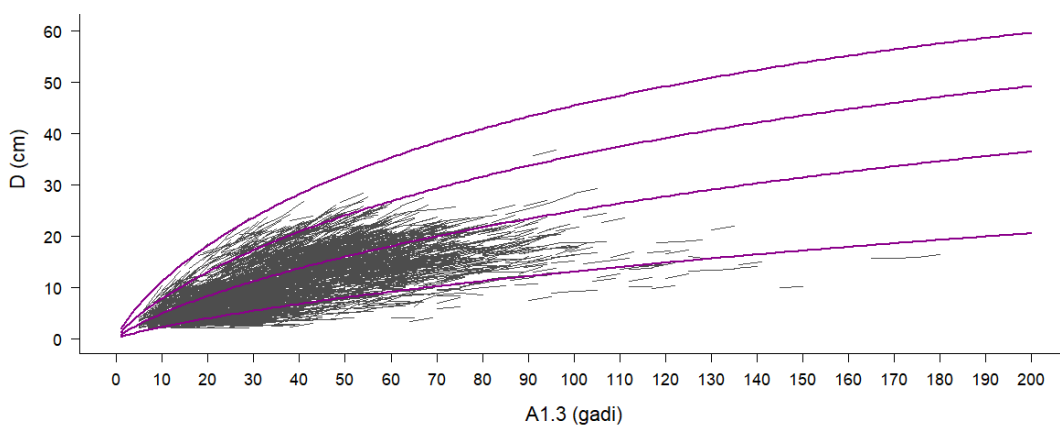
2.25. attēls. Baltalkšņa uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 20 gadi ($D_{20} = 20; 16; 12; 8$ cm) pie konstantas relatīvās biezības (RB=0.60).



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 ($D_{50} = 40; 32; 24; 16; 8$ cm) pie konstantas relatīvās biezības (RB=0.60).



2.27. attēls. Citu lapu koku uzmerītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 20 gadi ($D_{20} = 20; 16; 12; 8$ cm) pie konstantas relatīvās biezības ($RB=0.60$).



2.28. attēls. Egles II stāva uzmerītās 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 ($D_{50} = 32; 24; 16; 8$ cm) pie konstantas relatīvās biezības ($RB=0.60$).

Aproksimētas jaunas koeficientu vērtības 2.3. vienādojumam, kas paredzēts vidējā caurmēra koka šķērslaukuma izmaiņu modelēšanai (2.12. 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. Šim modelim nozīmīgākā priekšrocība salīdzinājumā ar vispārinātās algebriskās diferences pieejas modeli ir tas, ka šajā modelī tiek ņemts vērā vai prognozes periodā ir veikta koku ciršana. Tāpat šis modelis lietojams kā I stāva, tā arī II stāva meža elementiem.

Ar 2.3. vienādojumu vidējā caurmēra izmaiņas priedei, eglei un citiem mīkstajiem lapu kokiem tiek prognozētas sistemātiski lielākas, bet bērzam, melnalkšnim, apsei, baltalkšnim un platlapjiem sistemātiski mazākas. Bet nevienai sugai vai sugu grupai sistemātiskā novirze prognozētajam piecu gadu caurmēra pieaugumam nav lielāka par 2 mm vai 7% (2.11. tabula).

2.11. tabula. Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.3. formula) prognozētā ikgadējā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji ar 2022. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām

Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R2	N
Priede	0.24	0.00	-0.78	0.08	0.11	45.54	0.012	0.455	0.585	0.546	3103
Egle	0.28	0.00	0.99	0.11	0.14	49.57	0.020	0.457	0.584	0.737	6517
Bērzs	0.25	-0.01	-2.11	0.10	0.14	55.27	0.019	0.389	0.660	0.783	4722
Melnalksnis	0.27	-0.01	-2.86	0.11	0.13	49.54	0.018	0.452	0.610	0.743	1182
Apse	0.55	-0.02	-3.13	0.15	0.19	34.89	0.036	0.420	0.694	0.767	883
Baltalksnis	0.27	-0.01	-3.38	0.10	0.12	45.63	0.016	0.424	0.661	0.762	935
Platlapji	0.33	-0.02	-6.92	0.14	0.17	52.33	0.030	0.579	0.500	0.659	1193
Citi lapu koki	0.35	0.01	1.46	0.14	0.17	50.42	0.030	0.499	0.565	0.709	591

platlapji – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis;

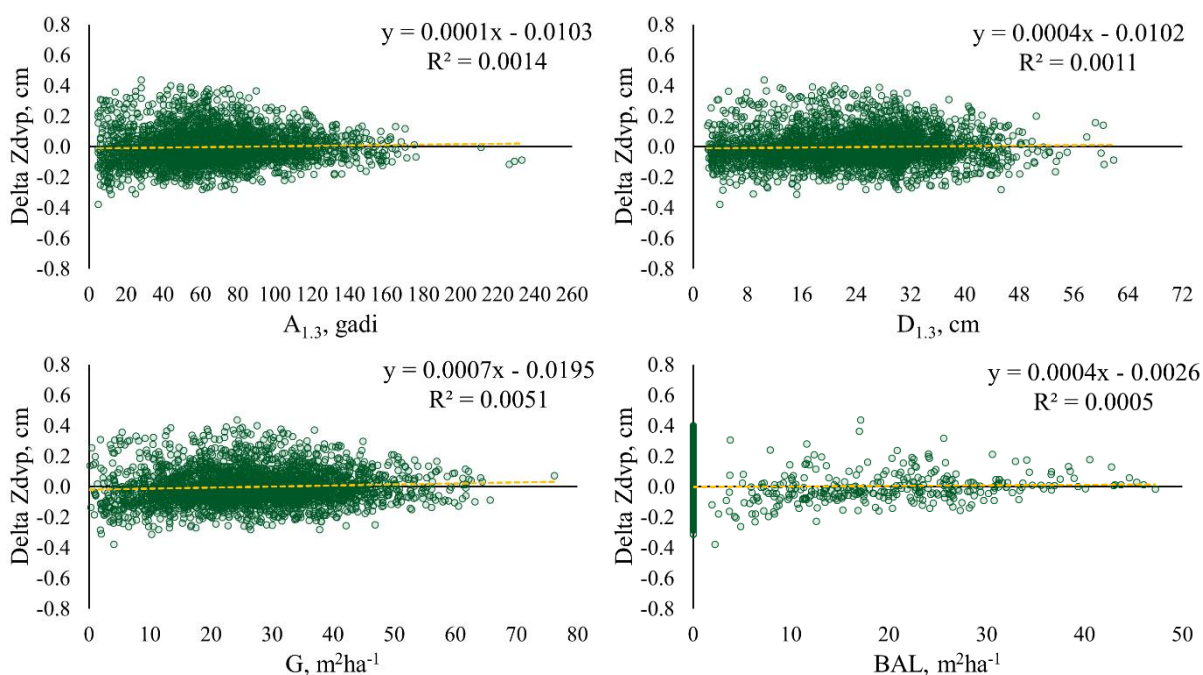
Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, cm; MRES - vidējā novirze, cm; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, cm; RMSE – standartnovirze, cm; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, cm; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība;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

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

Suga	Koeficients	Vērtība	Standart- kļūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
Priede	b0	2.68980	0.07110	2.55040	2.82920
	b1	-0.84062	0.02101	-0.88182	-0.79943
	b2	1.65701	0.03230	1.59369	1.72033
	b3	-0.20143	0.01783	-0.23638	-0.16648
	b4	-0.05617	0.01014	-0.07604	-0.03629
	b5	0.08984	0.01906	0.05247	0.12721
Egle	b0	2.89835	0.04315	2.81376	2.98294
	b1	-0.77833	0.01540	-0.80853	-0.74814
	b2	1.81426	0.02172	1.77167	1.85685
	b3	-0.40730	0.01104	-0.42895	-0.38565
	b4	-0.00819	0.00078	-0.00973	-0.00665
	b5	0.13445	0.01302	0.10893	0.15997
Bērzs	b0	3.68217	0.04785	3.58836	3.77599
	b1	-1.50068	0.02588	-1.55143	-1.44994
	b2	2.22064	0.03006	2.16171	2.27956
	b3	-0.26638	0.01292	-0.29171	-0.24105
	b4	-0.03244	0.00335	-0.03900	-0.02588
	b5	0.04911	0.01884	0.01218	0.08605
Melnalksnis	b0	3.48318	0.10001	3.28697	3.67939
	b1	-0.96253	0.04833	-1.05736	-0.86770
	b2	1.83235	0.05431	1.72578	1.93891
	b3	-0.47116	0.02961	-0.52925	-0.41307
	b4	-0.01720	0.00345	-0.02397	-0.01044
	b5	0.15836	0.03470	0.09028	0.22644
Apse	b0	3.28357	0.08888	3.10913	3.45802
	b1	-0.97579	0.03709	-1.04858	-0.90299
	b2	1.82627	0.03938	1.74897	1.90356
	b3	-0.24224	0.02548	-0.29225	-0.19224
	b4	-0.04339	0.01738	-0.07750	-0.00927
	b5	0.18687	0.02580	0.13624	0.23750

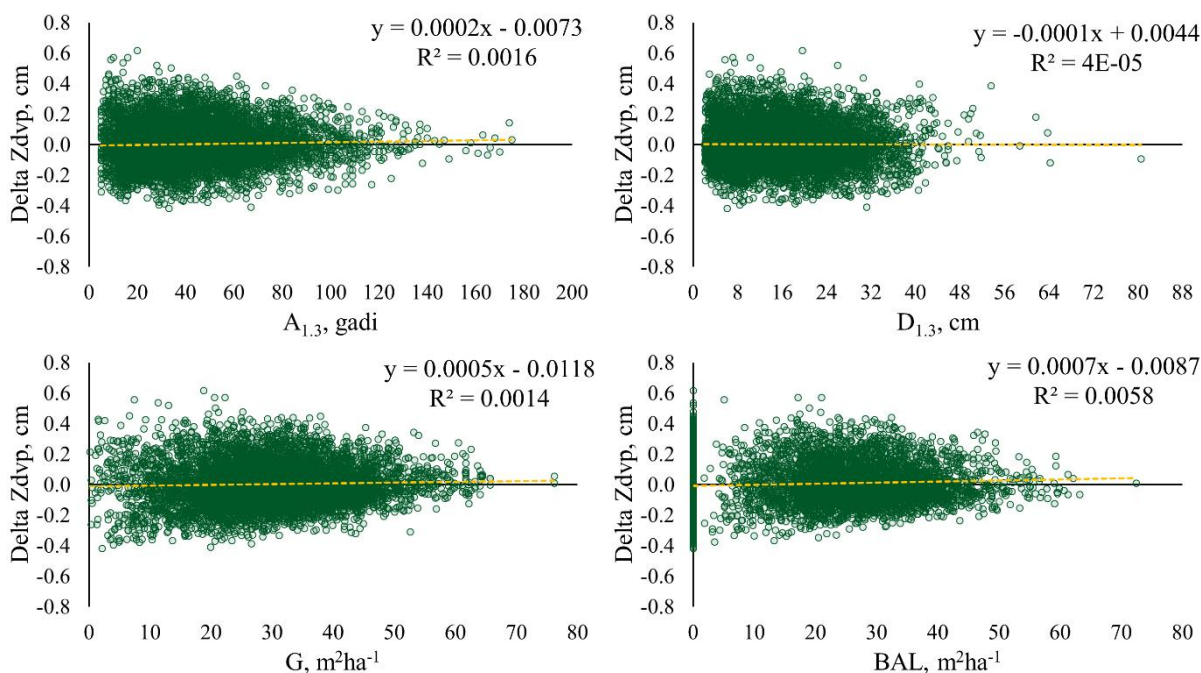
Suga	Koeficients	Vērtība	Standart- kļūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
Baltalksnis	b0	3.40646	0.08433	3.24097	3.57195
	b1	-0.79018	0.05482	-0.89777	-0.68260
	b2	1.22915	0.06420	1.10316	1.35514
	b3	-0.18419	0.02714	-0.23745	-0.13093
	b4	-0.03589	0.00394	-0.04362	-0.02816
	b5	0.13812	0.04000	0.05961	0.21662
Ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis	b0	3.18959	0.09253	3.00804	3.37114
	b1	-0.83163	0.04282	-0.91565	-0.74761
	b2	1.61841	0.05189	1.51660	1.72023
	b3	-0.25536	0.02305	-0.30058	-0.21014
	b4	-0.00819	0.00176	-0.01163	-0.00474
	b5	0.00100	0.03918	-0.07587	0.07787
Citi lapu koki	b0	2.92862	0.14363	2.64653	3.21071
	b1	-1.25518	0.06836	-1.38945	-1.12092
	b2	2.09033	0.07216	1.94860	2.23206
	b3	-0.22136	0.02802	-0.27639	-0.16633
	b4	-0.01192	0.00272	-0.01726	-0.00658
	b5	0.07564	0.06998	-0.06181	0.21308

Starpībai starp uzmērīto un prognozēto caurmēra pieaugumu nav konstatētas korelatīvas sakarības ar meža elementa krūšaugstuma vecumu, vidējo caurmēru, mežaudzes šķērslaukumu un meža elementu, kas lielāki par konkrēto meža elementu, šķērslaukuma summu, (2.29. – 2.36. attēli).



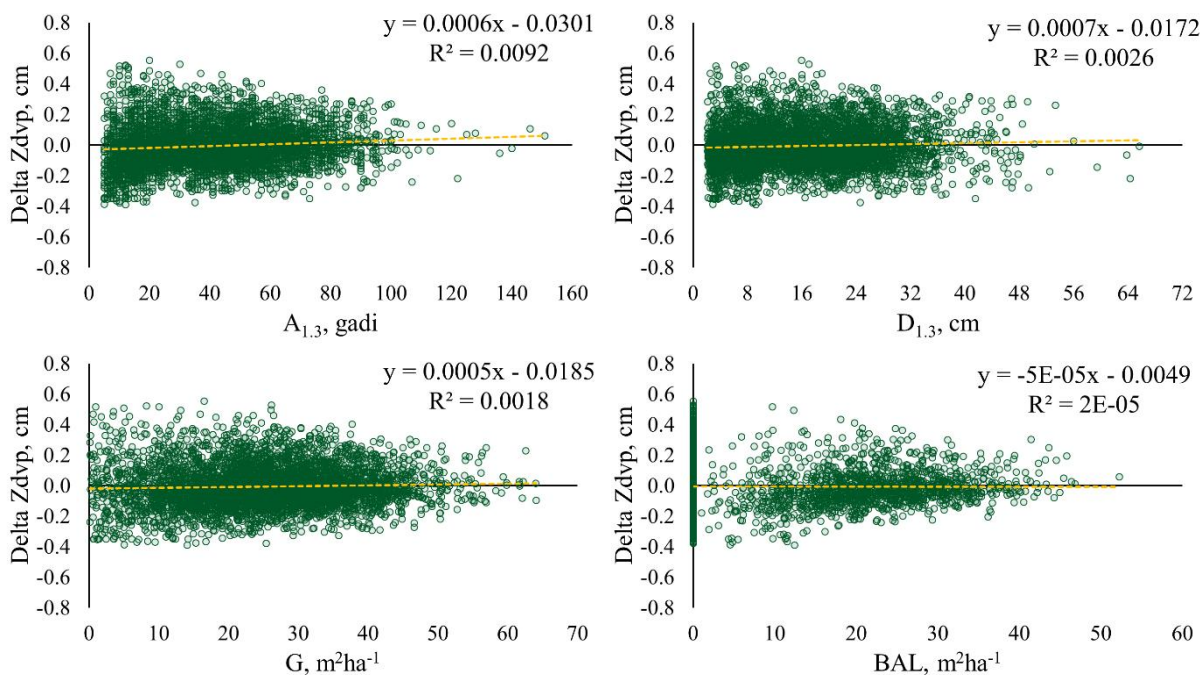
2.29. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu priedēm:

Delta Zdvp – 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.



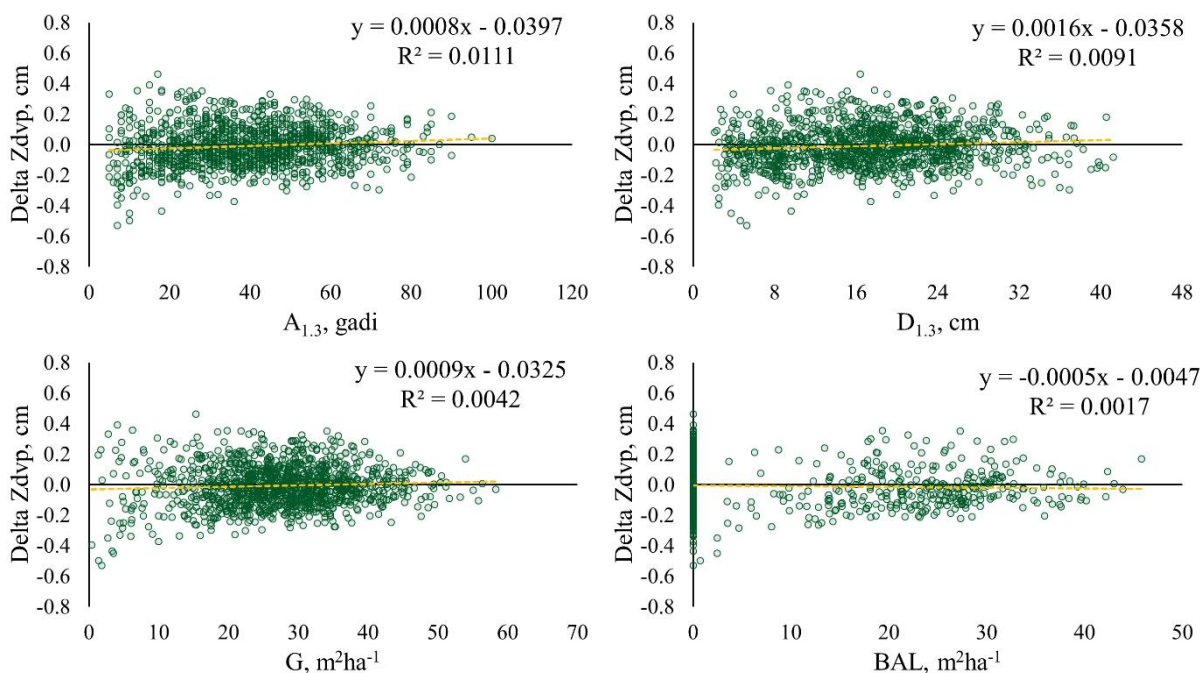
2.30. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu eglēm:

Delta Zdvp – 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.



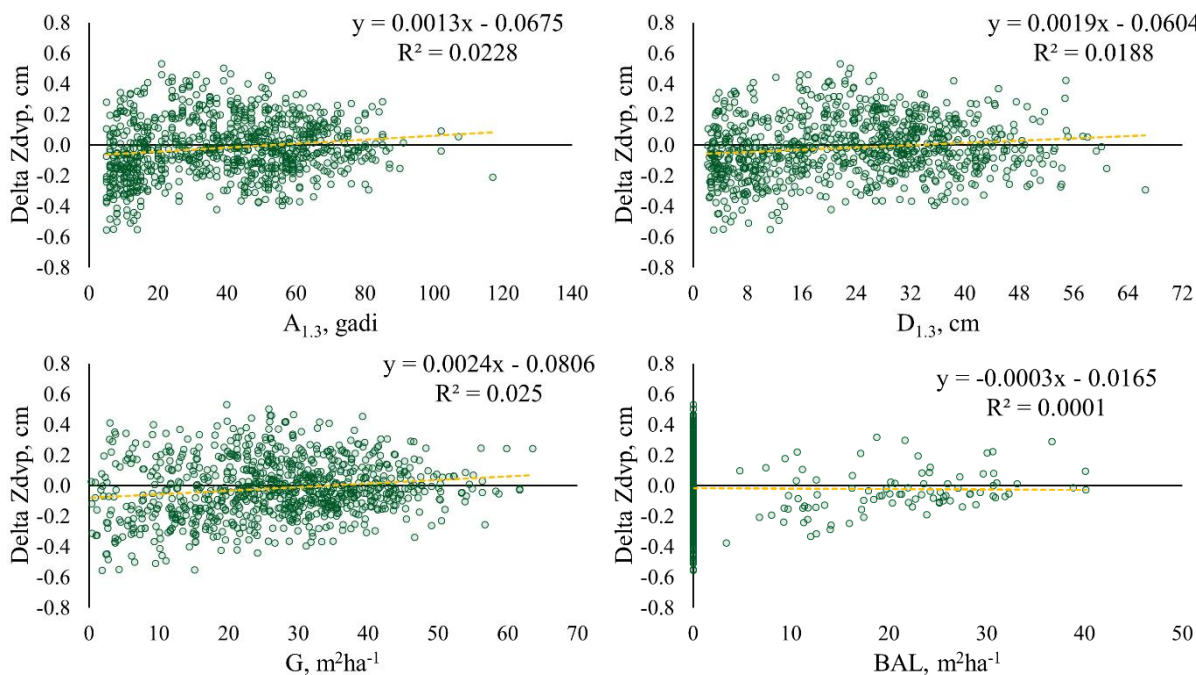
2.31. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu bērzam:

Delta Zdvp – 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.



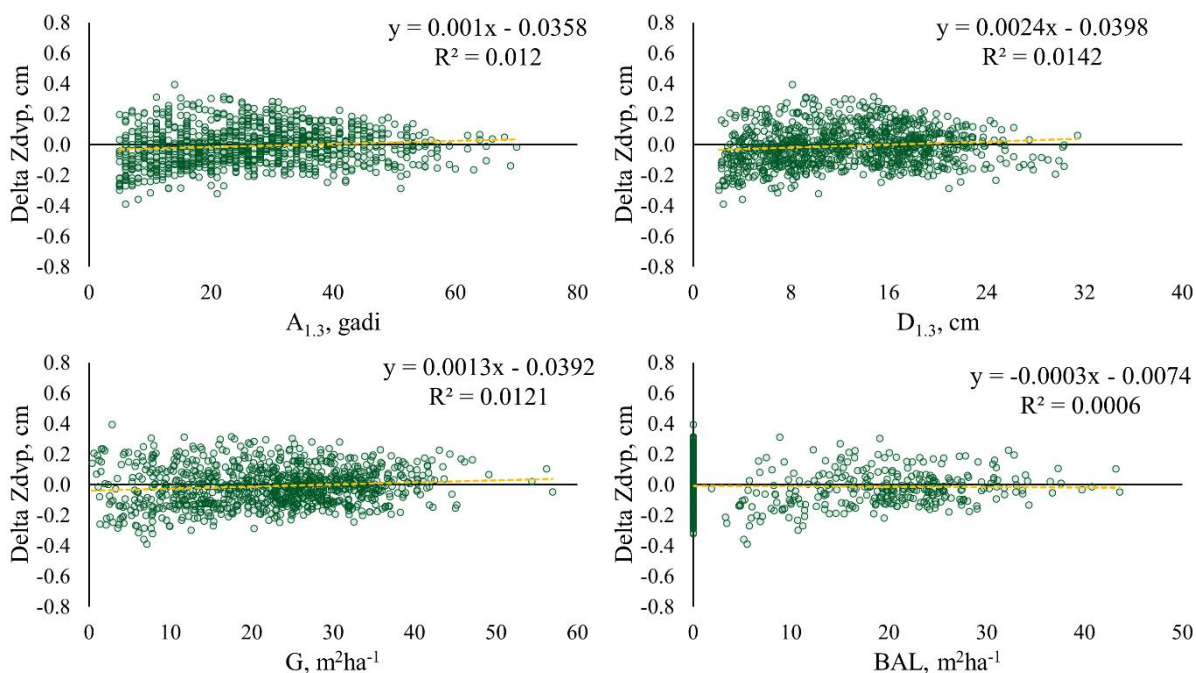
2.32. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu melnalksnim:

Delta Zdvp – 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.



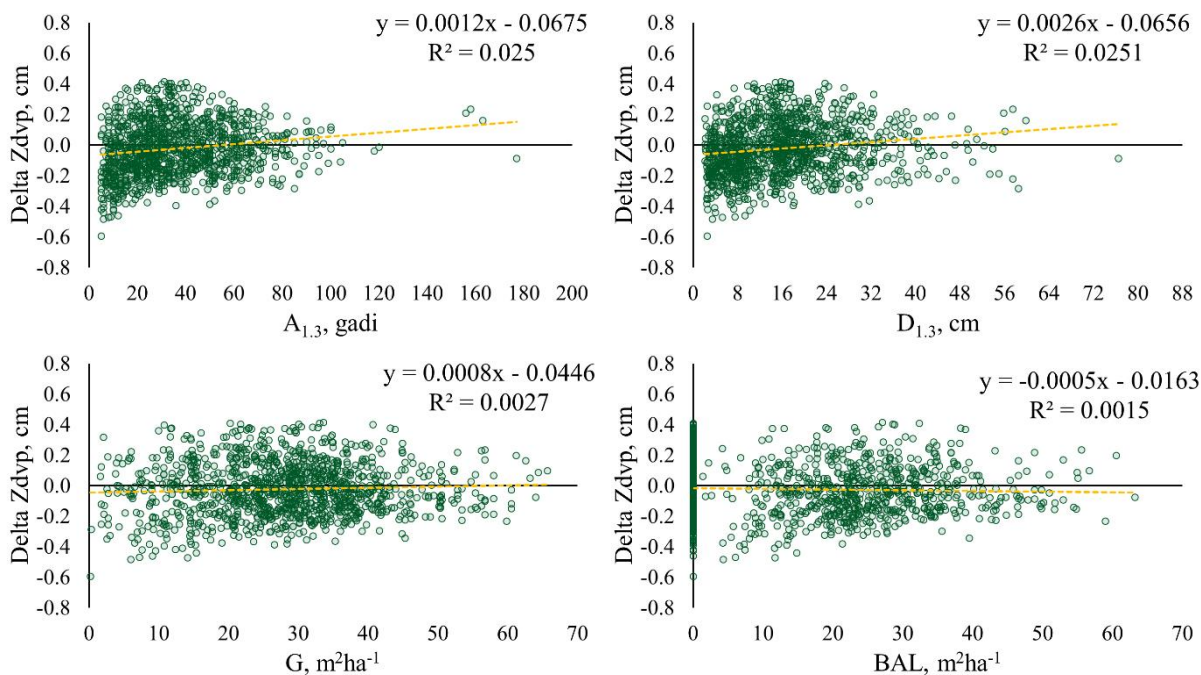
2.33. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu apsei:

Delta Zdvp – 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.



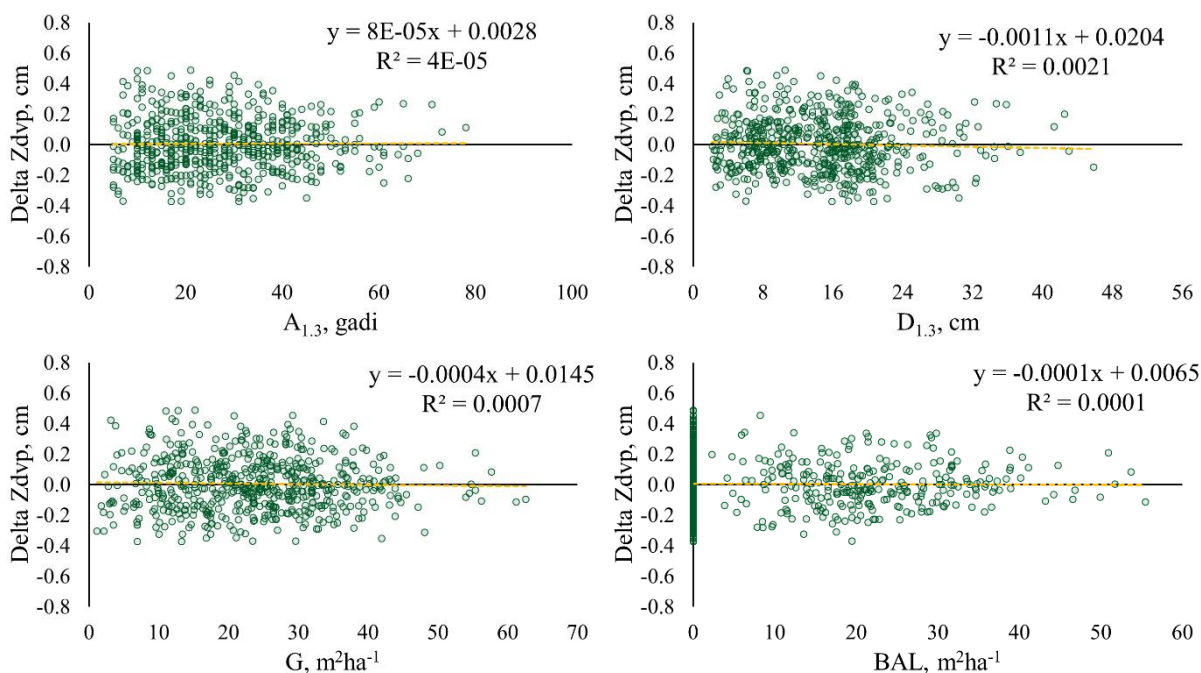
2.34. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu baltalksnim:

Delta Zdvp – 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.



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

Delta Zdvp – 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.



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

Delta Zdvp – 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.

Turpmākā pētījuma laikā paredzēts šo modeli pilnveidot, iekļaujot tajā papildus rādītājus, kas ir būtiski caurmēra pieauguma raksturošanai.

2.1.2.4. Šķērslaukums

Metodika

Datu analīzē izmantoja datus par 18013 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paaudzes vienā stāvā esošus kokus) no 3027 MSI parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- meža elementi ir priede (3002 meža elementi), egles (6261), bērzs (4572), apse (740), melnalksnis (1079), baltalksnis (920), platlapji – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, skābardis un dižskābardis, kļava (920) un citi lapu koki (512);
- visās uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums;
- starp inventarizācijas periodā parauglaukumā nav cirsti koki;
- pirmajā uzmērīšanas reizē parauglaukumā ir uzmērīti vismaz trīs dzīvi 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.

Atšķirībā no iepriekšējiem gadiem, šoreiz analīzē iekļauj ne tikai tos elementus, kas derīgi bija caurmēra izmaiņu modelēšanai, bet visus, kas atbilst iepriekš aprakstītajiem kritērijiem.

Meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modelēšanai aproksimēts iepriekš izveidotais vienādojums (Donis et al., 2022), kas papildināts ar koku ciršanas faktoriālo pazīmi:

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

<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 krūšaugstuma vecums perioda sākumā, gadi;
	A_2	–	meža elementa krūšaugstuma 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 krūšaugstuma 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 *Mixed models*, kur kā nejausais faktors ir izmantots parauglaukums, jo tiek izmantoti atkārtoti uzmērīti meža elementi, kas savā starpā ir saistīti.

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) un tā koeficientu vērtības atspoguļotas 2.13. tabulā. Lai vienādojums būtu vieglāk lietojams, tajā ir saglabāti arī koeficienti, kas nav būtiski, bet to vērtības ir nulle. Tas atvieglo modeļa praktisku lietošanu. Apsei, melnalksnim, baltalksnim, platlapjiem un citiem lapu kokiem vienādojumos netiek izmantots (koeficienta vērtība ir nulle) bonitātes rādītājs (SI), jo šis rādītājs šiem elementiem nebija būtisks un atsevišķos gadījumos pat uzrādīja bioloģiski nepamatotas koeficientu vērtības.

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

Suga	Koeficients	Vērtība	Standartkļūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
priede	b0	0.06247	0.01903	0.02892	0.10142
	b1	-0.07471	0.01695	-0.11348	-0.04285
	b2	1.30957	0.39093	0.61360	2.06757
	b3	0.80524	0.02488	0.75782	0.85654
	b4	-0.22867	0.02014	-0.27476	-0.19285
	b5	0.01253	0.02129	-0.02551	0.05387
	b6	0.03973	0.01202	0.01572	0.06562
egle	b0	0.04587	0.01063	0.02551	0.06571
	b1	-0.03818	0.01359	-0.06370	-0.01116
	b2	1.00831	0.14616	0.73463	1.30029
	b3	0.92938	0.02566	0.88335	0.97932
	b4	-0.10557	0.00576	-0.11836	-0.09426
	b5	0.02110	0.00875	0.00423	0.03658
bērzs	b0	0.16907	0.02260	0.12357	0.21376
	b1	-0.30476	0.02778	-0.36428	-0.25095
	b2	0.39733	0.31725	-0.26744	0.97745
	b3	0.86216	0.03085	0.80339	0.91749
	b4	-0.17498	0.00891	-0.19302	-0.15917

Suga	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
	b5	0.04206	0.01917	0.00608	0.07839
	b6	0.05944	0.01013	0.03998	0.08060
melnalksnis	b0	0.11432	0.03296	0.05809	0.17904
	b1	-0.18422	0.05447	-0.28983	-0.08214
	b2	1.05260	0.21749	0.70013	1.48379
	b3	0.79749	0.03884	0.72106	0.87728
	b4	-0.13853	0.01483	-0.17291	-0.11369
	b5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	b6	0.00788	0.01995	-0.02850	0.04388
apse	b0	0.25252	0.05902	0.13979	0.36887
	b1	-0.25040	0.08825	-0.42159	-0.07937
	b2	1.32209	0.27595	0.82461	1.93149
	b3	0.96430	0.06875	0.83335	1.11104
	b4	-0.25080	0.02574	-0.30069	-0.20559
	b5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	b6	0.03426	0.02999	-0.02301	0.09444
baltalksnis	b0	0.30084	0.05461	0.19718	0.39604
	b1	-0.91080	0.11648	-1.13450	-0.67204
	b2	0.88927	0.19670	0.53418	1.25273
	b3	0.56644	0.03612	0.49721	0.64279
	b4	-0.18989	0.01703	-0.22260	-0.15872
	b5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	b6	0.05112	0.02377	0.00660	0.09481
Ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis	b0	0.06731	0.01859	0.03491	0.10380
	b1	-0.07152	0.03635	-0.14497	-0.01266
	b2	0.38147	0.11170	0.17099	0.59961
	b3	0.65580	0.12844	0.45924	0.95486
	b4	-0.04032	0.00605	-0.05360	-0.02935
	b5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	b6	0.01313	0.01238	-0.01216	0.03677
citi	b0	0.10233	0.05771	-0.00401	0.21911
	b1	-0.30348	0.12223	-0.57995	-0.08745
	b2	0.52344	0.20410	0.15329	0.95280
	b3	0.65428	0.14619	0.41998	0.97858
	b4	-0.07390	0.01085	-0.09440	-0.05385
	b5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	b6	0.03832	0.01985	0.00344	0.07557

Izstrādātais vienādojums pārbaudot uz vienādojumu izstrādē izmantotajiem datiem nav vērojamas sistemātiskas novirzes (2.14. tabula).

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

Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R2	N
Priede	0.19	0.00	0.00	0.14	0.20	106.46	0.039	0.587	0.413	0.413	3002
Egle	0.17	0.00	0.00	0.11	0.17	101.07	0.028	0.427	0.573	0.757	6261
Bērzs	0.15	0.00	0.00	0.14	0.20	134.18	0.040	0.490	0.510	0.714	4572
Melnalksnis	0.17	0.00	0.00	0.11	0.17	102.45	0.029	0.487	0.513	0.716	1079
Apse	0.33	0.00	0.00	0.18	0.27	81.30	0.072	0.443	0.557	0.747	740
Baltalksnis	0.17	0.00	0.00	0.19	0.27	153.45	0.071	0.496	0.504	0.710	920
Platlapji	0.08	0.00	0.00	0.07	0.12	139.90	0.014	0.776	0.224	0.473	927
Citi lapu koki	0.08	0.00	0.00	0.10	0.16	194.20	0.027	0.652	0.348	0.590	512

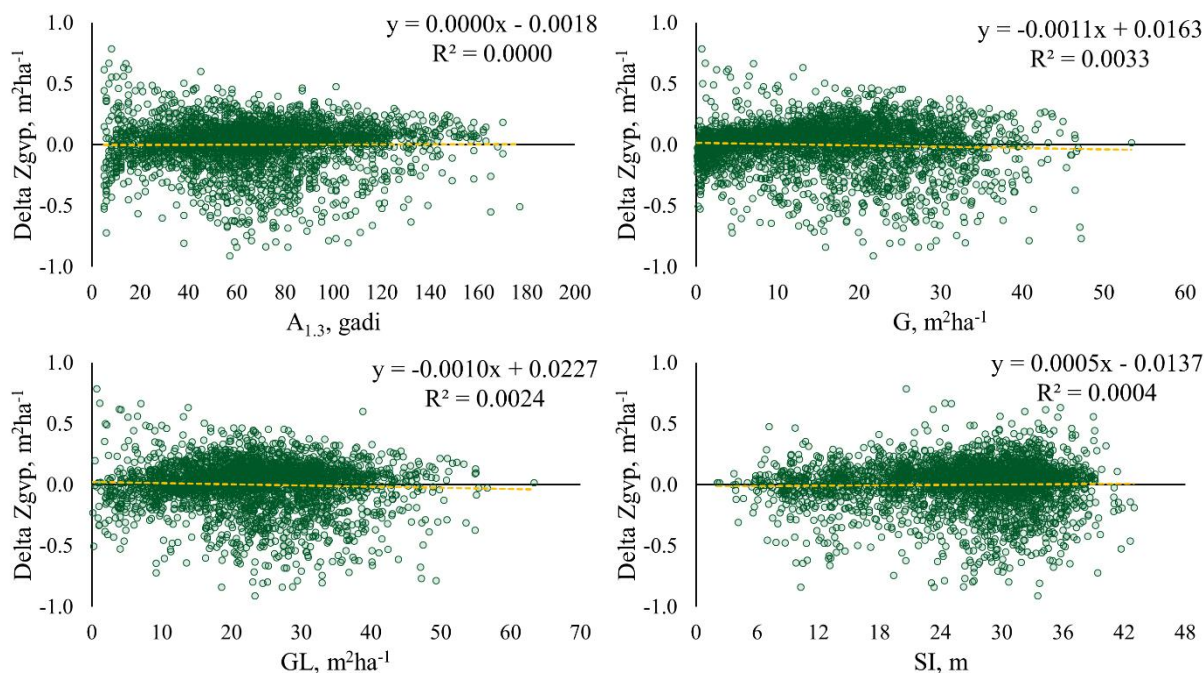
Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze;

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.

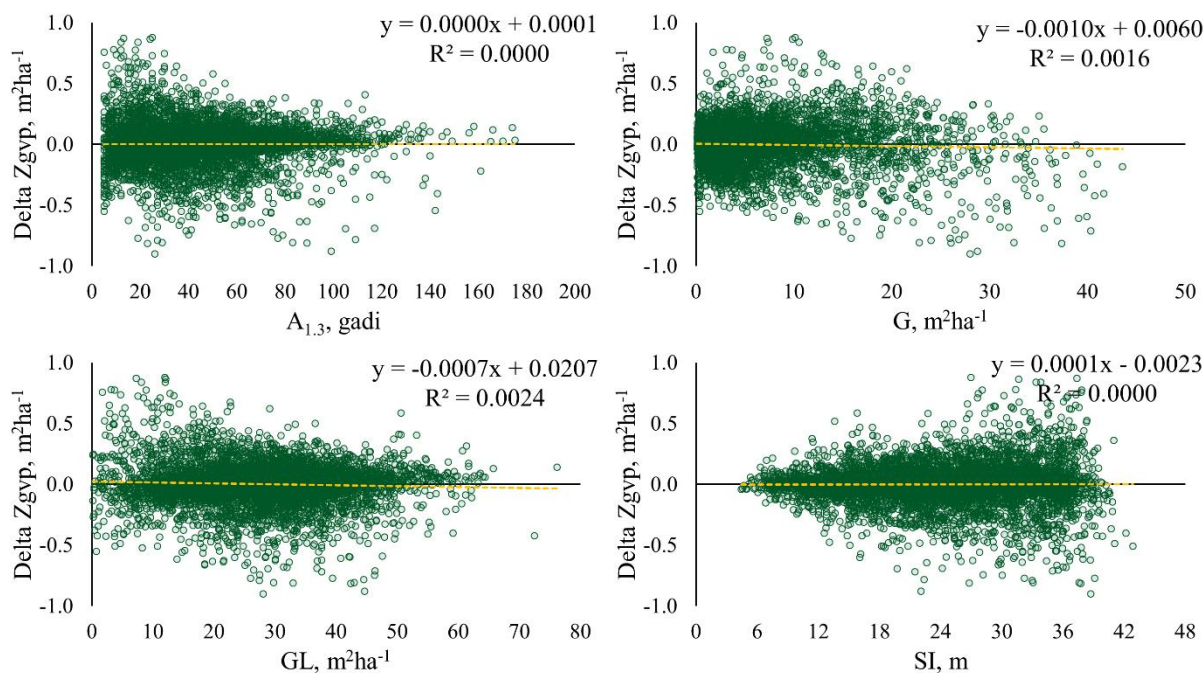
Starpībai starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma pieaugumu nav konstatētas korelatīvas sakarības ar meža elementa krūšaugsstuma vecumu, bonitātes rādītāju jeb prognozēto augstumu

bāzes vecumā, meža elementa šķērslaukumu un meža elementu, kas vienādi vai lielāki par konkrēto meža elementu, šķērslaukuma summu, (2.37. – 2.44. attēli).



2.37. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu priedēm:

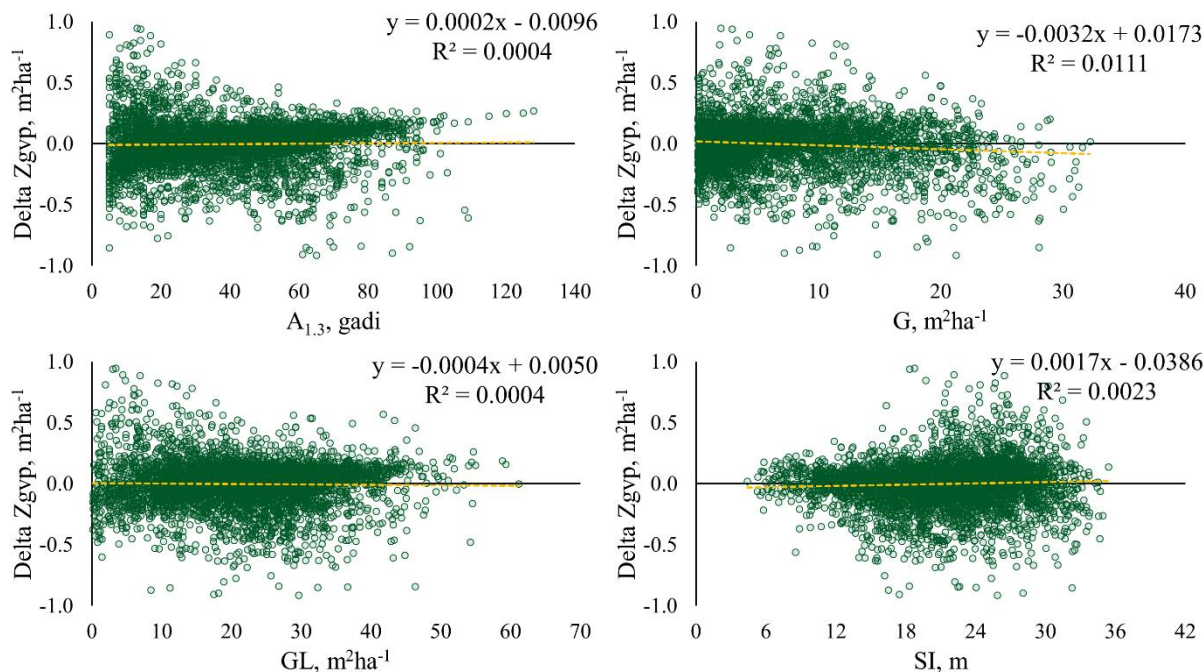
Delta Zgvp – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A_{1,3} – meža elementa krūšaugstuma vecums, SI – meža elementa augstums bāzes vecumā (priede, egļu platlapji – 100 gadi, bērzs, apse, melnalksnis 50 gadi, baltalksnis un citi lapu koki 20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



2.38. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu egļēm:

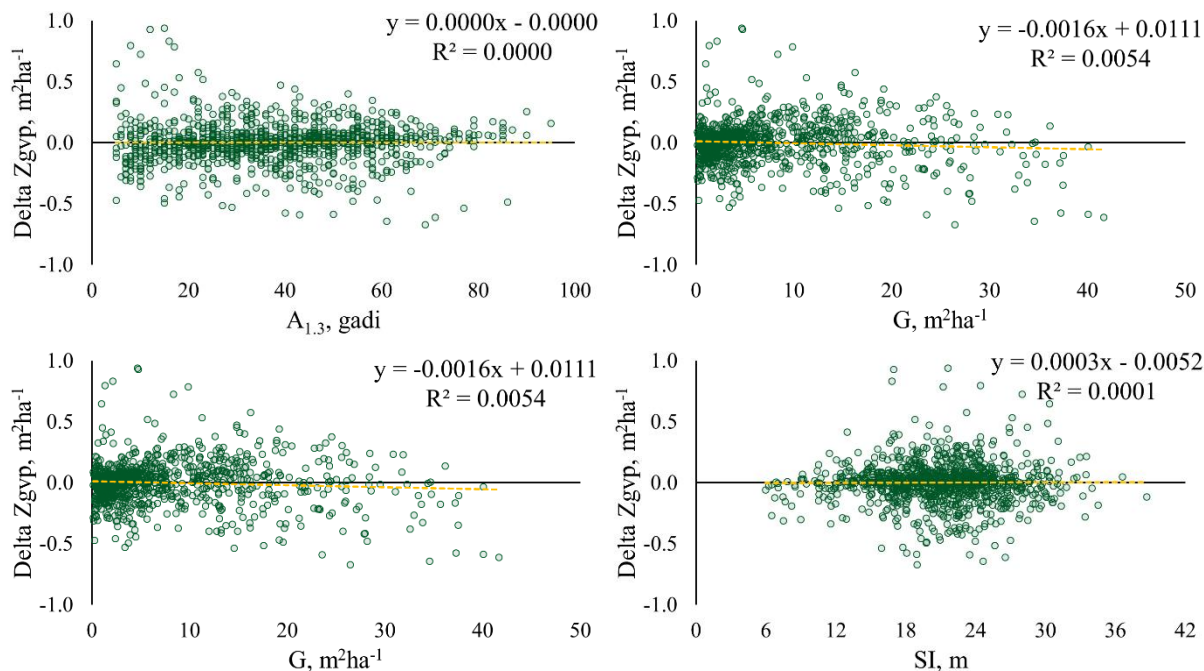
Delta Zgvp – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A_{1,3} – meža elementa krūšaugstuma vecums, SI – meža elementa augstums bāzes vecumā (priede, egļu platlapji – 100

gadi, bērzs, apse, melnalksnis 50 gadi, baltalksnis un citi lapu koki 20 gadi), G – meža elementa šķērslaukums, GL – meža elementu, kas vienādi un lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



2.39. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu bērzam:

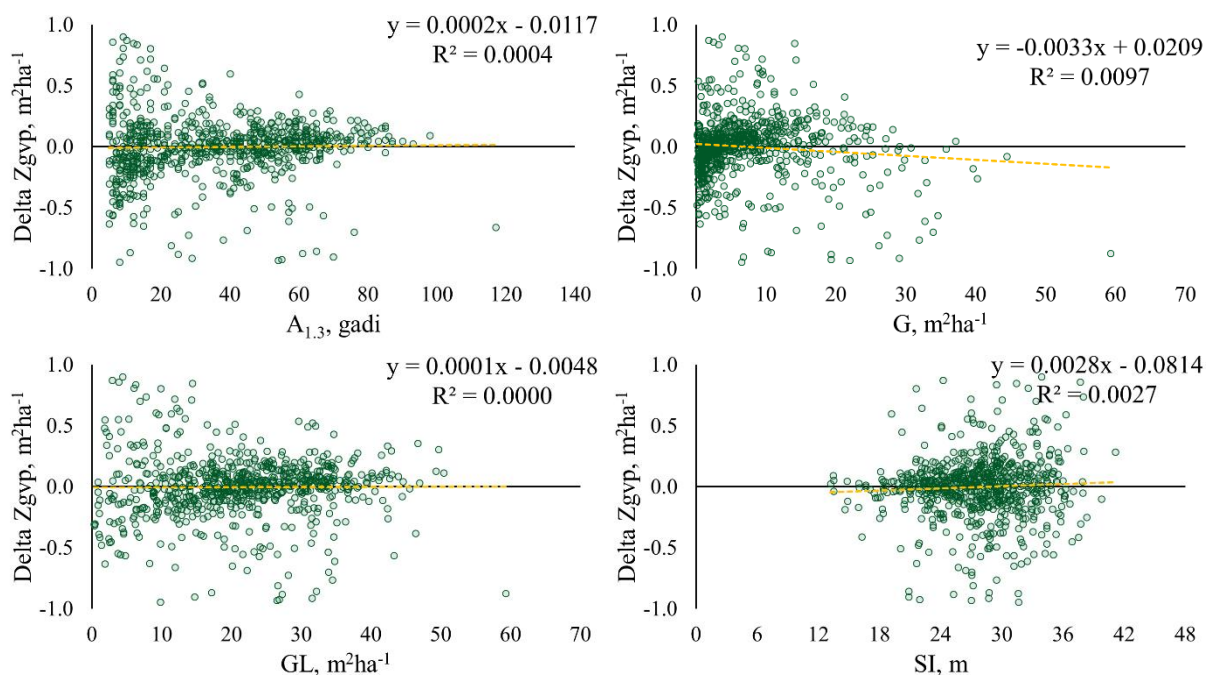
Delta Zgvp – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A_{1,3} – meža elementa krūšaugstuma vecums, SI – meža elementa augstums bāzes vecumā (priede, egļu platlapji – 100 gadi, bērzs, apse, melnalksnis 50 gadi, baltalksnis un citi lapu koki 20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



2.40. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu melnalksnim:

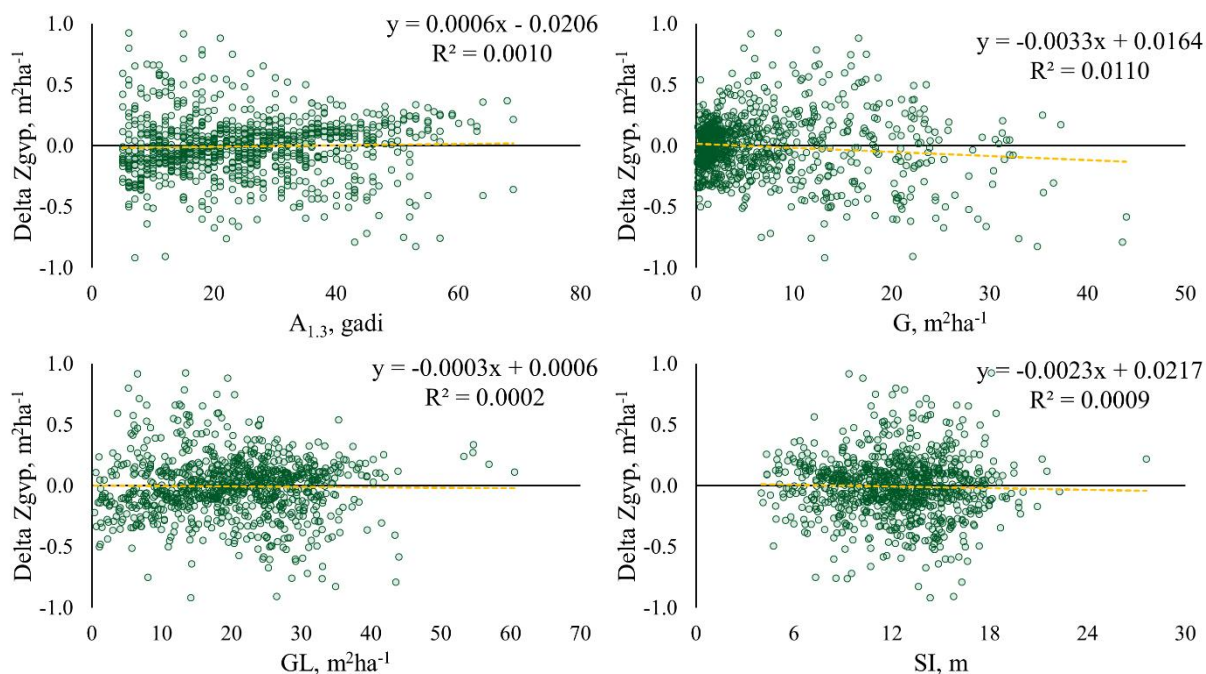
Delta Zgvp – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A_{1,3} – meža elementa krūšaugstuma vecums, SI – meža elementa augstums bāzes vecumā (priede, egļu platlapji – 100

gadi, bērzs, apse, melnalksnis 50 gadi, baltalksnis un citi lapu koki 20 gadi), G – meža elementa šķērslaukums, GL – meža elementu, kas vienādi un lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



2.41. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu apsei:

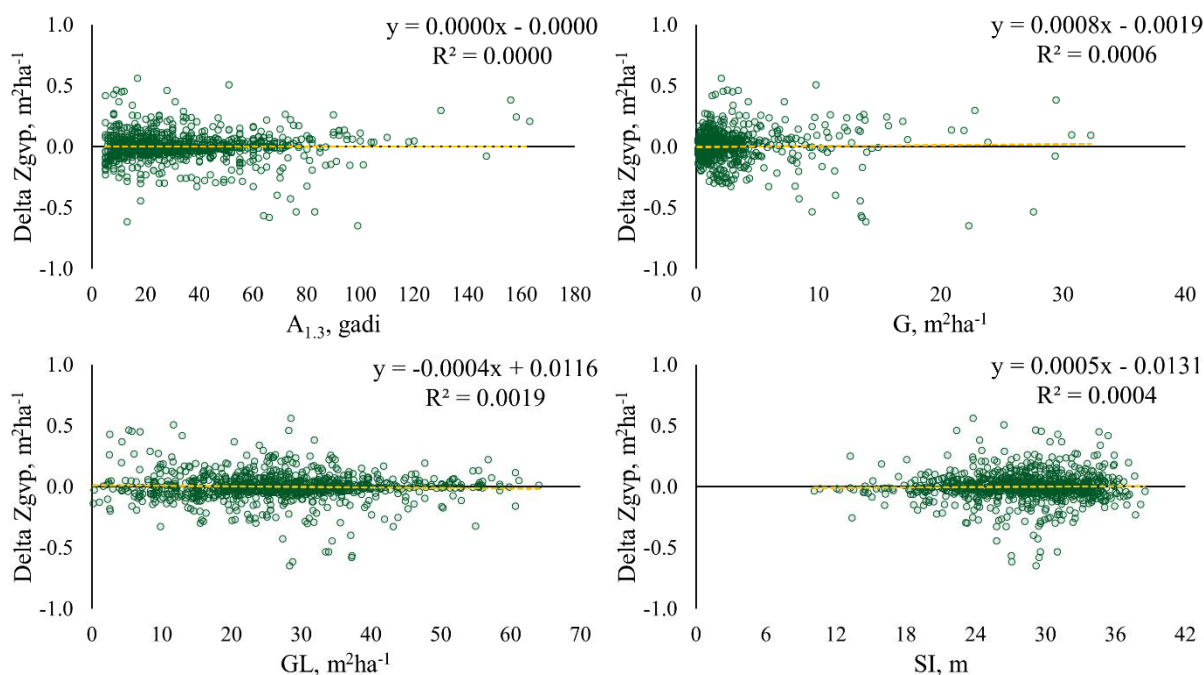
Delta Zgvp – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A_{1,3} – meža elementa krūšaugstuma vecums, SI – meža elementa augstums bāzes vecumā (priede, egļu platlapji – 100 gadi, bērzs, apse, melnalksnis 50 gadi, baltalksnis un citi lapu koki 20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



2.42. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu baltalksnim:

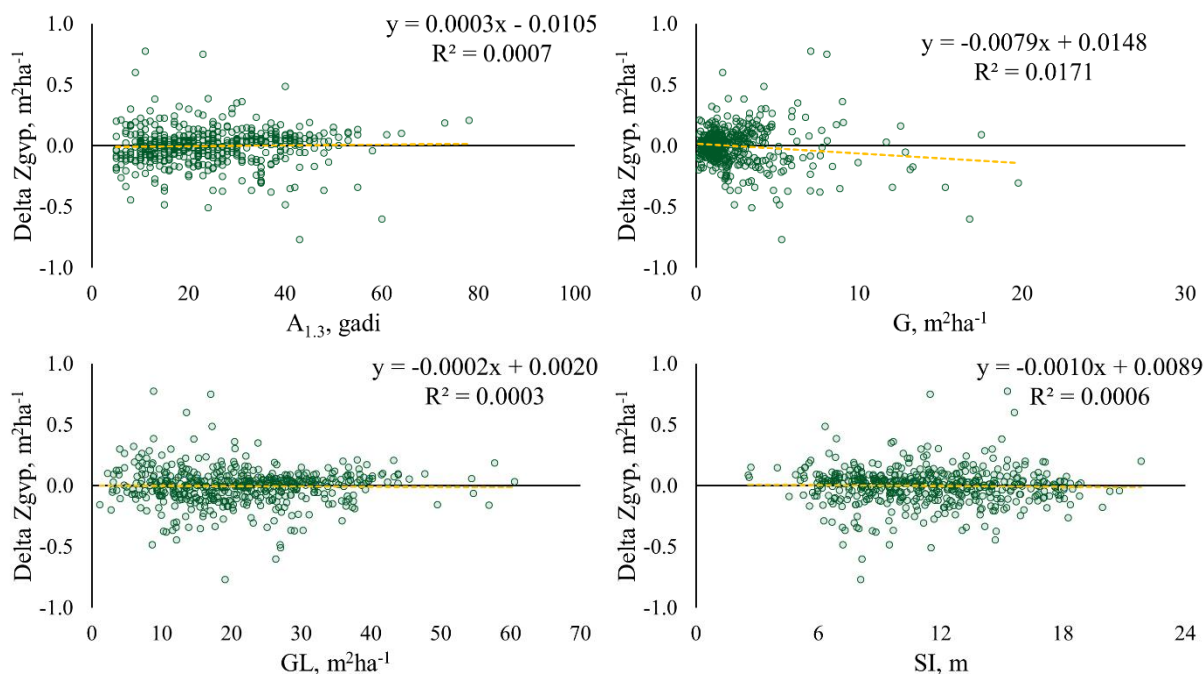
Delta Zgvp – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A_{1,3} – meža elementa krūšaugstuma vecums, SI – meža elementa augstums bāzes vecumā (priede, egļu platlapji – 100

gadi, bērzs, apse, melnalksnis 50 gadi, baltalksnis un citi lapu koki 20 gadi), G – meža elementa šķērslaukums, GL – meža elementu, kas vienādi un lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



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

Delta Zdgp – 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 un lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa



2.44. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu citiem lapu kociem:

Delta Zgvp – 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 un lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.

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, Somijā un Vācijā izstrādātajiem individuāla koka augšanas gaitas modeļiem (vienādojumu sistēmām). Otrajā posmā tas nav papildināts un tādēļ šajā pārskatā nav iekļauts.

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 152632 kokiem (priedes – 43861, egles – 48481, bērzi – 34637, melnalkšņi – 9599, apses – 5658, baltalkšņi – 10396) no 3215 MSI 2014. – 2021. 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:

$$i_{g5} = \exp \left(\alpha_0 + \alpha_1 \cdot \frac{SI_i}{10} + \alpha_2 \cdot \frac{10}{H_{vald}} + \alpha_3 \cdot \frac{10}{H_{vald}^2} + \alpha_4 \cdot \ln(d) + \alpha_5 \cdot \left(\frac{d}{100} \right)^2 + \alpha_6 \cdot \ln(cr) + \alpha_7 \cdot \ln(RDF + 1) + \alpha_8 \cdot RDFL + \alpha_9 \cdot \frac{T_{sum}}{1000} + \alpha_{10} \cdot c_{0-5} \right) \quad (3.1)$$

- kur*
- i_{g5} – koka nākošo 5 gadu šķērslaukuma pieaugums, cm^2 ;
 - 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;
 - RDF – mežaudzes relatīvās biežības faktors;
 - RDFL – relatīvās biežības faktors kokiem, kas resnāki par konkrēto koku;
 - T_{sum} – aktīvās veģetācijas ($t^\circ > 5^\circ C$) temperatūru summa, $^\circ C$;
 - c_{0-5} – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta koku ciršana, (0 vai 1);
 - α_{0-10} – koeficienti.

Relatīvo audzes biežības faktoru aprēķina pēc sekojoša vienādojuma:

$$RDF = \sum_{i=1}^n ga_i \quad (3.1.1.)$$

$$ga_i = b_0^{-1} \cdot d_i^{-b_1} \quad (3.1.1.1)$$

Atsevišķu koku caurmēra augšanas gaita modelēta datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows, izmantojot *Mixed Linear Model* rīku. Analizējot pieaugumu audzes līmenī vieta jeb parauglaukums ir izmantots kā *Subject variable*, līdz ar to tiek ņemts vērā, ka koki vienā parauglaukumā ir saistīti un ka koki ir atkārtoti pārmērīti.

Rezultāti

Balstoties uz MSI 2014. – 2021. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukum datiem aproksimētas koeficientu vērtības atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modelim (3.1. tabula). Vienādojumā atstāti visi bioloģiski loģiskie faktori, lai arī atsevišķos gadījumos tie nav būtiski bet faktori, kas ir nebūtiski un ir bioloģiski nelōģiski (koeficientam pretēja zīme) vienādojumos nav atstāti.

3.1. tabula. Netelpiska atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modeļa (3.1. formula) 2022. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

Suga	Faktors	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	t-vērtība	p-vērtība
Priede	Intercept	α_0	-0.41869	0.21677	-1.931	0.053
	SI / 10	α_1	0.44107	0.01214	36.344	0.000
	10 / Hvald	α_2	0.00953	0.10406	0.092	0.927
	10 / Hvald ²	α_3	0.15536	0.27644	0.562	0.574
	Ln(D)	α_4	1.11973	0.02657	42.141	0.000
	(D / 10) ²	α_5	-1.09533	0.15557	-7.041	0.000
	Ln(CR)	α_6	0.94849	0.07778	12.194	0.000
	Ln(RDF+1)	α_7	-0.36829	0.03867	-9.525	0.000
	RDFL	α_8	-0.35893	0.03483	-10.304	0.000
	Tsum / 1000	α_9	0.25758	0.04944	5.210	0.000
C0-5	α_{10}	0.15664	0.01133	-13.831	0.000	
Egle	Intercept	α_0	-0.76527	0.13033	-5.872	0.000
	SI / 10	α_1	0.36968	0.00670	55.214	0.000
	10 / Hvald	α_2	0.01517	0.05667	0.268	0.789
	10 / Hvald ²	α_3	2.29604	0.25993	8.833	0.000
	Ln(D)	α_4	1.14940	0.01236	92.961	0.000
	(D / 10) ²	α_5	-2.94508	0.16612	-17.728	0.000
	Ln(CR)	α_6	0.00000			
	Ln(RDF+1)	α_7	-0.60925	0.03017	-20.195	0.000
	RDFL	α_8	-0.77773	0.02260	-34.407	0.000
	Tsum / 1000	α_9	0.34550	0.04977	6.942	0.000
C0-5	α_{10}	0.14763	0.00981	-15.052	0.000	
Bērzs	Intercept	α_0	-2.47356	0.28804	-8.588	0.000
	SI / 10	α_1	0.76406	0.00958	79.786	0.000
	10 / Hvald	α_2	1.37177	0.15620	8.782	0.000
	10 / Hvald ²	α_3	-2.89607	0.46487	-6.230	0.000
	Ln(D)	α_4	1.40104	0.02475	56.602	0.000
	(D / 10) ²	α_5	-4.02171	0.20849	-19.290	0.000
	Ln(CR)	α_6	0.46602	0.26648	1.749	0.080

Suga	Faktors	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	t-vērtība	p-vērtība
	Ln(RDF+1)	α_7	-0.41135	0.10924	-3.765	0.000
	RDFL	α_8	-0.98293	0.06854	-14.341	0.000
	Tsum / 1000	α_9	0.30443	0.06935	4.390	0.000
	C0-5	α_{10}	0.21914	0.01548	-14.152	0.000
Melnalksnis	Intercept	α_0	-2.01860	0.48551	-4.158	0.000
	SI / 10	α_1	0.52403	0.02016	25.987	0.000
	10 / Hvald	α_2	0.86163	0.34432	2.502	0.012
	10 / Hvald ²	α_3	-1.66618	1.18053	-1.411	0.158
	Ln(D)	α_4	1.32819	0.04399	30.193	0.000
	(D / 10) ²	α_5	-5.11622	0.44392	-11.525	0.000
	Ln(CR)	α_6	0.15565	0.40111	0.388	0.698
	Ln(RDF+1)	α_7	-0.86189	0.27599	-3.123	0.002
	RDFL	α_8	-1.17465	0.05943	-19.764	0.000
	Tsum / 1000	α_9	0.63273	0.11821	5.353	0.000
C0-5	α_{10}	0.15053	0.03183	-4.729	0.000	
Apse	Intercept	α_0	-1.54908	0.18016	-8.599	0.000
	SI / 10	α_1	0.39791	0.02053	19.384	0.000
	10 / Hvald	α_2	2.09948	0.13879	15.127	0.000
	10 / Hvald ²	α_3	-5.87663	0.47490	-12.375	0.000
	Ln(D)	α_4	1.55701	0.03981	39.110	0.000
	(D / 10) ²	α_5	-2.78459	0.25313	-11.001	0.000
	Ln(CR)	α_6	0.00000			
	Ln(RDF+1)	α_7	-0.39777	0.06108	-6.513	0.000
	RDFL	α_8	-1.56139	0.05795	-26.943	0.000
	Tsum / 1000	α_9	0.00000			
C0-5	α_{10}	0.04552	0.02541	-1.791	0.073	
Baltalksnis	Intercept	α_0	-2.47157	0.34871	-7.088	0.000
	SI / 10	α_1	0.56831	0.02749	20.674	0.000
	10 / Hvald	α_2	1.11173	0.13658	8.140	0.000
	10 / Hvald ²	α_3	-0.93575	0.62628	-1.494	0.135
	Ln(D)	α_4	1.58872	0.03916	40.575	0.000
	(D / 10) ²	α_5	-14.91729	0.91065	-16.381	0.000
	Ln(CR)	α_6	0.00000			
	Ln(RDF+1)	α_7	-0.27141	0.06704	-4.049	0.000
	RDFL	α_8	-1.60700	0.05642	-28.484	0.000
	Tsum / 1000	α_9	0.52594	0.12956	4.059	0.000
C0-5	α_{10}	0.17682	0.02611	-6.772	0.000	

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 0.03 cm gadā, kas, attiecinot to pret vidējo pieaugumu, svārstās no 0.8% līdz 5.4% (3.2. tabula).

3.2. tabula. Atsevišķa koka caurmēra augšanas gaitas modeļa (3.1. formula) prognozētā ikgadējā caurmēra pieauguma statistiskie rādītāji ar 2022. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām

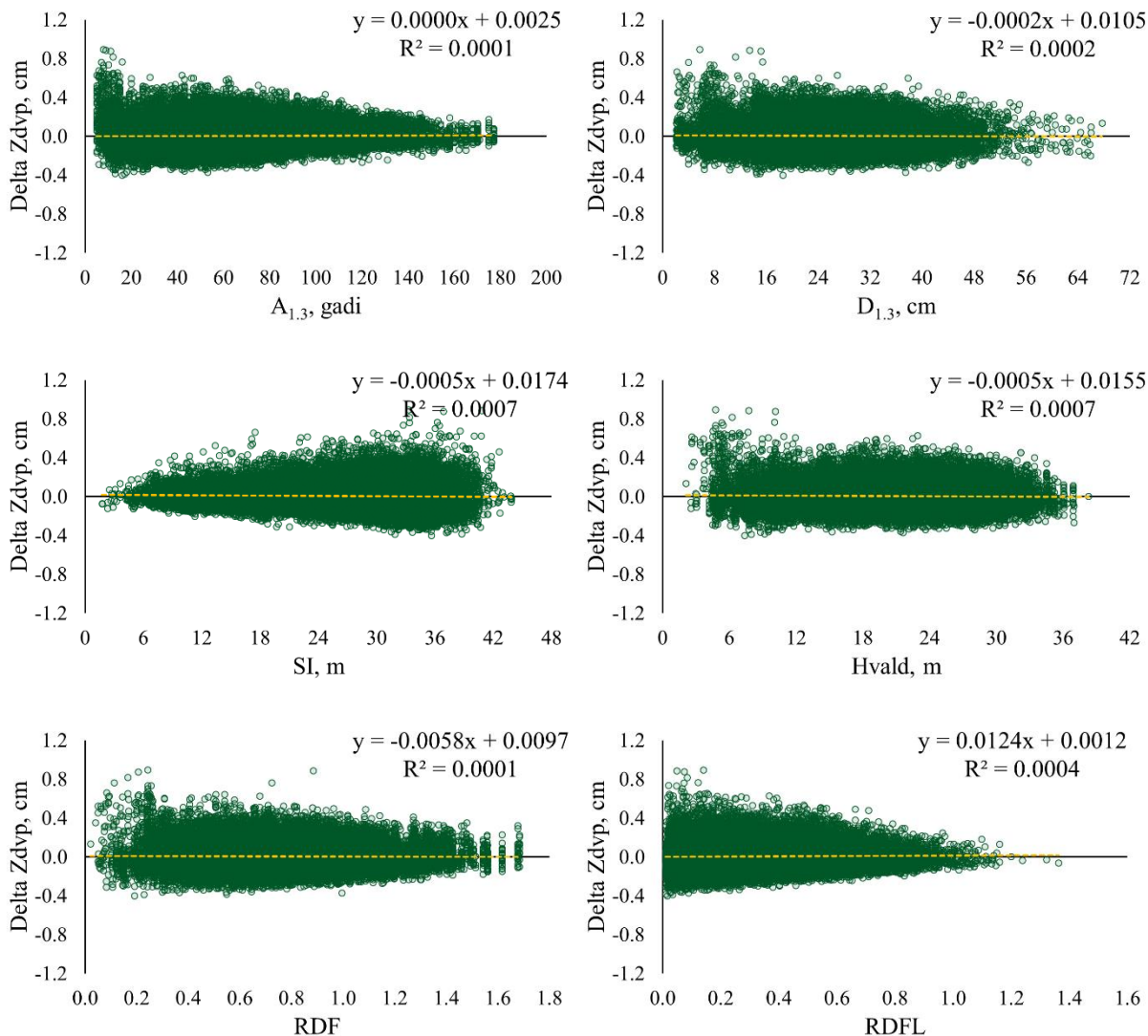
Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R2	N
Priede	0.23	0.01	2.34	0.09	0.12	54.25	0.015	0.604	0.401	0.397	43861
Egle I stāvs	0.31	0.01	2.99	0.13	0.17	54.69	0.029	0.610	0.420	0.393	48481
Bērzs	0.28	0.00	-1.21	0.12	0.16	58.53	0.027	0.506	0.607	0.500	34637
Melnalksnis	0.30	0.01	2.58	0.12	0.16	53.65	0.026	0.613	0.494	0.394	9599

Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R2	N
Apse	0.50	0.03	5.43	0.17	0.21	43.13	0.046	0.531	0.598	0.483	5658
Baltalksnis	0.28	0.00	0.78	0.12	0.15	54.63	0.023	0.593	0.498	0.411	10396

platlapji – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis;

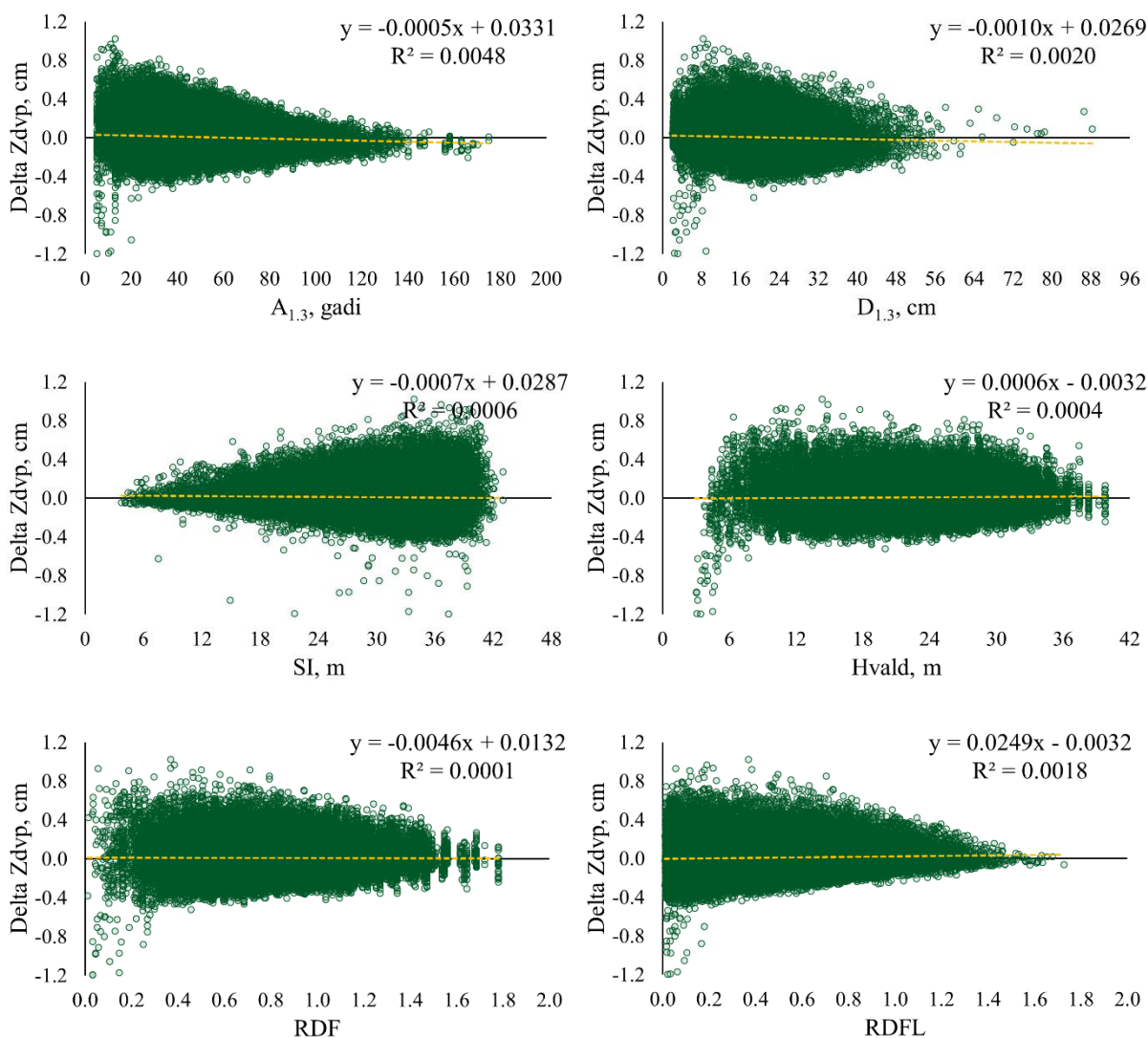
Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, cm; MRES - vidējā novirze, cm; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, cm; RMSE – standartnovirze, cm; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, cm; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība;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

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 audzes biezību (3.1. – 3.6. attēli).



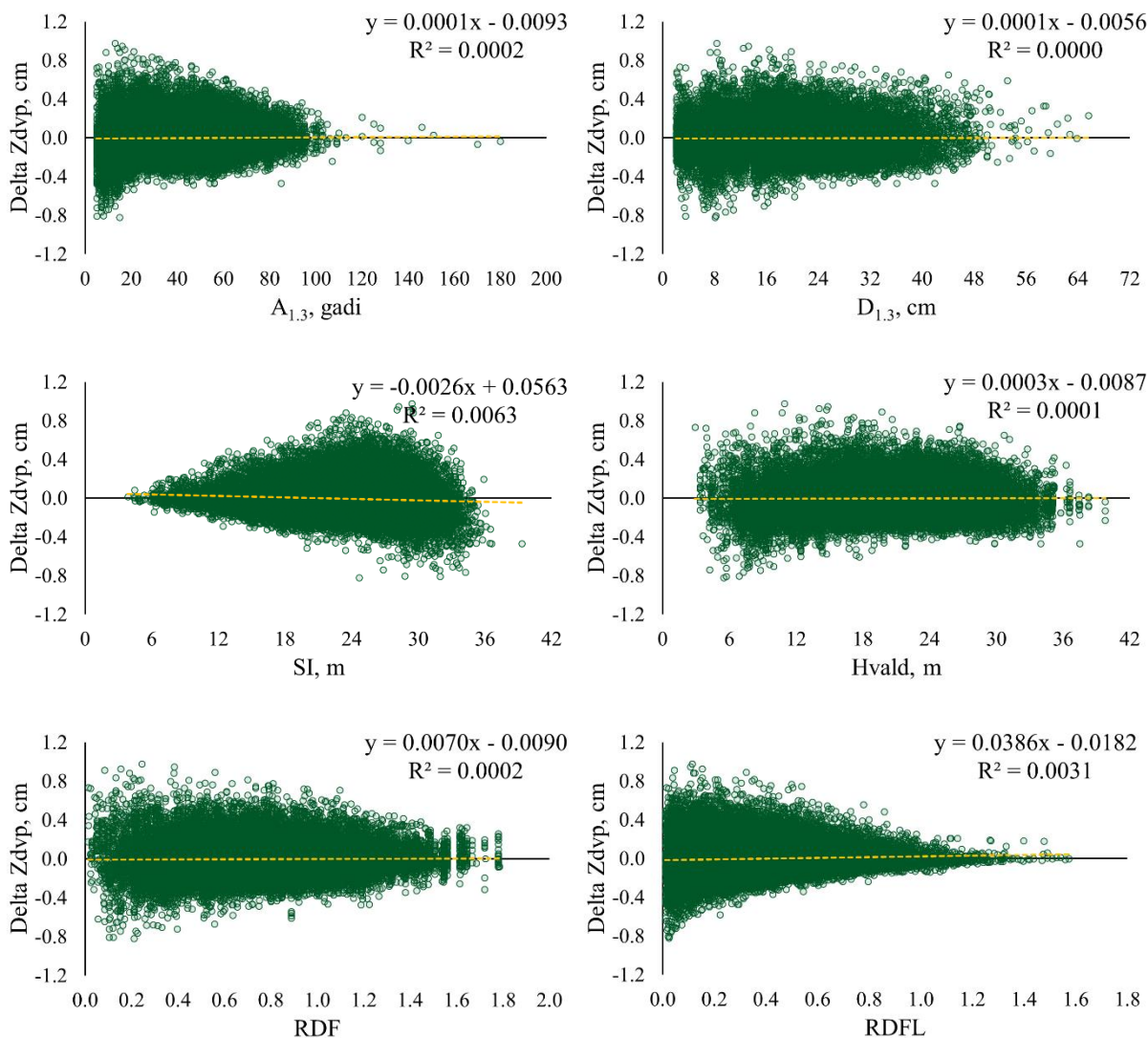
3.1. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu priedi:

Delta Zdv – 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), RDF – mežaudzes relatīvās biezības faktors, RDFL – relatīvās biezības faktors kokiem, kas resnāki par konkrēto koku.



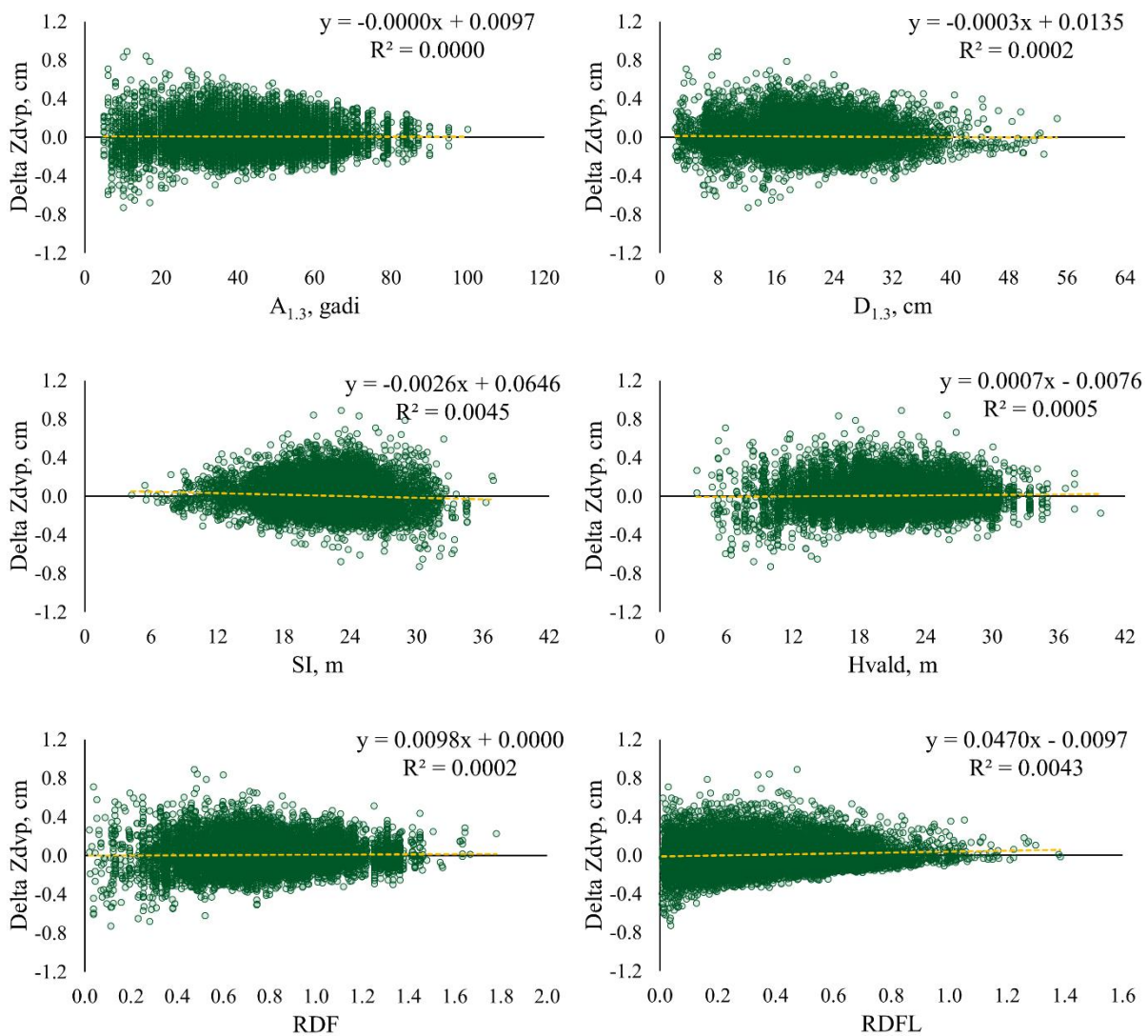
3.2. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu eglei:

Delta Zdvp – 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), RDF – mežaudzes relatīvās biežības faktors, RDFL – relatīvās biežības faktors kokiem, kas resnāki par konkrēto koku.



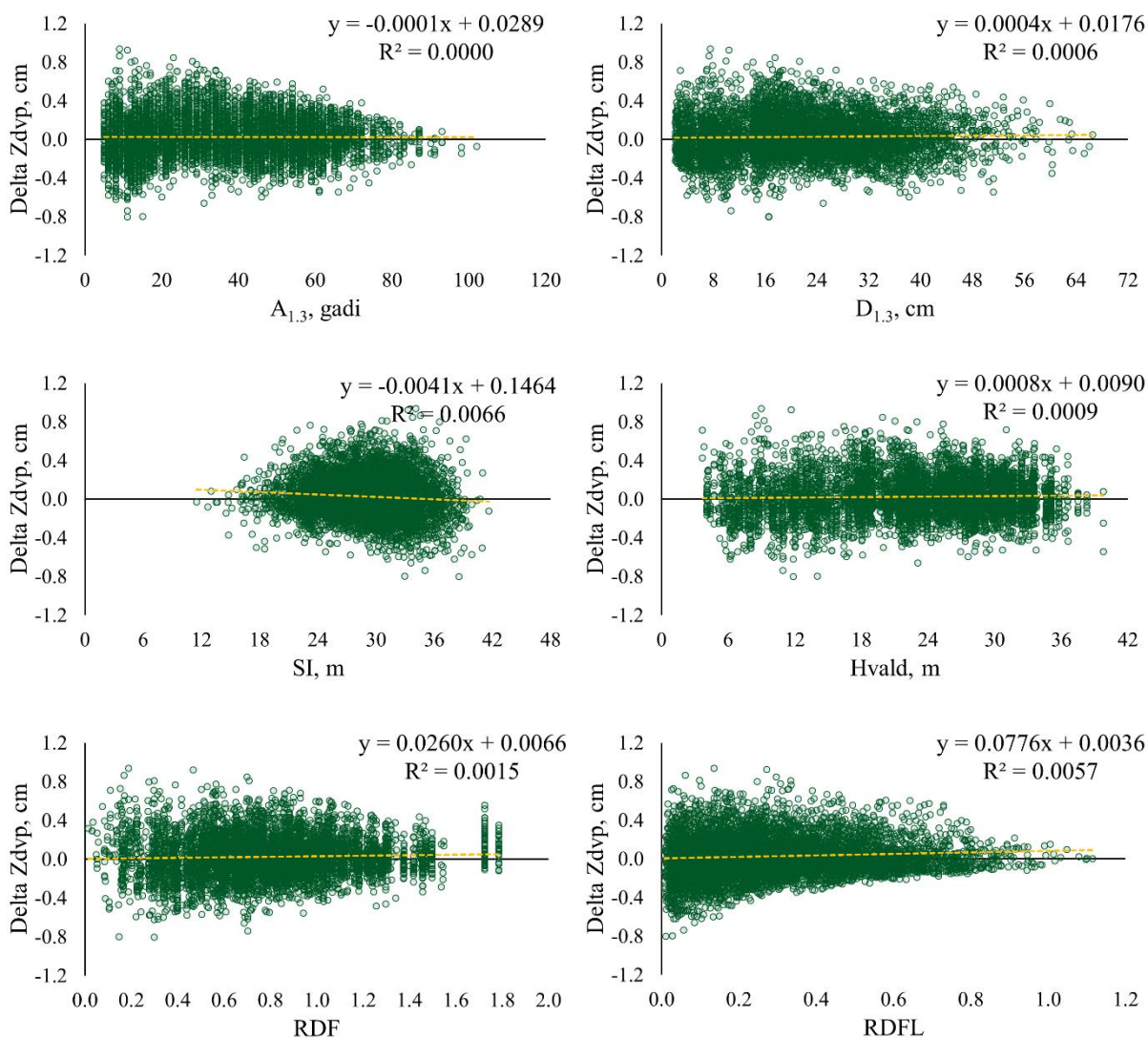
3.3. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu bērzam:

Delta Zdv – 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), Hvald – 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.



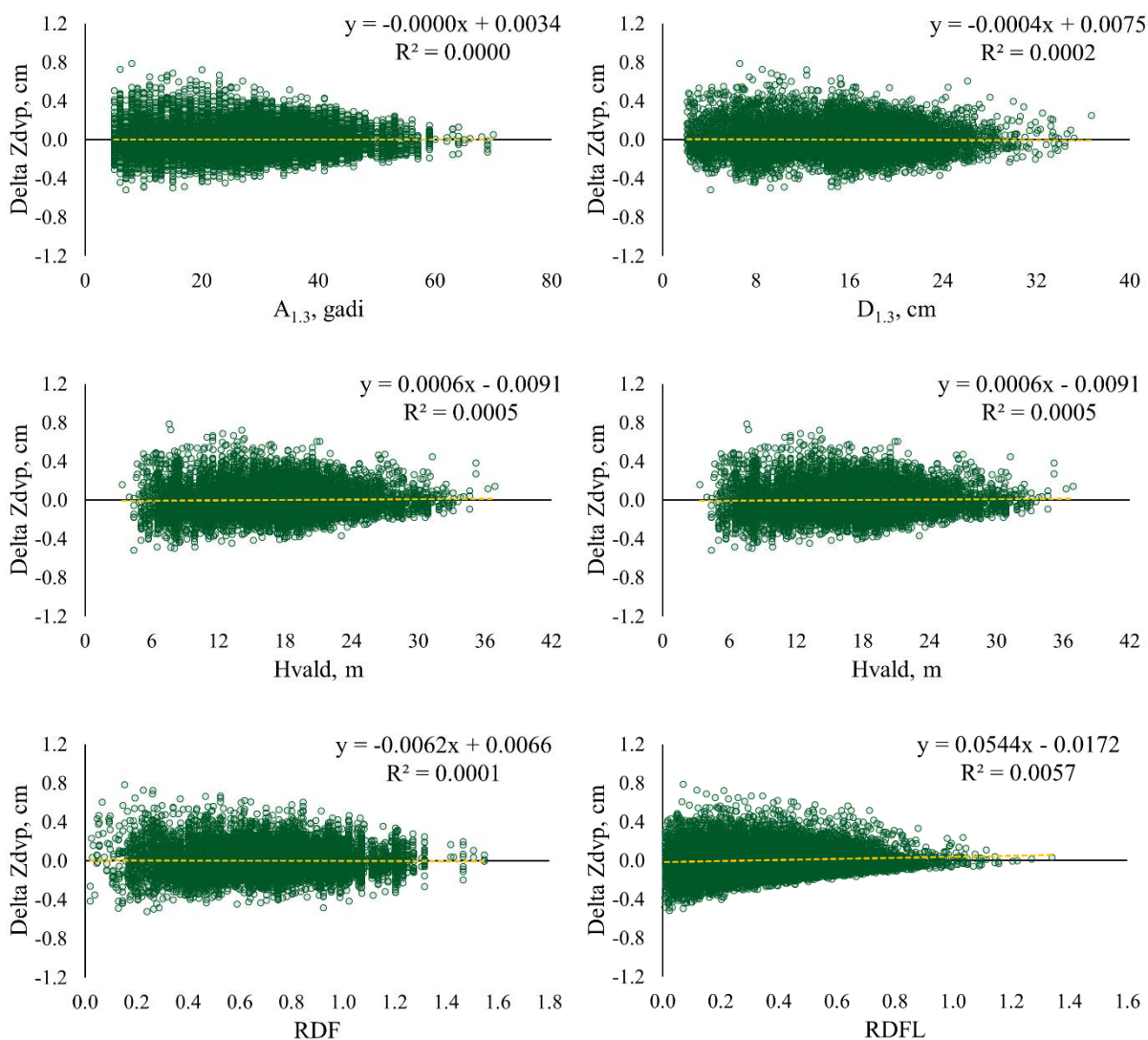
3.4. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu melnalksnim:

Delta Zdsp – 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), Hvald – 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.



3.5. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu apsei:

Delta Zdv – 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), Hvald – 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.



3.6. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto (3.1. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu baltalkšņim:

Delta Zdvp – 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), Hvald – 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.

3.1.2.2. Koku atmirums

Materiāls un metodika

Datu analīzē izmantoja datus par 171521 kokiem (priedes – 47036, egles – 52493, bērzi – 41107, melnalkšņi – 10852, apses – 6777, baltalkšņi – 13256) no 3101 MSI 2014. – 2021. 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 nākamo 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:

$$p_{comp5} = \frac{1}{1 + \exp(-(\alpha_0 + \alpha_1 \cdot d + \alpha_2 \cdot G + \alpha_3 \cdot BAL))} \quad (3.3)$$

- 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} ;
 α_0 – koeficienti.
– α_3

Varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs, aprēķināta 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, aprēķināta 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 caurmēra augšanas gaita modelēta datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows, izmantojot bināro loģistisko regresiju rīku *Binary logistic*.

Rezultāti

Balstoties uz MSI 2014. – 2021. 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 traucējumu vēja, dzīvnieku, kukaiņu vai uguns dēļ masveidā bojā gājušos kokus. Tāpat jāatzīmē, ka rezultāts, ko ar modeli iegūst, ir varbūtība, nevis binomināls rezultāts – koks ir dzīvs vai miris. Tādēļ lietotājam pašam ir jāvērtē, pie kādas prognozētās vērtības koku atzīt vai neatzīt par bojā gājušu..

**3.3. tabula. Netelpiska atsevišķu koku atmiršanas varbūtības modelis. 2021. gadā
aproximētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji (formula 3.3)**

Suga	Koeficients	Faktors	Vērtība	Standartklūda	p-vērtība
Priede	α_1	D	0,105	0,007	0,000
	α_2	G	-0,009	0,007	0,181
	α_3	BAL	-0,087	0,007	0,000
	α_0	Konstante	3,303	0,108	0,000
Egle	α_1	D	0,033	0,006	0,000
	α_2	G	0,022	0,006	0,000
	α_3	BAL	-0,051	0,006	0,000
	α_0	Konstante	3,494	0,112	0,000
Bērzs	α_1	D	0,077	0,009	0,000
	α_2	G	0,044	0,010	0,000
	α_3	BAL	-0,113	0,010	0,000
	α_0	Konstante	3,767	0,130	0,000
Melnalksnis	α_1	D	0,070	0,018	0,000
	α_2	G	0,022	0,017	0,189
	α_3	BAL	-0,073	0,016	0,000
	α_0	Konstante	3,746	0,335	0,000
Apse	α_1	D	0,141	0,017	0,000
	α_2	G	0,055	0,017	0,001
	α_3	BAL	-0,149	0,018	0,000
	α_0	Konstante	2,362	0,162	0,000
Baltalksnis	α_1	D	0,077	0,012	0,000
	α_2	G	0,070	0,012	0,000
	α_3	BAL	-0,154	0,012	0,000
	α_0	Konstante	3,304	0,182	0,000

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

3.1.3.1. Caurmēra pieaugums

Materiāls un metodika

Datu analīzē izmanto 76580 koku datus, kas no parauglaukuma centra neatrodas tālāk par 7,62 m (priedes – 18565, egles – 25431, bērzi – 18632, melnalkšņi – 4558, apses – 2959, baltalkšņi – 6435).

Caurmēra augšanas gaitas raksturošanai izmanto atsevišķu koku šķērslaukuma pieauguma modeli, kas paredzēts nākamo 5 gadu caurmēra pieauguma aprēķināšanai, kas 2021. gadā papildināts ar konkurences indeksa rādītāju:

$$i_{g5} = \exp \left(\alpha_0 + \alpha_1 \cdot \frac{SI_i}{10} + \alpha_2 \cdot \frac{10}{H_{vald}} + \alpha_3 \cdot \frac{10}{H_{vald}^2} + \alpha_4 \cdot \ln(d) + \alpha_5 \cdot \left(\frac{d}{100} \right)^2 + \alpha_6 \cdot \ln(cr) + \alpha_7 \cdot \frac{T_{sum}}{1000} + \alpha_8 \cdot c_{0-5} + \alpha_9 \cdot CI_x \right) \quad (3.6)$$

- kur i_{g5} – koka nākošo 5 gadu šķērslaukuma pieaugums, cm^2 ;
 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 ($t^\circ > 5^\circ\text{C}$) 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);
CI – konkurences indekss;
 α_{0-9} – koeficienti.

Atsevišķu koku caurmēra augšanas gaita modelēta datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows, izmantojot *Mixed Linear Model* rīku. Analizējot pieaugumu audzes līmenī vieta jeb parauglaukums ir izmantots kā *Subject variable*, līdz ar to tiek ņemts vērā, ka koki vienā parauglaukumā ir saistīti un ka koki ir atkārtoti pārmērīti.

Rezultāti

Balstoties uz MSI 2014. – 2021. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumu datiem aproksimētas koeficientu vērtības telpiskam atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modelim (3.4. 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.

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

Suga	Faktors	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	t-vērtība	p-vērtība
Priede	Intercept	α_0	0.66221	0.27021	2.451	0.014
	SI / 10	α_1	0.39804	0.01188	33.498	0.000
	10 / Hvald	α_2	-0.16316	0.10628	-1.535	0.125
	10 / Hvald ²	α_3	0.17880	0.27799	0.643	0.520
	Ln(D)	α_4	0.84844	0.03139	27.031	0.000
	(D / 10) ²	α_5	0.22216	0.21062	1.055	0.292
	Ln(CR)	α_6	1.30489	0.06396	20.401	0.000
	Tsum / 1000	α_9	0.29493	0.07568	3.897	0.000
	C-05	α_{10}	0.16940	0.01605	10.555	0.000
	CI	α_{11}	-0.02584	0.00134	-19.348	0.000
Egle	Intercept	α_0	1.09822	0.21185	5.184	0.000
	SI / 10	α_1	0.39586	0.00908	43.593	0.000
	10 / Hvald	α_2	-0.23239	0.08580	-2.708	0.007
	10 / Hvald ²	α_3	1.98632	0.32711	6.072	0.000
	Ln(D)	α_4	0.74593	0.02048	36.419	0.000
	(D / 10) ²	α_5	1.34851	0.26989	4.997	0.000
	Ln(CR)	α_6	3.07481	0.13559	22.677	0.000
	Tsum / 1000	α_9	0.28689	0.07382	3.886	0.000
	C-05	α_{10}	0.39110	0.01556	25.139	0.000
	CI	α_{11}	-0.01183	0.00059	-20.030	0.000
Bērzs	Intercept	α_0	-0.67478	0.27262	-2.475	0.013

Suga	Faktors	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	t-vērtība	p-vērtība	
	SI / 10	α_1	0.81058	0.01156	70.147	0.000	
	10 / Hvald	α_2	0.53344	0.10015	5.326	0.000	
	10 / Hvald ²	α_3	-1.04158	0.34866	-2.987	0.003	
	Ln(D)	α_4	1.23110	0.02401	51.269	0.000	
	(D / 10) ²	α_5	-2.57678	0.30241	-8.521	0.000	
	Ln(CR)	α_6	2.43263	0.07592	32.040	0.000	
	Tsum / 1000	α_9	0.23452	0.09627	2.436	0.015	
	C-05	α_{10}	0.26475	0.01967	13.456	0.000	
	CI	α_{11}	-0.01006	0.00084	-11.989	0.000	
	Melnalksnis	Intercept	α_0	-1.28279	0.54336	-2.361	0.018
		SI / 10	α_1	0.61555	0.02632	23.385	0.000
10 / Hvald		α_2	1.34858	0.21715	6.210	0.000	
10 / Hvald ²		α_3	-4.02802	0.91247	-4.414	0.000	
Ln(D)		α_4	1.30098	0.05584	23.298	0.000	
(D / 10) ²		α_5	-1.70320	0.67793	-2.512	0.012	
Ln(CR)		α_6	1.84033	0.13164	13.980	0.000	
Tsum / 1000		α_9	0.39175	0.18786	2.085	0.037	
C-05		α_{10}	0.14741	0.04712	3.128	0.002	
CI		α_{11}	-0.01483	0.00193	-7.696	0.000	
Apse		Intercept	α_0	1.68419	0.26704	6.307	0.000
	SI / 10	α_1	0.37783	0.02656	14.223	0.000	
	10 / Hvald	α_2	0.43194	0.18228	2.370	0.018	
	10 / Hvald ²	α_3	-1.67881	0.57266	-2.932	0.003	
	Ln(D)	α_4	1.43622	0.04589	31.297	0.000	
	(D / 10) ²	α_5	-2.10521	0.34095	-6.175	0.000	
	Ln(CR)	α_6	3.44831	0.14787	23.321	0.000	
	Tsum / 1000	α_9	0.00000	0.00000	0.000	0.000	
	C-05	α_{10}	0.25341	0.03216	7.879	0.000	
	CI	α_{11}	-0.00504	0.00179	-2.811	0.005	
	Baltalksnis	Intercept	α_0	-1.02501	0.47657	-2.151	0.032
SI / 10		α_1	0.75199	0.03285	22.893	0.000	
10 / Hvald		α_2	1.47166	0.17172	8.570	0.000	
10 / Hvald ²		α_3	-3.11407	0.73450	-4.240	0.000	
Ln(D)		α_4	1.51331	0.04863	31.120	0.000	
(D / 10) ²		α_5	-9.67411	1.30093	-7.436	0.000	
Ln(CR)		α_6	2.12914	0.13012	16.363	0.000	
Tsum / 1000		α_9	0.29874	0.17339	1.723	0.085	
C-05		α_{10}	0.31338	0.03317	9.447	0.000	
CI		α_{11}	-0.01367	0.00135	-10.093	0.000	

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 0.07 cm gadā, kas attiecinot to pret vidējo pieaugumu svārstās no 1.2% līdz 19.1% (3.5. tabula).

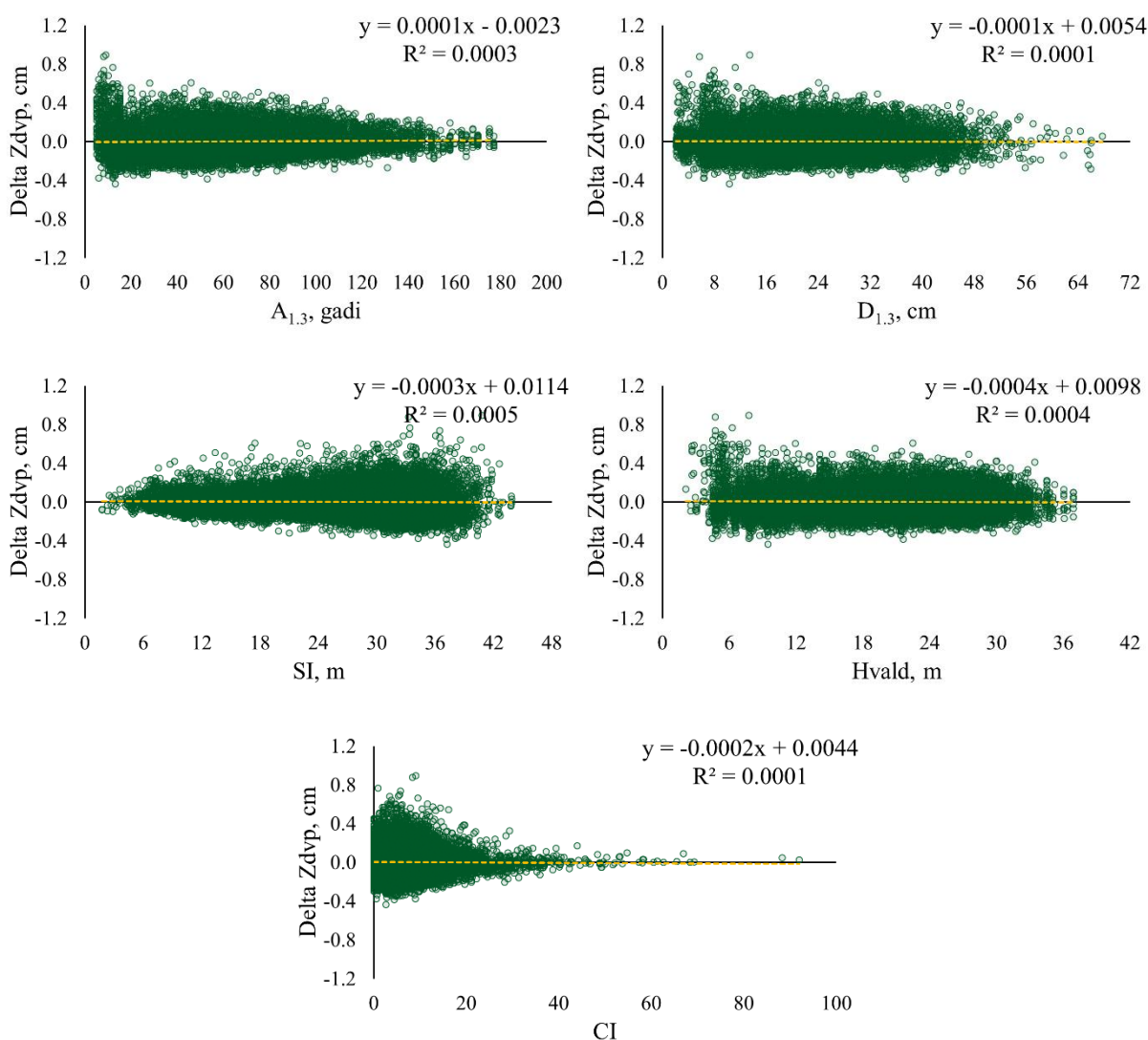
Telpiskajam atsevišķa koka šķērslaukuma pieauguma modelim, salīdzinot uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko caurmēra pieaugumu, nav konstatētas korelatīvas novirzes ar koka vecumu, caurmēru, koka un audzes bonitāti jeb ražību un audzes biežību (3.1. – 3.6. attēli).

3.5. tabula. Atsevišķa koka caurmēra augšanas gaitas modeļa (3.6. formula) prognozētā ikgadējā caurmēra pieauguma statistiskie rādītāji ar 2022. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām

Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R2	N
Priede	0.23	0.00	1.16	0.09	0.12	54.17	0.015	0.521	0.460	0.480	18565
Egle	0.30	-0.06	-19.14	0.14	0.18	60.69	0.033	0.636	0.625	0.443	25431
Bērzs	0.29	-0.02	-5.73	0.13	0.17	58.48	0.028	0.458	0.720	0.557	18632
Melnalksnis	0.30	0.01	3.94	0.13	0.17	55.55	0.027	0.582	0.565	0.430	4558
Apse	0.51	-0.07	-14.37	0.18	0.23	45.78	0.055	0.585	0.805	0.507	2959
Baltalksnis	0.28	-0.03	-11.83	0.13	0.16	56.72	0.026	0.575	0.732	0.477	6435

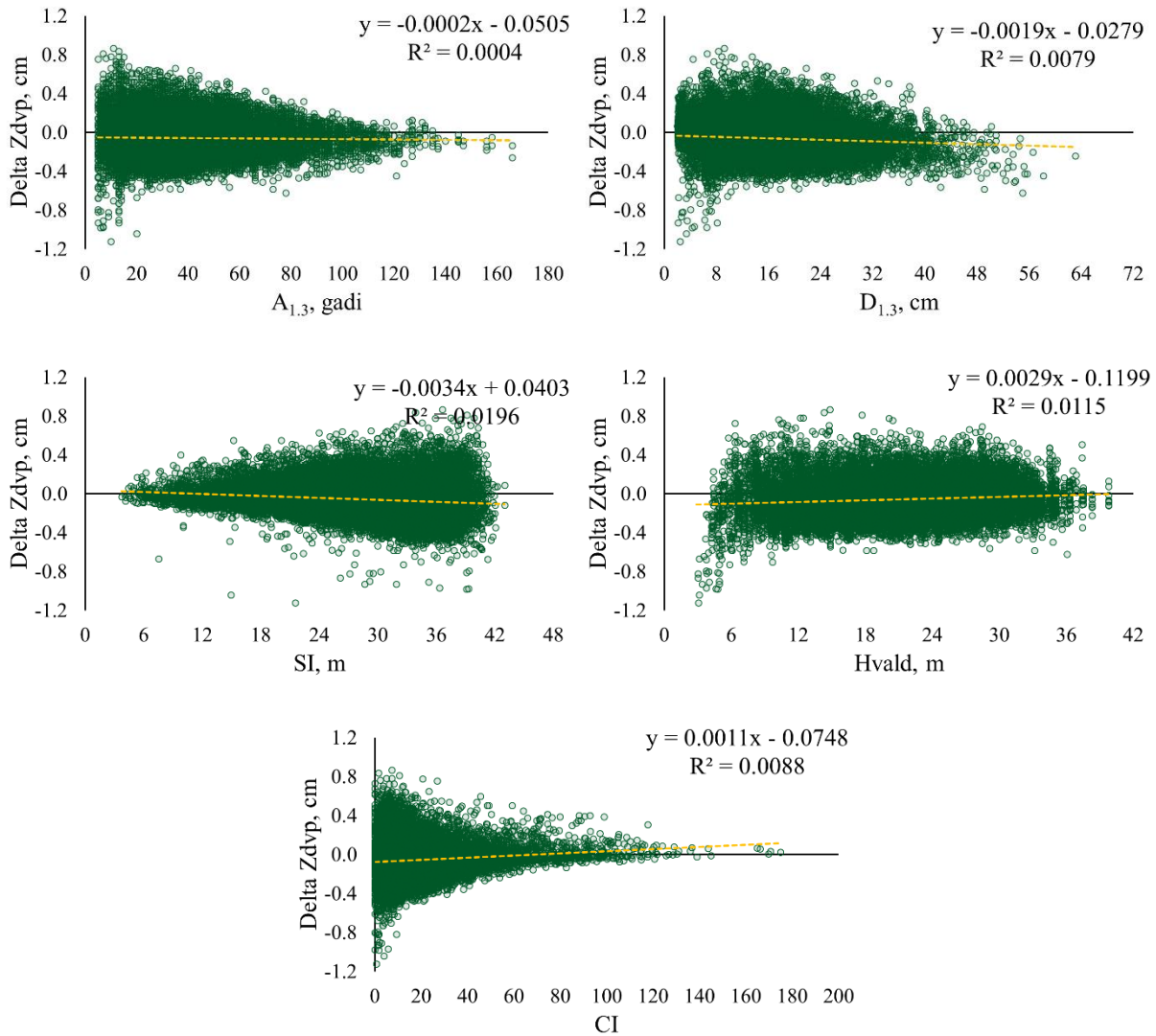
platlapji – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis;

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



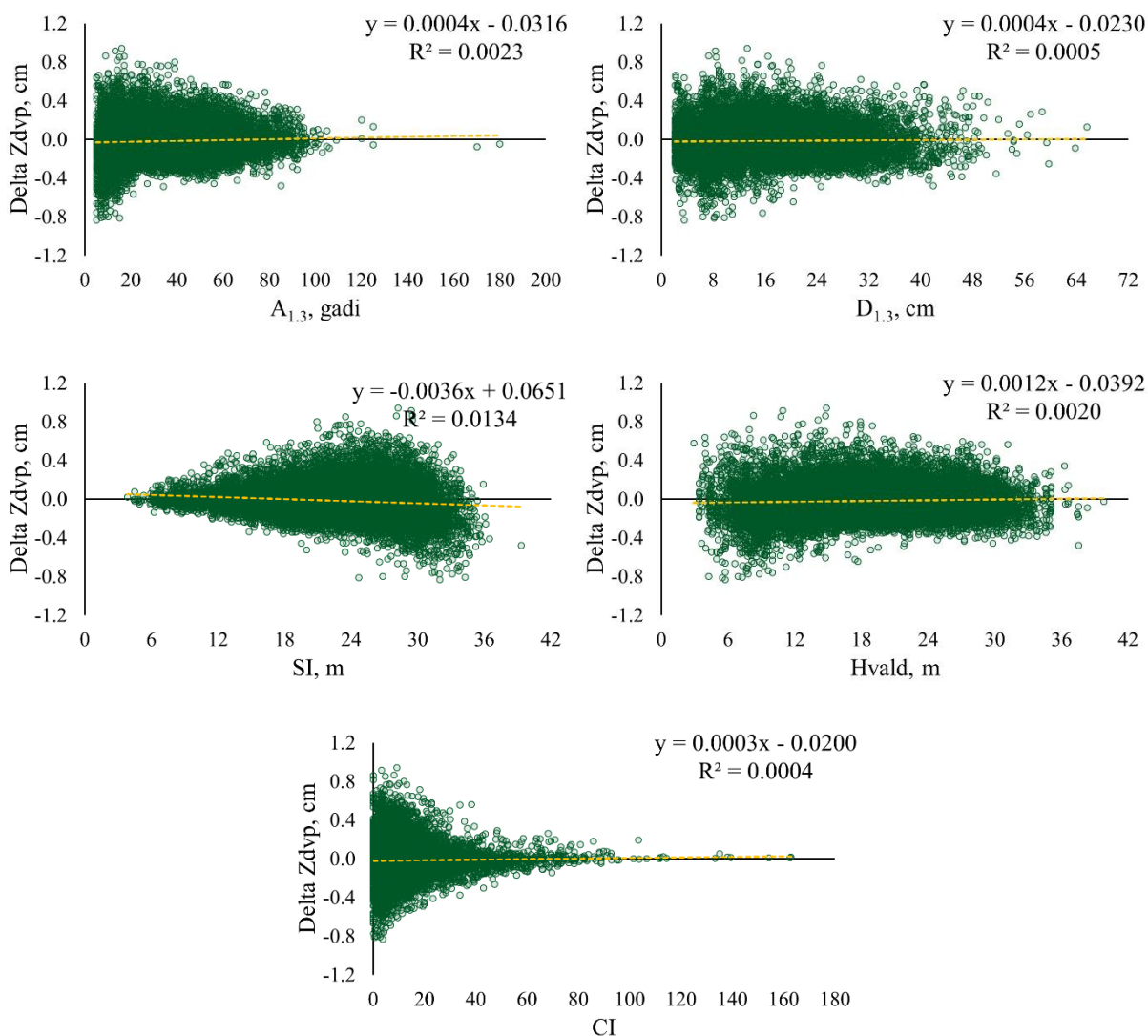
3.7. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.6. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu priedei:

Delta Zdvp – 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.



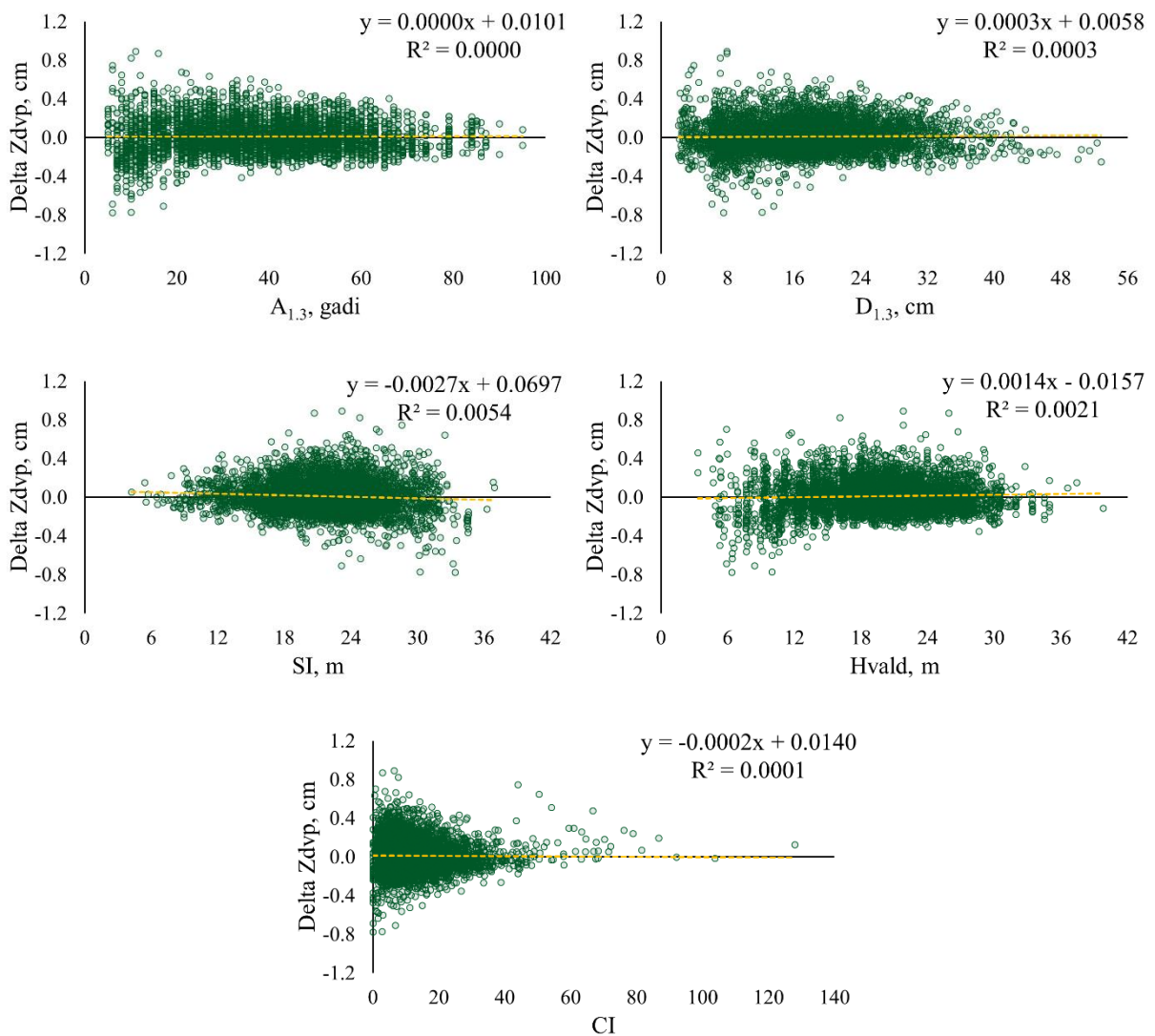
3.8. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.6. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu eglei:

Delta Zdvp – 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.



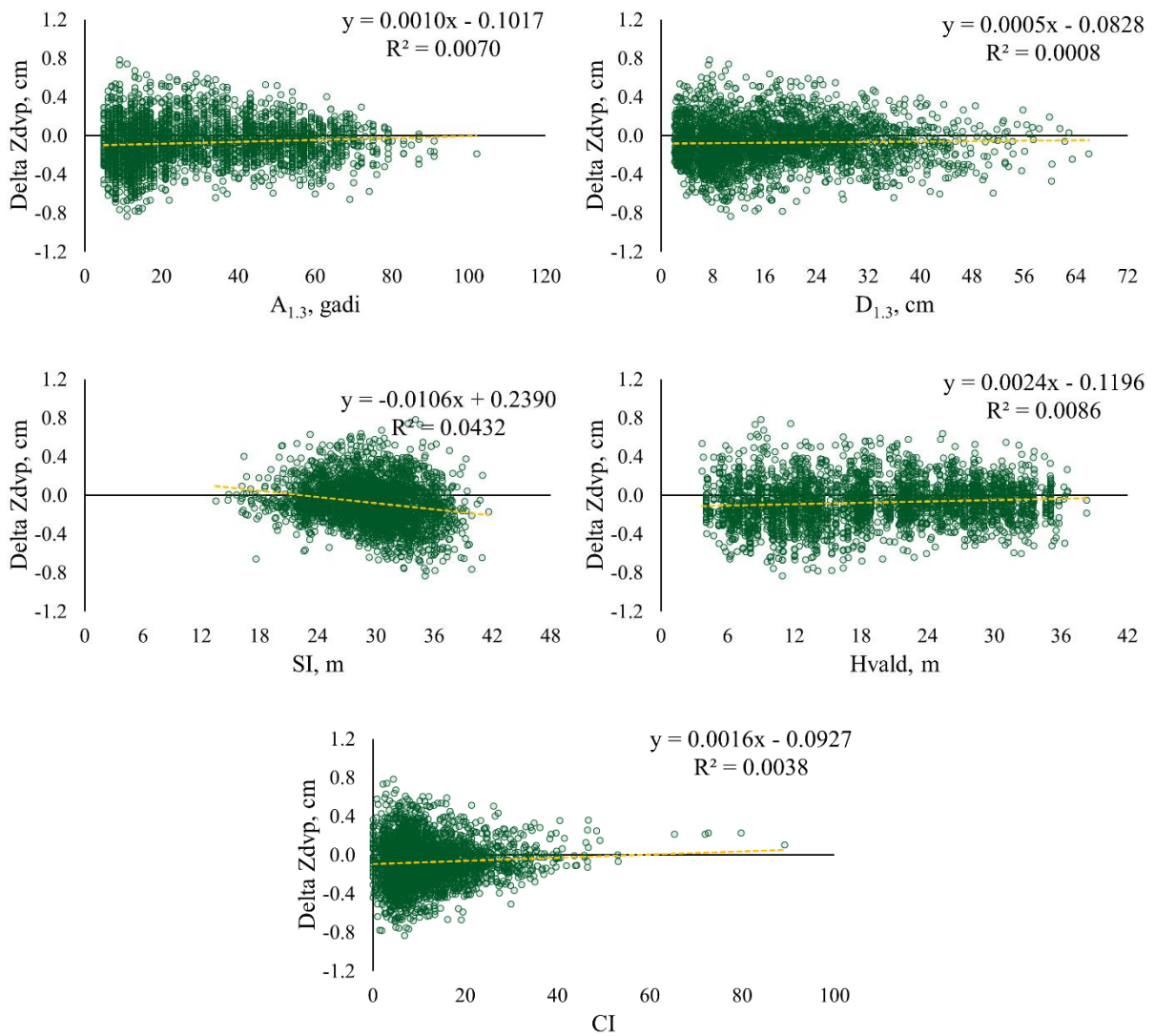
3.9. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto (3.6. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu bērzam:

Delta Zdvp – 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), Hvald – mežaudzes valdaudzes augstums (koku, kas resnāki par mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo kvadrātisko caurmēru, aritmētiski vidējais augstums), CI – konkurences indekss.



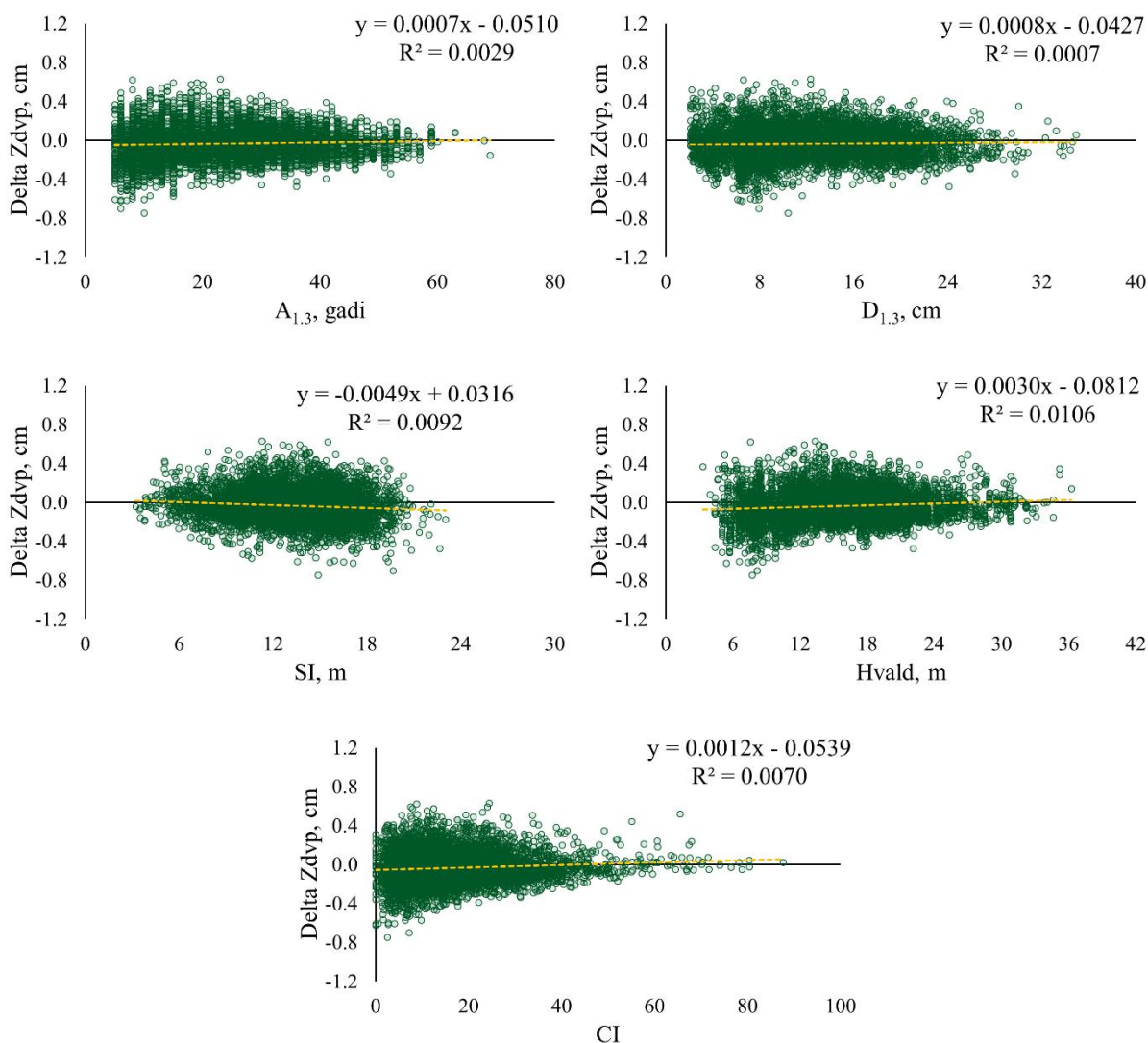
3.10. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.6. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu melnalksnim:

Delta Zdvp – 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.



3.11. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.6. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu apsei:

Delta Zdvp – 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, aritmētiskais vidējais augstums), CI – konkurences indekss.



3.12. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto (3.6. formula) caurmēra vidējo periodisko pieaugumu baltalksnim:

Delta Zdvp – 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.

Koka atmirums

Materiāls un metodika

Aprēķinos izmantota tā pati paraugkopa, kas “netelpiskā modeļa” gadījumā. “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 atmirīs nākošo piecu gadu laikā “telpiska modeļa” gadījumā izmantots sekojošs vienādojums:

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

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

3.6. tabula. Telpiska atsevišķu koku atmiruma modeļa (3.7. formula) 2022. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

Koka suga	Faktors	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	Būtiskums
Priede	G	b1	-0.07123	0.00748	0.000
	BAL	b2	0.05776	0.00357	0.000
	CI	b3	0.03322	0.00413	0.000
	konstante	b4	-3.88245	0.14655	0.000
Egle	G	b1	-0.02254	0.00582	0.000
	BAL	b2	0.00483	0.00220	0.060
	CI	b3	0.01574	0.00178	0.000
	konstante	b4	-3.70903	0.12279	0.000
Bērzs	G	b1	-0.04531	0.00685	0.000
	BAL	b2	0.03132	0.00356	0.000
	CI	b3	0.02605	0.00209	0.000
	konstante	b4	-3.76516	0.11348	0.000
Melnalksnis	G	b1	-0.05421	0.01319	0.000
	BAL	b2	0.05751	0.00676	0.000
	CI	b3	0.02344	0.00560	0.000
	konstante	b4	-4.18547	0.27302	0.000
Apse	G	b1	-0.08525	0.01407	0.000
	BAL	b2	0.02841	0.00677	0.000
	CI	b3	0.02516	0.00457	0.000
	konstante	b4	-2.48857	0.17613	0.000
Baltalksnis	G	b1	-0.02984	0.00813	0.000
	BAL	b2	0.03265	0.00433	0.000
	CI	b3	0.02774	0.00290	0.000
	konstante	b4	-3.12910	0.12479	0.000

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

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

Materiāls un metodika

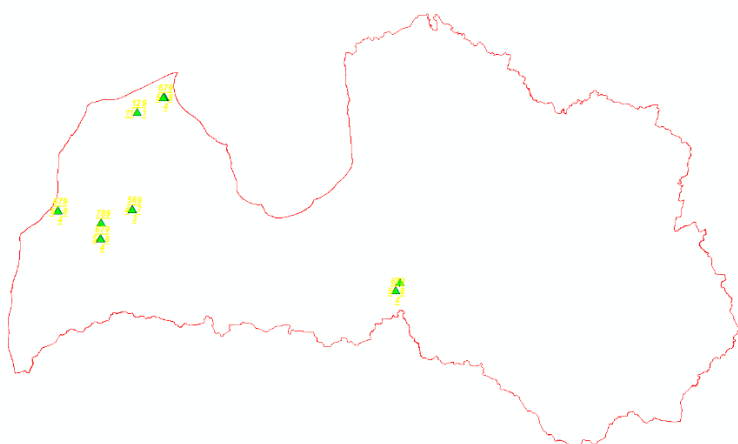
Pētījuma vajadzībām izvēlēti 10 objekti no 2021. g. vai 2022. g. sākumā pārmērītajiem objektiem, kuros lauku darbos veikta individuāla koka uzmērīšana vietējā koordinātu sistēmā, un kuri atbilda prasībām, kādas nosaka lidojuma drošības nosacījumi. Izvēlēto pētījumu objektu saraksts ir 3.7. tabulā un izvietojuma shēma 3.13. 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. 6. cikla CIR un RGB attēli. LĢIA LiDAR skenēšana Kurzemē (DK, ZK) veikta 2016.g., bet Vidusdaugavas (VD) objektiem - 2015. g., kas nozīmē, ka lāzerskenēšana veikta 1 - 2 gadus pirms parauglaukumu ierīkošanas un eksperimentu iekārtošanas.

Datorprogrammā FUSION 4.21. aprēķināti digitālais virsmas modelis (DSM), digitālais zemes virsmas modelis (DTM) un koku vainagu augstumu modelis (CHM) 1m² lielam pikselim. CHM slāni vietas, kurās nav vērtību ("no value") aizstātas ar 0.

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

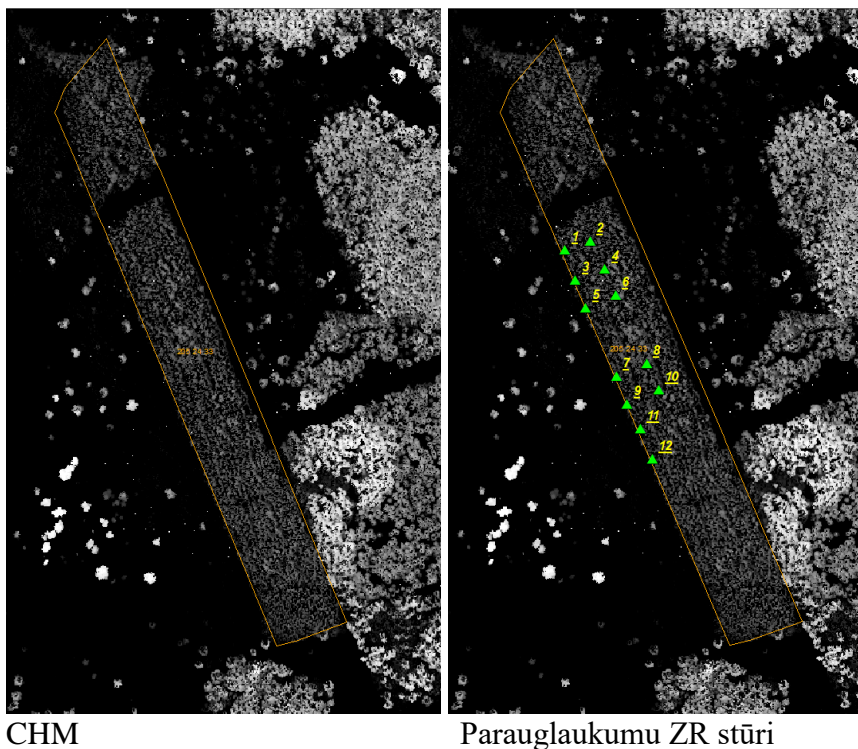
Nrpk	Reģions	Objekts	PL skaits	D, min	MT	Bon	A	Sastāvs
1.	DK	205-24-33	12	4.1	Vr	Ia	27	9E1B ats.P,Oz
2.	DK	205-92-61	12	4.1	Vr	Ia	27	9E1Oz ats.P
3.	DK	206-12-9	12	6.1	Dm	I	67	9P1E
4.	VD	505-108-8	12	4.1	Mr	I	28	10P
5.	VD	505-176-13	10	4.1	Mr	I	28	10P ats.E
6.	VD	505-93-11	10	6.1	Mr	I	51	10P
7.	ZK	702-152-5	12	4.1	Sl	III	57	10P
8.	ZK	703-113-22	10	6.1	Ap	I	54	7B2E1M+Os ats. A
9.	ZK	703-126-1	10	4.1	Dms	I	41	8E2P ats.B
10.	ZK	708-256-16	10	4.1	As	Ia	25	10P+B



3.13.attēls. Objektu shematisks izvietojums Latvijā

Rezultāti

Atbilstoši metodikai visiem 10 objektiem izveidoti DTM, DSM un CHM attēli ar 1m pikseli (skat. piemēru 3.14. attēlā), kas saglabāti .img un .tiff formātā.



3.14. attēls. Pētījumu objekta (205-24-33) CHM, parauglaukumu stūri izvietojums. (CHM veidots no LĢIA (c) las datu failiem.

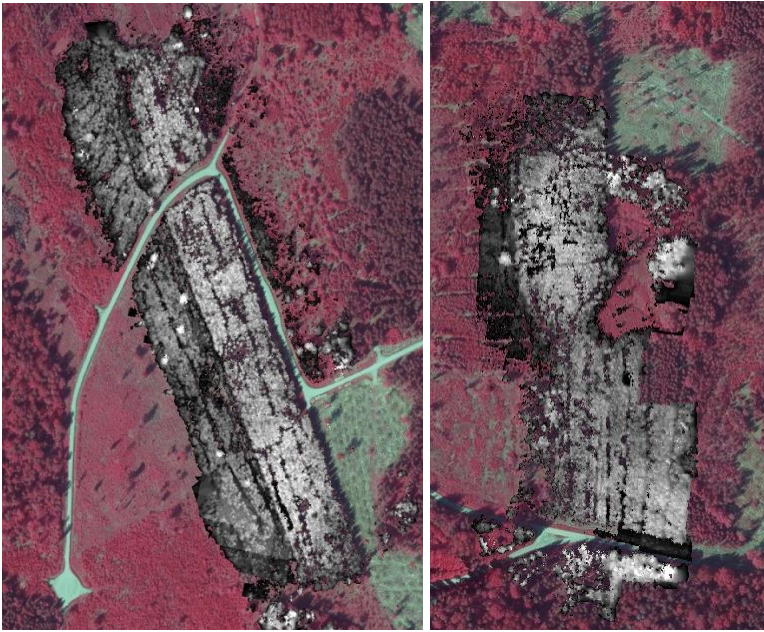
3.2.2. Aerofotoainu ieguve izmantojot multispektrālo kameru, kas uzmontēta uz drona

Materiāls un metodika

3.7. tabulā uzskaitītajos objektos aerofoto ainas iegūtas 2022. g. augustā 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.

Rezultāti

Atbilstoši metodikai iegūti 854 attēlu (RGB). Atsevišķa objekta skenēšanā izveidoti no 53 līdz 176 attēli. Samontēto attēlu, kurā pikselim aprēķināta virsmas augstuma vērtība piemērs attēlots 3.15. attēlā.



3.15. attēls. Piemērs ar augstumu virsmu, kas iegūta ar fotogrammetrijas metodēm. Fona karte LĢIA © CIR karte.

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

Materiāls un metodika

Individuāla koka detektēšanai izmantoti izmantoti:

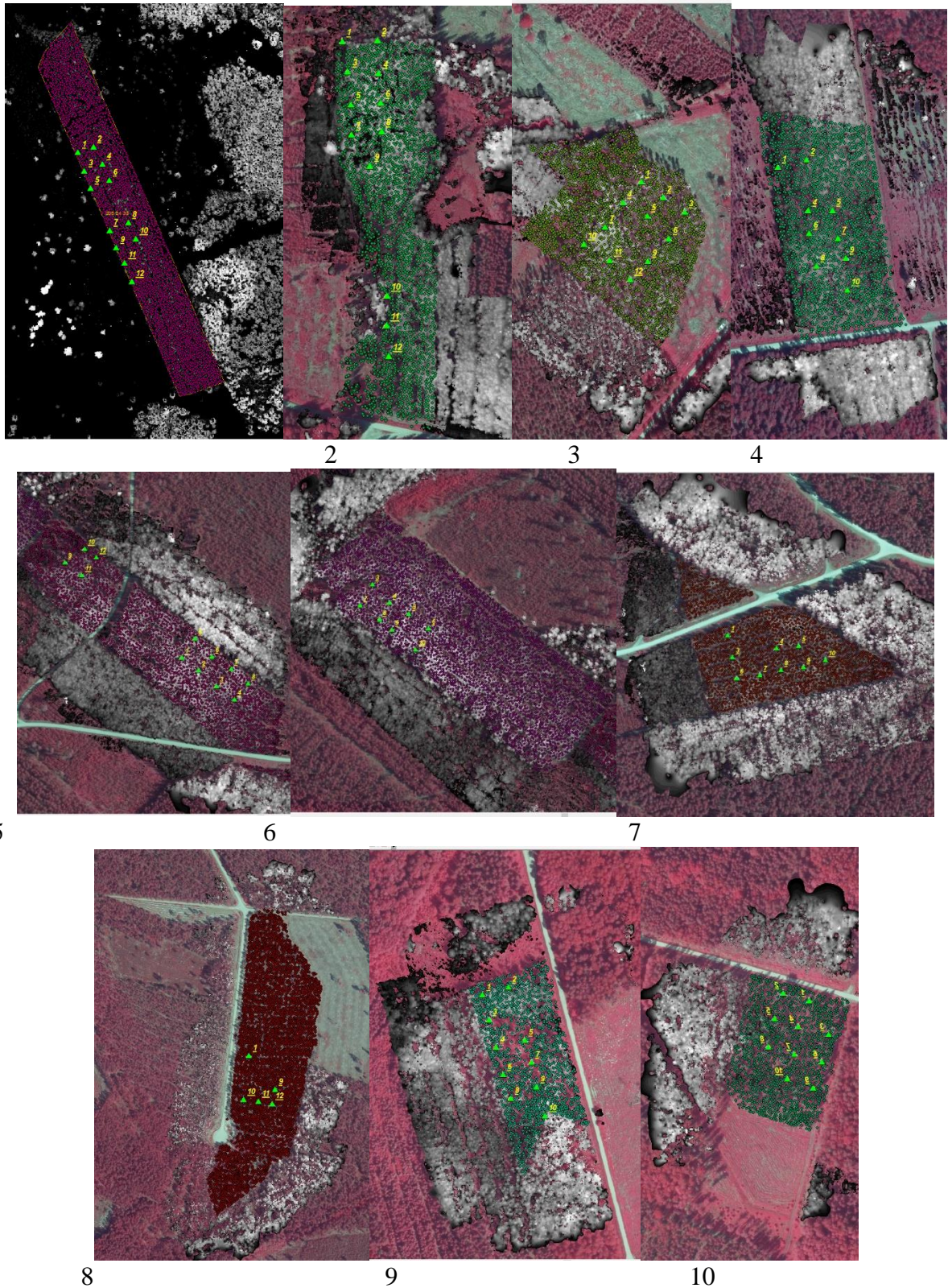
- No drona lidojuma RGB datiem ģenerētie kopšanas ciršu parauglaukumu teritoriju DTM, DSM (stāvoklis 2022.g.),
- No LĢIA .las failiem veidotais kopšanas ciršu parauglaukumu teritoriju DTM, DSM, CHM slānis (stāvoklis 2015., 2016.gadā).

Individuāli koku augstumu no virsmas modeļa izdala aprēķinot vietējo maksimumu (Local maximum) izmantojot QGIS programmā pieejamo r.neighbors algoritmu, kas pielāgots individuālu koku augstuma noteikšanai no fotogrammetrijas vai LiDAR punktu mākoņiem (Ivanovs and Lazdins, 2018). Virsmas modelis tika apstrādāts izmantojot kustīgo logu (Moving windows) principu, lai noteiktu lokālos maksimumus, kas tika uzskatīti par individuāliem kokiem. Pārvietojot logu tika atrasta maksimālā vērtība virsmas reljefa attēlā ar iestatīto loga izmēru un aizstāta centrālā šūna ar šo vērtību. Kustīgā loga izmērs ar fotogrammetrijas metodi iegūtajam 2022.g. datiem tika iestatīts kā 6 rastra šūnas, kas nozīmē, ka kokiem bija jāatrodas vismaz 1,2 m attālumā vienam no otra (ja vienam kokam bija vairāk par vienu galotni, tad piefiksēja visas. Virsotņu meklēšanai tika izmantotas katrā virzienā tuvākās 11 (5+1+5) kaimiņu šūnas. Minimālais punkta augstums tika norādīts 5 m. Iegūtais rastra attēls tika konvertēts uz punktu vektoru slāni, kur katrs punkts atbilda individuālam kokam. Analogi aprēķini veikti izmantojot DTM un DSM, kas ģenerēti no LĢIA .las datiem. Šajā gadījumā lokālais maksimums meklēts 4 rastra šūnas.

Izmantojot ArcGIS10.5. statistikas rīku *zonal statistics* aprēķināts katra nogabala koku vidējais augstums, (min, max).

Rezultāti

Pētījumu objektu ar fotogrammetrijas metodi iegūto DSM, parauglaukumu stūru noteikšanai un ģenerēto individuālu koku slānis doti 3.16. attēlā.



3.16. attēls. Pētījumu objektu ar fotogrammetrijas metodi iegūto DSM, parauglaukumu stūru noteikšanai un ģenerēto individuālu koku slāni.

Pēc fotogrammetrijas datiem noteikts kopējais koku, kas augstāki par 5m, skaits nogabalā (3.8. tabula). Detektēto koku skaits nogabalā (ha^{-1}) svārstās no 569 līdz 622. Šeit gan jānorāda, ka detektēto koku (lokālo maksimumu) skaitu, būtiski ietekmē uzstādījumi algoritmā. Šajā gadījumā visiem nogabaliem izmantots viens un tas pats uzstādījums (koki atrodas vismaz 1,2m attālumā viens no

otra), taču modeli būtu iespējams uzlabot nosakot, ka minimālais attālums ir atkarīgs no vidējā augstuma vai kāda cita parametra.

Ar izmantoto algoritmu aprēķināts koku vidējais augstums (šajā gadījumā visu koku, kas augstāki par 5 m), tādējādi aprēķinā 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.

3.8. tabula. Ar fotogrammetrijas metodi detektētais koku skaits 2022.g. kopšanas ciršu parauglaukumu objektos.

Objekts	Detektēto koku skaits	H min, m	H max, m	H Vidēji, m	Standartnovirze, m	Nogabal platība, ha	N ha ⁻¹
205-24-33	3332	5.3	70.3	17.4	3.3	4.66	822.7
205-92-61	2031	5.1	65.7	18	3.4	2.91	697.9
206_12_9	2047	5	48.3	26.5	7	2.63	778.3
505-108-8	2462	5.4	66.1	15.1	2.2	3.94	624.9
505-176-13	1987	6.1	32.7	14.3	1.8	3.1	641.0
505-93-11	3259	5.7	34	21.3	2.5	5.42	601.3
702-152-5	4859	5	67.3	15.9	2.5	8.53	569.6
703-113-22	1360	6.3	49.1	23.1	4.4	1.8	755.6
703-126-1	1138	25.8	57.6	37.4	8.8	1.61	706.8
708-256-16	1944	17.4	48.2	31.6	5.5	2.62	742.0

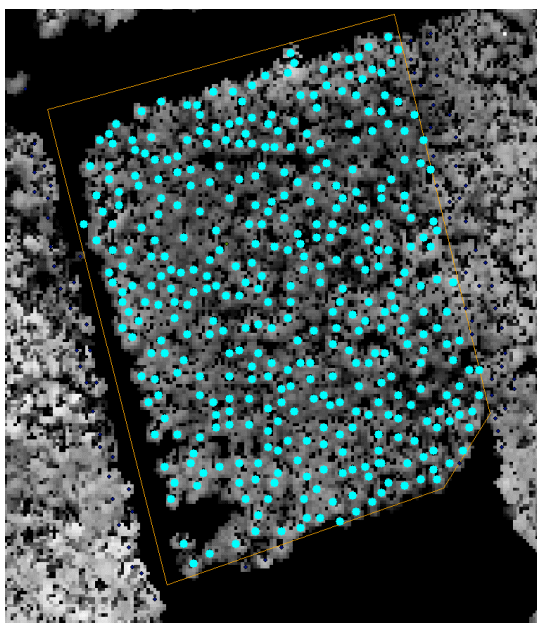
Koku skaits parauglaukumos pēc zemes mērījumu datiem 2021./2022. atspoguļots 3.9. tabulā.

3.9. tabula. Koku skaits un augstums parauglaukumos pēc parauglaukumu mērījumu datiem 2021/2022. un ar fotogrammetrijas datiem

Objekts	Pēc lauku mērījumu a datiem	Pēc fotogrammetrijas datiem	H (lauku mērījumi)/H (fotogrammetrija)	Pēc lauku mērījumu datiem	Pēc fotogrammetrijas datiem	N (lauku mērījumi)/H (fotogrammetrija)
	I.stāva H, m	H vidēji, m		I stāva N, ha ⁻¹	N	
205-24-33	17.6	17.4	1.01	888	822.7	0.93
205-92-61	18.4	18	1.02	789.8	697.9	0.88
206-12-9	25.4	26.5	0.96	400.9	778.3	1.94
505-108-8	14.9	15.1	0.99	925.9	624.9	0.67
505-176-13	14.1	14.3	0.99	1192.2	641	0.54
505-93-11	21.5	21.3	1.01	644.4	601.3	0.93
702-152-5	14.7	15.9	0.92	1062	569.6	0.54
703-113-22	23.5	23.1	1.02	423.3	755.6	1.79
703-126-1	17.6	37.4	0.47	663.3	706.8	1.07
708-256-16	16.3	31.6	0.52	721.1	742	1.03

Salīdzinot parauglaukumu mērījumu datus ar fotogrammetrijas mērījumu rezultātiem 6 no 10 objektiem vidējo augstumu atšķirība nepārsniedza 0.5m, savukārt vēl 2 atšķirība ir ~1m. Koku skaits uz ha salīdzināts tikai kā vidējais pētījuma nogabalā un pētījuma objektu parauglaukumos. Lai arī vidēji koku skaits 4 objektos koku skaita atšķirība nepārsniedz 10%, tomēr ir objekti, kurā detektētais un parauglaukumos uzmērītais koku skaits atšķiras vairāk nekā 2 reizes.

No LĢIA LiDAR datiem ģenerētā individuāla koka slāņa piemērs dots 3.17.attēlā. Savukārt objektu detektēto koku skaits dots 3.10. tabulā.



3.17. attēls. Piemērs. pētījumu objekta 703-136-1 no LĢIA LiDAR iegūto CHM un ģenerēto individuālu koku slāni.

Individuālu koku detektēšanas rezultāti izmantojot LĢIA LiDAR datus doti 3.10.tabulā.

3.10. tabula. Ar LĢIA LiDAR detektētais koku skaits 2022.g. kopšanas ciršu parauglaukumu objektos.

Objekts	Detektēto koku skaits	H min, m	H max, m	H Vidēji, m	Standartnovirze, m	Nogabala platība, ha	N ha ⁻¹
205-24-33	1320	5.71	20.5	15.1	1.8	4.66	283.3
205-92-61	916	5.77	24.4	15.3	2.1	2.91	314.8
206_12_9	635	7.21	29.1	23.5	2.6	2.63	241.4
505-108-8	1133	5.27	15.2	11.4	1.4	3.94	287.6
505-176-13	804	6.76	32.9	10.9	1.6	3.1	259.4
505-93-11	1511	5.75	33.3	19.0	1.9	5.42	278.8
702-152-5	1969	8.15	21.4	14.9	1.9	8.53	230.8
703-113-22	415	5.33	27.8	21.3	3.5	1.8	230.6
703-126-1	382	12.87	26.0	18.0	2.2	1.61	237.3
708-256-16	697	5.36	18.5	12.2	1.7	2.62	266.0

3.11. tabula. Koku skaits un augstums parauglaukumos pēc parauglaukumu mērījumu datiem (pirms cirtes) un no LĢIA LiDAR detektētais

Objekts	Pēc lauku mērījumu a datiem	Pēc LĢIA LiDAR	H (lauku mērījumi)/ H (LiDAR)	Pēc lauku mērījumu datiem	Pēc LĢIA LiDAR	N (lauku mērījumi)/ N (LiDAR)
	1.stāva H , m	H vidēji, m		I stāva N , ha^{-1}	N , ha^{-1}	
205-24-33	14.72	15.1	0.97	1806.5	283.3	0.16
205-92-61	15.99	15.3	1.05	1516.7	314.8	0.21
206-12-9	23.55	23.5	1.00	576.9	241.4	0.42
505-108-8	12.66	11.4	1.11	1265.6	287.6	0.23
505-176-13	11.51	10.9	1.06	1558.9	259.4	0.17
505-93-11	19.28	19	1.01	996.7	278.8	0.28
702-152-5	13.15	14.9	0.88	1801.2	230.8	0.13
703-113-22	22.55	21.3	1.06	660.0	230.6	0.35
703-126-1	16.08	18	0.89	1081.1	237.3	0.22
708-256-16	12.45	12.2	1.02	1560.0	266	0.17

Salīdzinot parauglaukumu mērījumu datus ar no LĢIA_LiDAR individuālu koku detektēšanas rezultātiem 4 no 10 objektiem vidējo augstumu atšķirība nepārsniedza 0.5m, savukārt vēl 2 atšķirība ir ~1m. Koku skaits uz ha salīdzināts tikai kā vidējais pētījuma nogabalā un pētījuma objektu parauglaukumos. Praktiski visos laukumos noteiktais koku skaits nepārsniedz 1/3 no reāli dabā pirms cirtes uzmērītā.

Salīdzinot 3.10 tabulas datus un 3.8. tabulas datus, konstatējams, ka LĢIA LiDAR datiem 1m CHM pikseļa gadījumā ir ģenerēts teju 3 reizes mazāku koku skaitu. Pašreizējie algoritmu uzstādījumi ir pietiekami, lai novērtētu koku augstumus mežaudzē, bet neatbilstoši individuāla koka detektēšanai un skaita noteikšanai audzēs. Tā kā atbilstoši pētījuma metodikai ar attālās izpētes metodēm paredzēts novērtēt parauglaukumus arī nākamajos pētījuma etapos, būtu jāpārskata ievades parametru (DSM pikseļu lielumu) un algoritmu (meklēšanas distances) parametru izmaiņas, lai uzlabotu atbilstību dabā mērītajam.

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

Materiāls un metodika

Pētījuma objektos parauglaukumos koki ir uzmērīti vietējā koordinātu sistēmā izmantojot kompasu (0,5⁰ noteiktība) un attālumu noteikšanai izmantots ultraskaņas attālummēru (noteiktība 1cm). Šāda precizitāte ir pietiekama, lai atkārtotos pētījumos varētu identificēt individuālu koku, kā arī, lai varētu izvērtēt koku savstarpējo konkurenci, ņemot vērā to telpisko izvietojumu. Tā kā palielinoties attālumam no parauglaukuma centra, palielinās nenoteiktība x,y koordināšu noteikšanā, parauglaukumos, kuros ir augstāka biežība, koku uzmērīšana veikta no dažādiem stāvpunktiem. Stāvpunkti savukārt piesaistīti pie kāda no parauglaukumu stūriem. Parauglaukumu malu vizūru

virzienu noteikšanai izmantoti teodolīts (5' precizitātes klase) un II precizitātes klases mērlenta. Parauglaukumu stūru koordinātu noteikšanai izmantota GPS iekārta ar submetra precizitāti. Tā kā GPS rādījumi zem koku vainagu klāja ir ar lielāku nenoteiktību – ar atbilstošo tehnoloģiju noteikto koku globālās koordinātas var visai ievērojami atšķirties no to patiesajām koordinātēm, tādēļ individuālu koku mērījumi pašreiz netiek izmantoti attālās izpētes datu precizitātes novērtēšanai individuāla koka līmenī, bet tikai vidējo vērtību salīdzināšanai. Ņemot vērā iepriekšējā nodaļā aprakstītos pētījuma rezultātus Individuāla koka detektēšanas dati pašlaik ir izmantojami tikai augstuma starpību novērtēšanai objektos.

Augstuma pieaugums aprēķināts kā vidējās vērtības pirmajā uzmērīšanas reizē un 2 uzmērīšanas reizē, un salīdzinātas ar pētījumu objektos veikto lauku mērījumu rezultātiem.

Rezultāti

Koku skaits parauglaukumos pēc lauku darbu mērījumiem pēc pirms cirtes (2016., 2017.g un 2021.g. beigās 2022. veģetācijas perioda sākumā, kā arī no attālās izpētes individuāla koka datiem noteiktie vidējie koku augstumi no LĢIA LiDAR datiem (2015.g., 2016.g.) un fotogrammetrijas datiem 2022.augustā doti 3.12. tabulā.

3.12. tabula. Koku augstumu parauglaukumos pēc parauglaukumu mērījumu datiem (pirms cirtes un 5 gadus pēc cirtes) un ar attālās izpētes metodēm noteiktie.

Objekts	H16RS*	H22RS	H (LD pirms)	H (LD22)	starpība RS	starpība LD	Attiecība LD/RS
205-24-33	15.1	17.4	14.72	17.62	2.3	2.90	1.2610
205-92-61	15.3	18	15.99	18.50	2.7	2.50	0.9278
206-12-9	23.5	26.5	23.55	25.38	3	1.83	0.6108
505-108-8	11.4	15.1	12.66	14.87	3.7	2.21	0.5976
505-176-13	10.9	14.3	11.51	13.67	3.4	2.17	0.6369
505-93-11	19	21.3	19.28	21.44	2.3	2.16	0.9402
702-152-5	14.9	15.9	13.15	14.74	1	1.59	1.5857
703-113-22	21.3	23.1	22.55	23.82	1.8	1.26	0.7021
703-126-1	18	37.4	16.08	17.41	19.4	1.34	0.0688
708-256-16	12.2	31.6	12.45	16.07	19.4	3.62	0.1864

H16 RS – aprēķinātie vidējie no individuāla koka augstuma pēc LiDAR datiem (2015.,2016.g.),

H22RS – aprēķinātie vidējie no individuāla koka augstuma pēc fotogrammetrijas datiem 2022.g.

H (LD pirms) – aprēķinātie augstumi pēc lauku darbu mērījumiem pirms cirtes uzmērījumā

H (LD22) – aprēķinātie augstumumi pēc lauku darbu mērījumiem 2021., 2022.g.

Starpība starp aprēķinātajiem augstumiem 6 vai 7 gadus starp attālās izpētes metožu mērījumiem, atmetot acīmredzami kļūdainos 703-126-1 un 708-256-16 datus ir 2,52m. Tajā pat laikā 5 gadu laikā pēc cirtes augstumu starpība šiem pašiem objektiem ir 2,08m. Šajā gadījumā būtiski norādīt, ka tiek salīdzinātas ar dažādām metodēm un līdzīgu, bet dažādu garuma periodu dati. Tomēr jānorāda, ka individuāla objekta gadījumā atšķirības starp attiecībās starp lauku darbu mērījumu rezultātiem un attālās izpētes datu rezultātiem atšķiras no 0,6 līdz 1,6 reizēm. Ir pamats uzskatīt, ka lauku darbu mērījumu rezultāti ir tuvāki patiesajām vērtībām nekā ar attālās izpētes metodēm iegūtie dati, tādēļ nākamajos pētījumu posmos jāpilnveido individuālu koku detektēšanas algoritmi t.sk. datu pirmastrādes algoritmus, pēc to pilnveides uzlabojami arī augšanas gaitas vienādojumi.

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 kokaudzes (objektu sakastu un vispārējos taksācijas rādītājus skat. 4.1.tabula).

Katrā objektā atkarībā no konfigurācijas ierīkoti 3 - 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, vainaga sākuma augstums, kā arī vainaga platums.

4.1.tabula. Pētniecisko objektu taksācijas apraksti LVM datu bāzē

Ap	KV	NOG	ANOG	PLAT	Meža tips	Valdošā suga	Vecums	H10, m	D10, cm	G10, m ² ha ⁻¹	V10, m ³ ha ⁻¹
107	483	51	0	3.7	Vr	E	15	9	13	17	96
108	59	12	0	1.53	Ap	E	15	6	12	24	60
203	463	8	0	1.34	Dm	B	14	11	11	–	75
204	243	23	0	6	Vr	B	18	10	11	–	36
204	298	3	0	2.02	Vr	B	18	18	18	24	199
205	136	14	0	1.09	Dm	E	15	10	10	–	56
307	185	28	0	1.09	Dm	E	15	9	11	–	48
311	196	32	0	4.85	Vr	E	18	8	12	–	40
311	275	1	0	4.65	Dm	B	19	14	12	13	87
312	160	41	0	2.65	Vr	E	15	8	11	15	68
407	229	27	0	1.19	Vr	E	16	9	9	–	60
502	618	14	0	2.35	Dm	B	24	20	16	17	155
508	455	2	0	4.81	Vr	B	15	15	13	11	78
509	411	8	0	2.65	Vr	B	18	18	17	20	166
604	265	51	1	1.01	Dm	B	17	12	12	9	92
801	331	3	0	5.21	Dm	B	13	14	12	14	94

Rezultāti

Audzū taksācijas rādītāji atspoguļoti 4.2. tabulā. Vairumā gadījumu plantācijas ir tīraudzes. Izņēmums paraugkopā ir 108-59-12 objekts, kurā E stādījumā piemistrojumā ir saglabāties bērzs, blīgzna un baltaksnis. 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. Vidēji uzmērītie augstumi ir par 1.7 m lielāki nekā prognozētie. Savukārt

uzmērītais valdošās koku sugas caurmērs kopumā sakrīt ar MVR algoritma prognozēto – atšķirība vidēji ir 0.1cm. Tomēr jānorāda, ka daļa no plantāciju stādījumiem, kurus vizuāli izvērtējam pēc LĢIA ortofoto attēliem objektu atlasēs fāzē, ir ieaugušies nevienmērīgi. Šādu objektu īpatsvara noteikšana, lai varētu izvairīties no pārāk optimistiska meža resursu attīstības modeļu izveides, varētu būt atsevišķs pētījuma darba uzdevums.

4.2.tabula. Pētniecisko objektu taksācijas apraksti pēc lauku mērījumiem

Objekts	I stāvs					
	Sastāvs	D	H	G	M	N
		cm	m	m ² ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	ha ⁻¹
107-483-51	10E	12.1	9.2	19.85	97.9	1725
108-59-12	7E1Ba1B11B	8.6	7.9	26.60	135.9	8450
203-463-8	10B	11.6	13.0	10.70	68.3	1005
204-243-23	10B	12.5	15.7	16.10	121.0	1305
204-298-3	10B ats.A ats. Ba	14.1	18.4	19.15	166.5	1230
205-136-14	10E +P ats. Ba	13.1	10.4	14.36	80.2	1055
307-185-28	10E ats. P	13.5	10.8	15.04	86.3	1045
311-196-32	10E	14.2	11.6	15.30	92.7	970
311-275-1	10B	11.8	17.0	12.12	98.9	1100
312-160-41	10E	12.3	10.0	13.02	70.8	1095
407-229-27	10E ats. B	10.1	7.7	9.25	41.7	1150
502-618-14	10B+ Eats. Ba	16.1	22.6	15.18	151.7	830
508-455-2	10E ats. A ats. Ba	13.0	15.6	13.88	122.8	1070
509-411-8	10B ats. Ba	12.3	16.8	23.02	187.3	1930
604-265-51.1	10E	12.0	17.6	18.90	198.7	1680
801-331-3	10B	10.7	14.1	15.34	105.8	1715

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

Materiāls un metodes

Pētījuma etapā veikta visu stādīto koku uzņēmēšana astoņos stādījumos uz neizmantotām lauksaimniecības zemēm (4.1. attēls, 4.3.tabula):

1) Saldus reģionā divos stādījumos ir attiecīgi 4 un 5 pārmērījumi 30 un 46 proveniencēm. Egles pēdējo reizi pārmērītas 45 un 42 gadu vecumā.

2) Dati no Lietuvas objektiem, kas dod mērījumus agrā vecumā 5; 7; 12 un 18 gados – precīzākai sākotnējās augšanas gaitas modelēšanai.

3) trīs bērzu stādījumi Zemgales, Vidusdaugavas un Vidzemes reģionos ar 44 ģimenēm katrā stādījumā

Augšanas gaitas rekonstrukcijai ievākti pieauguma urbumi 4 stādījumos, veikta iegūto urbuma skaidu pirmapstrāde.

4.3. tabula. Agrāk iekārtoto pētījumu objektu saraksts

Nr	Valdošā koku suga	Stādīšanas biežums	Retināšana pirms noslēdzošā mērījuma	Uzmērīšanas vecums	Ģimeņu skaits	uzmērītās audzes platība m ²
Saldus-2	Egle	2x1 m	Ir	24, 26, 34, 45	30*	5970
Saldus-5	Egle	2x1 m	Ir	15, 17, 18, 31, 42	46*	10726
Šiaulių (LT)	Bērzs	2x1.5 m	Nav	5, 7, 12, 18	110	15390
Šilutės (LT)	Bērzs	2x1.5 m	Nav	5, 7, 12, 18	113	15270
Dubravos (LT)	Bērzs	2x1.5 m	Nav	5, 7, 12	111	14529
1	Bērzs	2 × 2.5 m	Ir	10, 14, 22	44**	8820
2	Bērzs	2 × 2.5 m	Ir	10, 14, 22	44**	5630
3	Bērzs	2 × 2 m	Ir	10, 14, 21	44**	16500

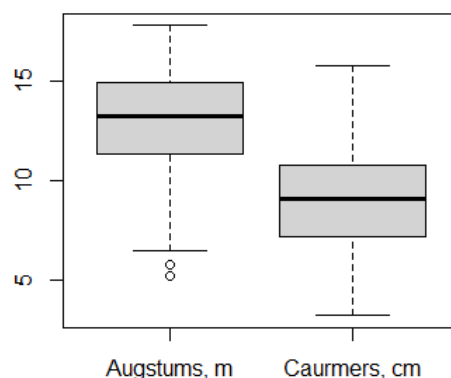
*proveniences

**ģimeņu skaits šajā uzmērījumā, nevis kopējais



4.1.attēls. Pārmērīta bērza stādījuma ortofoto uzņēmums

Katrā objektā uzmērīti visu dzīvo koku augstumi un caurmēri, atzīmēti bojājumi (padēls, dubultā galotne, vairāki stumbri, plaisas, pārnadžu bojājumi u.c., kas varētu ietekmēt pieaugumu) un lokālās koordinātes. Augšanas gaitas rekonstrukcijai ievākti pieauguma urbumi (100 kokus katrā objektā, 1 urbums, krūšaugstumā). Bērza stādījumos izvēlēti 700 paraugkoki (vairāk nekā sākotnēji plānots, lai nodrošinātu pietiekamu datu kopu salīdzinājumam starp faktiskajiem un Pildoyn blīvuma mērījumiem) ar vidējo augstumu un caurmēru attiecīgi $13,0 \pm 2,36$ m un $8,9 \pm 2,43$ cm (4.2.att., 4.4. tabula).



4.2.attēls. Vidējais bērza paraugkoku (N = 700) augstums (m) un caurmērs (cm) 1,3 m virs sakņu kakla

Koksnes relatīvā blīvuma noteikšana veikta ar *Pilodyn 6J Forest* instrumentu – ar noteiktu 6 džoulu spēku kokā iedzīts metāla stienis ar diametru 2,5 mm, pirms tam noņemot mizu mērīšanas vietā. Mērījumi veikti 1,3 m augstumā virs koka sakņu kakla. Katram kokam veikti 2 mērījumi (*Pilodyn 1* un *Pilodyn 2*) 90 ° leņķī, kā arī aprēķināts vidējais rādītājs (mm) no abiem (4.4.tabula). Iegūtie dati salīdzināti ar koksnes blīvuma mērījumiem un 5 ārējo gadskārtu blīvuma mērījumiem. Lai arī sākotnēji bija plānota rezistogrāfa izmantošana, *Pilodyn* relatīvā blīvuma metode ļaus nākotnē salīdzināt koksnes blīvumu ar rezultātiem no citiem stādījumiem.

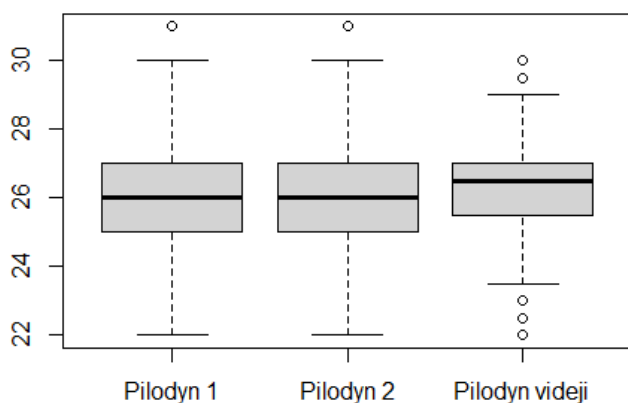
Rezultāti

Bērzu paraugkoku pazīmes atspoguļotas 4.4.tabulā.

4.4. tabula. Kopsavilkuma tabula vērtētajām bērza paraugkoku pazīmēm (SD – standartnovirze, Min un Max – minimālā un maksimālā attiecīgās pazīmes uzņēmētā vērtība; N – mērījumu skaits)

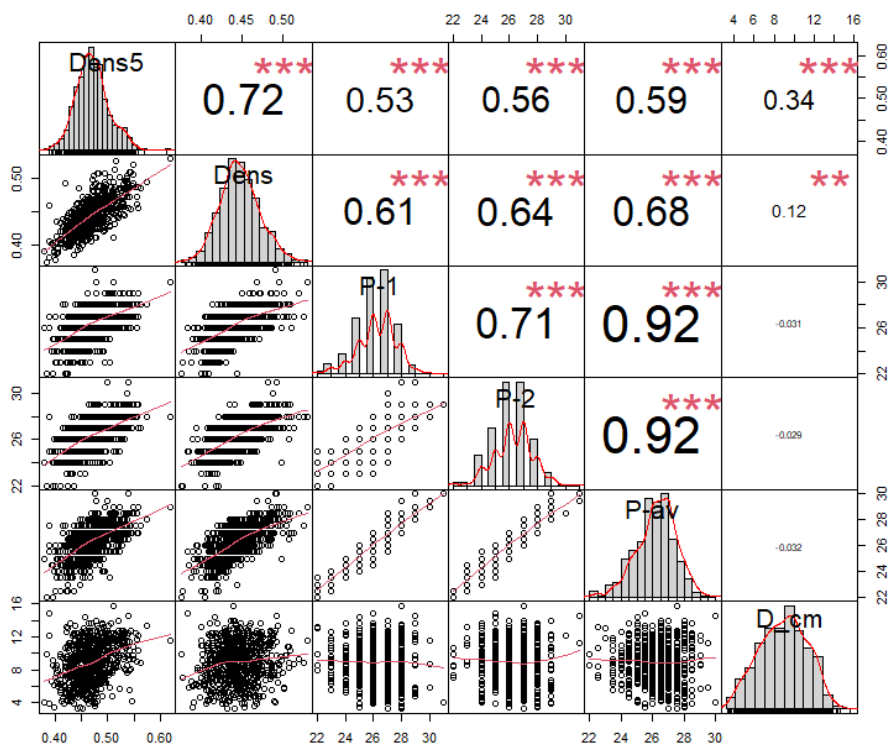
Pazīme	Vidēji	SD	Min	Max	N
Augstums, m	13.0	2.36	5.2	17.8	700
Caurmērs, cm	8.9	2.43	3.2	15.8	700
Blīvums, g cm ⁻³	0.445	0.0250	0.375	0.530	700
Blīvums 5 ārējām gadskārtām, g cm ⁻³	0.469	0.0337	0.380	0.620	698
Relatīvais blīvums <i>Pilodyn 1</i> , mm	26.3	1.37	22.0	31.00	700
Relatīvais blīvums <i>Pilodyn 2</i> , mm	26.3	1.36	22.0	31.00	700
Relatīvais blīvums <i>Pilodyn</i> vidēji, mm	26.3	1.26	22.0	30.00	700

Ar *Pilodyn* noteiktais vidējais relatīvais blīvums neatšķīrās abās mērījumu reizēs ($26,3 \pm 1,37$ un $26,3 \pm 1,37$ mm) (4.3.att.), arī izklidei esot vienāgai (no 22.0 līdz 31.0 mm) (4.4. tabula). Noteiktais vidējais paraugkoku blīvums bija 0.445 ± 0.00240 g cm⁻³, bet 5 ārējo gadskārtu blīvums – 0.469 ± 0.0337 g cm⁻³.



4.3.attēls. Relatīvai koksnes blīvums (mm) abās uzmērīšanas reizēs (Pilodyn 1 un Pilodyn 2) un vidēji

Starp koksnes blīvumu un 5 ārējo gadskārtu blīvumu noteikta statistiski būtiska un cieša sakarība ($r = 0.72$, $p < 0.001$) (4.4.att.). Tāpat cieša sakarība novērtēta starp abām relatīvā blīvuma mērījumu reizēm ($r = 0.71$, $p < 0.001$), kā arī starp katru mērījuma reizi un vidējo rādītāju ($r = 0.92$, $p < 0.001$). Sakarība starp relatīvā blīvuma Pilodyn mērījumiem un koksnes blīvumu bija vidēji cieša un būtiska ($r = 0.61$.. 0.68 , $p < 0.001$), esot nedaudz ciešāki par korelāciju ar 5 ārējo gadskārtu blīvumu ($r = 0.53$.. 0.56 , $p < 0.001$). Koksnes blīvumam bija neesoša vai vāja pozitīva saistība ar koku caurmēru ($r = 0.12$.. 0.34 , $p < 0.01$), bet Pilodyn mērījumiem – neesoša saistība ($r = -0.001$.. -0.034 , $p \geq 0.05$).



4.4. attēls. Pīrsona korelācijas koeficienti starp vērtētajām bērza paraugkoku pazīmēm (Dens 5 un Dens – attiecīgi 5 ārējo gadskārtu un vidējais koksnes blīvums, P-1 un P-2 – relatīvā blīvuma Pilodyn mērījumi, P-av – vidējais relatīvais blīvums, D_cm – koka caurmērs; būtiskums: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.001$)**

Noteiktais vidējais koksnes blīvums bija $0.445 \pm 0.00240 \text{ g cm}^{-3}$, kas vērtējams kā nebūtiski zemāks, nekā vecākam bērzam meža zemēs ($0.515 \pm 0.3711 \text{ kg cm}^{-3}$). Konstatētā ciešā saikne starp Pilodyn relatīvā blīvuma mērījumiem un faktisko (laboratoriski noteikto) koksnes blīvumu norāda, ka šī metode izmantojama, lai salīdzinoši ātri novērtētu koku savstarpējās blīvuma atšķirības, kā arī pietiekams ir viens Pilodyn mērījums. Turpmākajos pētījumos rekomendējams salīdzināt Pilodyn metodi ar rezistogrāfa izmantošanu koksnes blīvuma noteikšanā.

Praktiski neeksistējoša sakarība starp koksnes blīvumu/relatīvo koksnes blīvumu un stumbra caurmēru norāda, ka bērza ātraudzība nav saistāma ar samazinātu koksnes blīvumu. Tomēr būtu veicama blīvuma analīze gadskārtu līmenī (no mizas līdz serdei) no pieauguma urbumiem vecākos bērza stādījumos lauksaimniecības zemēs, lai iegūtās sakarības precizētu.

4.1.3. Datu analīze / pieaugumu aprakstošu vienādojumu koeficientu aproksimācija

Objektos Saldus-2 un Saldus-5 novērtētas egles vairāk nekā 1,66 ha lielā platībā ar sākotnējo biežību 5000 ha^{-1} . Taksācijas rādītāju dinamika 4.5. tabulā. Būtiski atzīmēt, ka abās audzēs ir bijusi krājas kopšanas cirte un tagad koku vidējais caurmērs ir pietuvināts galvenās cirtes pēc caurmēra izvirzītajām prasībām. Saldus -2 vidējais koku caurmērs pēdējā uzmērīšanas reizē 45 gadu vecumā bija $23,1 \pm 4,92 \text{ cm}$, attiecīgi Saldus-5 audzē 42 gadu vecumā tas bija $24,5 \pm 5,34 \text{ cm}$. Audzē Saldus -2 koki ir slaidāki, pie mazāka vidējā caurmēra to vidējais augstums ir par 1,7m lielāks (koku vecums par 3 gadiem lielāks). Šajā audzē krāja sasniedz $312 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

4.5. tabula. Egles stādījuma objektā “Saldus-2” kokaudzes vidējo taksācijas rādītāju izmaiņas

Saldus-2				Saldus-5			
Pazīme	Vid. vērtība	standartklūda	mērījumu skaits	Pazīme	Vid. vērtība	standartklūda	mērījumu skaits
d24	9,4	3,09	1974	d23	12,6	3,32	2246
g24	0,008	0,0046	1974	g23	0,013	0,0065	2246
G_ha24	25,8			G_ha23	27,8		
h34	16,6	1,39	601	h31	15,5	1,59	932
d34	16,1	4,46	1110	d31	16,0	4,47	2112
g34	0,022	0,0115	1110	g31	0,022	0,0115	2112
v34	0,238	0,0806	601	v31	0,224	0,0760	932
G_ha34	40,5			G_ha31	42,3		
h45	22,4	2,34	379	h42	20,7	2,54	406
d45	23,1	4,92	379	d42	24,5	5,34	411
g45	0,0438	0,0181	379	g42	0,049	0,0205	411
v45	0,4914	0,2006	379	v42	0,494	0,2128	406
G_ha45	27,8			G_ha	18,9		
M_ha45	312,0			M_ha	186,8		

G-ha23 -šķērslaukums uz ha 24 g.vecumā.

Lietuvas objektos veikti mērījumi Bērza audzēs jaunaudzju vecumā trīs lokācijās, no tām divās ir mērījumi trīs vecumos, bet vienā tikai divos. Taksācijas rādītāju dinamika atspoguļota 4.6.tabulā. Divpadsmit gadu vecumā vislabākos rādītājus uzrāda Dubravos audze, kuras šķērslaukums ir jau $20, \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ un koku vidējais caurmērs ir attiecīgi $9,3 \pm 2,95 \text{ cm}$. Ne visiem kokiem ir mērīti augstumi. Koku krāja nav rēķināta relatīvi mazā vecuma dēļ.

4.6.tabula. Bērza stādījumu 2x1,5m Lietuvas objektos taksācijas rādītāji.

Dubravos				Šiauliu				Šilutēs			
Pazīme	Vid. vērtība	standartklūda	mērījumu skaits	Pazīme	Vid. vērtība	standartklūda	mērījumu skaits	Pazīme	Vid. vērtība	standartklūda	mērījumu skaits
h7	5,2	1,50	151 6	h7	2,2	0,94	302 7	h7	4,6	1,36	244 6
d7	4,8	1,98	151 5	d7	1,3	0,86	241 1	d7	3,9	1,75	239 3
g7	0,00 2	0,001 4	151 5	g7	0,000 2	0,000 2	241 1	g7	0,00 2	0,001 1	239 3
v7	0,00 7	0,005 5	151 5	v7	0,000 5	0,000 6	241 1	v7	0,00 5	0,004	239 3
d12	9,3	2,95	132 4	d12	5,4	2,31	258 2	d12	8,2	3,05	236 0
g12	0,00 8	0,004 3	132 4	g12	0,003	0,002 0	258 2	g12	0,00 6	0,004 0	236 0
G_ha1 2	20,5			G_ha1 2	4,5			G_ha1 2	9,3		
				h18	12,4	2,30	867	h18	14,2	2,76	121 1
				d18	8,6	3,78	271 3	d18	11,1	3,90	188 2
				g18	0,007	0,005 4	271 3	g18	0,01 1	0,007 2	188 2
				v18	0,055	0,038 5	867	v18	0,08 9	0,062 9	113 9
				G_ha1 8	12,2			G_ha1 8	13,3		

Objektos “1”, “2” un “3” veikti mērījumi bērzu audzēs, kurās pārstāvētas 44 ģimenes katrā. Sākotnējais attālums starp kokiem 2x2,5m un 2x2m. Taksācijas rādītāju dinamika atspoguļota 4.7.tabulā.

4.7.tabula. Bērza stādījumu kokaudzes vidējo taksācijas rādītāju izmaiņas

Pazīme	"1" Vidusdaugava			"2" Vidzeme			"3" Zemgale		
	Vid. vērtība	standartklūda	mērījumu skaits	Vid. vērtība	standartklūda	mērījumu skaits	Vid. vērtība	standartklūda	mērījumu skaits
h10	6,6	1,43	816	6,8	1,46	750	6,1	1,49	3587
h14	12,5	1,93	1299	11,7	1,86	700	15,0	1,06	495
d14	9,8	2,83	1308				10,8	1,91	1430
g14	0,008	0,0043	1308				0,010	0,0033	1430
v14	0,054	0,0311	991				0,077	0,0235	495
G_ha14	12,0						8,2		
h22	19,2	1,72	577	18,8	2,02	458	19,4	2,02	1425
d22	16,3	3,15	577	15,5	3,38	458	14,7	2,81	1426
g22	0,022	0,0081	577	0,020	0,0086	458	0,018	0,0065	1426
v22	0,197	0,0818	577	0,176	0,0831	458	0,161	0,0685	1425
G_ha22	14,2			16,0			15,21		
M_ha22	128,8			142,9			139,39		

Šajā posmā iegūtais datu apjoms nav pietiekams, lai būtu lietderīgi to iekļaut pieaugumu aprakstošos vienādojumos, kuri pamatā tiek veidoti uz MSI patstāvīgo parauglaukumu pārmērījumu datu bāzes. Tas ir turpmāko pētījuma posmu uzdevums.

Literatūra

- Donis, J. (2022). Algoritmu izstrāde mežsaimniecības plānošanai. Pētījuma pārskats. 99 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
- Liepa I. (1996) *Pieauguma mācība*. Jelgava: LLU. 123 lpp.
- Liepa I. (2018) *Meža taksācija*. Jelgava. LLU. 238 lpp.
- Ozoliņš R. (2002) Forest stand assortment structure analysis using mathematical modelling. *Forestry Studies, Metsanduslikud Uurimused*, Vol. 37, p. 33–42.
- Soest van J., Ayril P., Schober R., Hummel F. C. (1965) *The standardization of symbols in forest*. Maine Agricultural Experiment Station Technical Bulletin 15, 32 p.
- Кивисте А. К. (1988) *Функции роста леса*. Учебно- справочное пособие. Тарту: Эстонская сельскохозяйственная академия, 108 с.
- Нормативы для таксации леса Латвийской ССР*. (1988) Матузанис Я.К. (ред.) Рига: Леспроект, 175 с.

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 %)

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

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)

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

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

