



PĀRSKATS
PAR PĒTĪJUMU PROGRAMMAS I ETAPU

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: “Algoritmu izstrāde mežsaimniecības plānošanai”

IZPILDĪTĀJS: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”

PASŪTĪTĀJS: AKCIJU SABIEDRĪBA “LATVIJAS valsts meži”

Līguma Nr. 5-5.9.1_007h_101_21_71

PĒTĪJUMA ZINĀTNISKAIS

VADĪTĀJS: Jānis Donis, LVMI Silava pētnieks

Salaspils, 2022

Saturs

Kopsavilkums.....	3
Summary	4
Tabulu saraksts.....	5
Attēlu saraksts.....	7
Ziņojumā lietotie simboli un saīsinājumi.....	10
Ievads	12
1. Starpcirtes (krājas kopšanas cirtes) modeļu pilnveidošana.....	13
1.1. Dažādu kopšanas ciršu veidu kopšanas efekta novērtējums 5 gadus pēc kopšanas cirtes. Traucējumu ietekme iekļauta augšanas gaitas vienādojumā koeficienta samazinājuma formā.....	13
1.1.1. Kopšanas ciršu parauglaukumu pārmērīšana.....	13
1.1.2. Datu analīze / pieaugumu aprakstošu vienādojumu koeficientu aproksimācija.....	14
1.2. Kopšanas cirtes ietekmi raksturojoši koeficienti augšanas gaitas vienādojumā E, P, B audzēs ar dažādām retināšanas intensitātēm (45% / 55% / 65%)	19
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	24
2.1.1. MSI parauglaukumu datu paraugkopas izveide.....	24
2.1.2. Taksācijas rādītāju prognožu modeļu pilnveidošana (vienādojumu aprēķini)	26
3. Individuāla koka augšanas gaitas modeļi.....	56
3.1. Individuāla koka augšanas gaitas modeļi, kas balstīti 4 MSI cikla datos.....	56
3.1.1. Kandidātvienādojumu kopas izveide (literatūras apskats)	56
3.1.2. Netelpiskie (non-spatial) individuāla koka augšanas gaitas modeļu (h, d, g, atmiršanas varbūtība, ieaugšanās varbūtība) (P, E, B, M, A) aproksimācija.....	81
3.1.3. Telpisko (spatial) individuāla koka augšanas gaitas modeļu (h, d, g, atmiršanas varbūtība, ieaugšanās varbūtība) (P, E, B, M, A) aproksimācija.....	85
4. Plantāciju mežaudžu augšanas gaitas modeļi.....	90
4.1.1. Parauglaukumi P, E, B audzēs, kuras ir bijušajās lauksaimniecības zemēs ieaudzētas kokaudzes LVM ražošanas objektos	90
4.1.2. Parauglaukumi P, E, B audzēs, kuras ir bijušajās lauksaimniecības zemēs ieaudzētas kokaudzes LVM Silava agrāk iekārtotos pētījumu objektos.....	90
4.1.3. Datu analīze / pieaugumu aprakstošu vienādojumu koeficientu aproksimācija.....	91
Literatūra.....	96
Pielikums 1. Vienādojumu atbilstības izvērtēšanas statistiskie rādītāji.....	99

Kopsavilkums

Pētījuma pirmā posmā īstenoti sekojoši darba uzdevumi četrās aktivitātēs.

1. Starpcirtes (krājas kopšanas cirtes) modeļu pilnveidošana

Pārmērīti 32 krājas kopšanas ciršu objekti, kopā uzmērīti 362 parauglaukumi (30 m×30 m). Papildus veikta to objektu / vai to daļu uzmērīšana, kurā akciju sabiedrība "Latvijas valsts meži" 2021. 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 analīze. Lai arī pirmajā 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 (4 no 6 objektiem). Priedes audzēs sanitārās cirtes veiktas 2 no 22 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 1056 atkārtoti 2020. 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 literatūras avotu atlase no datu bāzēm *Scimedirect.com*, *Academia.edu*, *Researchgate.net*, *scholar.google.com*. Izveidota kandidātvienādojumu kopa un veikta tās izvērtēšana, balstot to uz MSI IV cikla parauglaukumu datiem. Veikta G, D pieaugumu aproksimācija ar "netelpiskiem" un "telpiskiem" nelineārajiem regresijas vienādojumiem (modeļiem), kā arī aprēķināta koku izdzīvošanas varbūtība.

4. Plantāciju mežaudžu augšanas gaitas modeļi

Veikta LVMI Silava mežaudzēs bijušajās lauksaimniecības zemēs iepriekš ierīkoto parauglaukumu pārmērīšana. Lauku darbi veikti 8 objektos. Veikta gadskārtu platumu mērīšana. Analizēti caurmēra pieaugumi un koku taksācijas parametru izmaiņas.

Summary

During first stage of the study (since June of 2021) following tasks were implemented in four activities.

Activity 1. Improvement of intermediate (thinning) models

Remeasured 32 sites of thinning experiments. In total 362 sample plots (30 m×30 m) were measured. 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 2021 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 (4 for 6 objects) had to be carried out in spruce objects after thinning, especially in plots with higher thinning intensity. Sanitary felling of pine stand has been carried out in 2 out of 22 objects. 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 1056 plots with 25886 sample trees were re-measured in 2020 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

Selection of literature sources from databases Sciencedirect.com, Academia.edu, Researchgate.net, scholar.google.com has been carried out. 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.

Activity 4. Growth models of plantation forests

Remeasurement of Silava's formerly arranged plots on former agricultural lands has been carried out. Field works have been carried out in accordance with the methodology in 8 objects.

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

Tabulu saraksts

1.1. tabula. 2021. g. pārmērīto pētījumu objektu sadalījums pa reģioniem un objektu taksācijas pamatrādītāji.....	13
1.2. tabula. Uzmērīto objektu grupu taksācijas rādītāji un to izmaiņas.....	15
1.3. tabula. Atmirušo koku (sausokņu, stumbeņu, 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.....	20
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	23
2.1. tabula. Parauglaukumu sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām un vecuma desmitgadēm	24
2.3. tabula. Parauglaukumu sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām un meža tipiēm...	25
2.4. tabula. Ceturtajā ciklā uzmērīto koku sadalījums pa koku sugām un meža tipiēm.....	25
2.5. tabula. Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) 2021. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji.....	27
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	28
2.7. tabula. Meža elementa virsaugstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) 2021. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji.....	34
2.8. tabula. Meža elementa virsaugstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) prognozētā ikgadējā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji ar 2021. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām	34
2.9. tabula. Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji.....	39
2.10. tabula. Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) prognozētā ikgadējā caurmēra pieauguma statistiskie rādītāji	41
2.12. tabula. Meža elementa šķērslaukuma izmaiņas modeļa (2.3. formula) aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji.....	48
2.13. tabula. Meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modeļa (2.3. formula) prognozētā ikgadējā šķērslaukuma pieauguma statistiskie rādītāji	49
3.1. tabula. Somijas augšanas gaitas modeļos izmantotās meža auglības grupas un tām pielīdzinātie Latvijas meža tipi	61

3.2.tabula. Somijas caurmēra augšanas gaitas modeļos kūdras augsnēs (3.9. vienādojums) izmantotās koku sugu ražības grupas atkarībā no meža augsnes grupas un mežaudzes valdošās koku sugas.....	61
3.3. tabula. Zviedrijā mežaudzēs līdz 7 m augstumam izmantoto vidējā augstuma aktualizācijas modeļa (3.24. vienādojums) koeficienti un to aprēķināšanas vienādojumi	69
3.4. tabula. Netelpiska atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modeļa (3.61. formula) 2021. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji	82
3.5. tabula. Netelpiska atsevišķu koku atmiršanas varbūtības modelis. 2021. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji (formula 3.63)	84
3.7. tabula. Telpiska atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modeļa (3.66. formula) 2021. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji	86
3.8. tabula. Telpiskais atsevišķu koku atmiršanas varbūtības modelis. Aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji (formula 3.68)	88
4.1.tabula. Pētījuma objektu apraksts	90
4.2.tabula. Bērza stādījuma 5x5m objektā “Limbaži” kokaudzes vidējo taksācijas rādītāju izmaiņas	91
4.3.tabula. Bērza stādījuma 2x2m objektā “Rembate” kokaudzes vidējo taksācijas rādītāju izmaiņas	92
4.4.tabula. Egles stādījuma 2x2m objektā “Ugāle” kokaudzes vidējo taksācijas rādītāju izmaiņas	92
4.5.tabula. Egles stādījuma 2x8m objektā “Skutuļi” kokaudzes vidējo taksācijas rādītāju izmaiņas	93
4.6.tabula. Egles stādījuma 5x5 m objektā “Valgums” kokaudzes vidējo taksācijas rādītāju izmaiņas	93
4.7.tabula. Egles stādījuma 5x5 m objektā “Valgums” kokaudzes vidējo taksācijas rādītāju izmaiņas	93
4.8.tabula. Egles stādījuma 5x7 m objektā “Jurģi” kokaudzes vidējo taksācijas rādītāju izmaiņas	94

Attēlu saraksts

1.1.attēls. KKC objekta vējgāzē/vējlauzē bojātā daļa	17
1.2.attēls. KKC objekta vējgāzē/vējlauzē iznīcinātā daļa (A - skats no audzes R malas uz audzes vidusdaļu; B – skats no audzes vidusdaļas uz audzes R malu).....	18
1.3.attēls. Vējgāzē/vējlauzē bojātā KKC objekta konfigurācija. (2 – VAC, 3 - KKC pētījuma objekts).....	18
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).....	29
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).....	29
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).....	30
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).....	30
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).....	31
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).....	31
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).....	31
2.10. attēls. Vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) ar 2020. un 2021. gada aproksimētajām koeficientu vērtībām:	32
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).....	35
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).....	35

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).....	36
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).....	36
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).....	36
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).....	37
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).....	37
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).....	37
2.19. attēls. Virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) ar 2020. un 2021. gada aproksimētajām koeficientu vērtībām:	38
2.20. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu priedēm:	42
2.21. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu eglēm:.....	42
2.22. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu bērzam:.....	43
2.23. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu melnalksnim:.....	44
2.24. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu apsei:	44
2.25. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu baltalksnim:.....	45
2.26. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu platlapjiem:.....	46
2.27. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu citiem lapu kokiem:.....	46
2.28. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu priedēm:	50
2.29. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu eglēm:.....	51
2.30. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu bērzam:.....	51
2.31. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu melnalksnim:.....	52

2.32. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu apsei:	53
2.33. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu baltalksnim:	53
2.34. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu platlapjiem:.....	54
2.35. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu citiem lapu kokiem:.....	55
3.1. attēls. Augšanas gaitas modeļu klasifikācija atkarībā no to detalizācijas pakāpes un telpiskajām prasībām (Šņepsts, Donis,2018)	57
3.2.attēls. Bioloģisko procesu simulācijas shēma (Hynynen et al., 2002)	58
3.3.attēls. Bloks shēma SILVA augšanas simulācijai, kur t ir punkts laikā, n ir attiecīgo gadu skaits (Pretzsch et al., 2002).....	76
4.1.attēls. Pārmērīto bērza (zaļi) un egles (melni) stādījumu izvietojums	90
4.2.attēls. Caurmēra (bez mizas) vidējais periodiskais pieaugums pa vecuma piecgadēm objektā “Jurgī”	94
4.3.attēls. Caurmēra (bez mizas) vidējais periodiskais pieaugums pa vecuma piecgadēm objektā “Druvēni”	95

Ziņojumā lietotie simboli un saīsinājumi

LVM – akciju sabiedrība “Latvijas valsts meži”

LVMI Silava - Latvijas Valsts mežzinātnes institūts “Silava”

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

Ba – baltalksnis

Os – osis

Bl – blīgzna

VMD – Valsts meža dienests

Zdvp – vidējā periodiskā caurmēra pieaugums

Zdgp – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieaugums

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.
 - a. Dažādu kopšanas ciršu veidu kopšanas efekta novērtējums 5 gadus pēc kopšanas cirtes. Traucējumu ietekme iekļauta augšanas gaitas vienādojumā koeficienta samazinājuma formā.
 - b. Kopšanas cirtes ietekmi raksturojoši koeficienti augšanas gaitas vienādojumā E, P, B audzēs ar dažādām retināšanas intensitātēm (45% / 55% / 65%).
2. Meža elementu augšanas gaitas modeļi, balstot uz MSI parauglaukumu datiem.
 - a. Meža elementu taksācijas rādītāju izmaiņu (augšanas gaitas modelis), balstot uz 4 MSI ciklu datiem.
3. Individuāla koka augšanas gaitas modeļi.
 - a. Individuāla koka augšanas gaitas modeļi, kas balstīti 4 MSI cikla datos.
4. Plantāciju mežaudžu augšanas gaitas modeļi.
 - a. Parauglaukumu ierīkošana plantāciju mežaudzēs un koku sākotnējā uzmērīšana.

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 2021.g. pārmērīti 32 krājas kopšanas ciršu pētījumu objekti: 22 priedes, 9 egles un 1 bērzu audzēs. Ikvienā objektā ierīkoti 10 – 12 30 m×30 m (900 m²) parauglaukumi, kas kopti, saglabājot dažādu biezību (~0,4, ~0,6, ~0,7 ~0,8, kontrole). Objektos veikta vienlaidus koku dastošana, uzņemot caurmēru krūšaugstumā ar 1 mm precizitāti, kā arī katrā parauglaukumā veicot vismaz 12 valdošās koku sugas koku augstumu mērījumi ar 0,1 m precizitāti. Reģistrēts koku stāvoklis – dzīvs, sausoknis, kritala, kā arī koku bojājumi. Objektu saraksts dots 1.1. tabulā.

1.1. tabula. 2021.g. pārmērīto pētījumu objektu sadalījums pa reģioniem un objektu taksācijas pamatrādītāji

Nrpk	LVM reģions	Objekts	PL skaits	MT	A	Sastāvs	D, cm	H, m
1	Austrumvidzeme	106-526-6	10	Mr	49	10P ats.E,B	16,2	17,6
2	Austrumvidzeme	108-404-3	12	Ln	66	9P1E	24,6	26,1
3	Dienvidkurzeme	202-415-13	12	Am	25	9P1E	14,5	13,7
4	Dienvidkurzeme	202-583-22	10	As	40	7P3E	15,3	15,3
5	Dienvidkurzeme	202-591-14	12	Am	68	10P ats.E	22,8	20,8
6	Dienvidkurzeme	205-24-33	12	Vr	27	9E1B ats.P,Oz	15,3	15,1
7	Dienvidkurzeme	205-92-61	12	Vr	27	9E1Oz ats.P	17,0	16,4
8	Dienvidkurzeme	206-12-9	12	Dm	67	9P1E	26,5	23,9
9	Dienvidkurzeme	206-369-10	12	Dm	69	8P2E	24,1	23,9
10	Dienvidkurzeme	206-369-12	12	Mrs	62	10P ats.E	23,3	21,1
11	Dienvidkurzeme	206-62-10	10	Dm	46	10E ats.P	15,9	17,6
12	Dienvidkurzeme	206-74-9	10	Dms	50	9P1E	18,9	19,1
13	Dienvidkurzeme	206-95-4	12	Am	68	10P+B ats.E	22,5	23,2
14	Vidusdaugava	503-148-17	12	Vr	47	10E	24,7	23,0
15	Vidusdaugava	503-244-17	12	Ks	69	9P1E+B	25,1	26,2
16	Vidusdaugava	503-289-25	12	Km	44	8P2E	15,1	16,4
17	Vidusdaugava	503-302-8	12	As	47	10E ats.B,A	17,4	19,7
18	Vidusdaugava	503-307-10	12	As	55	10E	22,9	22,7
19	Vidusdaugava	505-107-18	12	Mr	66	10P	22,6	22,6
20	Vidusdaugava	505-108-8	12	Mr	28	10P	14,3	12,9
21	Vidusdaugava	505-93-11	10	Mr	51	10P	18,3	19,7
22	Vidusdaugava	505-93-9	10	Mr	39	10P ats.E	15,1	15,5
23	Ziemeļkurzeme	702-152-5	12	Sl	57	10P	13,5	13,7
24	Ziemeļkurzeme	702-154-42	12	Dms	56	9P1B	19,2	19,6
25	Ziemeļkurzeme	702-183-27	12	As	45	8P2E	20,0	19,4
26	Ziemeļkurzeme	703-113-22	10	Ap	54	8B1E1M+Os ats. A	21,3	23,2
27	Ziemeļkurzeme	703-126-1	10	Dms	41	8E2P ats.B	17,1	16,8
28	Ziemeļkurzeme	703-315-11	10	Vr	33	9E1Oz+B	12,9	13,3
29	Ziemeļkurzeme	703-395-13	12	Vr	48	10E+A ats.B,Oz,BI	15,2	17,1
30	Ziemeļkurzeme	706-76-19	10	Mrs	63	10P+B	15,3	14,5
31	Ziemeļkurzeme	713-209-2	10	Ln	37	10P+E	14,5	12,6
32	Ziemeļkurzeme	713-306-18	12	Am	63	10P ats.E	18,2	17,8

1.1.2. Datu analīze / pieaugumu aprakstošu vienādojumu koeficientu aproksimācija

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

1.1.2.1. Audžu taksācijas rādītāji pirms un pēc kopšanas

Audžu 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. 2021.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 $1 \text{ ha} = 10^4 \text{ m}^2$, savukārt taksācijas rādītāju ikgadējo pieaugumu SI sistēmā var pārveidot, pieņemot, ka kalendārajā gadā (pēc Gregora kalendāra) ir 31556952 sekundes (s).

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

Pirms cirtes								Pēc cirtes					Pēc 5 gadiem					
Suga	Vecuma grupa	Biezība	Dq, cm	H, m	G, m ² ha ⁻¹	M m ³ ha ⁻¹	N, ha ⁻¹	Dq, cm	H, m	G, m ² ha ⁻¹	M m ³ ha ⁻¹	N, ha ⁻¹	Dq, cm	H, m	G, m ² ha ⁻¹	M m ³ ha ⁻¹	N, ha ⁻¹	
Priede	20-30 gadi	0,38	13,8	12,4	19,1	125,5	1267	15,1	12,9	11,8	78,3	656	17,5	14,9	15,4	115,2	642	
		0,53	13,9	12,2	19,1	124,7	1260	14,3	12,4	15,5	101,1	971	16,2	14,6	19,8	147,6	962	
		0,68	14,5	12,7	24,2	161,8	1453	14,8	12,8	20,0	133,7	1158	16,5	15,3	24,7	192,4	1142	
		0,8	15,6	14,3	29,0	212,6	1428	15,8	14,4	24,7	180,7	1194	17,7	17,0	30,4	257,8	1167	
		0,53a	14,6	13,4	21,6	151,5	1297	14,3	13,3	15,4	106,9	953	16,4	15,4	19,8	154,8	936	
		Kontr.	14,6	13,9	23,4	169,8	1400	14,6	13,9	23,4	169,8	1400	16,4	15,8	28,6	231,3	1347	
	31-50 gadi	0,38	15,9	15,5	25,0	207,3	1290	17,5	16,0	13,2	109,6	546	19,7	17,4	16,2	142,6	531	
		0,53	16,5	15,7	25,9	214,0	1237	17,6	16,0	17,2	141,3	705	19,5	17,7	20,7	184,2	690	
		0,68	16,6	16,1	28,9	243,6	1374	17,4	16,3	21,8	182,3	924	19,1	18,1	25,8	235,2	910	
		0,8	17,3	17,5	36,8	331,4	1658	18,1	17,7	27,4	247,4	1081	19,7	19,9	31,0	305,3	1022	
		0,53a	16,4	16,3	27,3	232,0	1313	16,2	16,2	17,0	141,8	828	18,1	17,6	20,4	180,0	800	
		Kontr.	16,5	16,1	26,7	226,8	1243	16,5	16,1	26,7	226,8	1243	18,1	17,7	29,9	271,4	1163	
	51-70 gadi	0,38	19,9	18,5	27,1	268,4	870	22,5	19,5	14,0	140,1	349	24,4	20,2	15,5	159,6	332	
		0,53	19,8	18,7	27,9	277,6	913	21,5	19,4	18,5	185,7	507	23,1	20,6	20,6	215,0	491	
		0,68	20,2	19,1	30,9	309,6	972	21,6	19,7	23,4	236,9	637	23,1	21,1	25,9	274,9	617	
		0,8	22,0	21,1	34,6	367,6	931	22,9	21,6	28,3	302,5	685	24,3	22,9	30,9	344,5	667	
		0,53a	20,1	19,2	28,9	292,4	902	20,1	19,4	18,2	182,1	569	21,8	20,5	20,4	211,7	543	
		Kontr.	20,0	19,1	29,1	290,2	930	20,0	19,1	28,8	287,8	915	21,5	20,7	31,1	326,6	868	
	Egle	20-30 gadi	0,38	15,8	15,0	32,5	262,7	1686	18,2	16,0	11,2	90,4	428	21,7	18,0	14,1	125,2	383
			0,53	15,9	15,3	33,4	275,2	1684	17,8	16,0	16,5	135,8	660	20,8	18,2	21,1	192,5	620
			0,68	17,0	15,6	34,0	279,5	1496	18,7	16,2	20,2	166,5	741	21,3	18,9	24,7	232,4	700
0,8			16,0	15,1	35,7	292,4	1769	17,5	15,9	23,5	193,7	975	19,7	18,2	29,3	274,2	964	
0,53a			16,1	15,6	34,0	283,4	1631	15,6	15,6	15,3	129,1	797	18,3	17,5	20,5	188,5	775	
Kontr.			16,1	15,2	33,9	276,5	1675	16,1	15,2	33,9	276,5	1675	17,4	17,4	38,6	361,2	1611	
31-50 gadi		0,38	16,6	16,7	26,8	253,6	1311	19,5	17,9	13,1	124,9	458	21,3	18,2	12,3	116,9	363	
		0,53	16,6	16,8	29,2	278,0	1385	18,9	17,8	17,6	168,9	644	20,4	18,6	18,3	183,4	569	

Pirms cirtes								Pēc cirtes					Pēc 5 gadiem						
Suga	Vecuma grupa	Biezība	Dq, cm	H, m	G, m ² ha ⁻¹	M m ³ ha ⁻¹	N, ha ⁻¹	Dq, cm	H, m	G, m ² ha ⁻¹	M m ³ ha ⁻¹	N, ha ⁻¹	Dq, cm	H, m	G, m ² ha ⁻¹	M m ³ ha ⁻¹	N, ha ⁻¹		
		0,68	16,9	17,0	31,0	299,6	1435	18,7	17,8	22,4	218,0	827	20,0	18,9	21,7	222,0	699		
		0,8	18,1	18,1	33,3	338,1	1349	19,6	19,1	26,6	272,8	887	21,1	20,4	26,3	286,2	758		
		0,53a	16,2	16,5	29,4	281,0	1449	16,5	16,8	16,9	162,0	804	17,8	17,3	16,3	157,1	658		
		Kontr.	16,3	16,4	29,3	280,3	1424	16,3	16,4	29,3	280,3	1424	17,3	17,3	30,3	304,4	1298		
	51-70 gadi	0,38	22,5	21,8	27,8	310,9	706	24,2	22,5	14,1	158,1	306	26,4	22,8	15,8	175,9	289		
		0,53	22,8	22,8	28,8	337,0	706	24,1	23,1	20,5	240,1	450	25,8	23,8	23,3	277,4	444		
		0,68	23,2	21,8	30,3	332,5	722	23,9	22,0	24,4	267,8	544	25,8	22,5	24,2	269,3	461		
		0,8	24,0	22,6	35,8	408,9	794	25,0	22,9	29,3	334,7	600	26,7	24,3	32,8	394,4	589		
		0,53a	22,0	22,1	31,0	353,9	822	20,9	21,8	18,5	209,9	539	22,4	22,2	19,7	225,3	500		
		Kontr.	23,1	21,8	28,2	314,4	683	23,1	21,8	28,2	314,4	683	24,6	23,2	31,2	362,5	667		
		Bērzs	51-70 gadi	0,38	21,1	22,4	22,2	232,7	611	24,3	23,5	11,9	128,6	256	26,4	24,9	13,4	152,6	244
		0,53		23,8	24,3	26,2	293,9	572	26,4	25,4	17,5	201,4	328	27,8	25,5	18,9	219,3	317	
0,68	21,4	22,0		26,0	273,0	694	23,3	23,0	19,6	209,0	444	24,5	23,8	21,1	230,8	428			
0,53a	21,2	22,0		25,7	271,3	656	19,6	21,7	15,1	156,1	444	21,0	22,2	15,3	161,2	389			
Kontr.	19,6	22,1		23,6	249,4	767	19,6	22,1	23,6	249,4	767	20,7	22,7	25,1	273,6	739			

1.1.2.2. Dabiskais atmirums pēc kopšanas cirtes

Egles audzes

No 9 pārmērītajām E audzēm bojājumi, kuru rezultātā krājas diference (tekošā periodiskā) ir negatīva vismaz kādā no apsaimniekošanas variantiem, konstatēta 2 objektos. Abas audzes kopšanas brīdī bija 47 gadus vecas. Vienā no audzēm (As), 2020. gada pavasarī (4 gadus pēc kopšanas cirtes), daļā no platības veikta sanitārā atjaunošanas cirte, gandrīz pilnībā nocērtot vienu no 0,53a (kopšana “no augšas”) atkārtojumiem (1.1. attēls). Savukārt pārējā daļā platības veikta sanitārā izlases cirte. Pēc pusgada (2020. gada rudenī) šajā audzē veikta vēl viena sanitārā izlases cirte. Lielākā negatīvā krājas diference konstatēta pie pēccirtes biežības 0,38 (cirtes intensitāte 50%) un 0,53a (cirtes intensitāte 46%). Pēc pārmērījuma veikšanas (2021. gada vasarā) šajā mežaudzē bija paredzēta vēl viena sanitārā atjaunošanas cirte un sanitārā izlases cirte. Otrā objektā (Vr) sanitārās izlases cirtes veiktas 2 reizes – 2 gadus pēc cirtes un 4 gadus pēc cirtes. Lielākā negatīvā krājas diference, tāpat kā augstāk minētajā objektā, konstatēta pie pēccirtes biežības 0,38 (cirtes intensitāte 40%) un 0,53a (cirtes intensitāte 32%). Abos objektos pozitīva krājas diference konstatēta pie pēccirtes biežības 0,8 (cirtes intensitāte 26% un 10%).



1.1.attēls. KKC objekta vējgāzē/vējlauzē bojātā daļa

Vēl divās egles audzēs ir veiktas sanitārās izlases cirtes, tomēr krājas diference konstatēta pozitīva, un, vizuāli vērtējot, bojājumi vairāk skāra audzes daļas ārpus objektiem vai blakus nogabalus. Vienā no audzēm Ap (vecums 55 gadi) sanitārās izlases cirte veiktas 3 gadus un 4 gadus pēc krājas kopšanas cirtes. Otrā audzē Vr (vecums 27 gadi) sanitārā izlases cirte veikta 2 gadus pēc kopšanas cirtes.

No pārmērītajām egles audzēm sliktākais sanitārais stāvoklis konstatēts objektā, kuram gadu pēc krājas kopšanas cirtes, blakus uzbūvēja meža autoceļu, nozāģējot apmēram 10 m joslu no 8 parauglaukumu A puses. Pārmērīšanas brīdī audzē konstatēti vidēji 6,2% (no parauglaukumos esošo koku krājas) bojāgājušu koku (sausokņi, stubeņi, kritālas) no parauglaukumos sākotnēji saglabātajiem kokiem.

Priedes audzes

No 22 pārmērītajām priedes audzēm sanitārās izlases cirtes veiktas 2 P audzēs. Vienā no tām (69 gadi, Ks) sanitārās izlases cirtes veiktas 2 gadus un 3 gadus pēc krājas kopšanas cirtes. Negatīva krājas diference konstatēta parauglaukumā, kurā krājas kopšana veikta “no augšas”, bet pie pēccirtes biežības 0,38, 0,53 un 0,8 krājas diferences procents nepārsniedz 2%. Otrā audzē (45 gadi, As) sanitārās izlases cirtes arī veiktas 2 reizes – 4 gadus un 5 gadus pēc krājas kopšanas cirtes, tomēr krājas diference konstatēta pozitīva (vidēji 23,6%), un, vizuāli vērtējot, bojājumi vairāk skāra audzes daļu ārpus objektiem.

No pārējām pārmērītajām P audzēm tikai 1 audzē (66 gadi, Ln/Dms) konstatēts, ka gājuši bojā vairāk nekā 5% no kopšanas ciršu variantos saglabātajiem kokiem. Šajā audzē gājuši bojā vidēji 10,3% no kopšanas ciršu variantos saglabātajiem kokiem, un kopšanas ciršu varianta 0,38 vienā no atkārtojumiem (1.2.attēls) vējgāzē/vējlauzē aizgājuši bojā visi atstātie koki (cirtes intensitāte 55%). Otrs lielākais bojāgājušo koku īpatsvars (17,7%) konstatēts kopšanas ciršu variantā 0,53a (cirtes intensitāte 40%). Viens no iespējamajiem iemesliem lielajam vējgāzē bojāto koku īpatsvaram ir tas, ka audze ir cietusi lokālā vējgāzē. Turklāt, pastiprinošais faktors varētu būt bijis arī tas, ka vienlaikus ar krājas kopšanas cirti vairāk nekā 100 m platā vienlaidus atjaunošanas cirtē nozāgēts blakus nogabals (1.3 .attēlā 2.nogabals), atklājot pētījuma objekta rietumu malu, kurā konstatēti lielākie bojājumi.



1.2.attēls. KKC objekta vējgāzē/vējlauzē iznīcinātā daļa (A - skats no audzes R malas uz audzes vidusdaļu; B – skats no audzes vidusdaļas uz audzes R malu)



1.3.attēls. Vējgāzē/vējlauzē bojātā KKC objekta konfigurācija. (2 – VAC, 3 - KKC pētījuma objekts)

No pārējām pētījumā iekļautajām audzēm, kurās pārmērīšana paredzēta turpmākajos gados, sanitārās izlases cirtes veiktas 7 egles, 1 priedes un 1 bērza objektā. Līdz ar to 11 no 30 pētījumā iekļautajām egles audzēm ir veikta sanitārā izlases cirte, turklāt, vecuma grupā 51 – 70 gadi, sanitārās izlases cirtes ir veiktas 4 no 6 egļu audzēm.

Kopumā var secināt, ka pārmērītajos objektos lielākie bojājumi skar objektu daļas ar pēccirtes biežību 0,53a (atmirušo koku īpatsvars vidēji 2,3%), kuros ir otra lielākā cirtes intensitāte – 39%. Otrs lielākais atmirušo koku īpatsvars (2,2%) konstatēts objektu daļās ar pēccirtes biežību 0,38, kuros ir lielākā cirtes intensitāte – 48%. Šajos aprēķinos nav ņemts vērā sanitārajās cirtēs nocirstais, ja tas veikts pirms pārmērīšanas. Ņemot vērā, ka lielākajā daļā gradācijas klašu novērojumu skaits nav lielāks par 2 (1.3.tabula), tad šobrīd iespējams noteikt tikai tendences. Turpmākajos pētījumos būtu lietderīgi izvērtēt kādas sakarības veidojas pa valdošajām sugām un vecuma grupām.

1.3. tabula. Atmirušo koku (sausokņu, stumbeņu, 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	0,8	2	6,9	2	-	-
	0,53	0,4	2	3,1	2	-	-
	0,68	0,5	2	3,8	2	-	-
	0,8	0,9	1	0,5	2	-	-
	0,53a	0,5	2	1,2	2	-	-
	Kontrole	0,7	2	2,4	2	-	-
31 – 50 gadi	0,38	0,9	7	4,7	6	-	-
	0,53	1,0	7	1,5	6	-	-
	0,68	0,9	7	5,1	6	-	-
	0,8	0,8	2	2,5	3	-	-
	0,53a	1,1	7	2,9	6	-	-
	Kontrole	1,8	7	1,6	6	-	-
51 – 70 gadi	0,38	1,4	13	1,0	1	2,4	1
	0,53	1,5	13	0	1	2,9	1
	0,68	1,5	13	2,1	1	3,9	1
	0,8	0,9	10	0	1	-	-
	0,53a	2,4	13	0	1	13,6	1
	Kontrole	2,1	13	0,1	1	2,3	1
Kopā	Kopā	1,4	123	2,8	51	5,0	5

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 atkārtošanu 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 vairāk nekā pusei gradācijas klašu novērojumu skaits ir mazāks par 3. Cirtes intensitāte 65% konstatēta tikai vienā gradācijas klasē – valdošā suga P, vecuma grupa 21-30 gadi, standarta kopšana. Cirtes intensitāte 55% konstatēta 6 gradācijas klasēs, bet nevienā no tām novērojumu skaits nav lielāks par 4 novērojumiem. Līdz ar to, kopšanas cirtes ietekmi raksturojošos koeficientus augšanas gaitas vienādojumā ar retināšanas intensitātēm 45% / 55% / 65% šobrīd nav iespējams iegūt.

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.

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	-	-	-0,04	-0,48	-	-	-
P	21-30	standarta	-	0,31	0,26	1,29	-	-	-
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	-	-	-0,51	-0,18	-0,23	-	-
P	51-70	standarta	0,29	0,96	1,41	1,86	2,69	2,81	-
E	21-30	no augšas	-	-	-	-	-	-0,46	-
E	21-30	standarta	-	-	-	1,42	1,76	1,93	2,42
E	31-50	no augšas	-	-	-	-1,33	0,17	-	-
E	31-50	standarta	0,20	1,33	1,34	1,84	2,57	3,19	-
E	51-70	no augšas	-	-	-	-	-1,05	-	-
E	51-70	standarta	-	0,86	1,27	-	1,65	-	-
B	51-70	no augšas	-	-	-	-	-1,66	-	-
B	51-70	standarta	-	-	1,97	2,54	3,14	-	-
-	-	vidēji	0,24	0,85	1,10	1,10	1,39	2,23	2,42

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

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

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	-	-	0,04	-0,13	-	-	-
P	21-30	standarta	-	0,13	0,08	0,51	-	-	-
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	-	-	-0,07	0,06	0,14	-	-
P	51-70	standarta	0,17	0,38	0,50	0,69	1,07	0,90	-
E	21-30	no augšas	-	-	-	-	-	-0,01	-
E	21-30	standarta	-	-	-	0,67	0,64	0,74	0,90
E	31-50	no augšas	-	-	-	-0,36	0,35	-	-
E	31-50	standarta	0,05	0,42	0,67	0,97	1,47	1,30	-
E	51-70	no augšas	-	-	-	-	-0,25	-	-
E	51-70	standarta	-	0,24	0,38	-	0,67	-	-
B	51-70	no augšas	-	-	-	-	-0,24	-	-
B	51-70	standarta	-	-	0,95	1,13	1,09	-	-
		vidēji	0,11	0,36	0,45	0,52	0,69	0,80	0,90

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

Nemot vērā, ka priedei vecuma grupā 51-70 gadi pie standarta kopšanas un cirtes intensitātes 15%; 25%;35%; 45% novērojumu skaits vienā gradācijas klasē ir vismaz 9, tad analizēti šie dati. Pie cirtes intensitātes 15% I stāva koku skaits pēc cirtes samazinās vidēji par 220 kokiem ha⁻¹, bet pie cirtes intensitātes 45% - vidēji par 804 kokiem ha⁻¹ (1.6.tabula). Savukārt, I stāva koku šķērslaukums pie cirtes intensitātes 15% pēc cirtes samazinās vidēji par 5,3 m² ha⁻¹, bet pie cirtes intensitātes 45% - vidēji par 13,3 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	-	-	-294	-394	-	-	-
P	21-30	standarta	-	-247	-339	-620	-	-	-
P	31-50	no augšas	-	-	-311	-500	-500	-778	-
P	31-50	standarta		-318	-504	-605	-804	-824	-
P	51-70	no augšas	-	-	-178	-343	-381	-	-
P	51-70	standarta	-56	-220	-346	-423	-627	-414	
E	21-30	no augšas	-	-	-	-	-	-833	-
E	21-30	standarta	-	-	-	-794	-789	-1006	-1258
E	31-50	no augšas	-	-	-	-156	-743	-	-
E	31-50	standarta	-83	-139	-514	-669	-1007	-939	-
E	51-70	no augšas	-	-	-	-	-283	-	-
E	51-70	standarta	-	-186	-256	-	-400	-	-
B	51-70	no augšas	-	-	-	-	-211	-	-
B	51-70	standarta	-	-	-250	-244	-356	-	-
		vidēji	-69	-243	-377	-499	-642	-771	-1258

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	-	-	-5,0	-7,6	-	-	-
P	21-30	standarta	-	-3,5	-4,9	-7,3	-	--	-
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	-	-	-8,1	-9,5	-13,6	-	-
P	51-70	standarta	-1,4	-5,3	-7,6	-10,4	-13,3	-16,5	-
E	21-30	no augšas	-	-	-	-	-	-18,7	-
E	21-30	standarta	-	-	-	-12,2	-13,6	-16,9	-21,3
E	31-50	no augšas	-	-	-	-9,1	-13,2	-	-
E	31-50	standarta	-3,2	-4,3	-7,8	-10,2	-13,2	-15,9	-
E	51-70	no augšas	-	-	-	-	-12,5	-	-
E	51-70	standarta	-	-6,2	-8,3	-	-13,8	-	-
B	51-70	no augšas	-	-	-	-	-10,6	-	-
B	51-70	standarta	-	-	-6,4	-8,7	-10,3	-	-
		vidēji	-2,3	-4,7	-7,1	-9,8	-13,1	-17,3	-21,3

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).

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	-	-	39,3	56,5	-	-	-
P	21-30	standarta	-	58,0	57,3	37,4	-	-	-
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	-	-	35,8	28,7	28,9	-	-
P	51-70	standarta	35,4	43,2	35,3	25,2	33,5	-5,7	-
E	21-30	no augšas	-	-	-	-	-	59,4	-
E	21-30	standarta	-	-	-	80,5	67,0	56,1	34,9
E	31-50	no augšas	-	-	-	-19,8	4,2	-	-
E	31-50	standarta	21,1	10,5	40,2	8,9	13,2	-1,6	-
E	51-70	no augšas	-	-	-	-	15,4	-	-
E	51-70	standarta	-	30,6	37,3	-	17,8	-	-
B	51-70	no augšas	-	-	-	-	5,1	-	-
B	51-70	standarta	-	-	21,8	17,9	24,0	-	-
-	-	vidēji	28,3	41,9	38,9	31,0	29,0	24,4	34,9

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	-	-	31,8	40,8	-	-	-
P	21-30	standarta	-	35,4	37,9	38,9	-	-	-
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	-	-	15,5	16,4	14,3	-	-
P	51-70	standarta	10,6	15,4	15,9	12,7	20,7	-7,7	-
E	21-30	no augšas	-	-	-	-	-	37,3	-
E	21-30	standarta	-	-	-	34,5	34,2	34,1	32,3
E	31-50	no augšas	-	-	-	-9,4	4,7	-	-
E	31-50	standarta	6,2	3,7	18,7	6,6	12,5	0,6	-
E	51-70	no augšas	-	-	-	-	7,1	-	-
E	51-70	standarta	-	8,5	14,4	-	10,7	-	-
B	51-70	no augšas	-	-	-	-	3,2	-	-
B	51-70	standarta	-	-	9,9	8,5	17,1	-	-
-	-	vidēji	8,4	18,7	20,2	18,2	17,4	13,9	32,3

1.2.2. Dažādu apsaimniekošanas programmu finanšu plūsmas prognozēšana

2021. gadā darbs nebija 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

Tā kā turpmākā pētījuma gaitā ir paredzēta izstrādāto augšanas gaitas modeļu verifikācija un atsevišķu koku augšanas gaitas modeļu pilnveidošana, nepieciešams pārveidot MSI ceturktā cikla parauglaukumu datus un veikt atbilstošus taksācijas rādītāju aprēķinus. To dara, fiksējot ne tikai katra atsevišķa mežaudzes stāva, katra atsevišķa mežaudzes elementa galvenos taksācijas rādītājus (vecums, vidējais kvadrātiskais caurmērs un tam atbilstošais augstums, šķērslaukums, krāja un koku skaits) un nocirstās un atmirušās koksnes apjomu (krāja), bet arī katra atsevišķa koka stāvu, caurmēru, augstumu, šķērslaukumu, tilpumu, reprezentatīvo koku skaitu un stāvokli.

MSI parauglaukumu datu bāzē atlasīti un MS Excel datorprogrammā ievadīti dati par 2020. gadā atkārtoti pārmērītajiem 1056 parauglaukumiem, kas tālāk izmantojami augšanas gaitas prognožu modeļu izstrādē un verifikācijā.

Galvenie sākotnējie atlasē kritēriji ir:

1) ceturtajā ciklā parauglaukums nav sadalīts sektoros, kas nozīmē, ka viss parauglaukums ir vienas audzes robežās;

2) ceturtajā ciklā zemju kategorija ir mežs (kods 10) vai mežs lauksaimniecības zemē (62).

Atlasīto un ievadīto MSI parauglaukumu sadalījums pa 4. ciklā konstatētajām valdošajām koku sugām, meža tipiem, vecuma desmitgadēm un bonitātēm atspoguļots 2.1. – 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	20	42	10	20	20	2	127
11-20	22	20	46	1	17	13	4	123
21-30	12	12	45	9	16	16	3	113
31-40	7	22	20	2	5	10	2	68
41-50	11	28	24	14	4	14	3	98
51-60	16	32	34	6	6	6	1	101
61-70	37	14	47	10	11	-	2	121
71-80	37	17	33	3	1	-	1	92
81-90	37	13	8	-	5	-	2	65
91-100	33	9	3	1	2	-	2	50
101-110	26	4	2	-	-	-	-	32
111-120	11	4	1	-	-	-	-	16
121-130	14	6	-	-	-	-	-	20
131-140	15	-	-	-	-	-	1	16
140<	13	1	-	-	-	-	-	14
Kopā	304	202	305	56	87	79	23	1056

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	57	79	106	13	63	19	6	343
I	77	49	82	21	17	34	4	284
II	73	50	79	16	7	15	6	246
III	37	21	27	5	-	8	4	102
IV	25	3	10	1	-	3	3	45
V	19	-	1	-	-	-	-	20
Va	16	-	-	-	-	-	-	16
Kopā	304	202	305	56	87	79	23	1056

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	4	-	-	-	-	-	-	4
Mr	37	-	1	-	-	-	-	38
Ln	33	2	1	-	-	-	-	36
Dm	59	41	58	-	8	2	2	170
Vr	-	55	51	5	44	45	12	212
Gr	-	4	4	2	3	12	4	29
Gs	-	-	-	-	-	-	-	0
Mrs	23	2	3	-	-	-	-	28
Dms	12	13	16	1	4	-	-	46
Vrs	1	9	14	5	6	2	-	37
Grs	-	1	1	2	-	1	-	5
Pv	32	-	2	-	-	-	-	34
Nd	26	1	13	1	-	-	-	41
Db	-	-	26	17	-	3	1	47
Lk	-	-	-	1	-	1	-	2
Av	-	-	-	-	-	-	-	0
Am	14	2	1	-	-	-	-	17
As	22	40	36	4	7	5	-	114
Ap	-	8	20	7	15	6	3	59
Kv	6	-	-	-	-	-	-	6
Km	16	1	3	-	-	-	-	20
Ks	19	20	35	2	-	1	1	78
Kp	-	3	20	9	-	1	-	33
Kopā	304	202	305	56	87	79	23	1056

Kopumā ievadīta informācija par 28145 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	100	-	-	-	-	-	-	100
Mr	845	-	6	-	-	-	-	851
Ln	806	18	2	-	-	-	-	826

Meža tips	Priede	Egle	Bērzs	Melnalksnis	Apse	Baltalksnis	Citas sugas	Visas sugas
Dm	1538	1026	1352	-	115	78	37	4146
Vr	-	1341	1486	111	1197	1262	239	5636
Gr	-	63	111	64	84	318	63	703
Gs	-	-	-	-	-	-	-	0
Mrs	550	80	85	-	-	-	-	715
Dms	418	390	366	28	87	-	-	1289
Vrs	7	169	515	211	151	30	-	1083
Grs	-	4	53	70	-	7	-	134
Pv	942	-	35	-	-	-	-	977
Nd	763	1	391	58	-	-	-	1213
Db	-	-	940	533	-	54	8	1535
Lk	-	-	-	38	-	3	-	41
Av	-	-	-	-	-	-	-	0
Am	427	50	32	-	-	-	-	509
As	653	1175	863	117	198	148	-	3154
Ap	-	216	376	160	454	191	61	1458
Kv	207	-	-	-	-	-	-	207
Km	557	49	74	-	-	-	-	680
Ks	543	610	807	92	-	1	2	2055
Kp	-	87	455	290	-	1	-	833
Kopā	8356	5279	7949	1772	2286	2093	410	28145

2.1.2. Taksācijas rādītāju prognožu modeļu pilnveidošana (vienādojumu aprēķini)

2.1.2.1. Vidējais augstums

Metodika

Datu analīzē izmantoja datus par 14984 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paudzes vienā stāvā esošus kokus) no 2949 MSI parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- 1) stāva meža elementi ir priede (2793 meža elementi), egle (2514), bērzs (3308), apse (824), melnalksnis (829), baltalksnis (624), platlapji – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, skābardis un dižskābardis, kļava (523) un citi lapu koki (297), un 2. stāva egle (3272);
- 2) katrā uzmērīšanas ciklā augstums uzmērīts vismaz 3 dzīvajiem kokiem no viena meža elementa;
- 3) visās uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums;
- 4) augstuma izmaiņas ir bioloģiski loģiskas:
 - a. 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;
 - b. 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 izmantot visi iespējamie piecu gadu pārmērījuma cikli, 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.

Augstuma augšanas gaitas aproksimācijai pilnveidots iepriekš izstrādātais vienādojums (Donis et al., 2019), kas balstīts uz vispārinātās algebriskās diferences pieeju (GADA - *generalized algebraic difference approach*), kas ļauj augstuma pieaugumu prognozēt, zinot tikai audzes augstumu un vecumu, bet nav nepieciešama informācija par bonitāti.

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

$$H_2 = 1.3 + \frac{A_2^{\alpha_1}}{\alpha_2 + 100 \cdot \alpha_3 \cdot X_0 + X_0 \cdot A_2^{\alpha_1}} \quad (2.1)$$

$$X_0 = \frac{\frac{A_1^{\alpha_1}}{H_1 - 1.3} - \alpha_2}{100 \cdot \alpha_3 + A_1^{\alpha_1}} \quad (2.1.1)$$

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;
	α_{1-3}	–	koeficienti.

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

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

Rezultāti

Aproksimētas jaunas koeficientu vērtības meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modelim pirmā stāva priedei, eglei, bērzam, apsei, melnalksnim un baltalksnim un otrā stāva eglei. Tāpat no jauna izveidots šāds vienādojums pirmā stāva platlapju (ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis) un citu lapu koku sugu vidējā augstuma augšanas gaitas modelēšanai (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	1,31327	0,02464	1,24585	1,35124

	b2	-31,90952	6,17412	-43,90992	-21,77973
	b3	17,61058	2,76335	13,04287	23,10030
Egle 1. stāvs	b1	1,41550	0,02776	1,36396	1,47290
	b2	-120,74412	38,23731	-236,78025	-87,92472
	b3	57,21660	16,78944	42,84907	109,90769
Bērzs	b1	1,33609	0,02112	1,29546	1,37216
	b2	-27,12757	5,01089	-35,55330	-18,54924
	b3	12,71905	1,98723	9,32188	16,01883
Melnalksnis	b1	1,40967	0,04708	1,33005	1,50434
	b2	-29,73970	7,96162	-49,61048	-19,45497
	b3	12,20567	2,89350	8,58620	19,23016
Apse	b1	1,29863	0,04213	1,22221	1,38892
	b2	-7,77618	3,70556	-16,50190	-3,11454
	b3	5,30848	1,79697	2,89974	9,72549
Baltalksnis	b1	1,40418	0,04098	1,32219	1,49301
	b2	-14,13267	4,18675	-26,89911	-9,21396
	b3	4,36837	1,13164	3,05030	8,05845
Ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis	b1	1,30851	0,05630	1,21432	1,42079
	b2	-46,90554	21,56799	-113,94342	-21,19699
	b3	21,03008	8,46259	11,30167	45,56767
Citi lapu koki	b1	1,42780	0,06518	1,23094	1,49085
	b2	-12,00958	5,36726	-27,09310	-5,15112
	b3	3,53907	1,35998	1,74102	7,24042
Egle 2. stāvs	b1	1,20823	0,01999	1,16669	1,24850
	b2	-33,54918	0,49435	-35,38644	-33,54904
	b3	16,95720	0,44421	16,46426	18,27484

Vidējā augstuma augšanas gaitas vienādojumam ar 2021. gadā aproksimētajām vērtībām ir augsti statistiskie rādītāji (2.6. tabula). Piemēram, vidējā novirze augstuma tekošajam vidēji periodiskajam pieaugumam saimnieciski nozīmīgākajām koku sugām (priede, egle, bērzs) nepārsniedz divus centimetrus, kas visos gadījumos ir 6 - 7% no uzmērītās vidējās vērtības. Jāatzīmē, ka visos gadījumos modelis prognozē piesardzīgākas jeb mazākas vērtības par uzmērītajām.

Ar 2021. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām vidējā augstuma augšanas gaitas modelis visiem modelētajiem meža elementiem (to grupām) prognozē mežsaimnieciski loģiskas augstuma izmaiņas ne tikai analizē izmantotajā datu vērtību apgabalā (vecuma un augstuma diapazons), bet arī ārpus tā (2.1. – 2.9. attēls).

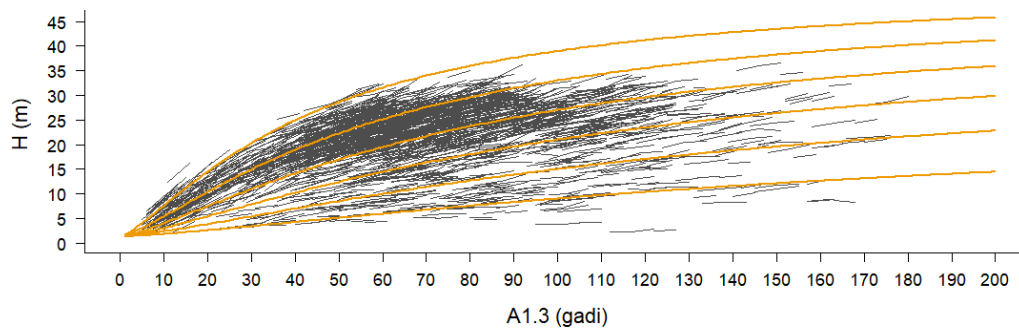
2.6. tabula. Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) prognozētā ikgadējā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji ar 2021. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām

Suga	Vi d.	MRE S	MRES %	AMRE S	RMS E	RMSE %	MS E	ME F	VR	R2	N
Priede	0,25	0,02	6,35	0,09	0,12	47,75	0,014	0,600	0,674	0,436	2793
Egle 1. stāvs	0,35	0,02	6,14	0,12	0,15	42,05	0,022	0,650	0,728	0,410	2514
Bērzs	0,36	0,02	6,85	0,14	0,18	51,04	0,033	0,581	0,662	0,450	3308
Melnalksnis	0,35	0,04	10,26	0,13	0,16	46,85	0,026	0,752	0,780	0,363	829

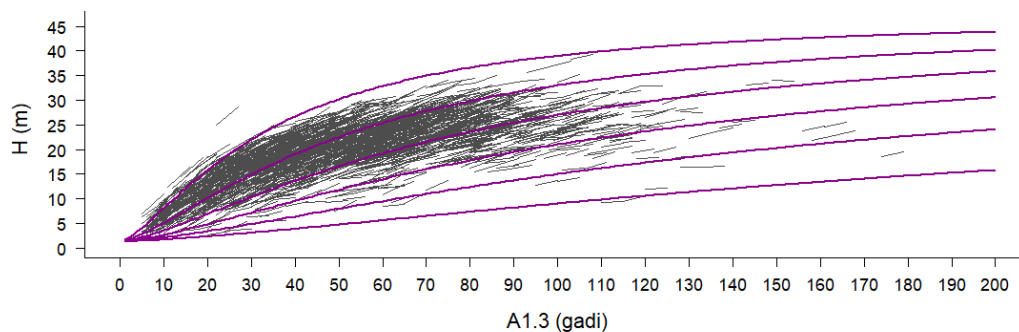
Suga	Vi d.	MRE S	MRES %	AMRE S	RMS E	RMSE %	MS E	ME F	VR	R2	N
Apse	0,4 7	0,04	7,68	0,17	0,21	45,38	0,04 6	0,59 6	0,75 0	0,45 7	824
Baltalksnis	0,3 9	0,05	11,84	0,14	0,18	45,88	0,03 1	0,68 0	0,86 8	0,43 8	624
Platlapji	0,3 6	0,04	9,72	0,15	0,19	51,98	0,03 6	0,76 5	0,71 0	0,33 2	523
Citi lapu koki	0,4 0	0,06	15,26	0,18	0,22	55,46	0,04 8	0,85 9	0,75 3	0,30 6	297
Egle 2. stāvs	0,2 6	0,03	11,32	0,13	0,17	64,06	0,02 8	0,99 2	0,40 1	0,12 1	327 2

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

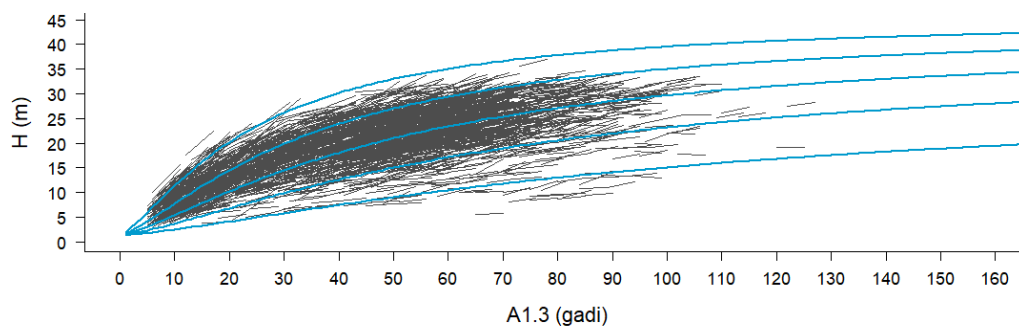
Vid. - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība;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



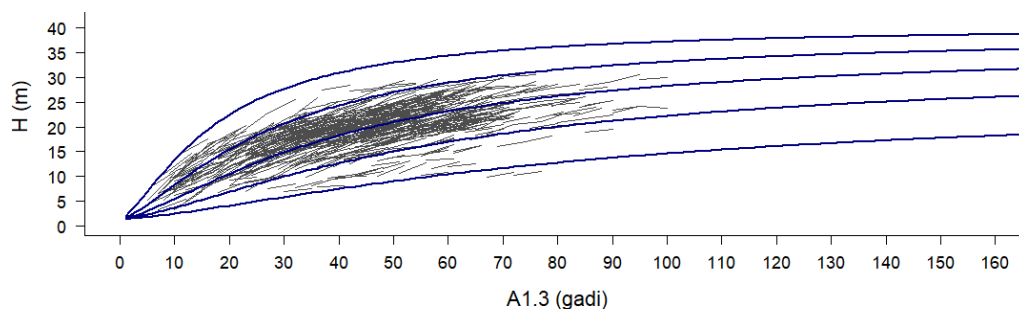
2.1. attēls. Priedes uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m).



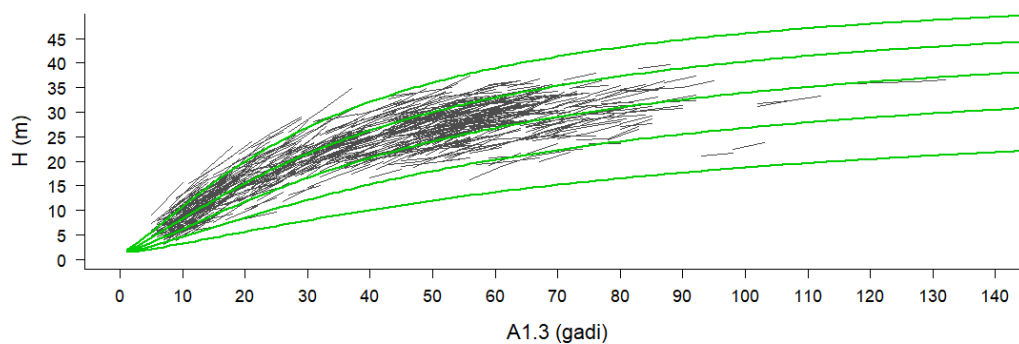
2.2. attēls. Egles 1. stāva uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m).



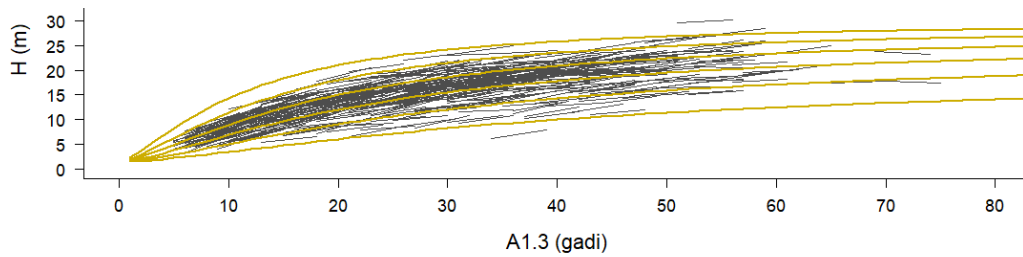
2.3. attēls. Bērza uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 33; 27; 21; 15; 9$ m).



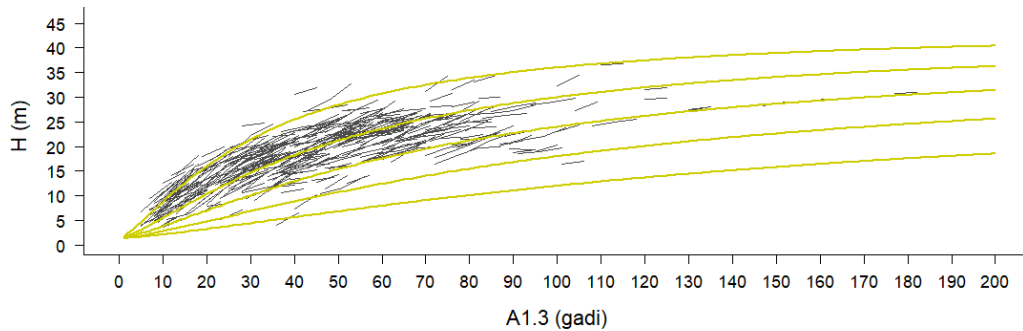
2.4. attēls. Melnalkšņa uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 33; 27; 21; 15; 9$ m).



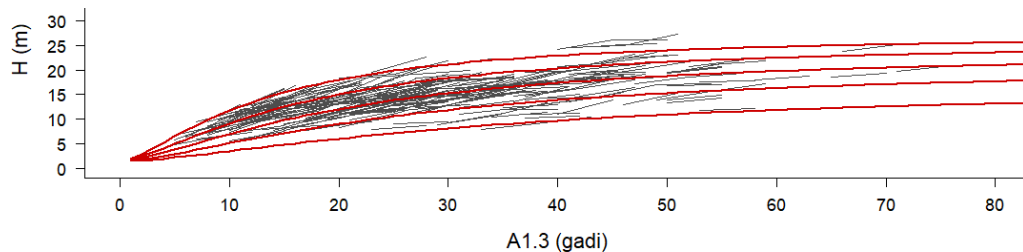
2.5. attēls. Apses uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 36; 30; 24; 18; 12$ m).



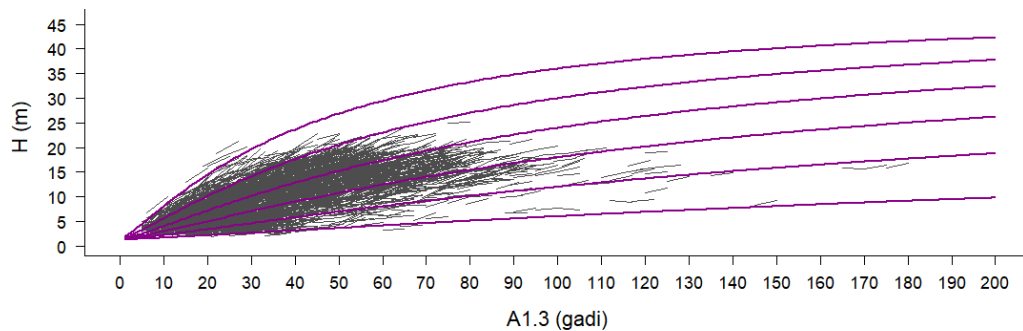
2.6. attēls. Baltalkšņa uzņēmētās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 20 gadi ($H_{20} = 21; 18; 15; 12; 9; 6$ m).



2.7. attēls. Platlapju uzņēmētās 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).

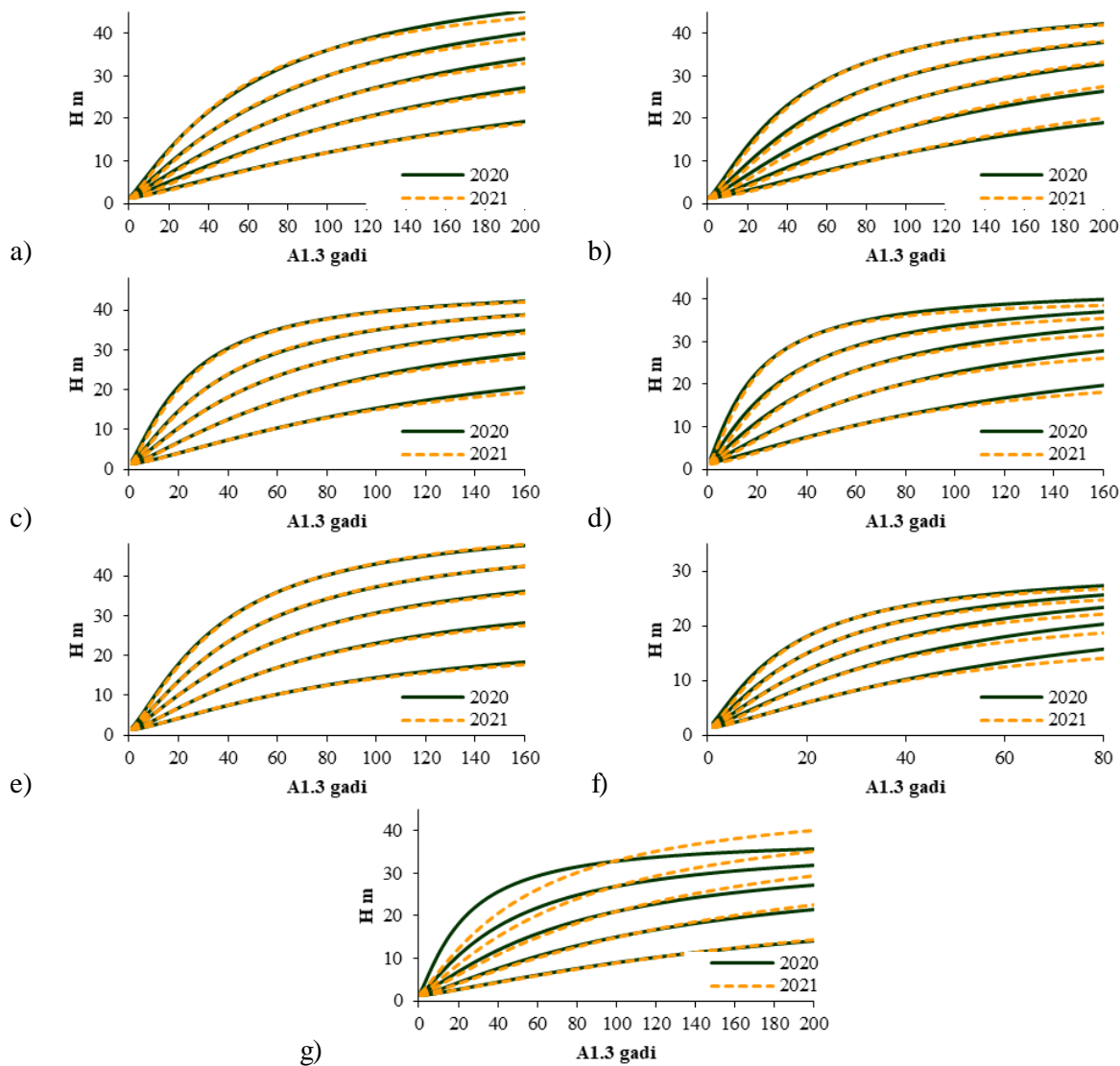


2.8. attēls. Citu lapu koku uzņēmētās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 20 gadi ($H_{20} = 18; 15; 12; 9; 6$ m).



2.9. attēls. Egles 2. stāva uzņēmētās 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).

Salīdzinot ar iepriekš (2019. gadā) apkošinētajām koeficientu vērtībām, līknes ir ļoti līdzīgas (izņemot 2. stāva egli), un pamatā visām sugām vecākās audzēs ar jaunajām koeficientu vērtībām augstuma pieaugums tiek prognozēts piesardzīgāks (2.10. attēls). Otrā stāva eglei šī sakarība ir pretēja.



2.10. attēls. Vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) ar 2020. un 2021. gada apkošinētajām koeficientu vērtībām:

2019. gads – zaļa nepārtraukta līnija, 2021. gads – oranža raustīta līnija;

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

Turpmākai meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modelēšanai ieteicams izmantot Hossfeld IV vienādojuma vispārinātās algebriskās diferences pieejas modeli ar 2021. gadā apkošinētajām koeficientu vērtībām.

2.1.2.2. Virsaugstums

Metodika

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

Datu analīzē izmanto MSI datus un veco audžu stumbra analīžu datus, kas iegūti pētījumā „Siltumnīcefekta gāzu emisiju un CO₂ piesaistes novērtējums vecās mežaudzēs”.

Datu analīzē izmantoja datus par 14198 virsaugstuma kokiem no 2771 MSI parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- 1) koku suga ir priede (5236 koki), egles (3317), bērzs (3187), apse (962), melnalksnis (710), baltalksnis (374), platlapji – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, skābardis un dižskābardis, kļava (253) un citi lapu koki (159);
- 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 ar paredzēto vienas modelēšanas perioda garumu. Pie tik liela datu apjoma un atkārtotu uzmērījumu daudzuma autokorelācija iegūtos rezultātus neizmaina būtiski.

Tāpat datu analīzē izmanto 34 egļu, kurām krūšaugstuma vecums ir vismaz 100 gadi, stumbra analīžu datus. Lai izvairītos no auto korelācijas, analīzē izmanto tikai pēdējā nogriežņa datus.

Virsaugstuma augšanas gaitas aproksimācijai pilnveidots iepriekš izstrādātais vienādojums (Donis et al., 2020), kas balstīts uz vispārinātās algebriskās diferences pieeju (GADA – *generalized algebraic difference approach*), kas ļauj augstuma pieaugumu prognozēt, zinot tikai meža elementa virsaugstumu un vecumu, bet nav nepieciešama informācija par bonitāti. Meža elementa virsaugstuma augšanas gaitas aproksimācijai izmantots Hossfeld IV vienādojuma vispārinātās algebriskās diferences pieejas modelis (2.1. formula).

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

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

Rezultāti

Aproksimētas jaunas koeficientu vērtības meža elementa virsaugstuma augšanas gaitas modelim priedei, eglei, bērzam, apsei, melnalksnim un baltalksnim, kā arī no jauna izveidots vienādojums (aprēķināti 2.1. vienādojuma koeficienti) platlapju (ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis) un citu lapu koku sugām (2.7. tabula).

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

Suga	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
Priede	b1	1,1541	0,01898	1,1189	1,1959
	b2	-20,664	4,50498	-31,2757	-14,3497
	b3	11,7048	2,25429	8,57358	17,26040
Egle	b1	1,27871	0,02430	1,21035	1,31424
	b2	-63,8950	21,52353	-120,735	-39,3462
	b3	31,32875	10,13708	20,19678	57,00419
Bērzs	b1	1,38598	0,02688	1,32990	1,43110
	b2	-32,5046	6,97812	-49,9669	-23,6673
	b3	15,30260	2,95752	11,56611	22,86751
Melnalksnis	b1	1,39946	0,05145	1,32195	1,49504
	b2	-16,6885	4,35798	-26,0002	-10,4143
	b3	7,25952	1,61819	4,95381	10,71023
Apse	b1	1,47793	0,04515	1,41230	1,56748
	b2	-18,5605	4,86271	-31,3820	-12,4198
	b3	10,48981	2,25439	7,78956	16,21740
Baltalksnis	b1	1,50003	0,07482	1,36835	1,63413
	b2	-10,6746	4,35826	-22,7539	-4,09102
	b3	3,62917	1,21691	1,84006	7,12849
Ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis	b1	1,58800	0,07658	1,45681	1,75416
	b2	-66,6932	34,23386	-171,581	-28,7284
	b3	27,93103	12,64495	13,18393	65,20215
Citi lapu koki	b1	1,97717	0,13761	1,70622	2,22013
	b2	-58,3935	31,47111	-136,191	-25,1206
	b3	15,24908	7,54427	6,79209	32,70863

Virsaugstuma augšanas gaitas vienādojumam ar 2021. gadā aproksimētajām vērtībām ir augsti statistiskie rādītāji (2.8. tabula). Piemēram, vidējā novirze augstuma tekošajam vidēji periodiskajam pieaugumam saimnieciski nozīmīgākajām koku sugām (priede, egle, bērzs) nepārsniedz divus centimetrus, kas visos gadījumos ir 2 - 5% no uzmērītās vidējā 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

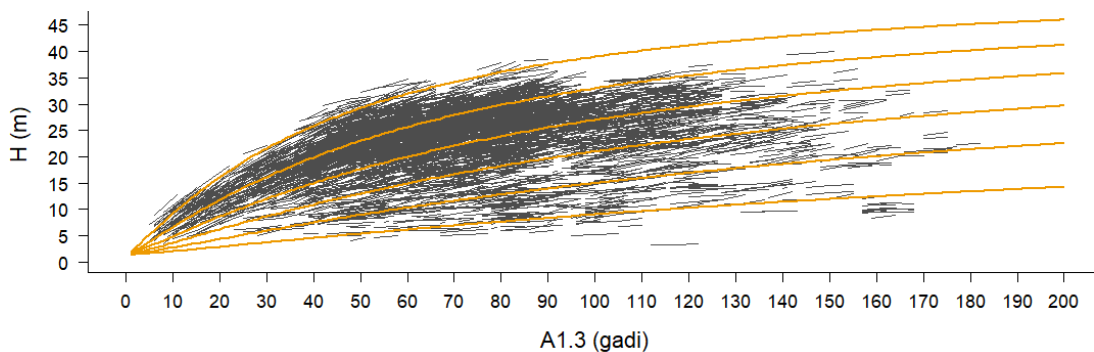
Suga	Vid.	MR ES	MR ES %	AMR ES	RM SE	RM SE %	MSE	ME F	VR	R2	N
Priede	0,21	0,01	2,4	0,09	0,11	52,0	0,012	0,54	0,526	0,458	5236
Egle	0,34	0,02	4,4	0,12	0,15	43,6	0,023	0,55	0,659	0,473	3317
Bērzs	0,34	0,01	3,7	0,13	0,17	49,5	0,029	0,49	0,628	0,514	3187

Suga	Vid.	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R2	N
Melnalksnis	0,33	0,03	7,7	0,11	0,15	44,5	0,021	0,51	0,792	0,532	710
Apse	0,40	0,02	5,5	0,14	0,18	45,9	0,033	0,44	0,748	0,578	962
Baltalksnis	0,39	0,05	13,8	0,14	0,18	47,1	0,034	0,64	0,936	0,488	374
Platlapji*	0,28	0,02	6,8	0,11	0,14	48,4	0,018	0,52	0,772	0,516	253
Citi lapu koki	0,36	0,04	12,4	0,15	0,20	55,9	0,039	0,74	0,776	0,368	159

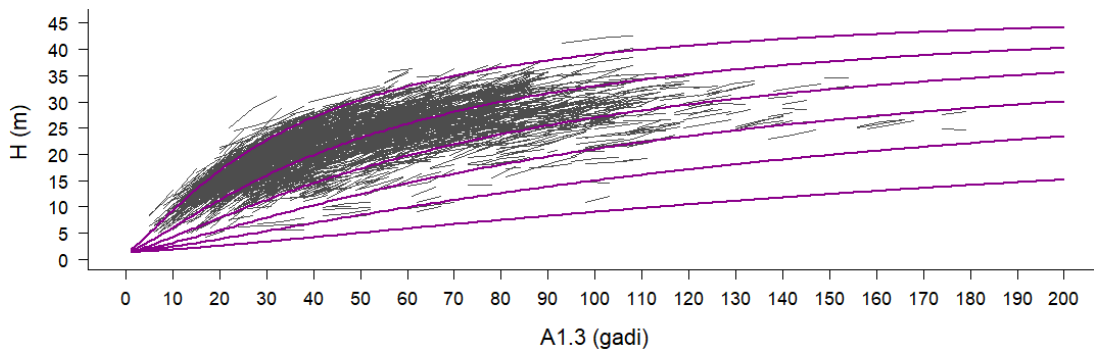
*platlapji – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis;

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.

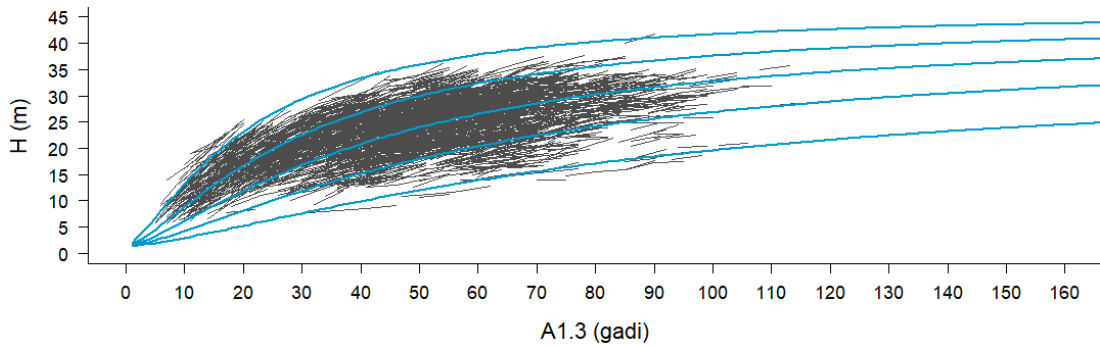
Ar 2021. gadā apromētajām koeficientu vērtībām virsaugstuma augšanas gaitas modelis visiem modelētajiem meža elementiem (to grupām) prognozē mežsaimnieciski loģiskas augstuma izmaiņas ne tikai analizē izmantotajā datu vērtību apgabalā (vecuma un augstuma diapazons), bet arī ārpus tā (2.11. – 2.18. attēls).



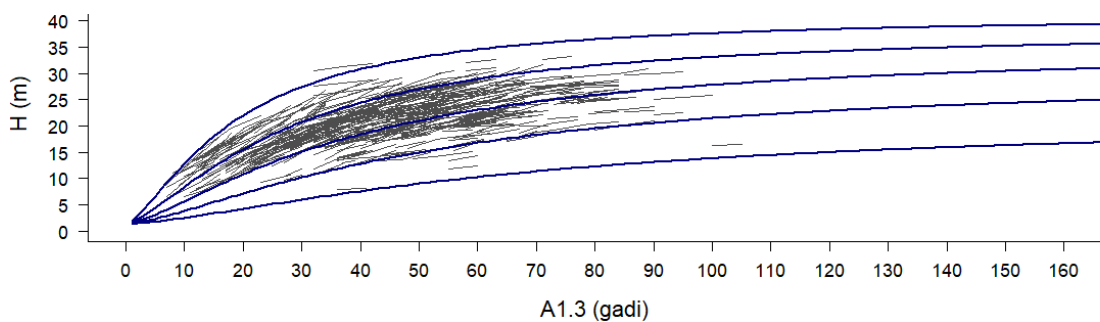
2.11. attēls. Priedes uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m).



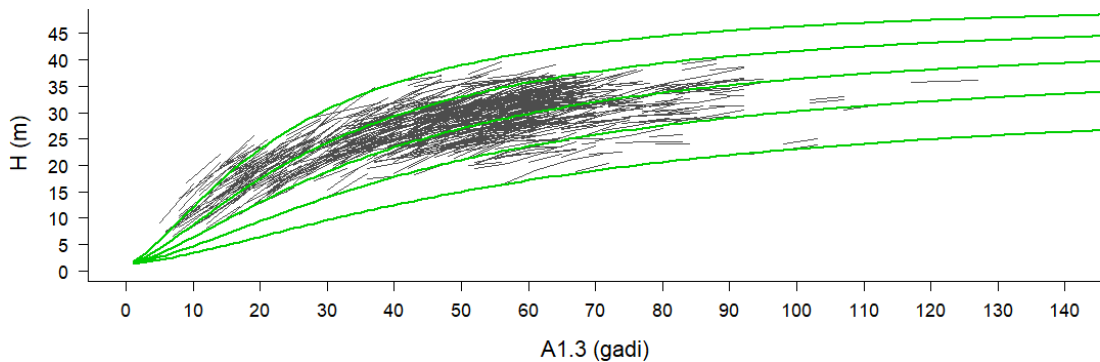
2.12. attēls. Egles uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m).



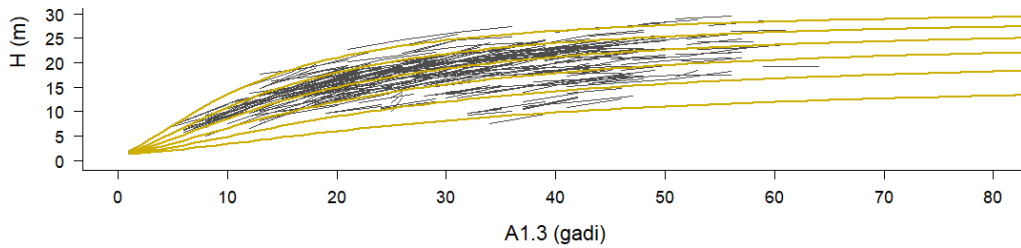
2.13. attēls. Bērza uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 36; 30; 24; 18; 12$ m).



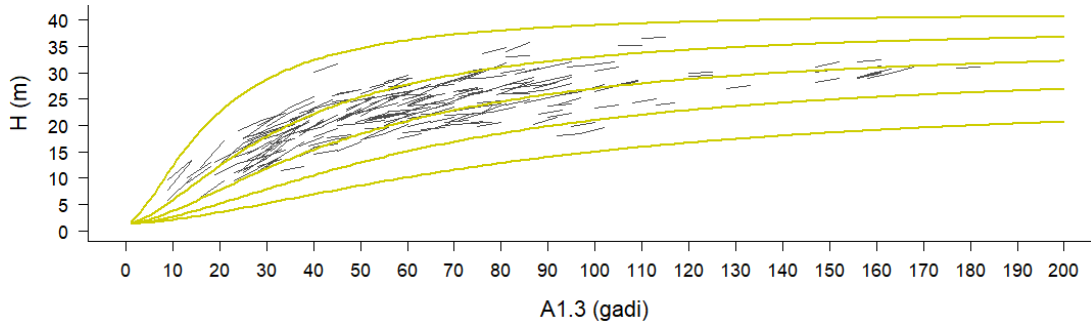
2.14. attēls. Melnalkšņa uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 33; 27; 21; 15; 9$ m).



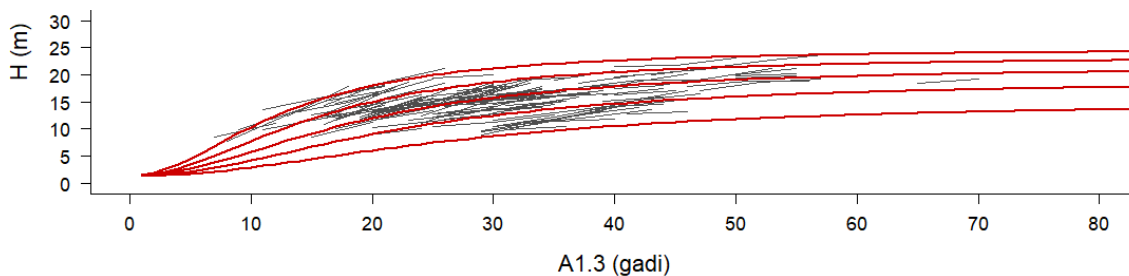
2.15. attēls. Apses uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 36; 30; 24; 18; 12$ m).



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).

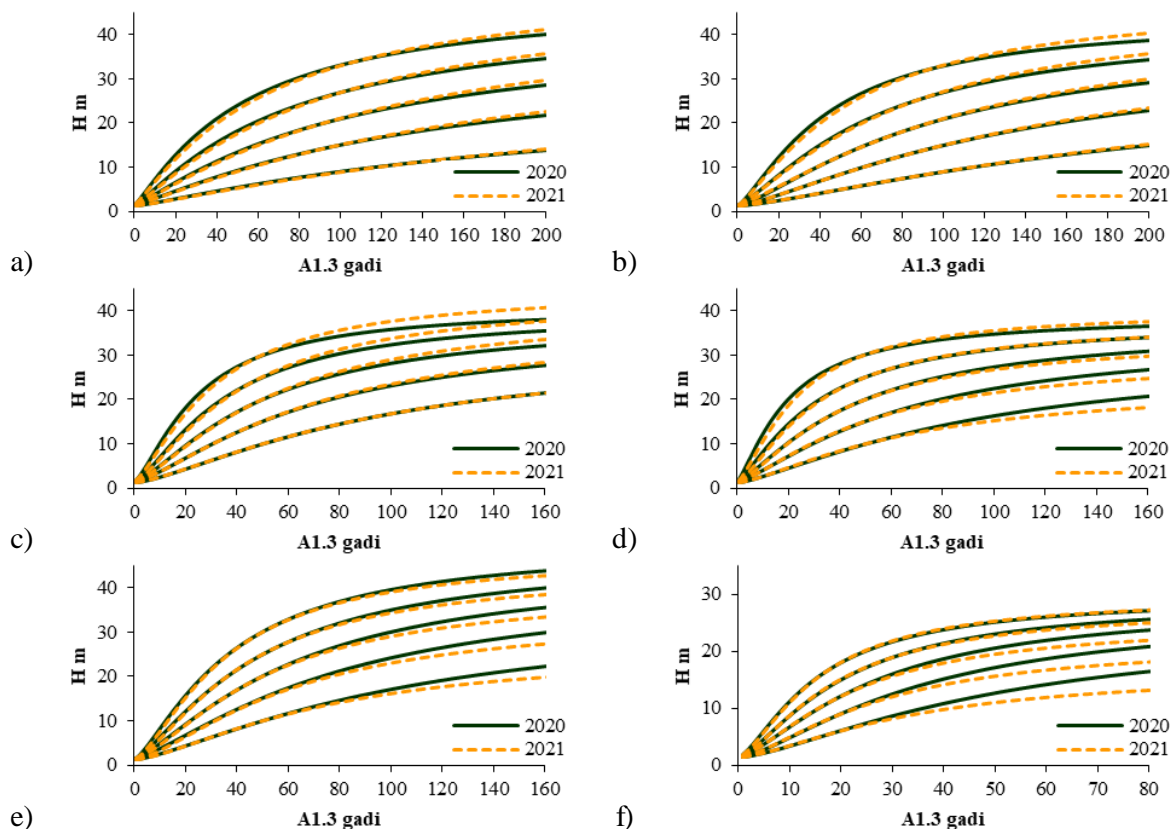


2.17. attēls. Platlapju uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15$ m).



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 (2019. gadā) aproksimētajām koeficientu vērtībām, līknes ir ļoti līdzīgas (2.19. attēls). Pamatā visām sugām vecākās audzēs ar jaunajām koeficientu vērtībām augstuma pieaugums tiek prognozēts nedaudz lielāks, bet lielākoties, tas ir ārpus datu analīzē izmantotā vērtību apgabala, un prognozētās izmaiņas kā vienā tā otrā gadījumā ir bioloģiski loģiskas.



2.19. attēls. Virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma (A1.3) ar 2020. un 2021. gada aproksimētajām koeficientu vērtībām:

2019. gads – zaļa nepārtraukta līnija, 2021. gads – oranža raustīta līnija; a) priede, b) egles, 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 2021. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām.

2.1.2.3. Vidējais caurmērs

Metodika

Datu analīzē izmantoja datus par 16084 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paaudzes vienā stāvā esošus kokus) no 2775 MSI parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- 1) meža elementi ir priede (2737 meža elementi), egles (5339), bērzs (3874), apse (809), melnalksnis (1000), baltalksnis (765), platlapji – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, skābardis un dižskābardis, kļava (1492) un citi lapu koki (530);
- 2) visās uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums;
- 3) starp-inventarizācijas periodā parauglaukumā nav cirsti koki;
- 4) meža elementa aprēķinātais caurmēra tekošais ikgadējais pieaugums neatšķiras vairāk kā divas standartnovirzes no meža elementa vecuma desmitgades aritmētiski vidējā caurmēra tekošā ikgadējā pieauguma.

Meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņu modelēšanai aproksimēts jauns vienādojums, kas paredzēts vidējā caurmēra pieauguma modelēšanai nākamo piecu gadu periodam:

$$i_{g5} = \exp(b_0 + b_1 \cdot \ln(A) + b_2 \cdot \ln(D) + b_3 \ln(G) + b_4 \cdot \text{BAL} + b_5 \cdot c_{0-5}) \quad (2.2)$$

- kur i_{g5} – koka nākošo 5 gadu šķērslaukuma pieaugums, cm^2 ;
 A – meža elementa krūšaugstuma vecums, gadi;
 D – koka krūšaugstuma caurmērs, cm;
 G – mežaudzes šķērslaukums, m^2ha^{-1} ;
 c_{0-5} – fiktīvais mainīgais, vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta koku ciršana, (0 vai 1);
 b_{0-5} – koeficienti.

Meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra šķērslaukuma pieauguma izmaiņas modelētas datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows, izmantojot rīku *Mixed models*, kur kā nejaušais faktors ir izmantots parauglaukums, jo tiek izmantoti atkārtoti uzmērīti meža elementi, kas savā starpā ir saistīti.

Meža elementa nākošā perioda caurmērs aprēķināms ar sekojošu vienādojumu:

$$D_2 = \sqrt{D_1^2 + \frac{4 \cdot i_{g5}}{\pi}} \quad (2.3)$$

- kur D_2 – koka krūšaugstuma caurmērs perioda beigās (pēc 5 gadiem), cm;
 i_{g5} – koka nākošo 5 gadu šķērslaukuma pieaugums, cm^2 ;
 D_1 – koka krūšaugstuma caurmērs perioda sākumā, cm,

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

Aproksimēts jauns vidējā caurmēra pieauguma modelis (2.9. tabula). Jaunajam modelim nozīmīgākā priekšrocība, salīdzinājumā ar iepriekš izstrādāto GADA modeli (Donis et al., 2020), ir tā, ka tiešā veidā tiek ņemts vērā tas, vai audzē ir veikta koku ciršana vai nav. Lai vienādojums būtu vieglāk lietojams, tajā ir saglabāti arī koeficienti, kas nav statistiski būtiski, bet to vērtība ir bioloģiski pamatota.

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

Suga	Koeficients	Vērtība	Standartkļūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
priede	b0	2,42012	0,11601	2,19265	2,64759
	b1	-1,08480	0,03398	-1,15142	-1,01818
	b2	2,11512	0,04451	2,02785	2,20239
	b3	-0,28402	0,03426	-0,35119	-0,21684

Suga	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
Suga	b4	-0,05400	0,00286	-0,05960	-0,04839
	b5	0,12712	0,04641	0,21813	0,03611
egle	b0	3,01251	0,08764	2,84070	3,18432
	b1	-1,00051	0,02914	-1,05764	-0,94337
	b2	2,13814	0,03137	2,07665	2,19963
	b3	-0,44531	0,02986	-0,50384	-0,38678
	b4	-0,00414	0,00113	-0,00636	-0,00193
	b5	0,20673	0,03470	0,27476	0,13871
bērzs	b0	4,03604	0,11878	3,80316	4,26891
	b1	-1,75396	0,05174	-1,85540	-1,65252
	b2	2,47927	0,05308	2,37521	2,58334
	b3	-0,31322	0,03370	-0,37930	-0,24714
	b4	-0,02834	0,00225	-0,03275	-0,02393
	b5	0,25738	0,05715	0,36943	0,14533
melnalksnis	b0	3,24678	0,22071	2,81366	3,67991
	b1	-1,32520	0,09107	-1,50393	-1,14648
	b2	2,35907	0,09294	2,17668	2,54146
	b3	-0,48583	0,06589	-0,61513	-0,35654
	b4	-0,01096	0,00332	-0,01748	-0,00444
	b5	0,07168	0,10471	0,27717	-0,13380
apse	b0	3,00632	0,11460	2,78134	3,23129
	b1	-1,07607	0,07300	-1,21937	-0,93277
	b2	2,11949	0,06816	1,98568	2,25330
	b3	-0,32834	0,04182	-0,41042	-0,24625
	b4	-0,03581	0,00424	-0,04414	-0,02748
	b5	0,11761	0,06173	0,23879	-0,00357
baltalksnis	b0	3,36205	0,15785	3,05218	3,67193
	b1	-0,88688	0,08957	-1,06271	-0,71105
	b2	1,50702	0,09688	1,31683	1,69720
	b3	-0,34056	0,04926	-0,43726	-0,24385
	b4	-0,02275	0,00326	-0,02914	-0,01636
	b5	0,13459	0,08395	0,29939	-0,03021
ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis	b0	2,91722	0,17195	2,57979	3,25465
	b1	-1,00652	0,06956	-1,14302	-0,87001
	b2	1,90945	0,07171	1,76873	2,05018
	b3	-0,28131	0,05365	-0,38660	-0,17603
	b4	-0,00724	0,00243	-0,01202	-0,00246
	b5	0,04771	0,08141	0,20746	-0,11204
citi lapu koki	b0	2,86239	0,22508	2,42018	3,30459
	b1	-1,09372	0,09546	-1,28128	-0,90617
	b2	1,96479	0,09263	1,78281	2,14676
	b3	-0,24250	0,05805	-0,35655	-0,12845
	b4	-0,01070	0,00280	-0,01620	-0,00521
	b5	0,14349	0,11489	0,36921	-0,08223

Jaunais izstrādātais vienādojums priedei, eglei, bērzam, apsei un baltalksnim sistemātiski prognozē nedaudz lielākus caurmēra pieaugumus, bet pārējiem elementiem mazākus. Sistemātiskā

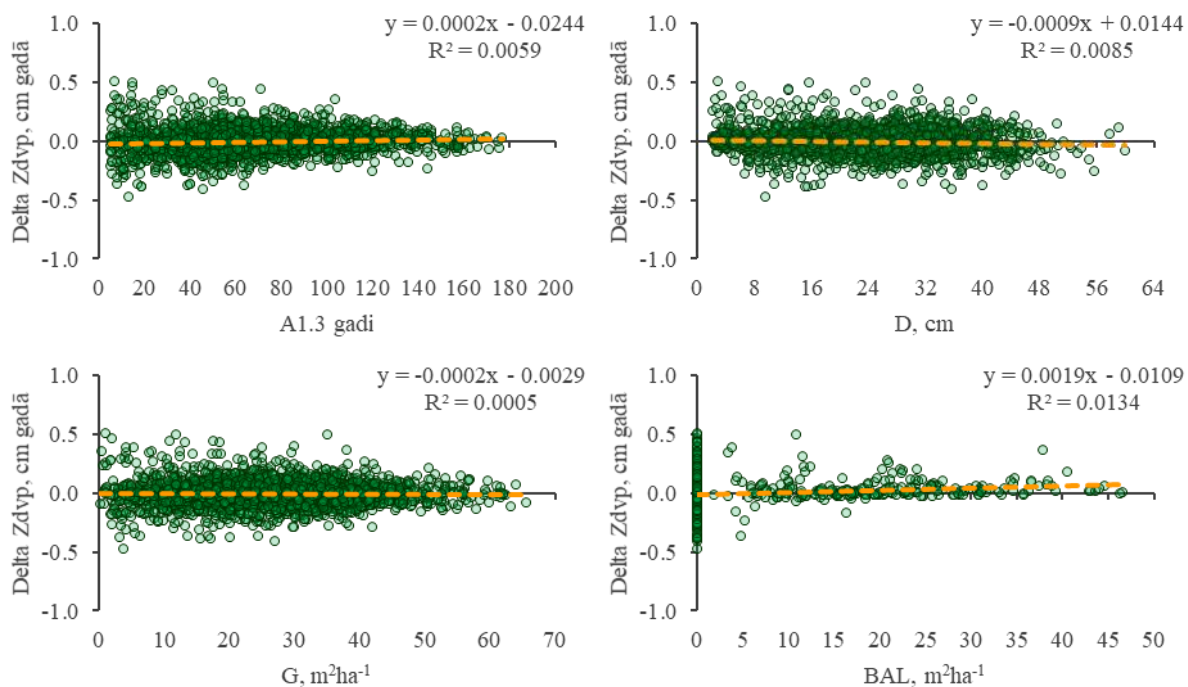
novirze ir visos gadījumos mazāka par 0,3 mm, kas visos gadījumos ir mazāk nekā 10% no vidējā periodiskā pieauguma (2.10. tabula).

2.10. tabula. Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) prognozētā ikgadējā caurmēra pieauguma statistiskie rādītāji

Suga	Vid.	MRES	MRES %	AMRES	RMS E	RMSE %	MSE	MEF	VR	R2	N
Priede	0,23	-0,01	-3,44	0,07	0,10	44,27	0,010	0,428	0,842	0,596	2722
Egle	0,30	-0,03	-9,68	0,12	0,15	50,23	0,023	0,542	1,059	0,558	5251
Bērzs	0,26	-0,02	-8,95	0,11	0,15	55,81	0,021	0,445	0,996	0,613	3762
Melnalksnis	0,29	0,01	3,19	0,11	0,14	49,08	0,020	0,554	0,996	0,524	987
Apse	0,55	-0,02	-4,45	0,15	0,20	35,44	0,038	0,472	0,777	0,554	766
Baltalksnis	0,28	0,00	-0,72	0,10	0,13	45,86	0,016	0,438	0,730	0,572	759
Platlapji	0,35	0,03	9,66	0,14	0,18	51,24	0,033	0,607	0,510	0,419	1002
Citi lapu koki	0,38	0,00	0,72	0,15	0,19	50,02	0,037	0,527	0,500	0,474	516

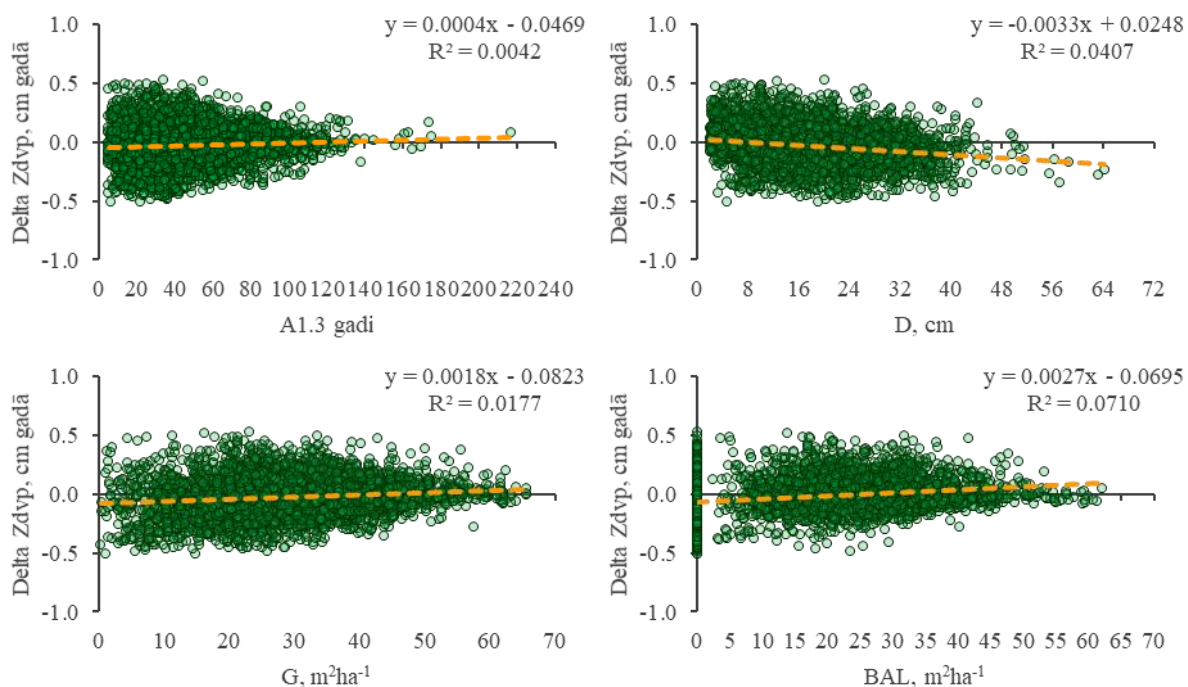
Vid. - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība;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

Starpībai starp uzmērīto un prognozēto 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, izņemot egli (2.20. – 2.27. attēli).



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

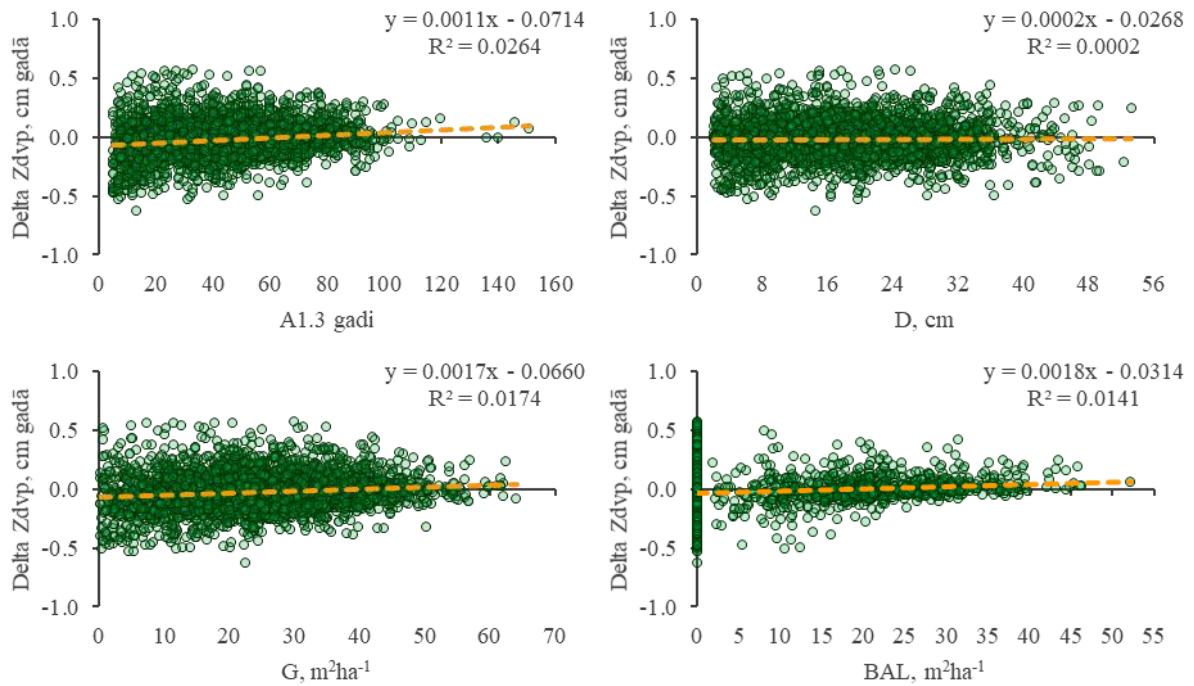
Delta Zdvp – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A1,3 – meža elementa krūšaugstuma vecums, D – meža elementa vidējais kvadrātiskais caurmērs, G – mežaudzes šķērslaukums, BAL – meža elementu, kas lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



2.21. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu eglēm:

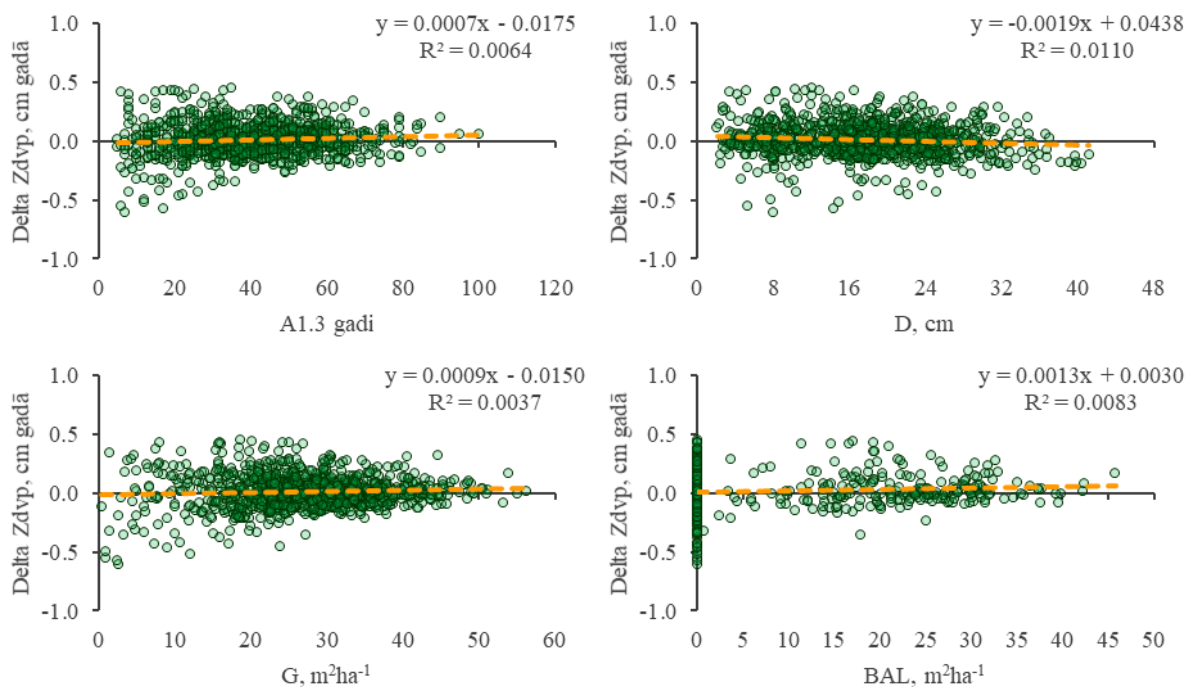
Delta Zdvp – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A1,3 – meža elementa krūšaugstuma vecums, D – meža elementa vidējais

kvadrātiskais caurmērs, G – mežaudzes šķērslaukums, BAL – meža elementu, kas lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa



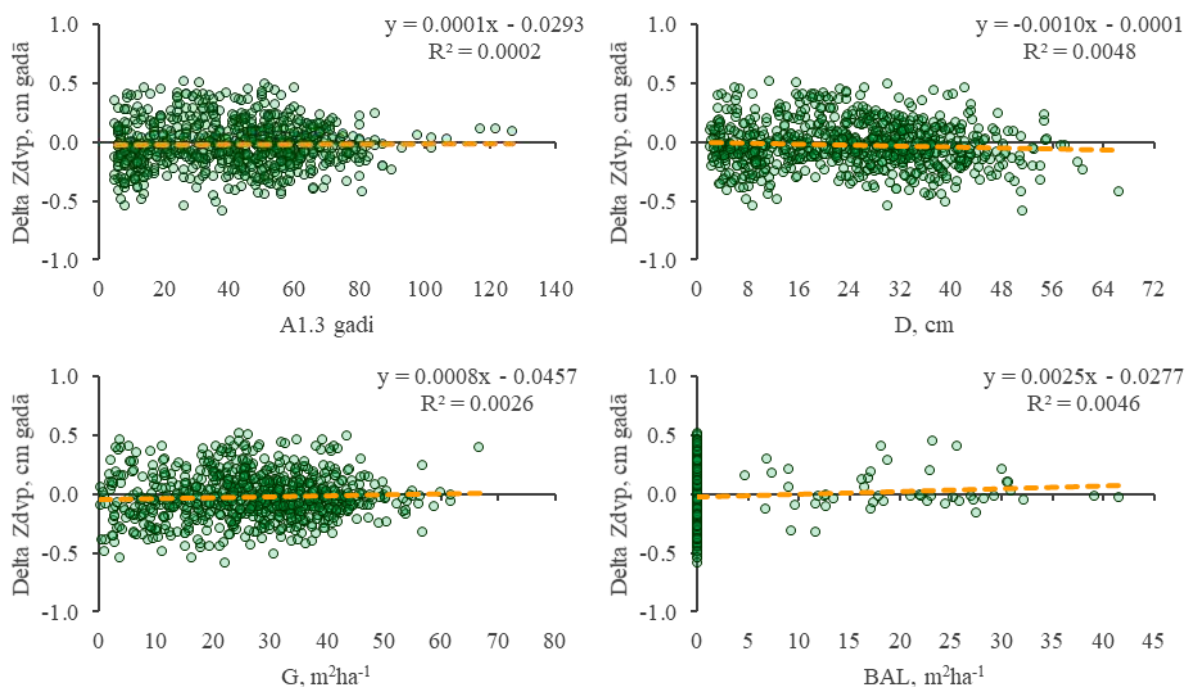
2.22. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu bērzam:

Delta Zdvp – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A1,3 – meža elementa krūšaugstuma vecums, D – meža elementa vidējais kvadrātiskais caurmērs, G – mežaudzes šķērslaukums, BAL – meža elementu, kas lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



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

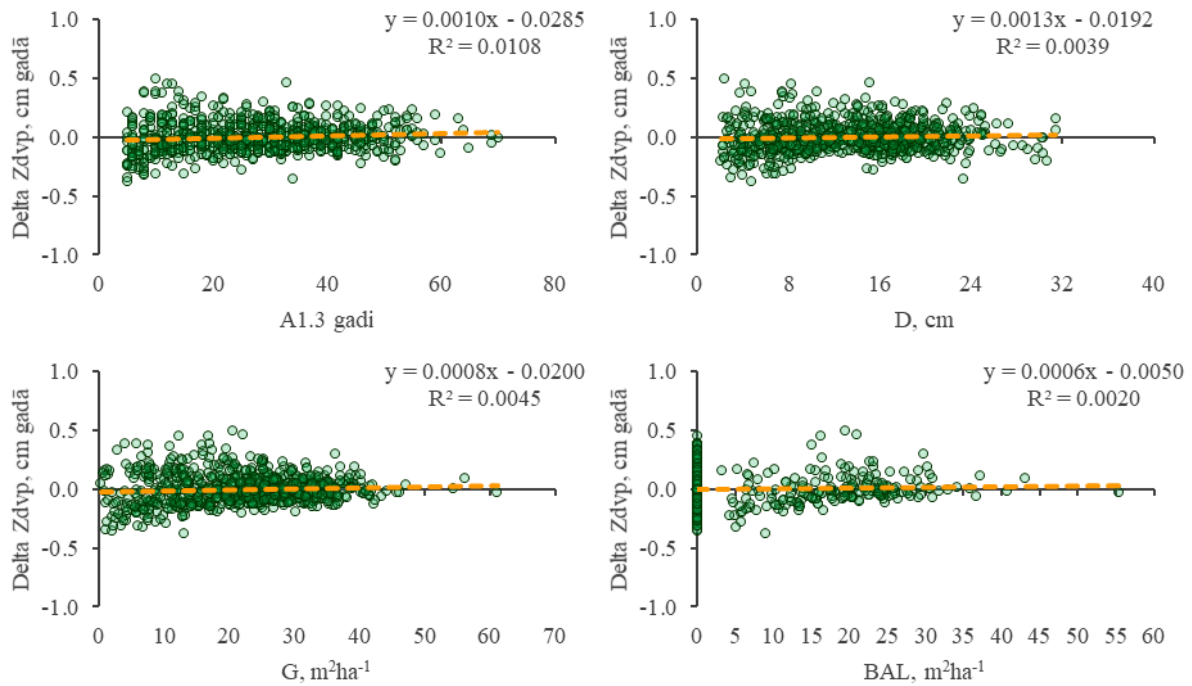
Delta Zdsp – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A1,3 – meža elementa krūšaugstuma vecums, D – meža elementa vidējais kvadrātiskais caurmērs, G – mežaudzes šķērslaukums, BAL – meža elementu, kas lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



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

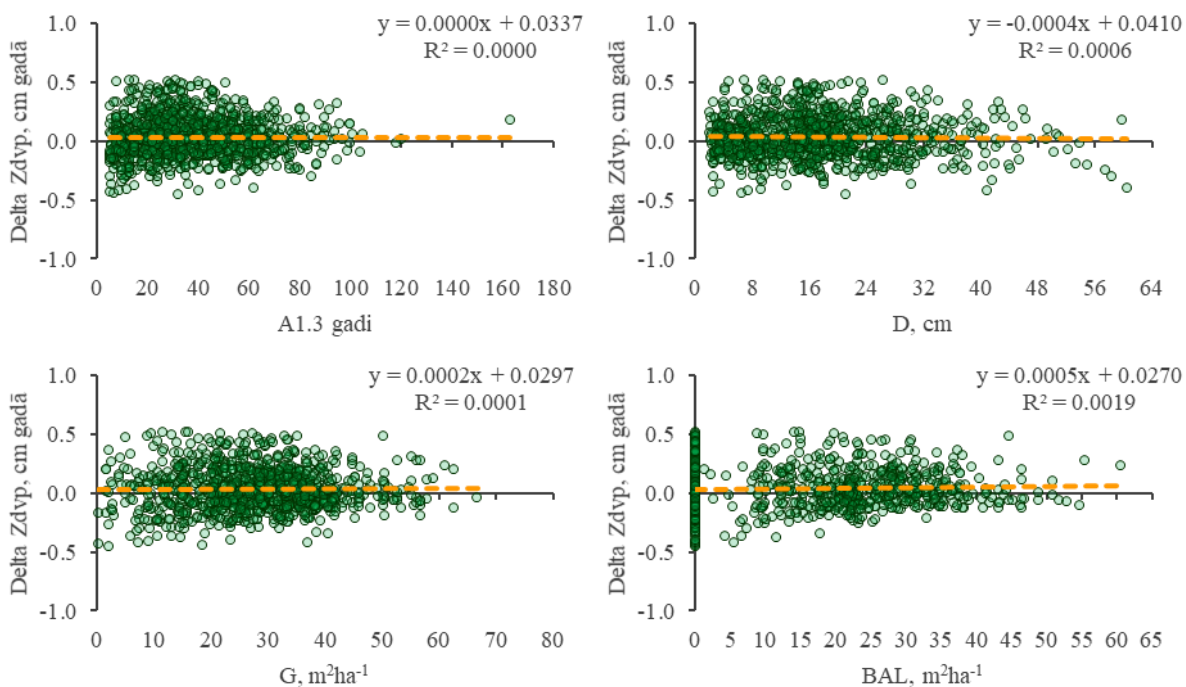
Delta Zdsp – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A1,3 – meža elementa krūšaugstuma vecums, D – meža elementa vidējais

kvadrātiskais caurmērs, G – mežaudzes šķērslaukums, BAL – meža elementu, kas lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



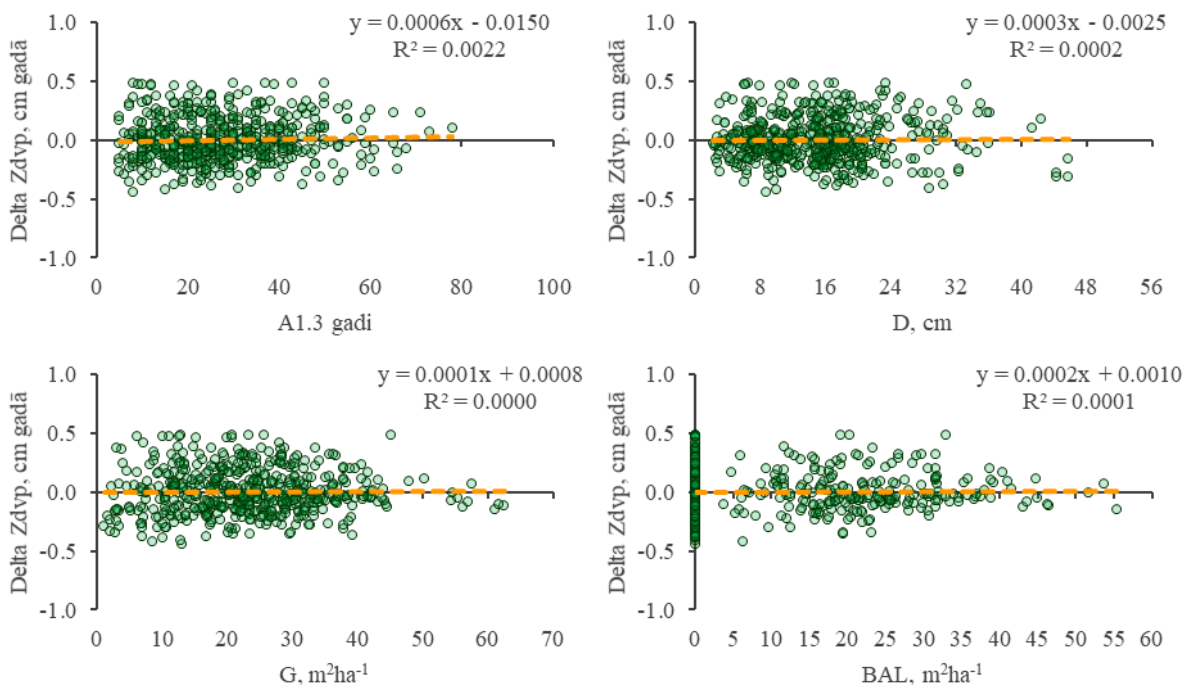
2.25. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto caurmēra vidējo periodisko pieaugumu baltalksnim:

Delta Zdvp – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A1,3 – meža elementa krūšaugstuma vecums, D – meža elementa vidējais kvadrātiskais caurmērs, G – mežaudzes šķērslaukums, BAL – meža elementu, kas lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



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

Delta Zdsp – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A1,3 – meža elementa krūšaugstuma vecums, D – meža elementa vidējais kvadrātiskais caurmērs, G – mežaudzes šķērslaukums, BAL – meža elementu, kas lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



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

Delta Zdsp – vidējā periodiskā caurmēra pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A1,3 – meža elementa krūšaugstuma vecums, D – 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 10559 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paaudzes vienā stāvā esošus kokus) no 2592 MSI parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- 1) meža elementi ir priede (2079 meža elementi), egles (3691), bērzs (2747), apse (381), melnalksnis (657), baltalksnis (521), platlapji – ozols, osis, liepa, goba, vīksna, skābardis un dižskābardis, kļava (283) un citi lapu koki (200);
- 2) visās uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums;
- 3) starp-inventarizācijas periodā parauglaukumā nav cirsti koki;
- 4) pirmajā uzmērīšanas reizē parauglaukumā ir uzmērīti vismaz trīs dzīvi koki;
- 5) meža elementa aprēķinātais šķērslaukuma tekošais vidēji periodiskais pieaugums neatšķiras vairāk kā divas standartnovirzes no meža elementa vecuma desmitgades aritmētiski vidējā šķērslaukuma tekošā vidēji periodiskā pieauguma.

Meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modelēšanai aproksimēts iepriekš izveidotais vienādojums (Donis et al., 2020), kas papildināts ar koku ciršanas faktoriālo pazīmi:

$$G_2 = G_1 + \left(b_0 + b_1 \cdot \frac{A_1}{100} + b_2 \cdot A_1^{-2} + b_3 \cdot \frac{G_1}{A_1} + b_4 \cdot \frac{GL}{A_1} + b_5 \cdot \frac{SI}{A_1} + b_6 \cdot c_{0-5} \right) \cdot (A_2 - A_1) \quad (2.4)$$

- kur*
- 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 100 gadi; B, M, A 50 gadi; Ba 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 nejaušais faktors ir izmantots parauglaukums, jo tiek izmantoti atkārtoti uzņēmīti 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

Aproksimēts jauns šķērslaukuma pieauguma modelis (2.3. formula) un tā koeficientu vērtības atspoguļotas 2.12. tabulā. Jaunajam modelim nozīmīgākā priekšrocība salīdzinājumā ar iepriekš izstrādāto modeli (Donis et al., 2020) ir tā, ka jaunajā modelī tiek ņemts vērā vai audzē pirms tam ir veikta koku ciršana vai nav. Lai vienādojums būtu vieglāk lietojams, tajā ir saglabāti arī koeficienti, kas nav būtiski, bet to vērtības ir nulle. Tas atvieglo modeļa praktisku lietošanu. Egļei, 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.

2.12. tabula. Meža elementa šķērslaukuma izmaiņas modeļa (2.3. formula) aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

Suga	Koeficients	Vērtība	Standartkļūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
priede	b0	0,12287	0,01618	0,08622	0,15178
	b1	-0,02202	0,01168	-0,04611	0,00266
	b2	12,58736	4,20232	2,46420	19,41229
	b3	1,01354	0,01592	0,98402	1,04873
	b4	-0,21273	0,01724	-0,24392	-0,18407
	b5	0,05217	0,01749	0,01694	0,09328
	b6	0,04361	0,00703	0,05923	0,03051
egle	b0	0,18680	0,01236	0,16282	0,21568
	b1	-0,07326	0,01168	-0,09454	-0,04658
	b2	21,57234	1,78234	18,50041	25,71183
	b3	1,25441	0,01989	1,21693	1,29906
	b4	-0,13033	0,00678	-0,14257	-0,11592
	b5	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	b6	0,05871	0,00755	0,07657	0,04527
bērzs	b0	0,15415	0,01761	0,12426	0,19516
	b1	-0,11218	0,01993	-0,15585	-0,07189
	b2	1,85689	2,72163	-2,78407	7,72476
	b3	0,97335	0,02125	0,92961	1,01212
	b4	-0,19043	0,00849	-0,20664	-0,17181
	b5	0,11078	0,01315	0,08113	0,13642
	b6	0,04961	0,00931	0,07057	0,03373
melnalksnis	b0	0,23239	0,03288	0,16760	0,32114
	b1	-0,23086	0,03950	-0,32472	-0,16677
	b2	10,20198	3,73976	2,68621	18,48461
	b3	1,04273	0,03134	0,96961	1,09917
	b4	-0,17066	0,01658	-0,20936	-0,14074
	b5	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

Suga	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	95% ticamības intervāls	
				min	max
	b6	0,02016	0,02128	0,05900	-0,03000
apse	b0	0,23428	0,05636	0,11132	0,36213
	b1	-0,14778	0,07108	-0,29819	-0,01341
	b2	12,91875	6,52661	3,09740	27,84408
	b3	1,29994	0,05042	1,21477	1,41400
	b4	-0,19252	0,02659	-0,25799	-0,14876
	b5	0,03244	0,03560	-0,04904	0,09255
	b6	0,01994	0,02650	0,08529	-0,02821
baltalksnis	b0	0,25194	0,03734	0,16620	0,31551
	b1	-0,27844	0,06770	-0,40888	-0,12676
	b2	11,11299	1,65092	7,76796	14,68506
	b3	0,96727	0,03017	0,90825	1,03819
	b4	-0,16532	0,01343	-0,18702	-0,13871
	b5	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	b6	0,07477	0,02347	0,13398	0,02439
ozols, osis, liepa, goba, vīksna, dižskābardis, skābardis, kļava, ķirsis	b0	0,14059	0,04012	0,07034	0,24070
	b1	-0,06396	0,03787	-0,15794	-0,01302
	b2	9,91625	2,86753	4,12814	15,48265
	b3	1,03590	0,08571	0,88270	1,22600
	b4	-0,05730	0,01592	-0,09425	-0,02508
	b5	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	b6	0,05671	0,02991	0,12434	0,00177
citi	b0	0,15136	0,06677	-0,00442	0,27487
	b1	-0,07538	0,08895	-0,31721	0,08897
	b2	0,23387	1,64000	-4,04527	2,71806
	b3	1,31339	0,12235	1,10710	1,58589
	b4	-0,07413	0,01402	-0,10964	-0,04876
	b5	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	b6	0,06369	0,05003	0,16426	-0,03746

Izstrādātais vienādojums visiem elementiem sistemātiski prognozē nedaudz lielākus šķerslaukuma pieaugumus (2.13. tabula).

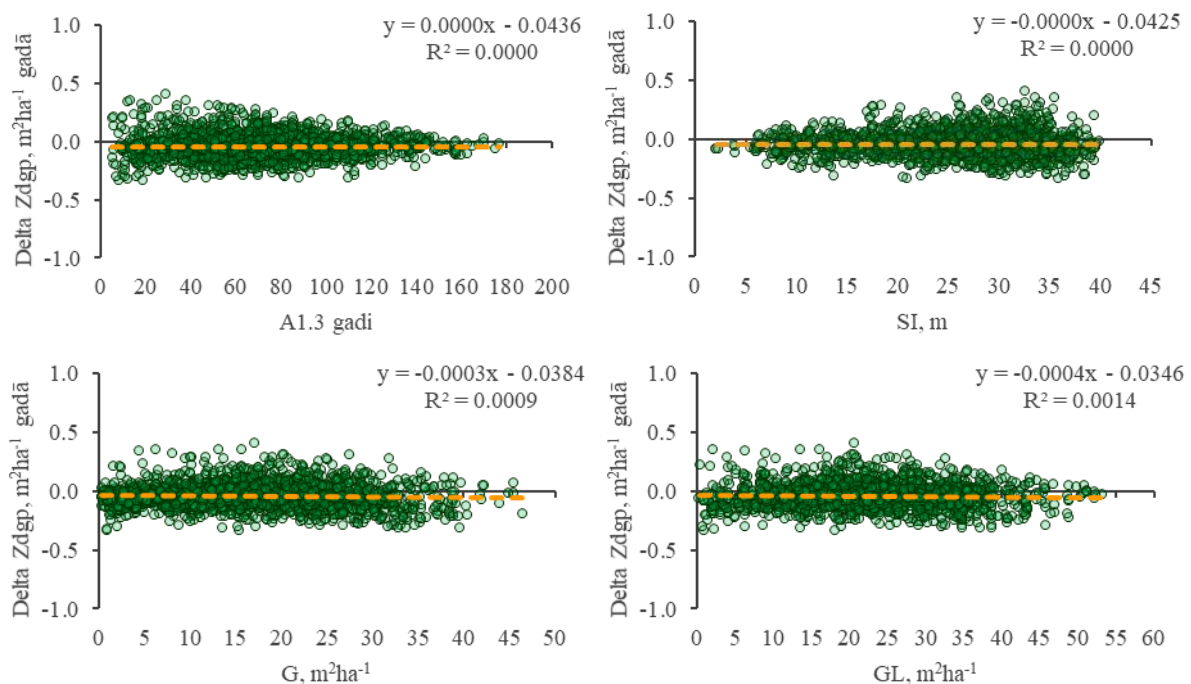
2.13. tabula. Meža elementa šķerslaukuma izmaiņu modeļa (2.3. formula) prognozētā ikgadējā šķerslaukuma pieauguma statistiskie rādītāji

Suga	Vi d	MRE S	MRES %	AMRE S	RMS E	RMSE %	MS E	ME F	VR	R2	N
Priede	0,2 9	-0,04	-15,22	0,09	0,11	38,44	0,01 2	0,27 8	0,76 5	0,76 5	207 9
Egle	0,2 4	-0,06	-24,24	0,10	0,13	53,27	0,01 7	0,24 3	0,80 8	0,80 8	369 1
Bērzs	0,2 3	-0,05	-21,74	0,10	0,13	57,04	0,01 7	0,30 4	0,74 1	0,74 1	274 7
Melnalksnis	0,2 6	-0,02	-7,75	0,09	0,12	44,31	0,01 3	0,24 3	0,76 5	0,76 5	657
Apse	0,4 7	-0,02	-4,27	0,11	0,15	32,35	0,02 3	0,18 1	0,82 2	0,82 2	381
Baltalksnis	0,3 1	-0,07	-24,36	0,13	0,16	52,23	0,02 6	0,22 9	0,82 1	0,82 1	521

Platlapji	0,1 4	-0,06	-40,76	0,09	0,11	77,16	0,01 1	0,63 6	0,54 5	0,54 5	283
Citi lapu koki	0,2 1	-0,06	-30,04	0,11	0,13	63,09	0,01 8	0,34 3	0,73 7	0,73 7	200

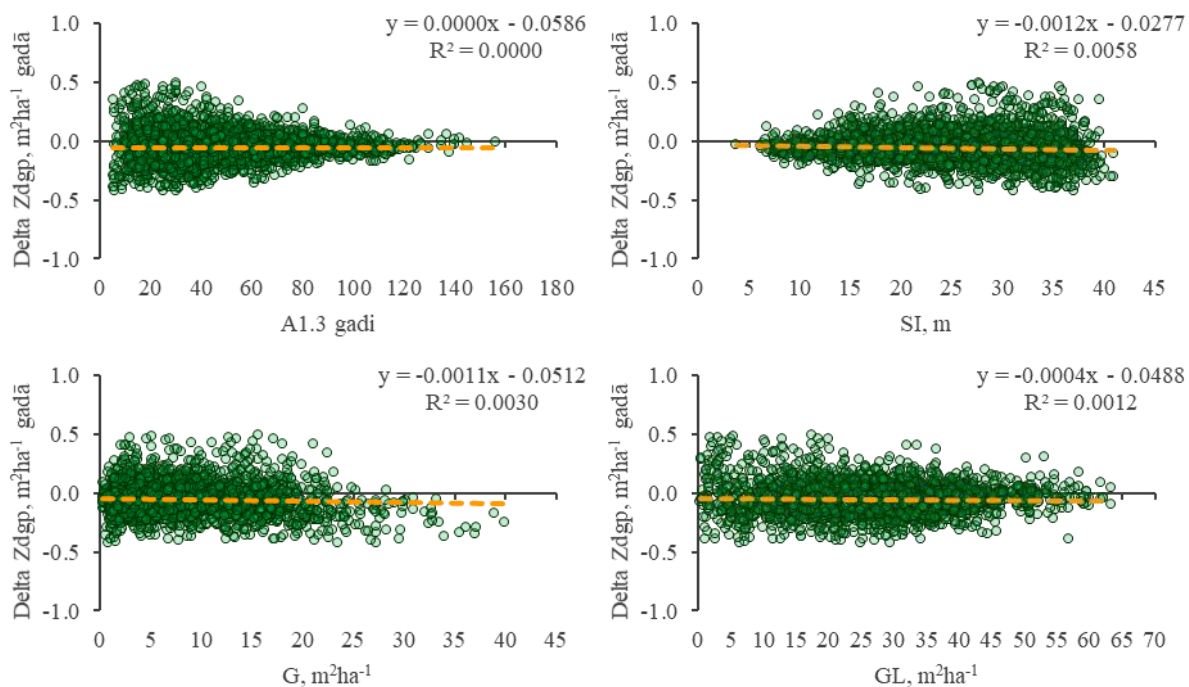
Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība;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

Starpībai starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma pieaugumu nav konstatētas korelatīvas sakarības ar meža elementa krūšaugstuma vecumu, bonitātes rādītāju jeb prognozēto augstumu bāzes vecumā, meža elementa šķērslaukumu un meža elementu, kas vienādi vai lielāki par konkrēto meža elementu, šķērslaukuma summu (2.28. – 2.35. attēli).



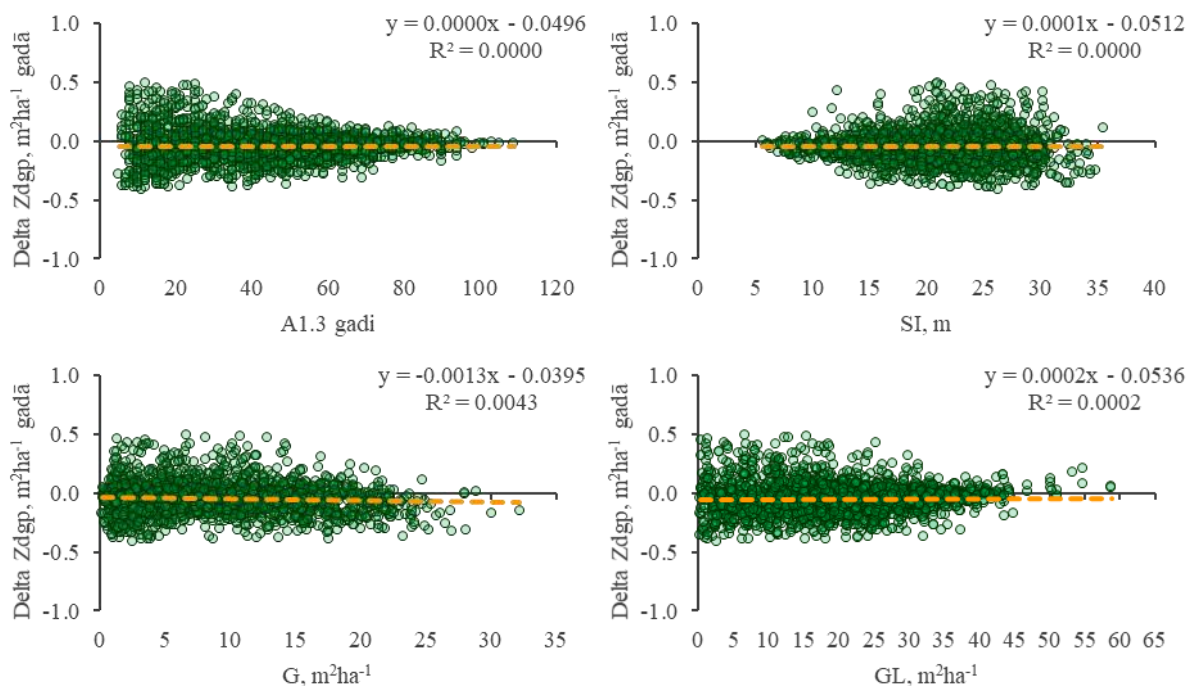
2.28. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu priedēm:

Delta Zdgp – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A1,3 – 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.



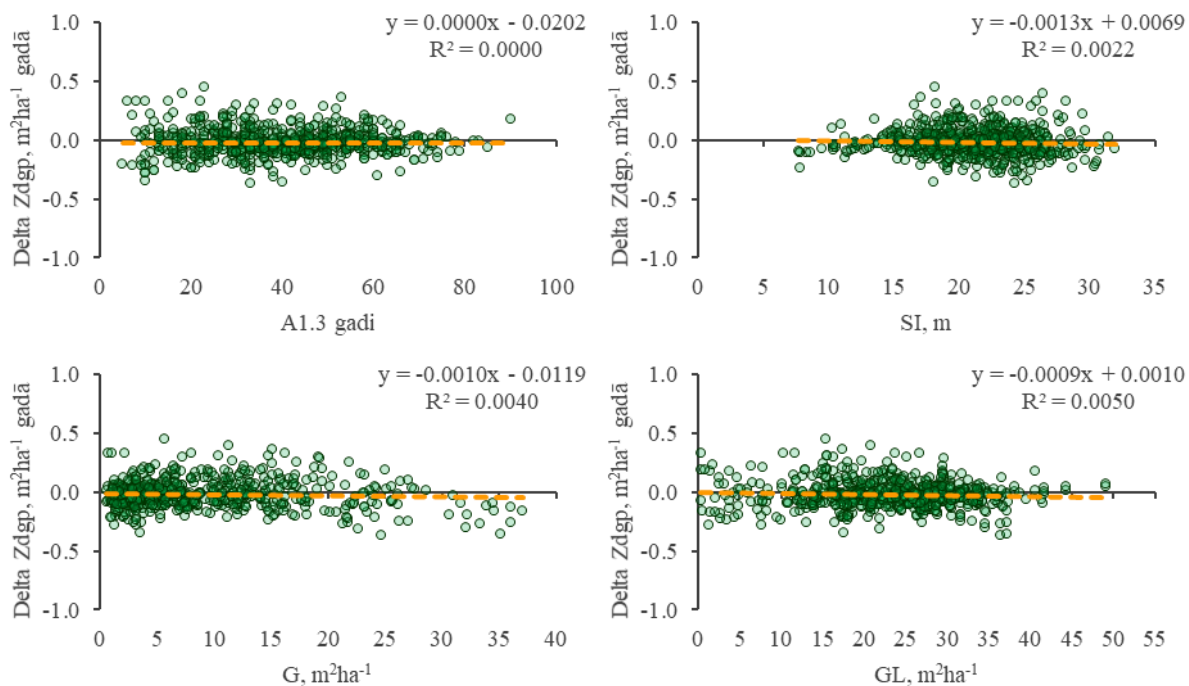
2.29. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu eglēm:

Delta Zdgp – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma starpība starp uzņēmīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A1,3 – meža elementa krūšaugstuma vecums, SI – meža elementa augstums bāzes vecumā (priede, egle platlapji – 100 gadi, bērzs, apse, melnalksnis 50 gadi, baltalksnis un citi lapu koki 20 gadi), G – meža elementa šķērslaukums, GL – meža elementu, kas vienādi un lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa.



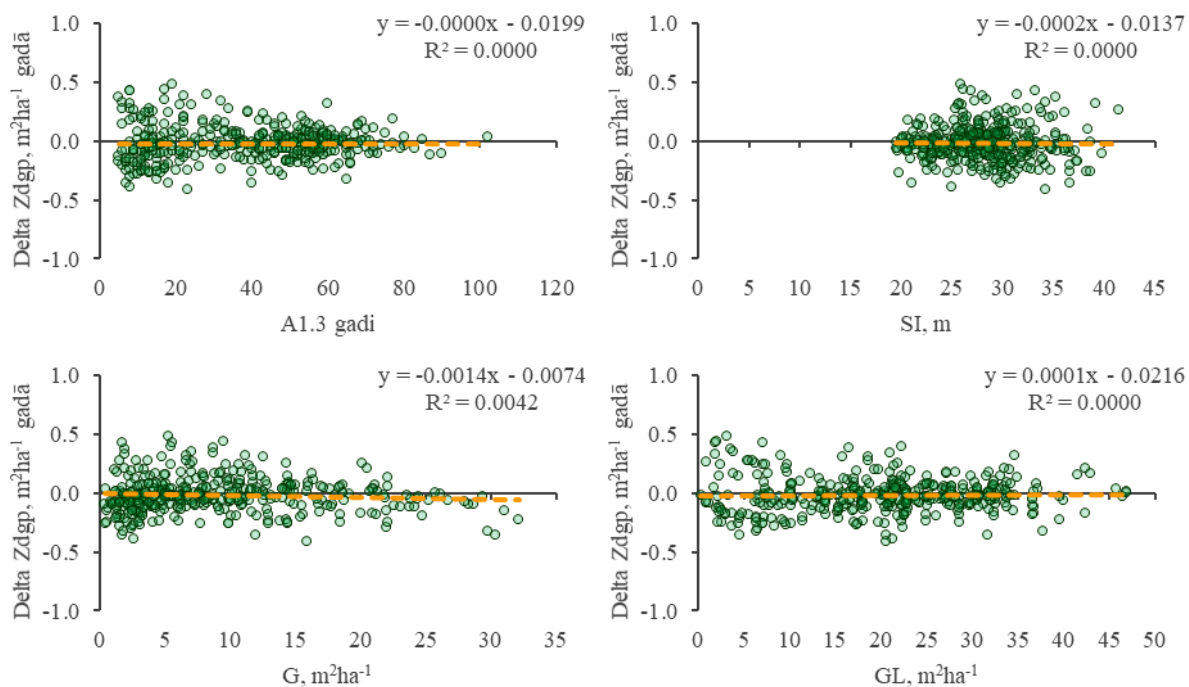
2.30. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu bērzam:

Delta Zdgp – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A1,3 – 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



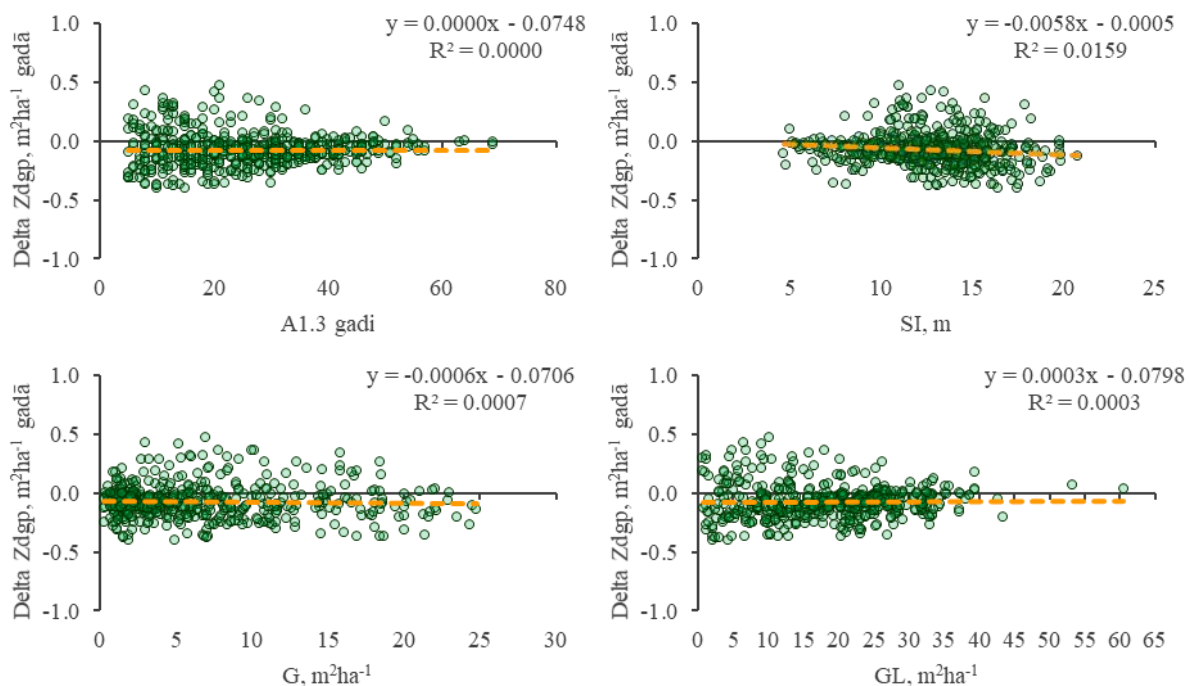
2.31. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu melnalksnim:

Delta Zdgp – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A1,3 – 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



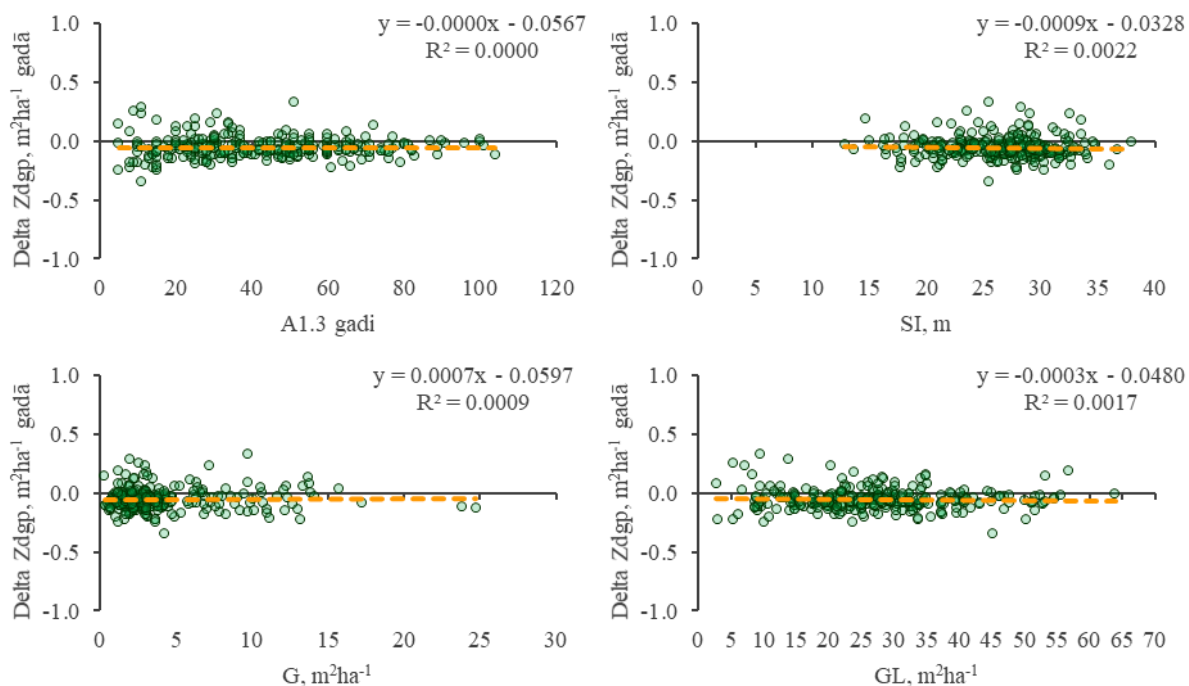
2.32. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu apsei:

Delta Zdgp – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma starpība starp uzņēmīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A1,3 – meža elementa krūšaugstuma vecums, SI – meža elementa augstums bāzes vecumā (priede, egle platlapji – 100 gadi, bērzs, apse, melnalksnis 50 gadi, baltalksnis un citi lapu koki 20 gadi), G – meža elementa šķērslaukums, GL – meža elementu, kas vienādi un lielāki par konkrēto elementu, šķērslaukuma summa



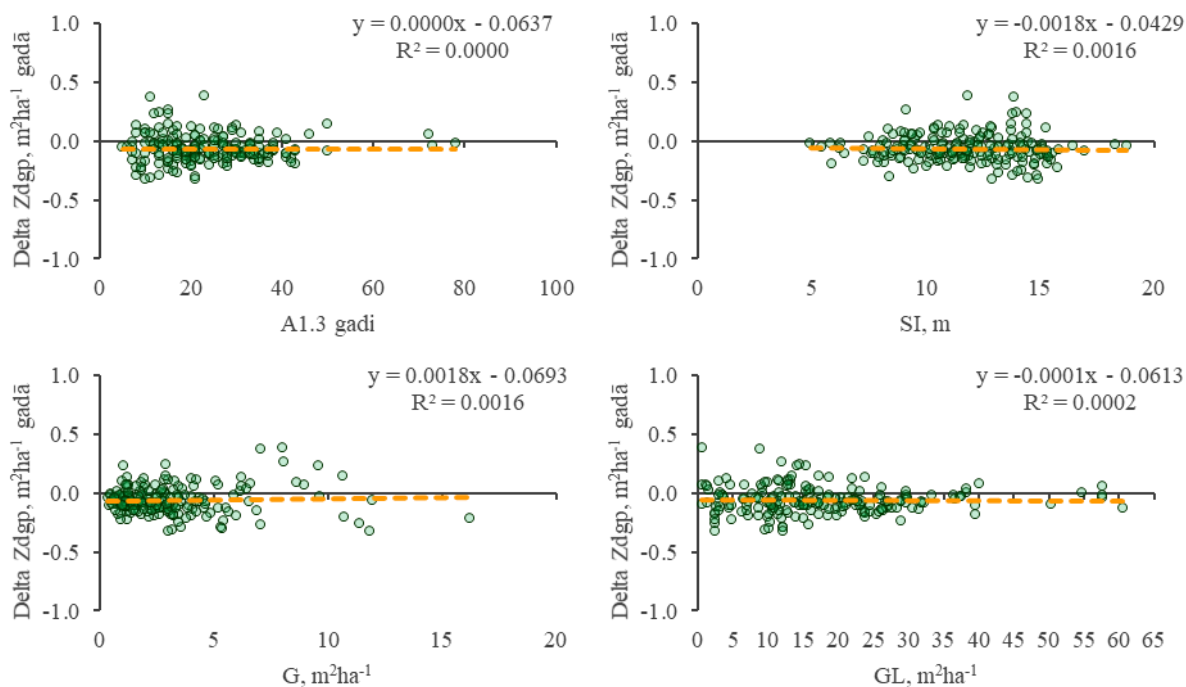
2.33. attēls. Starpība starp uzņēmīto un prognozēto šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu baltalksnim:

Delta Zdgp – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma starpība starp uzmērīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A1,3 – 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



2.34. 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), A1,3 – 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



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

Delta Zdgp – vidējā periodiskā šķērslaukuma pieauguma starpība starp uzņēmīto vērtību un prognozēto (Uzm-Progn), A1,3 – meža elementa krūšaugstuma vecums, SI – meža elementa augstums bāzes vecumā (priede, egle platlapji – 100 gadi, bērzs, apse, melnalksnis 50 gadi, baltalksnis un citi lapu koki 20 gadi), G – meža elementa šķērslaukums, GL – meža elementu, kas vienādi 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)

3.1.1.1. Konceptuālās pieejas izvērtējums

Latvijā tradicionāli gan mežsaimniecība, gan arī augšanas gaitas modelēšana balstīta uz vienvecuma (tīraudžu) audžu veidošanu, līdz ar to individuālu koku augšanas gaitas modelēšanai nav pievērsta īpaša uzmanība. Šobrīd Latvijā VMD uzturētās Meža valsts reģistra datu bāzes dažādu taksācijas rādītāju izmaiņu prognozēšanai tiek izmantoti vienādojumi, kas paredzēti mežaudzes vidējā augstuma, vidējā caurmēra un šķērslaukuma aktualizācijai. Šie vienādojumi izstrādāti 20. gs. 80. gados, balstoties uz 60. un 70. gados vienreiz uzmērīto parauglaukumu un stumbra analīžu datiem (Matuzānis, 1983; Матузанис, 1988). Pēc mūsu rīcībā esošās informācijas, pašreizējais VMD datu bāzes aktualizācijas algoritms balstīts uz pieņēmumu, ka augšanas gaitas modeļi (vienādojumi) ir attiecināmi uz atsevišķu meža elementu. Augstuma augšanas gaitas prognožu modeļi ir anamorfiski, jo vienādojumu izstrādes brīdī, pagājušā gadsimta astoņdesmitajos gados, to autoriem nebija tehnisku iespēju izveidot polimorfiskus vienādojumus, kas uzskatāmi par piemērotākiem augstuma augšanas gaitas raksturošanai (Ciezewski, 2002). Kopš šo vienādojumu izstrādes Latvijā, nenoliedzami, mežsaimniecība ir kļuvusi intensīvāka un ir mainījušies klimatiskie apstākļi (Jansons, 2010), līdz ar to ir mainījusies arī koku augšanas gaita (Spiecker, 1999, 1999a; Pretzsch, 2009). Taču, palielinoties interesei par dažādvecuma un mistrotu audžu veidošanu, nepieciešams uzlabot arī šādu audžu attīstības prognožu modeļus. Augšanas gaitas modelēšanā nozīmīgs progress ir noticis pēdējo trīsdesmit gadu laikā, kad, pateicoties tehnoloģiju attīstībai (datoru un datorprogrammu attīstība), modeļi ir kļuvuši daudz reālistiskāki, bet vienlaicīgi arī komplicētāki (Weiskittel et al., 2011). Arvien lielāku lomu mežsaimniecībā un ekoloģijā iegūst arī t.s. indivīda bāzētās metodes (Pommerening, Grabarnik, 2019).

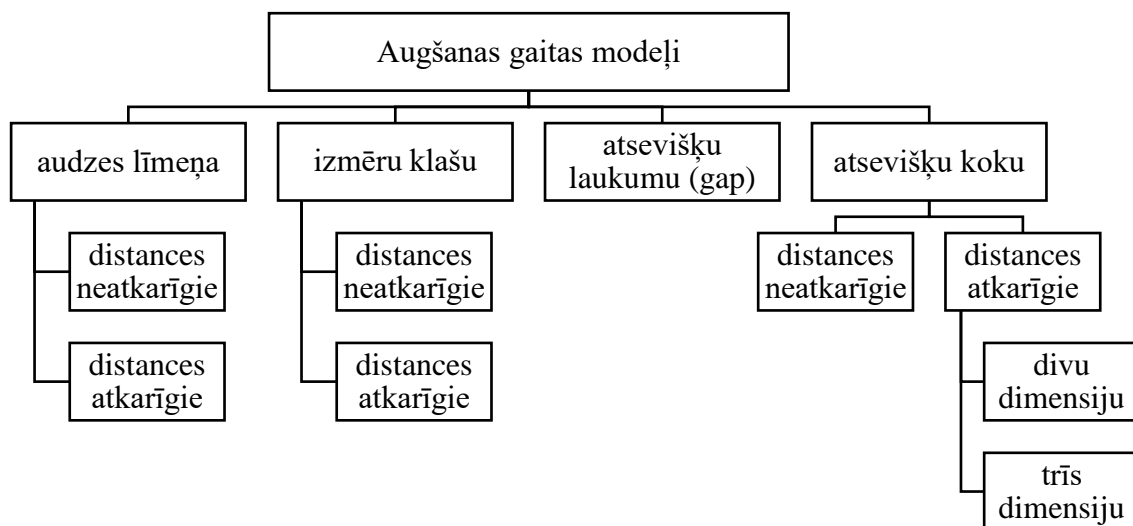
Mežsaimniecības vajadzībām var izdalīt atsevišķa koka, meža elementa (kohorta) un mežaudzes (kokaudzes) taksācijas rādītājus. Tradicionālie individuāla koka taksācijas rādītāji, kurus izmanto meža taksācijā, ir koka stumbra caurmērs krūšaugstumā, koka stumbra garums (augstums) un koka stumbra tilpums. Tomēr specifisku vajadzību gadījumos, piem., kopējās biomasas, oglekļa satura noteikšanai, tiek izmantoti arī citu koka daļu (zaru, sakņu, celma un lapotnes apjoma (tilpuma) un masas novērtējums.

Mežsaimniecībā par vienu meža elementu parasti pieņem vienas sugas, vienādas izcelsmes, vienas paaudzes, līdzīgas attīstības un vienādos augšanas apstākļos savstarpēji mijiedarbojošos koku kopu (Skudra, Dreimanis, 1993; Donis, 2014). Līdzīgs termins pēc savas būtības aglo-sakšu literatūrā ir kohorts (Groot et al., 2004). Kokaudze ir mežaudzē esošo (augošo koku kopums). Savukārt mežaudze ir mežs ar viendabīgiem vides apstākļiem, koku sugu sastāvu un vecumu.

Augšanas gaitas modeļi visbiežāk tiek iedalīti divās lielās grupās: atsevišķu koku un koku kopas (atsevišķu meža elementu, mežaudzes stāva vai mežaudzes) augšanas gaitas modeļi (Vanclay, 1994; Liepa, 1996; von Gadow, Hui, 1999; Porte, Bartelink, 2002; Monserud, 2003; Hasenauer, 2006; Pretzsch, 2009; Fabrika, Pretzsch, 2011 u. c.). Daži autori bez šīm divām grupām atsevišķi izdala arī izmēra klašu modeļus (von Gadow, Hui, 1999; Weiskittel et al., 2011) un audzes atsevišķu laukumu jeb tā saucamos *gap* modeļus (Bugmann, 2001; Porte, Bartelink, 2002). Citi autori atsevišķi izdala augšanas gaitas modeļus tīraudzēm un mistrotām audzēm, kā arī augšanas gaitas modeļi vienvecuma un dažāda vecuma audzēm (Clutter et al., 1983; Porte, Bartelink, 2002), jo atkarībā no koku mijiedarbības, mainās šīs mijiedarbības aprakstīšanai nepieciešamo modeļu kompleksums.

Pēc telpiskajām prasībām var izdalīt distances neatkarīgos modeļus un distances atkarīgos modeļus (Porte, Bartelink, 2002), savukārt distances atkarīgos atsevišķu koku modeļus var iedalīt divu dimensiju vai trīs dimensiju modeļos (von Gadow, Hui, 1999).

Kompilējot literatūrā aprakstīto modeļu klasifikāciju augšanas gaitas modeļus pēc detalizācijas pakāpes, var iedalīt: audzes līmeņa, diametra klašu, izmēra klašu un atsevišķu koku augšanas gaitas modeļos, kurus var iedalīt sīkāk arī pēc to telpiskajām prasībām (3.1. att.).



3.1. attēls. Augšanas gaitas modeļu klasifikācija atkarībā no to detalizācijas pakāpes un telpiskajām prasībām (Šņepsts, Donis, 2018)

Meža elementu augstuma augšanas gaitas modelēšanā pēdējos gados plaši tiek izmantoti bāzes vecuma neatkarīgu funkciju vispārinātās algebriskās diferences pieejas modeļi jeb tā saucamie GADA (generalized algebraic difference approach) modeļi (Cieszewski, Bailey, 2000). Šāda pieeja, ļauj veidot s-veida polimorfiskus modeļus ar dažādām asimptotām.

Mežsaimniecībā starptautiski pieņemti dažādi termini, kas izmantojami mežaudzes un atsevišķu meža elementu augstumu raksturošanai (van Soest et al., 1965):

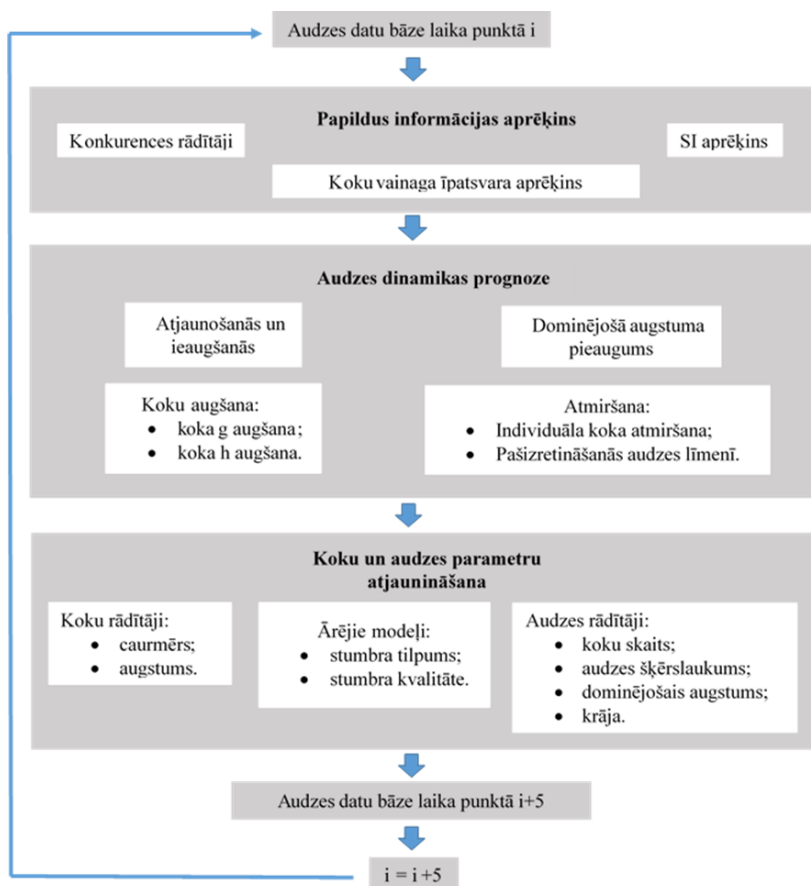
- Loreja augstums – caurmēra grupu pēc šķērslaukuma vidējais svērtais augstums;
- aritmētiski vidējais augstums;
- vidējā aritmētiskā caurmēra kokam atbilstošais augstums – nosakāms no augstumlīknes;
- vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošais augstums – nosakāms no augstumlīknes;
- vidējā ranžētā (mediānā) caurmēra kokam atbilstošais augstums – nosakāms no augstumlīknes;
- vidējā ranžētā (mediānā) šķērslaukuma kokam atbilstošais augstums – nosakāms no augstumlīknes;
- dominējošo koku vidējais augstums jeb virsaugstums – precīza definīcija ir atsevišķi jānorāda.

Literatūrā virsaugstums tiek definēts dažādos veidos (van Laar, Akça, 2007), bet visbiežāk tas tiek izteikts:

- matemātiski:
 - noteikta mežaudzes koku skaita vidējais augstums;
 - noteikta mežaudzes koku īpatsvara vidējais augstums;

- mežaudzes maksimālais koku augstums;
 - bioloģiski:
 - noteiktu koku sociālā stāvokļa gradācijas klašu vidējais augstums.

Literatūrā norādīts, ka mežaudzes augstuma augšanas gaitas modelēšanai un mežaudzes produktivitātes raksturošanai par vispiemērotāko uzskatāms mežaudzes virsaugstums vai dominējošo koku augstums (van Laar, Akça, 2007; Skovsgaard, Vanclay, 2008, Sharma et al., 2011), tomēr atsevišķu koku augšanas modelēšanai šāda pieeja var būt nepamatota (Burkhart, Tomé, 2012), jo, piem., ēncietīgas sugas dažādvecuma audzēs, augstas konkurences apstākļos var stagnēt pieaugums, bet pēc konkurences samazināšanās dabisku vai antropogēnu faktoru ietekmē koki, izmantojot vietas potenciālu, var sākt augt straujāk. Tādēļ individuālu koku augšanas gaitas aproksimācijai bieži izmanto nelineārus regresijas vienādojumus. Bioloģisko procesu simulācijas shēma attēlota 3.2.attēlā.



3.2.attēls. Bioloģisko procesu simulācijas shēma (Hynynen et al., 2002)

Somijā izmantots netelpiskais atsevišķa koka augšanas gaitas modelis

Somijas atsevišķa koka augšanas gaitas prognožu modeļi (Hynynen et al., 2002) tiek izmantoti augšanas gaitas simulatorā MOTTI.

Atsevišķu koku taksācijas rādītāju modelēšanā atsevišķi tiek izdalītas mežaudzes mežos ar minerālaugsnēm un kūdras augsnēm, un katrai grupai ir izstrādāti atsevišķi augšanas gaitas modeļi.

Vienādojumos izmantotie apzīmējumi un koeficienti

- A – mežaudzes krūšaugstuma vecums (rēķinot virsaugstuma bonitāti A=50 gadi), gadi;
- A_c – koka celma augstuma vecums, gadi;

- A_{\max} – koku sugas teorētiski maksimālais vecums, gadi;
- BAL – šķērslaukuma summa kokiem, kas lielāki par konkrēto koku, m^2ha^{-1} ;
- c_{0-5} – fiktīvais rādītājs, kas raksturo vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta kopšanas cirte;
- c_{6-10} – rādītājs, kas raksturo vai pēdējo 6 līdz 10 gadu laikā mežaudzē ir veikta kopšanas cirte;
- c_{kor} – koku skaita korekcijas koeficients;
- cr – vainaga īpatsvars (zaļā vainaga garums attiecībā pret koka garumu);
- CR_{dom} – dominējošo koku vidējais vainaga īpatsvars;
- d – koka krūšaugstuma caurmērs, cm;
- d/D_{dom} – atsevišķa koka caurmēra attiecība pret dominējošo koku vidējo caurmēru;
- d_c – koka celma augstuma caurmērs, cm;
- D_c – mežaudzes vidējais celma augstuma caurmērs, cm;
- D_{dom} – dominējošo koku krūšaugstuma caurmērs, cm;
- D_M – mežaudzes mediānais caurmērs, cm;
- DR_{0-5} – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta nosusināšana;
- DR_{11-25} – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 11 līdz 25 gadu laikā mežaudzē ir veikta nosusināšana;
- DR_{25-} – fiktīvais mainīgais, kas raksturo, ka mežaudzē ir veikta nosusināšana vairāk kā pirms 25 gadiem;
- g – koka šķērslaukums, cm^2 ;
- G – mežaudzes šķērslaukums, m^2ha^{-1} ;
- G^{\wedge} – ar atmiruma modeļiem prognozētais šķērslaukums, m^2ha^{-1} ;
- ga_i – atsevišķa koka minimālā augšanas telpa;
- G_{\max} – maksimālais šķērslaukums, m^2ha^{-1} ;
- h – koka augstums, m;
- H_{dom} – mežaudzes virsaugstums, m;
- H_{domA+5} – dominējošo koku vidējais augstums vecumā A+5 ;
- HUMUS – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai augsnes virskārtā ir biezs rohumusa slānis;
- H_{vj1} – augstums virs jūras līmeņa, m;
- ig_5 – koka nākošo 5 gadu šķērslaukuma pieaugums, cm^2 ;
- ih_5 – koka nākamo 5 gadu augstuma pieaugums, m;
- iH_{dom5} – dominējošo koku nākošo 5 gadu augstuma pieaugums, m;
- LAKE – 20 km rādiusā ezeru proporcionālais segums;
- LAT – ziemeļu platums, km;
- N^{\wedge} – ar atmiruma modeļiem prognozētais koku skaits, ha^{-1} ;
- $N^{\wedge}_{\max i}$ – atsevišķu sugu maksimālais koku skaits, kas aprēķināts kā N_{\max} , ha^{-1} ;
- N_{kor} – koriģētais koku skaits, ha^{-1} ;

N_{\max} – mežaudzes maksimālais koku skaits, ha^{-1} ;
 $N_{\max B}$ – bērza koriģētais maksimālais koku skaits, ha^{-1} ;
 $N_{\max E}$ – egles koriģētais maksimālais koku skaits, ha^{-1} ;
 $N_{\max P}$ – priedes koriģētais maksimālais koku skaits, ha^{-1} ;
 p_5 – varbūtība, ka koks atmirs nākošo piecu gadu laikā;
PALU – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai augsne ir pārpurvojusies;
 P_B – bērzu šķērslaukuma īpatsvars mežaudzē, %;
 $p_{\text{comp}5}$ – varbūtība, ka koks konkurences dēļ atmirs nākošo piecu gadu laikā;
PDR – fiktīvais mainīgais, kas raksturo nosusināšanas nepieciešamību, ja vajag nosusināt, tad 1, ja nevajag, tad 0;
 P_E – egļu šķērslaukuma īpatsvars mežaudzē, %;
PLANT – fiktīvais mainīgais audzes izcelsmes raksturošanai, ja audze stādīta, tad 1, ja nē, tad 0;
 p_{old} – varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs;
 $p_{\text{old}(A)}$ – varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs vecumā A;
 $p_{\text{old}(A+5)}$ – varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs vecumā A+5;
 $p_{\text{old}5}$ – varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs nākošo piecu gadu laikā;
RDF – relatīvā biežības faktors (rēķinot virsaugstuma bonitāti $RDF=0.75$);
 RDF_B – bērza relatīvās biežības faktors;
 RDF_C – citu koku sugu (bez p;e;b) relatīvās biežības faktors;
 RDF_E – egles relatīvās biežības faktors;
RDFL – lielāku koku relatīvā biežības faktors;
 RDF_P – priedes relatīvās biežības faktors;
 SC_x – fiktīvais mainīgais, kas raksturo kādai meža tipa auglības grupai pieder mežaudze (3.1. tabula);
SEA – 20 km rādiusā jūras proporcionālais segums;
SI – mežaudzes virsaugstuma bonitāte (augstums 50 gadu krūšaugstuma vecumā), m;
 SI_B – bērza virsaugstuma bonitāte (augstums 50 gadu vecumā), m;
 SI_E – egles virsaugstuma bonitāte (augstums 50 gadu vecumā), m;
 SI_P – priedes virsaugstuma bonitāte (augstums 50 gadu vecumā), m;
SP – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 10 gadu laikā mežaudzē ir sagatavota augsne;
 SQ_{2-4} – fiktīvais mainīgais augsnes auglības raksturošanai, ja mežaudze ir mezotrofā, oligomezotrofā vai oligotrofā augsnē, tad 1, ja nē, tad 0;
STONY – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai augsne ir akmeņaina;
 T_{sum} – aktīvās veģetācijas ($t^\circ > 5^\circ C$) temperatūru summa;
 Y_{1-4} – fiktīvais mainīgais, kas raksturo koku sugai atbilstošo ražības grupu (3.2. tabula).

3.1.tabula. Somijas augšanas gaitas modeļos izmantotās meža auglības grupas un tām pielīdzinātie Latvijas meža tipi

Meža auglības grupas							
SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8
ļoti augl īgs	augl īgs	mēreni auglīgs	mēreni nabadzīgs	nabad zīgs	ļoti nabadzīg s	akmeņainas zemes, smiltāji un palienas	kalni un pakalni

3.2.tabula. Somijas caurmēra augšanas gaitas modeļos kūdras augsnes (3.9. vienādojums) izmantotās koku sugu ražības grupas atkarībā no meža augsnes grupas un mežaudzes valdošās koku sugas

Valdošā koku suga	Koka suga	Eitrofā s augšnes	Mezotrof ās augšnes	Oligo- mezotrofās augšnes	Oligotrof ās augšnes	Ombro- oligotrofās augšnes	Ombrotr ofās augšnes
Priede	Priede	Y1	Y1	Y3	Y3	Y4	Y4
	Egle	Y2	Y2	Y1	Y3	–	–
	Bērzs	Y1	Y1	Y1	Y2	Y2	–
Egle, bērzs	Priede	Y1	Y1	Y1	Y1	–	–
	Egle	Y1	Y1	Y1	Y1	–	–
	Bērzs	Y1	Y1	Y1	Y2	–	–

Ja šādu pieeju plāno izmantot arī Latvijā, tad arī pārējām sugām jāizstrādā pielīdzināšanas tabula.

Audzēs relatīvā biežība

Lai raksturotu koku savstarpējo konkurenci, audzē tiek izmantoti gan audzes, gan atsevišķu tās elementu relatīvās biežības rādītāji, kas ir iekļauti atsevišķu koku nākamā perioda caurmēra un augstuma augšanas gaitas modeļos.

Relatīvo audzes biežības faktoru aprēķina pēc sekojoša vienādojuma:

$$RDF = \sum_{i=1}^n ga_i \quad (3.1)$$

$$ga_i = b_0^{-1} \cdot d_i^{-b_1} \quad (3.1.1)$$

Koku vainaga īpatsvars

Koku vainaga īpatsvars ir dzīvā vainaga garuma attiecība pret koka garumu. Koku vainaga īpatsvars aprēķināms pēc sekojoša vienādojuma:

$$cr = 1 - \exp(-X) \quad (3.2)$$

Priede

$$X = (b_0 + b_1 \cdot c_{0-5} + b_2 \cdot c_{6-10}) \cdot H_{dom}^{-b_3} \cdot d^{b_4} \cdot \exp(-b_5 \cdot RDFL) \cdot T_{sum}^{b_6} \cdot \exp(-b_7 \cdot RDF) \quad (3.2.1)$$

$X=f(\text{kopšana; } H_{dom}, d, CI1, Tsum, CI2)$

Egle

$$X = (b_0 + b_1 \cdot c_{0-5}) \cdot H_{dom}^{-b_2} \cdot d^{b_3} \cdot \exp(-b_4 \cdot RDF) \cdot T_{sum}^{b_5} \cdot SI_e^{b_6} \quad (3.2.2)$$

$X=f(\text{kopšana; } H_{dom}, d, CI1, Tsum, SI_e)$

Bērzs

$$X = (b_0 + b_1 \cdot PLANT) \cdot \ln(H_{dom})^{-b_2} \cdot d^{b_3} \cdot \ln(h)^{-b_4} \cdot \exp(-(b_5 + b_6 \cdot PLANT) \cdot RDF) \quad (3.2.3)$$

$X=f(\text{stādīts; } H_{dom}, d, h, CI1)$

Audzēs virsaugstuma bonitāte

Modeļos par mežaudzes virsaugstums tiek izmantots dominējošo koku vidējais augstums 50 gadu krūsaugstuma vecumā, kur dominējošie koki ir koki, kuru caurmērs ir lielāks par mežaudzes vidējo kvadrātisko caurmēru.

Mežaudzes virsaugstuma aprēķināšanai izmantojams sekojošs vienādojums:

$$SI = \exp(\beta_0 + \beta_1 \cdot A^c) + 1.3 \quad (3.3)$$

$$\beta_0 = b_0 + b_1 \cdot \frac{T_{sum}}{1000} + b_2 \cdot \frac{H_{vj1}}{100} + b_3 \cdot SC_1 + b_4 \cdot SC_2 + b_5 \cdot SC_3 + b_6 \cdot SC_4 + b_7 \cdot SC_5 + b_8 \cdot SC_6 + b_9 \cdot SC_7 + b_{10} \cdot PALU + b_{11} \cdot HUMUS + b_{12} \cdot RDF^{0.5} + b_{13} \cdot \ln\left(\frac{d}{D_{dom}}\right) + b_{14} \cdot \ln\left(\frac{d}{D_{dom}}\right) \cdot RDF + b_{15} \cdot PLANT \quad (3.3.1)$$

$SI=f(Tsum; MT \text{ grupa; } MT \text{ rinda; } HUMUS, CI, STĀDĪTS, d, Ddom)$

Ar 3.3. vienādojumu iespējams aprēķināt arī mežaudzes dominējošo koku vidējo augstumu jebkurā vecumā un līdz ar to ir iespējams arī prognozēt šī rādītāja pieaugumu:

$$iH_{\text{dom}5} = H_{\text{dom}A+5} - H_{\text{dom}A} \quad (3.4)$$

Augstuma augšanas gaitas modeļi mežaudzēs minerālās augsnēs

Modeļi izstrādāti, lai prognozētu atsevišķu koku piecu gadu augstuma pieaugumu:

$$\text{Priede; Egle} \quad ih_5 = iH_{\text{dom}5} \cdot \left(\frac{d}{D_{\text{dom}}}\right)^{b_1 \cdot iH_{\text{dom}5}^{b_2} + b_3 \cdot \frac{cr}{CR_{\text{dom}}} + b_4 \cdot cr + b_5 \cdot RDFL} \quad (3.5)$$

$$\text{Bērzs} \quad ih_5 = iH_{\text{dom}5} \cdot \left(\frac{d}{D_{\text{dom}}}\right)^{(b_1 + b_2 \cdot PLANT) \cdot RDFL} \quad (3.6)$$

$iH_{\text{dom}5} = f(d/D_{\text{dom}}; H_{\text{dom}}; cr; cr_{\text{dom}}; CI3; PLANT)$

Augstuma augšanas gaitas modeļi mežaudzēs kūdras augsnēs

Modelis izstrādāts, lai atbilstoši aktualizētajam koka caurmēram (3.9. vienādojums) aprēķinātu atsevišķu koku augstumu:

$$h = \exp(A_k + B_k \cdot x + e) + 1.3 \quad (3.7)$$

$$x = \frac{d^{-a_1} - 30^{-a_1}}{10^{-a_1} - 30^{-a_1}} \quad (3.7.1)$$

$$A_k = b_0 + b_1 \cdot \ln(DM) + b_2 \cdot \ln(G) + b_3 \cdot \ln\left(\frac{P_b}{100} + 1\right) + b_4 \cdot LAT + b_5 \cdot H_{\text{vj1}} + b_6 \cdot c_{0-5} + b_7 \cdot SQ_{2-4} \quad (3.7.2)$$

$$B_k = c_0 + c_1 \cdot \ln(DM) + c_2 \cdot \ln(G) \quad (3.7.3)$$

Caurmēra augšanas gaitas modeļi mežaudzēs minerālās augsnēs

Caurmēra augšanas gaitas aproksimēšanai izmanto atsevišķu koku šķērslaukuma pieauguma modeli

Mežaudzēs minerālās augsnēs tiek prognozēts atsevišķu koku piecu gadu šķērslaukuma pieaugums:

$$i_{g5} = \exp(b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n) \quad (3.8)$$

Priede

$$i_{g5} = \exp\left(b_0 + b_1 \cdot SI_p + b_2 \cdot SC_{1-2} + b_3 \cdot SC_3 + b_4 \cdot SC_{5-8} + b_5 \cdot \frac{1}{H_{\text{dom}}} + b_6 \cdot \frac{1}{H_{\text{dom}}^2} + b_7 \cdot \ln(d) + b_8 \cdot d^2 + b_9 \cdot \frac{1}{d+0.1} + b_{10} \cdot \ln(cr) + b_{11} \cdot RDFL + b_{12} \cdot \ln(RDF_p + 1) + b_{13} \cdot \ln(RDF_e + 1) + b_{14} \cdot \ln(RDF_b + RDF_{\text{citi}} + 1) + b_{15} \cdot \frac{cr \cdot T_{\text{sum}}}{1000} + b_{16} \cdot c_{0-5} + b_{17} \cdot c_{6-10}\right) \quad (3.8.1)$$

$I_{g5} = f(SI, MT \text{ grupa}, H_{\text{dom}}, d, cr, CIL, CIP, CIE, CIB, CIC, Tsum, Kopšana)$

Egle

$$i_{g5} = \exp \left(b_0 + b_1 \cdot SI_e + b_2 \cdot SC_1 + b_3 \cdot SC_2 + b_4 \cdot SC_{4-8} + b_5 \cdot \frac{1}{H_{dom}} + b_6 \cdot \frac{1}{H_{dom}^2} + b_7 \cdot \ln(d) + b_8 \cdot d^2 + b_9 \cdot (\ln(d))^2 + b_{10} \cdot \ln(cr) + b_{11} \cdot RDFL + b_{12} \cdot \ln(RDF_p + 1) + b_{13} \cdot \ln(RDF_e + 1) + b_{14} \cdot \ln(RDF_b + 1) + b_{15} \cdot \frac{cr \cdot T_{sum}}{1000} + b_{16} \cdot c_{0-5} \right) \quad (3.8.2)$$

Ig5=f(SI, MT grupa, Hdom, d, cr, CIL, CIP, CIE, CIB, CIC, Tsum, Kopšana 0-5)

Bērzs, apse, melnalksnis

$$i_{g5} = \exp \left(b_0 + b_1 \cdot SI_b + b_2 \cdot \frac{1}{H_{dom}} + b_3 \cdot \frac{1}{H_{dom}^2} + b_4 \cdot \ln(d) + b_5 \cdot d^2 + b_6 \cdot \ln(cr) + b_7 \cdot RDFL + b_8 \cdot \ln(RDF + 1) + b_9 \cdot \frac{T_{sum}}{1000} + b_{10} \cdot PLANT + b_{11} \cdot c_{0-10} + b_{12} \cdot SP \right) \quad (3.8.3)$$

Ig5=f(SI, Hdom, d, cr, CIL, CI, CIP, CIE, CIB, CIC, Tsum, PLANT, Kopšana 0-10, SP)

Caurmēra augšanas gaitas modeļi mežaudzēs kūdras augsnēs

Mežaudzēs kūdras augsnēs tiek prognozēts atsevišķu koku šķērslaukuma pieaugums:

$$i_g = \exp(b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n) - \text{const} \quad (3.9)$$

Priede

$$i_g = \exp(b_0 + b_1 \cdot g + b_2 \cdot BAL + b_3 \cdot BAL^2 + b_4 \cdot \ln(BAL) + b_5 \cdot (T_{sum} \cdot d^{0.5})^{0.5} + b_6 \cdot Y1 + b_7 \cdot Y2 + b_8 \cdot Y1 \cdot \ln(d) + b_9 \cdot Y2; 4 \cdot \ln(d) + b_{10} \cdot Y3 \cdot \ln(d) + b_{11} \cdot DR_{0-5} + b_{12} \cdot DR_{11-25} + b_{13} \cdot PDR + b_{14} \cdot c_{0-5} + b_{15} \cdot FUSC) - 1 \quad (3.9.1)$$

Egle

$$i_g = \exp(b_0 + b_1 \cdot d^{2.9} + b_2 \cdot BAL + b_3 \cdot P_e + b_4 \cdot Y1 \cdot d^{0.5} + b_5 \cdot Y2 \cdot d^{0.5} + b_6 \cdot DR_{0-5} + b_7 \cdot DR_{25-} + b_8 \cdot PDR + b_9 \cdot c_{0-5}) - 7 \quad (3.9.2)$$

Bērzs, apse, melnalksnis

$$i_g = \exp(b_0 + b_1 \cdot d^2 + b_2 \cdot BAL + b_3 \cdot T_{sum} + b_4 \cdot P_e + b_5 \cdot P_b + b_6 \cdot SEA + b_7 \cdot Y1 \cdot \ln(d) + b_8 \cdot Y2 \cdot \ln(d) + b_9 \cdot Y3 \cdot \ln(d) + b_{10} \cdot DR_{0-5} + b_{11} \cdot DR_{11-25} + b_{12} \cdot PDR + b_{14} \cdot c_{0-5}) - 3 \quad (4.9.3)$$

Atmiruma modeļi

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:

$$p_5 = 1 - (1 - p_{comp5}) \cdot (1 - p_{old5}) \quad (3.10)$$

Konkurences izraisītais atsevišķu koku atmirums

Atsevišķu koku konkurences izraisītā atmiruma varbūtība tiek modelēta sekojoši:

Priede, egle

$$p_{comp5} = \frac{1}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot G + b_3 \cdot BAL)} \quad (3.11)$$

Lapu koki

$$P_{\text{comp5}} = \frac{1}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot d_c + b_2 \cdot \text{RDFL} + b_3 \cdot d_c \cdot \text{RDFL})} \quad (3.12)$$

Vecuma izraisītais atsevišķu koku atmirums

Atsevišķu koku vecuma izraisītā atmiruma varbūtība tiek modelēta sekojoši:

$$P_{\text{old}} = \frac{\exp\left(-10 + 10 \cdot \left(\frac{10 \cdot a_c}{0.82 \cdot A_{\text{max}}}\right)\right)}{1 + \exp\left(-10 + 10 \cdot \left(\frac{10 \cdot a_c}{0.82 \cdot A_{\text{max}}}\right)\right)} \quad (3.13)$$

Atsevišķu koku vecuma izraisītā atmiruma varbūtība nākamajam piecu gadu periodam tiek modelēta sekojoši:

$$P_{\text{old5}} = \frac{P_{\text{old}(A+5)} - P_{\text{old}(A)}}{1 - P_{\text{old}(A)}} \quad (3.14)$$

Mežaudzes maksimālais koku skaits

Mežaudzes maksimālā koku skaita modelēšanai iespējams izmantot bonitātes neatkarīgu un bonitātes atkarīgu modeli:

$$N_{\text{max}} = \exp(b_0 + b_1 \cdot \ln(D_c)) \quad (3.15)$$

$$N_{\text{max}} = \exp(b_0 + b_1 \cdot \ln(SI) + b_2 \cdot \ln(D_c)) \quad (3.16)$$

Maksimālais koku skaits mistrotās audzēs tiek aprēķināts katrai koku sugai atsevišķi. Mežaudzē ēncietīgākas sugas ietekmē gaismas prasīgāko sugu maksimālo koku skaitu. Maksimālo koku skaitu aprēķinu apraksta sekojoša procedūra:

Koku sugas sakārto pēc to gaismas prasības dilstošā secībā. *Piemēram: egle; priede; bērzs.*

Aprēķina ēncietīgākās sugas maksimālo koku skaitu.

$$N_{\text{maxE}} = N_{\text{maxE}} \quad (3.17)$$

Aprēķina nākošās ēncietīgākās sugas maksimālo koku skaitu.

$$N_{\text{maxP}} = \frac{\text{RDF}_p + \text{RDF}_b}{\text{RDF}} \cdot N_{\text{maxP}} + \frac{\text{RDF}_e}{\text{RDF}} \cdot N_{\text{maxE}} \quad (3.18)$$

Aprēķina nākošās ēncietīgākās sugas maksimālo koku skaitu.

$$N_{\text{maxB}} = \frac{\text{RDF}_b}{\text{RDF}} \cdot N_{\text{maxB}} + \frac{\text{RDF}_p}{\text{RDF}} \cdot N_{\text{maxP}} + \frac{\text{RDF}_e}{\text{RDF}} \cdot N_{\text{maxE}} \quad (3.19)$$

Maksimālais koku skaits tiek aprēķināts, lai varētu koriģēt atmirumu, jo prognozētais koku skaits audzē ar atmiruma modeļiem nedrīkst pārsniegt maksimālo koku skaitu.

Atmiruma korekcija

Ja maksimālais koku skaits ir mazāks nekā nākamā perioda prognozētais koku skaits ar atmiruma modeļiem, tad nākamā perioda koku skaits tiek koriģēts.

Korekcijas koeficients mežaudzē tiek aprēķināts katrai sugai atsevišķi ar sekojošu vienādojumu:

$$c_{kor} = \frac{N_{max}}{N} \quad (3.20)$$

Ar 3.20. vienādojumu koku skaita korekcijas koeficients aprēķināms mežaudzēm, kurās koku skaits mazāks par 2000 kokiem uz hektāra. Ja mežaudzes koku skaits pārsniedz 5000 kokus uz hektāra, tad korekcijas koeficients aprēķināms pēc šķērslaukuma:

$$c_{kor} = \frac{G_{max}}{G} \quad (3.21)$$

Šķērslaukuma aprēķināšanai izmanto vienādojumu, kur mežaudzes maksimālā šķērslaukuma aprēķināšanā izmanto mežaudzes vidējo kvadrātisko caurmēru.

Ja koku skaits ir 2000-5000 koki uz hektāra, tad koku skaita korekcijas koeficients tiek aprēķināts kombinēti:

$$c_{kor} = \varphi \cdot \frac{G_{max}}{G} + (1 - \varphi) \cdot \frac{N_{max}}{N} \quad (3.22)$$

$$\varphi = \frac{1}{3} \cdot \frac{N}{1000} - \frac{2}{3} \quad (3.22.1)$$

Nākamā perioda koriģēto koku skaitu aprēķina sekojoši:

$$N_{kor} = c_{kor} \cdot N \quad (3.23)$$

Audzis virsaudstuma bonitāte

Mežaudzes virsaudstuma bonitātes aprēķināšanas vienādojums (3.3. formula) ietver virkni rādītāju, kas:

nav pieejami MSI parauglaukumu datu bāzē (piemēram, rohumusa slāņa biezums),

nav tieši noteikti, līdz ar to balstoties uz meža tipu pielīdzināti (piemēram, augsnes auglības klase vai augsnes pārpurvošanās rādītājs),

Zviedrijas atsevišķu koku augšanas gaitas modeļi

Zemāk aprakstītie modeļi tiek izmantoti lēmuma pieņemšanas atbalsta sistēmā Heureka³ (Eriksson, 2011).

Vienādojumos izmantotie apzīmējumi un koeficienti

a – koka krūšaugstuma vecums, gadi;

A – mežaudzes vecums, gadi;

A₁ – meža elementa krūšaugstuma vecums aktualizācijas perioda sākumā, gadi;

A₂ – meža elementa krūšaugstuma vecums aktualizācijas perioda beigās, gadi;

³ [Category:Model - Heureka Wiki \(heurekaslu.se\).](http://Category:Model - Heureka Wiki (heurekaslu.se).)

$att_{<H20}$ – fiktīvais mainīgais, kas raksturo blakus audžu augstumu, ja tuvāk par 20 m ir audze, kas zemāka par konkrēto audzi, tad 1, ja nē, tad 0;

att_k – fiktīvais mainīgais, kas raksturo attālumu līdz krastam, ja attālums mazāks par 5 km, tad 1, ja nē, tad 0;

att_{k5} – attālums līdz krastam, km/10;

att_{kailc} – fiktīvais mainīgais, kas raksturo VAC klātbūtnes esamību, ja tuvāk par 20 m pēdējo piecu gadu laikā ir veikta VAC, tad 1, ja nē, tad 0;

BAL – resnāku koku šķērslaukuma summa, m^2ha^{-1} ;

c_{0-10} – rādītājs, kas raksturo vai pēdējo 10 gadu laikā mežaudzē ir veikta kopšanas cirte (0-1);

c_{11-25} – rādītājs, kas raksturo vai pēdējo 11-25 gadu laikā mežaudzē ir veikta kopšanas cirte (0-1);

c_{kop} – fiktīvais mainīgais kopšanas ciršu ietekmes raksturošanai, ja perioda laikā veikta kopšana, tad 1, ja nē, tad 0;

CVH – koku augstuma variācijas koeficients

d – koka krūšaugstuma caurmērs, cm;

D – mežaudzes vidējais caurmērs, cm;

dal – rādītājs, kas raksturo vai blakus esošā zeme ir mežaudze;

dal_v – rādītājs, kas raksturo mežaudzes viendabīgumu (ja mežaudze viendabīga, tad 0; ja mežaudze nav viendabīga, tad 1);

dat – fiktīvais mainīgais, kas raksturo audzes uzmērīšanas laiku, ja audze uzmērīta līdz 20. jūlijam, tad 1, ja vēlāk, tad 0;

D_g – vidējais kvadrātiskais mežaudzes caurmērs, cm;

d_{gr} – koku caurmēra grupa, m;

fer – mēslošanas raksturojošs rādītājs (0 vai 1) audzēs līdz 12 m augstumam;

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

G_{apk} – apkārt esošās mežaudzes šķērslaukums, m^2ha^{-1} ;

G_B – bērza šķērslaukums, m^2ha^{-1} ;

G_{citi} – citu koku sugu šķērslaukums mežaudzē, m^2ha^{-1} ;

G_e – egļu šķērslaukums, m^2ha^{-1} ;

G_i – kokam atbilstošās sugas koku šķērslaukums mežaudzē, m^2ha^{-1} ;

G_{izc} – nākamajā piecu gadu periodā izcērtamo koku šķērslaukums, m^2ha^{-1} ;

Gotland – mainīgais, kas raksturo vai mežaudze atrodas uz Zviedrijas dienvidaustrumu reģionā;

G_P – priedes šķērslaukums, m^2ha^{-1} ;

gr_{25} – ja attālums līdz grāvim ≤ 25 m, tad 1, ja lielāks, tad 0;

G_{SK} – skuju koku šķērslaukums, m^2ha^{-1} ;

h – koka augstums, m;

H – mežaudzes vidējais augstums, m;

Δh – augstuma starpība starp mežaudzes maksimālo augstumu un koka augstumu ($H_{\max-h}$), ja starpība mazāka par 0.1, tad $\Delta h=0.1$, m;

H_{dom1} – meža elementa virsaugstums aktualizācijas perioda sākumā, m;

H_{dom2} – meža elementa virsaugstums aktualizācijas perioda beigās, m;

H_{vj1} – augstums virs jūras līmeņa, m;

i_{83} – vērtība 1, ja parauglaukums ierīkots 1983. gadā, citiem 0;

i_{84} – vērtība 1, ja parauglaukums ierīkots 1984. gadā, citiem 0;

i_{86} – vērtība 1, ja parauglaukums ierīkots 1986. gadā, citiem 0;

$Idel$ – lapu koku īpatsvars (pēc sh) reizināts ar 1.5708 un izteikts radiānos;

Izc – mežaudzes izcelsme, 0 - ja mākslīga, 1 - ja dabīga;

k – fiktīvais mainīgais kūdras augšņu raksturošanai: ja ir kūdras augsnes, tad 1, ja nav kūdras augsnes, tad 0;

$kant$ – rādītājs, kas raksturo vai blakus esošā zeme nav mežaudze (ja nav, tad 1, ja ir tad 0);

k_{CMRES} – korekcijas koeficients, kas atkarīgs no modeļa vidējās novirzes;

k_{P70} – fiktīvais mainīgais priedes īpatsvara raksturošanai: ja priede ir vismaz 70%, tad 1, ja nav, tad 0;

k_{PEB} – konstante, priedei un eglei 1.0, bērzam 1.1;

LAT – platuma grādi, o;

LK – fiktīvais mainīgais lapu koku esamības raksturošanai: ja parauglaukumā (audzē) ir lapu koki, tad 1, ja nav, tad 0;

LK_{10} – fiktīvais mainīgais lapu koku īpatsvara raksturošanai: ja parauglaukumā (audzē) lapu koku šķērslaukums vismaz 10% no kopējā mežaudzes šķērslaukuma, tad 1, ja nav, tad 0;

m – fiktīvais mainīgais augsnes mitruma raksturošanai: ja ir mitras augsnes, tad 1, ja nav mitras augsnes, tad 0 (mitra augsne – ja gruntsūdens līmenis pastāvīgi mazāks par 1 m);

ms – fiktīvais mainīgais augsnes mitruma raksturošanai: ja ir mitras vai slapjas augsnes, tad 1, ja nav, tad 0 (mitra augsne – ja gruntsūdens līmenis pastāvīgi mazāks par 1 m; slapja augsne – ja ūdens līmenis pastāvīgi virs augsnes virskārtas);

N – mežaudzes koku skaits, ha^{-1} ;

n_{atv} – atvašu skaits pudurī, kas augstākas par pusi no augstākās atvases pudurī;

N_{izc} – nākamajā piecu gadu periodā izcērtamo koku skaits, ha^{-1} ;

ost – rādītājs, kas raksturo koka vecuma aprēķināšanu;

p – varbūtība, ka nākamajā periodā atmirs koki;

P_b – bērzu īpatsvars (pēc šķērslaukuma);

pc – veģetācijas sezonu skaits pēc kopšanas cirtes veikšanas;

P_e – egļu īpatsvars (pēc šķērslaukuma);

PG_{atm} – atmirušās koksnes šķērslaukuma procents, %;

PG_{atm} – atmirušās koksnes šķērslaukuma ikgadējais procents, %;

P_{LK} – lapu koku īpatsvars (pēc šķērslaukuma);

PV_{atm} – atmirušās koksnes krājas ikgadējais procents, %;

- rich – indikators, kas raksturo veģetācijas tipu (meža tips);
- s – fiktīvais mainīgais augsnes mitruma raksturošanai: ja ir slapjas augsnes, tad 1, ja nav slapjas augsnes, tad 0 (slapja augsne – ja ūdens līmenis pastāvīgi virs augsnes virskārtas);
- S – parauglaukuma (audzes) platība, m²;
- sh – koku augstumu kvadrātu summa, m²10⁻⁵ha⁻¹;
- SI – mežaudzes virsaugstuma bonitāte, m;
- SI₁₀₀ – virsaugstuma bonitāte (augstums 100 gadu vecumā), m;
- SI_e – virsaugstuma bonitāte eglēm (ja izmanto virsaugstuma bonitāti priedēm, tad vērtība 0), m;
- SI_p – virsaugstuma bonitāte priedēm (ja izmanto virsaugstuma bonitāti eglēm, tad vērtība 0), m;
- SI_{P100} – priedes virsaugstuma bonitāte, m;
- T_{sum} – aktīvo temperatūru summa (>5°C) veģetācijas periodā;
- veg_{kr} – fiktīvais mainīgais, kas raksturo mežaudzes zemsedzes veģetāciju, ja zemsedzes veģetācijā dominē krūmi, tad 1, ja nē, tad 0;
- veg_z – fiktīvais mainīgais, kas raksturo mežaudzes zemsedzes veģetāciju, ja zemsedzes veģetācijā dominē zālaugi, tad 1, ja nē, tad 0;
- vg – veģetācijas veids (1-18);
- Y – rādītājs, kas atkarīgs no virsaugstuma bonitātes un mežaudzes vecuma;
- Z_{G5} – nākamo 5 gadu šķērslaukuma periodiskais pieaugums, m²ha⁻¹;
- z_{g5} – vidējā kvadrātiskā koka nākamo piecu gadu šķērslaukuma periodiskais pieaugums, cm²;
- Z_{Gvp} – mežaudzes vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums, m²ha⁻¹gadā.

Augstuma augšanas gaitas modeļi

Audzēs līdz 7 metru augstumam tiek modelēts audzes vidējais augstums (Elfving, 2010):

$$H = \frac{SI}{\exp(Y)+1} \quad (3.24)$$

Y – rādītājs, kas atkarīgs no SI un mežaudzes vecuma (3.3. tabula)

3.3. tabula. Zviedrijā mežaudzēs līdz 7 m augstumam izmantoto vidējā augstuma aktualizācijas modeļa (3.24. vienādojums) koeficienti un to aprēķināšanas vienādojumi

Suga	Y	b ₀	b ₁	b ₂
Priede	b ₀ +b ₁ *A+b ₂ *A ²	7.0	-0.57-0.05*SI	- 0.28+0.0094*SI
Egle	b ₀ +b ₁ *A+b ₂ *A ²	6.27+12.1/SI	-0.262- 0.0575*SI+0.00088*SI ²	-0.323- 0.134*b ₁
Bērzs	b ₀ +b ₁ *A	6.836+0.03165*SI- 0.002757*SI ²	-2.694+0.4937*b ₀ - 0.05331*b ₀ ²	
Apse	b ₀ +b ₁ *A	10.024-0.1664*SI	-4.093+0.1605*SI- 0.0025*SI ²	

A – meža elementa vecums; SI – meža elementa virsaugstums 100 gadu vecumā

Audzēs virs 7 metru augstumam tiek modelēts audzes virsaugstums, par ko tiek pieņemts 100 uz hektāra resnāko koku aritmētiski vidējais augstums (Elfving, 2010):

$$H_{dom2} = \frac{H_{dom1} + b_2 \cdot b_1^{b_3} + \left((H_{dom1} - b_2 \cdot b_1^{b_3})^2 + 4 \cdot b_2 \cdot H_{dom1} \cdot A_1^{b_3} \right)^{0.5}}{2 + 4 \cdot b_2 \cdot H_{dom1} \cdot A_2^{b_3} / \left(H_1 - b_2 \cdot b_1^{b_3} + \left((H_{dom1} - b_2 \cdot b_1^{b_3})^2 + 4 \cdot b_2 \cdot H_{dom1} \cdot A_1^{b_3} \right)^{0.5} \right)} \quad (3.25)$$

Ierobežojumi un izņēmumi. Bērzam A_1 un A_2 ir vecums aktualizācijas perioda sākumā un beigās. Eglei no attiecīgā vecuma jāatņem 3.

Atsevišķu koku augstuma aprēķināšanai izstrādāti vienādojumi priedei Zviedrijas ziemeļu daļā, vidusdaļā un dienvidu daļā, eglei un bērzam ziemeļu daļā un dienvidu daļā.

Caurmēra augšanas gaitas modeļi

Caurmēra augšanas gaitas aproksimēšanai izmanto atsevišķu koku šķērslaukuma pieauguma modeli:

$$\begin{aligned} z_{g5} = \exp & \left(b_0 + b_1 \cdot \ln(d + 1) + b_2 \cdot \frac{d}{10} + b_3 \cdot \frac{BAL}{d+1} + b_4 \cdot \frac{BAL}{d+1} \cdot \frac{G}{G-G_e} + b_5 \cdot \frac{BAL}{d+1} \cdot \right. \\ & \left. \frac{(D_g - (\sum d^2 / \sum n))^{0.5}}{D_g^3} + b_6 \cdot \ln(a + 20) + b_7 \cdot \text{ost} + b_8 \cdot \frac{D_g}{10} + b_9 \cdot \frac{D_g^2}{1000} + b_{10} \cdot \ln(G + 3) + b_{11} \cdot \right. \\ & G_{citi}^2 + b_{12} \cdot G_i^2 + b_{13} \cdot \text{Gotland} + b_{14} \cdot \frac{T_{sum}}{1000} + b_{15} \cdot \left(\frac{T_{sum}}{1000} \right)^2 + b_{16} \cdot \frac{1}{T_{sum} - 0.3} + b_{17} \cdot \frac{1}{att_k + 3} + \\ & b_{18} \cdot \text{LAT} + b_{19} \cdot \frac{H_{vj1}}{100} + b_{20} \cdot \left(\frac{H_{vj1}}{100} \right)^2 + b_{21} \cdot \frac{SI}{10} + b_{22} \cdot \frac{SI^2}{100} + b_{23} \cdot \text{rich} + b_{24} \cdot \text{ort} + b_{25} \cdot \text{fer} + \\ & \left. b_{26} \cdot c_{0-10} + b_{27} \cdot c_{11-25} + b_{28} \cdot \text{dal} + b_{29} \cdot \text{kant} + b_{30} \cdot \frac{\ln(G+1)}{\ln(G_{apk}+1)} \right) \quad (3.26) \end{aligned}$$

Nākamā perioda vidējo caurmēru iespējams aprēķināt pēc sekojošas sakarības:

$$D_2 = \left(\frac{0.7854 \cdot D_1 + z_g}{0.7854} \right)^{0.5} \quad (3.27)$$

Atsevišķiem kokiem caurmēru var aprēķināt arī kā sekundāru parametru atkarībā no koku augstuma un audzes taksācijas rādītājiem:

$$\begin{aligned} d = & \left[\exp \left(b_0 + b_1 \cdot \ln(h - k_{PEB}) + b_2 \cdot h + b_3 \cdot (h - k_{PEB})^2 + b_4 \cdot (1 - h) \cdot \text{dat} + b_5 \cdot \right. \right. \\ & \text{sh} + b_6 \cdot \ln(\text{sh} + 0.1) + b_7 \cdot \ln(1 + 10 \cdot \Delta h \cdot (\text{sh} + 0.1)) + b_8 \cdot \sin(\text{Idel}) + b_9 \cdot \text{Izc} + b_{10} \cdot h^{0.5} \cdot \\ & \text{Izc} + b_{11} \cdot \frac{c_{0-10}}{1+pc} + b_{12} \cdot c_{0-10} \cdot \ln(10 + pc) + b_{13} \cdot n_{atv} \cdot h^2 + b_{14} \cdot \text{LAT} + b_{15} \cdot \frac{H_{vj1}}{100} + b_{16} \cdot \\ & \left. \left. \left(\frac{H_{vj1}}{100} \right)^2 + b_{17} \cdot \text{att}_{k5} + b_{18} \cdot \text{SI}_{p100} + b_{19} \cdot \text{veg}_z + b_{20} \cdot \text{veg}_{kr} + \text{kc}_{MRES} \right) \right]^{0.5} \quad (3.28) \end{aligned}$$

Šķērslaukuma izmaiņas modelis

Mežaudzes šķērslaukuma izmaiņu *Elfving* modelis (Elfving, 2010):

$$Z_{G5} = \exp\left(b_0 + b_1 \cdot \ln(A) + b_2 \cdot \frac{G_{SK}/G}{A} + b_3 \cdot \frac{G_P}{G} \cdot vg + b_4 \cdot G_B^2 + b_5 \cdot \exp\left(-\frac{T_{sum}-300}{100}\right) + b_6 \cdot \ln(G - G_{izc}) + b_7 \cdot G + b_8 \cdot \frac{N_{izc}}{N_{izc}+80} + b_9 \cdot vg + b_{10} \cdot vg \cdot k + b_{11} \cdot m + b_{12} \cdot s + b_{13} \cdot SI + b_{14} \cdot gr_{25} + b_{15} \cdot fer + b_{16} \cdot kant + b_{17} \cdot dal_v + b_{18} \cdot c_{0-10} + b_{19} \cdot c_{11-25} + b_{20} \cdot \ln\left(\frac{G}{G_{apk}}\right) + b_{21} \cdot i_{83} + b_{22} \cdot i_{84} + b_{23} \cdot i_{86}\right) \quad (3.29)$$

Atmiruma modeļi

Atmiruma modelēšanai iespējams izmantot **Söderberg** (Elfving, 2010); **Bengtsson** (Elfving, 2010) un **Fridman & Stahl** (Fridman & Ståhl, 2001) modeļus.

Söderberg modelis

$$PG_{atm} = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{A+10} + b_2 \cdot \frac{1}{(A+10)^2} + b_3 \cdot G + b_4 \cdot \ln(G) + b_5 \cdot SI_e + b_6 \cdot SI_p + b_7 \cdot P_e + b_8 \cdot P_e^2 + b_9 \cdot P_b + b_{10} \cdot P_b^2 \quad (3.30)$$

Bengtsson modelis

$$PV_{atm} = b_0 + b_1 \cdot D + b_2 \cdot D^2 + b_3 \cdot A + b_4 \cdot A^2 + b_5 \cdot z_{Gvp} \quad (3.31)$$

Ierobežojumi un izņēmumi. D=7-30 cm un A=30-120 gadi.

Fridman & Stahl modelis

Izmantots 3-pakāpju atmiruma modelis.

1. solis. Tiek noteikta varbūtība, ka nākamajā periodā izdzīvos visi koki:

$$p = \frac{\exp\left(b_0 + b_1 \cdot \ln(S) + b_2 \cdot LK + b_3 \cdot \left(\frac{D}{100}\right)^2 + b_4 \cdot LK_{10} + b_5 \cdot \ln(G) + b_6 \cdot H_{vj1} + b_7 \cdot G + b_8 \cdot k + b_9 \cdot ms\right)}{1 + \exp\left(b_0 + b_1 \cdot \ln(S) + b_2 \cdot LK + b_3 \cdot \left(\frac{D}{100}\right)^2 + b_4 \cdot LK_{10} + b_5 \cdot \ln(G) + b_6 \cdot H_{vj1} + b_7 \cdot G + b_8 \cdot k + b_9 \cdot ms\right)} \quad (3.32)$$

2. solis. Tiek aprēķināts nākamā perioda atmirušās koksnes šķērslaukuma īpatsvars:

$$PG_{atm} = \exp\left(b_0 + \left(b_1 + b_2 \cdot S + b_3 \cdot \ln(G) + b_4 \cdot \frac{D}{100} + b_5 \cdot A^2 + b_6 \cdot \left(\frac{D}{100}\right)^2 + b_7 \cdot \ln(N) + b_8 \cdot ms + b_9 \cdot att_{kailc} + b_{10} \cdot P_{LK} + b_{11} \cdot c_{kop}\right)\right) \quad (3.33)$$

3. solis. Tiek aprēķināta atmiruma varbūtība atsevišķām koku sugu un caurmēra grupām:

$$\text{Priede} \quad p_P = \frac{\exp\left(b_0 + b_1 \cdot k_{P70} + b_2 \cdot d_{gr} + b_3 \cdot \ln(G) + b_4 \cdot ms + b_5 \cdot \frac{D}{100} + b_6 \cdot d_{gr}^2 + b_7 \cdot BAL + b_8 \cdot \left(\frac{D}{100}\right)^2\right)}{1 + \exp\left(b_0 + b_1 \cdot k_{P70} + b_2 \cdot d_{gr} + b_3 \cdot \ln(G) + b_4 \cdot ms + b_5 \cdot \frac{D}{100} + b_6 \cdot d_{gr}^2 + b_7 \cdot BAL + b_8 \cdot \left(\frac{D}{100}\right)^2\right)} \quad (3.34)$$

$$\text{Egle} \quad p_E = \frac{\exp\left(b_0 + b_1 \cdot \frac{D}{100} + b_2 \cdot G + b_3 \cdot att_{kailc} + b_4 \cdot BAL + b_5 \cdot k_{P70} + b_6 \cdot c_{kop} + b_7 \cdot d_{gr}^{-1}\right)}{1 + \exp\left(b_0 + b_1 \cdot \frac{D}{100} + b_2 \cdot G + b_3 \cdot c_{kailc} + b_4 \cdot BAL + b_5 \cdot k_{P70} + b_6 \cdot c_{kop} + b_7 \cdot d_{gr}^{-1}\right)} \quad (3.35)$$

$$\text{Bērzs} \quad p_B = \frac{\exp(b_0 + b_1 \cdot \frac{D}{100} + b_2 \cdot G + b_3 \cdot H_{vj1} + b_4 \cdot d_{gr} + b_5 \cdot d_{gr}^2 + b_6 \cdot \text{BAL})}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot \frac{D}{100} + b_2 \cdot G + b_3 \cdot H_{vj1} + b_4 \cdot d_{gr} + b_5 \cdot d_{gr}^2 + b_6 \cdot \text{BAL})} \quad (3.36)$$

$$\text{Citi lapu koki} \quad p_c = \frac{\exp(b_0 + b_1 \cdot \text{BAL} + b_2 \cdot G + b_3 \cdot H_{vj1} + b_4 \cdot \text{att}_{<H20} + b_5 \cdot \text{LAT} + b_6 \cdot d_{gr}^{-1})}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot \text{BAL} + b_2 \cdot G + b_3 \cdot H_{vj1} + b_4 \cdot \text{att}_{<H20} + b_5 \cdot \text{LAT} + b_6 \cdot d_{gr}^{-1})} \quad (3.37)$$

Koku sadalījuma modelēšana

Koku skaita modelēšanai sadalījumā pa augstumu grupām izmantots 3-pakāpju *Weibull* sadalījums:

$$f(x) = \frac{\lambda}{\beta} \cdot \left[\left(\frac{h-\alpha}{\beta} \right)^{\lambda-1} \cdot \exp \left(- \left(\frac{h-\alpha}{\beta} \right)^{\lambda} \right) \right] \quad (3.38)$$

λ – formas parametrs; β – mēroga parametrs; α – novietojuma parametrs.

Weibull sadalījuma kumulāta izsakāma ar sakarību:

$$f(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x-\alpha}{\beta} \right)^{\lambda} \right] \quad (3.40)$$

$$\text{CVH} = \exp(b_0 + b_1 \cdot H + b_2 \cdot \ln(H) + b_3 \cdot \ln(1 + P_{LK}) + b_4 \cdot \text{Izc}) \quad (3.40.1)$$

$$\lambda = \exp(b_0 + b_1 \cdot H + b_2 \cdot \text{CVH} + b_3 \cdot \ln(\text{CVH})) \quad (3.40.2)$$

$$\beta = b_0 + b_1 \cdot H + b_2 \cdot \text{CVH} \quad (3.40.3)$$

Vienādojumu izstrādei pētījumā potenciāli izmantojamo rādītāju uzskaitījums

Koka raksturojošie rādītāji (atribūti)

Izvērtējot literatūras datus koku raksturojošiem rādītājiem, kurus lietderīgi pārbaudīt izstrādājot individuāla koka augšanas gaitas modeļus Latvijas mežiem, pieņemti:

S – koku suga;

A_{1.3} – koka krūšaugstuma vecums (rēķinot virsaugstuma bonitāti), gadi;

A_c – koka celma augstuma vecums, gadi;

A_{max} – koku sugas teorētiski maksimālais vecums, gadi;

d – koka krūšaugstuma caurmērs, cm;

d/D_{dom} – atsevišķa koka caurmēra attiecība pret dominējošo koku vidējo caurmēru;

d_c – koka celma augstuma caurmērs, cm;

h – koka augstums, m;

g – koka šķērslaukums krūšaugstumā, cm²;

v – koka stumbra tilpums, m³;

cr – vainaga īpatsvars (zaļā vainaga garums attiecībā pret koka garumu);

cw – vainaga platums, m;

CI_i – konkurences indekss;

DAMAG – bojājumu veids un pakāpe;

- BAL – šķērslaukuma summa kokiem, kas lielāki par konkrēto koku, m^2ha^{-1} ;
 PLANT – fiktīvais mainīgais audzes izcelsmes raksturošanai, ja audze stādīta, tad 1, ja nē, tad 0.

Kokaudzi raksturojošie rādītāji (atribūti)

- BAL – šķērslaukuma summa kokiem, kas lielāki par konkrēto koku, m^2ha^{-1} ;
 H_{max} – maksimālais augstums, m;
 H_g – vidējā koka augstums, m;
 H_{dom} – mežaudzes virsaugstums, m;
 D_{max} – maksimālais caurmērs, m;
 D_{mean} – vidējais caurmērs, cm;
 D_g – vidējais kvadrātiskais mežaudzes caurmērs, cm;
 D_c – mežaudzes vidējais celma augstuma caurmērs, cm;
 D_{dom} – dominējošo koku krūšaugstuma caurmērs, cm;
 D_M – mežaudzes mediānais caurmērs, cm;
 G – mežaudzes šķērslaukums, m^2ha^{-1} ;
 G^* – ar atmiruma modeļiem prognozētais šķērslaukums, m^2ha^{-1} ;
 G_i – atbilstošās sugas šķērslaukums, m^2ha^{-1} ;
 G_{max} – maksimālais šķērslaukums, m^2ha^{-1} ;
 N_i – atbilstošās koku sugas koku skaits, ha^{-1} ;
 N^* – ar atmiruma modeļiem prognozētais koku skaits, ha^{-1} ;
 N^*_{maxi} – atsevišķu sugu maksimālais koku skaits, kas aprēķināts kā N_{max} , ha^{-1} ;
 N_{kor} – koriģētais koku skaits, ha^{-1} ;
 N_{max} – mežaudzes maksimālais koku skaits, ha^{-1} ;
 N_{maxB} – bērza koriģētais maksimālais koku skaits, ha^{-1} ;
 N_{maxE} – egles koriģētais maksimālais koku skaits, ha^{-1} ;
 N_{maxP} – priedes koriģētais maksimālais koku skaits, ha^{-1} ;
 N_{maxA} – apses koriģētais maksimālais koku skaits, ha^{-1} ;
 N_{maxBA} – baltalkšņa koriģētais maksimālais koku skaits, ha^{-1} ;
 N_{maxMA} – melnalkšņa koriģētais maksimālais koku skaits, ha^{-1} ;
 N – mežaudzes koku skaits, ha^{-1} ;
 RDF – relatīvā biežības faktors (rēķinot virsaugstuma bonitāti $RDF=0.75$);
 RDFB – bērza relatīvās biežības faktors;
 RDFC – citu koku sugu (bez P;E;B) relatīvās biežības faktors;
 RDFE – egles relatīvās biežības faktors;
 RDFL – lielāku koku relatīvā biežības faktors;
 RDFP – priedes relatīvās biežības faktors.

Mežaudzes / vietas raksturojošie rādītāji / atribūti

Augsnes auglības rādītāji/ meža tipu grupa

Kūdras slāņa biezums

Tsum – aktīvās veģetācijas ($t^{\circ} > 5^{\circ}\text{C}$) temperatūru summa;

SC_x – fiktīvais mainīgais, kas raksturo kādai meža tipa auglības grupai pieder mežaudze (3.1. tabula);

SI – mežaudzes virsausgustuma bonitāte (augstums 50 gadu krūsausgustuma vecumā), m;

SI_A – apses virsausgustuma bonitāte (augstums 50 gadu vecumā), m;

SI_B – bērza virsausgustuma bonitāte (augstums 50 gadu vecumā), m;

SI_{BA} – baltalkšņa virsausgustuma bonitāte (augstums 20 gadu vecumā), m;

SI_E – egles virsausgustuma bonitāte (augstums 100 gadu vecumā), m;

SI_{MA} – melnalkšņa virsausgustuma bonitāte (augstums 50 gadu vecumā), m;

SI_P – priedes virsausgustuma bonitāte (augstums 100 gadu vecumā), m;

Y1-4 – fiktīvais mainīgais, kas raksturo koku sugai atbilstošo ražības grupu (3.2. tabula).

LAT – ziemeļu platums, km

LON – austrumu garums, km.

Saimnieciskās darbības raksturojošie rādītāji

SP₀₋₁₀ – fiktīvais mainīgais, kas raksturo augsnes sagatavošanu pēdējo 10 gadu laikā;

p₀₋₅ – fiktīvais mainīgais, kas raksturo sastāva kopšanas cirti pēdējo 5 gadu laikā;

c₀₋₅ – fiktīvais rādītājs, kas raksturo vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta krājas kopšanas cirte;

c₆₋₁₀ – rādītājs, kas raksturo vai pēdējo 6 līdz 10 gadu laikā mežaudzē ir veikta krājas kopšanas cirte;

ATZ₀₋₅ – atzarošana pēdējo 5 gadu laikā;

ATZ₆₋₁₀ – atzarošana pēdējo 10 gadu laikā;

DR₀₋₅ – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta meliorācija;

DR₁₁₋₂₅ – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 11 līdz 25 gadu laikā mežaudzē ir veikta meliorācija;

DR₂₅₋ – fiktīvais mainīgais, kas raksturo, ka mežaudzē ir veikta meliorācija vairāk kā pirms 25 gadiem.

Trūkstošo taksācijas rādītāju aprēķins

Koka augstums

Koka augstumu aprēķina atbilstoši meža elementa augstumlīknei pēc Petersena vienādojuma, vai, ja koku skaits meža elementā ir mazāks par 5, tad atbilstoši pārveidotajam Gafreja vienādojumam vai pārveidotajam relatīvā augstuma vienādojumam (Kuļiešis, 1993).

Vainaga sākuma augstums/vainaga proporcija

Balstot uz koku sugu, kokaudzes rādītājiem un augstāk aprakstītajiem vienādojumiem.

Vainaga platums

Balstot uz koku sugu, kokaudzes rādītājiem.

Koku sadalījums pa caurmēra pakāpēm

Balstot uz koku sugu, meža elementa rādītājiem, kokaudzes rādītājiem.

Koku stumbru sortimentācija

Balstot uz koku sugu, koku taksācijas rādītājiem, balstot uz R.Ozoliņa izstrādāto algoritmu (Ozolins, 2002), kas modificēts, lai varētu ņemt vērā koksnes bojājumus.

Prognozēto taksācijas rādītāju aprēķins

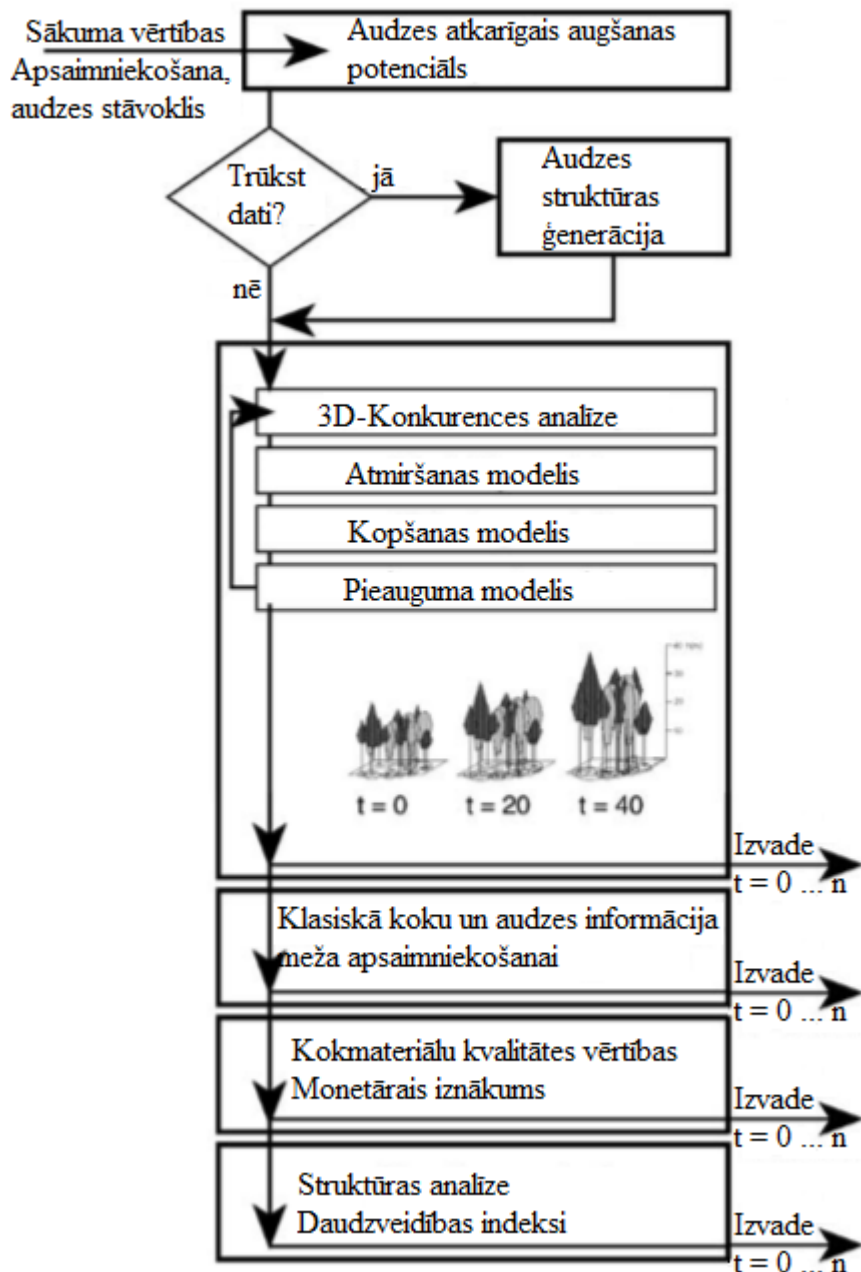
- ig_5 – koka nākošo 5 gadu šķērslaukuma pieaugums, cm^2 ;
- ih_5 – koka nākamo 5 gadu augstuma pieaugums, m;
- iH_{dom5} – dominējošo koku nākošo 5 gadu augstuma pieaugums, m;
- p_5 – varbūtība, ka koks atmirs nākošo piecu gadu laikā;
- p_{comp5} – varbūtība, ka koks konkurences dēļ atmirs nākošo piecu gadu laikā;
- p_{old} – varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs;
- $p_{old(A)}$ – varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs vecumā A;
- $p_{old(A+5)}$ – varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs vecumā A+5;
- p_{old5} – varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs nākošo piecu gadu laikā;

Telpiskie individuāla koka augšanas gaitas modeļi

Literatūrā pieejami vairāki telpiskie augšanas gaitas modeļi, piem., SILVA (Pretzsch et al., 2002), SIBILA (Fabrika, Ďurský, 2005). Izstrādājot telpiskos augšanas gaitas modeļus, tiek ņemta

vērā lokālā koku mijiedarbība. Lai arī pastāv dažādi mijiedarbības veidi, tomēr aprēķinos visbiežāk iekļauj konkurenci. Tās raksturošanai tiek izmantoti divdimensiju vai 3 dimensiju konkurences indeksi.

Turpmākajās apakšnodaļās tiks aprakstīta koka reprezentācija, ievades un izvades ruļņas SILVA simulatorā, kā arī galvenie moduļu vienādojumi, iekļaujot augšanas un atmiršanas aprakstus (Pretzsch et al., 2002). Simulatora blokshēma redzama 3.3. attēlā



3.3.attēls. Blokshēma SILVA augšanas simulācijai, kur t ir punkts laikā, n ir attiecīgo gadu skaits (Pretzsch et al., 2002)

Koka reprezentācija

SILVĀ koks tiek aprakstīts izmantojot sekojošus galvenos mainīgos: koka suga, caurmērs krūšaugstumā (dbh), koka pilnais augstums (h), vainaga bāzes augstums (hcb), vainaga diametrs (cd) un koka koordinātes ($x; y$). Tiek pieņemts, ka katrs koks aug taisni (ir taisns). Trīsdimensiālu vainaga formu atspoguļošanai tiek izmantoti katrai sugai specifiski vainaga modeļi (Pretzsch, 1992). Šajos modeļos tiek pieņemts, ka vainags ir rotējoši simetrisks horizontālā virzienā un vertikāli atšķirīgs

starp tā augšējo un apakšējo daļu. Vainaga augšējās un apakšējās daļas forma un relatīvais garums ir specifisks katrai sugai, savukārt vainaga maksimālais platums tiek vienmēr pieņemts pie augstuma, kurā abas vainaga daļas savienojas.

Darbības uzsākšana

Individuāla koka datu komplekts

Simulācijas darbība tiek uzsākta ar informāciju par apsaimniekošanu, vietas raksturojumu un 3 galvenajiem mainīgajiem. Nereti galvenie mainīgie ir nepietiekami un dažreiz ir zināms tikai koku numurs un šķērslaukums pa sugām. Šādos gadījumos iespējams, automatizēti vai interaktīvi, izmantot SILVA mežaudzes struktūras ģenerēšanas moduli (Biging et. al., 1994; Pretzsch, 1997), lai izveidotu individuāla koka datus, kuri ir saskaņā ar dotās audzes parametriem.

Apsaimniekošanas parametri

Apsaimniekošanas apstākļus definē, ņemot vērā kopšanas cirtes - veidu, biežumu un intensitāti. SILVA piedāvā kādu no sekojošajiem variantiem - dažādu veidu izlases cirtes, nākotnes kokus, cirti pēc mērķa caurmēra, kopšanas cirti no augšas vai apakšas, bez kopšanas cirtes, un šo veidu apvienojumu.

Vietas raksturojums

SILVA apstrādā informāciju, izmantojot sekojošu vides raksturojumu sarakstu, dotu kā ilgtermiņa vidējās vērtības:

- Temperatūras atšķirība starp aukstāko un siltāko mēnesi gadā (K);
- Dienu skaitu gadā, kad vidējā temperatūra bijusi virs 10°C;
- Vidējo temperatūru augšanas sezonā °C;
- Relatīvo augsnes ūdens aizturēšanas spēju (kā noteikts Vācijas augšanas apstākļu klasifikācijā);
- Nokrišņu daudzumu augšanas sezonā (mm);
- Augsnes barības vielu apgādi (kā noteikts Vācijas augšanas apstākļu klasifikācijā);
- NO_x – koncentrāciju (ppm);
- Atmosfēras CO₂ – koncentrāciju (ppm).

Lielākajai daļai simulāciju vides raksturojums tiek saglabātas konstants, bet nepieciešamības gadījumā tas var tikt pielāgots. Ņemot vērā, ka visu mainīgo saraksts priekš viena parauglaukuma ir pieejams reti, pastāv iespēja lielāko daļu vides raksturojumu izvēlēties, izmantojot ekoreģionu koda numurus (Vācijas augšanas apstākļu klasifikācijā), augstumu virs jūras līmeņa, slīpumu un ekspozīciju. Attiecīgi, galvenie klimatiskie dati, tad tiek ņemti no dotā saraksta un pielāgoti konkrētajai ģeogrāfiskajai situācijai. Šajā gadījumā tiek izmantotas šī brīža CO₂ un NO_x koncentrācijas, savukārt augsnes un barības vielu raksturojošos rādītājus lietotājam nepieciešams ievadīt pašam.

Sugai specifisku unimodālu devu reaģējošas funkcijas tiek izmantotas, lai sastādītu informāciju par vidi vērtībās no 0 (minimālie augšanas apstākļi) līdz 1 (ekoloģiskajam optimālam atbilstoši sugai). Šīs vērtības tiek apvienotas ekoloģiski nozīmīgos vietas mainīgajos, vērā ņemot arī kompensācijas efektu. Noslēgumā, vietas mainīgie lielumi nosaka potenciālās augstuma pieauguma līknes vērtības, kuras tiek formulētas atbilstoši Chapman-Richards vienādojuma:

$$h_{pot} = A(1 - e^{-kt})^p, \quad (3.41)$$

kur, h_{pot} ir koka potenciālais augstums vecumā t un A , k , p ir sugas specifiskie parametri, kas tiek iegūti no vietas mainīgo vektora.

Galvenā modeļa apraksts

Vispārējie apsvērumi

Vismazākais SILVA simulācijā izmantojamais laika nogrieznis ir meža augšanas periods - 5 gadi. Šis laika intervāls atbilst augšanas gaitas tabulās piedāvātajam laika intervālam, kā arī tas atbilst standarta laika intervālam starp divām mērījumu reizēm .

Koku savstarpēja konkurence

Viena no galvenajām individuāla koka augšanas simulatora spējām ir koku savstarpējās konkurences aprēķināšana katram kokam, kas atspoguļojas kā konkurences indekss (Biging and Dobbertin, 1992). SILVA izmantoto konkurences indeksu (KKL) definēja Pretzsch (1995) un izvērtēja Bachmann (1998). Tas tiek aprēķināts divos soļos, iekļaujot konkurējošo koku noteikšanu un faktisko relatīvā konkurenta noteikšanu.

Katra koka konkrētie konkurenti tiek noteikti, izmantojot virtuāli apgrieztu konusu. Konusa asis ir vienādas ar koka asīm un tā virsotne ir novietota koka vainagā. Relatīvais augstums vainagā un virsotnes leņķis tiek noteikts specifiski katrai sugai. Jebkurš koks, kura galotne iesniedzas šajā virtuālajā konusā, tiek uzskatīts par konkurējošu.

Katram konkurējošajam kokam tiek noteikts leņķis β , kas ir leņķis starp konusa sākuma punktu un konkurējošā koka galotni. Šis leņķis tiek aprēķināts, ņemot vērā saikni starp konkurējoša koka un pētītā koka vainagu pārklāšanās laukumiem (CCA). Šie laukumi tiek aprēķināti, ņemot vērā attiecīgā vainaga modeli vai pēc konusa virsotnes augstuma (gadījumā, ja konusa virsotne ir virs vainaga maksimālā platuma), vai pēc vainaga maksimālā platuma, ja konusa virsotne ir zem tā. Papildus tam, leņķis β tiek arī sareizināts ar sugai specifisku gaismas caurlaidības koeficientu vadoties pēc Ellenberg (1996). Konkurences indekss tiek noteikts kā visu konkurējošo koku ietekmes summa:

$$KKL_i = \sum_{j=1}^n \beta_j \frac{CCA_j}{CCA_i} TM_j \quad (3.42)$$

Kur, KKL_i ir konkurences indekss priekš koka i , β_j leņķis starp konusa virsotni un konkurējošā koka galotni j , CCA_j , CCA_i vainagu pārklāšanās laukums no kokiem j un i , attiecīgi, TM_j sugai specifisks gaismas caurlaidības koeficients kokam j , n konkurējošo koku skaits kokam i .

Mirstība

Pēc tam, kad ir noteikta konkurences pakāpe, tiek noteikts dabiskais atmirums nākamajam simulācijas ciklam. Vienkāršošanai, mirstošie koki tiek izvērtēti jau cikla sākumā. Mirstības modulis aprēķina izdzīvošanas varbūtību, ņemot vērā koka dimensijas un tā prognozēto šķērslaukuma pieaugumu. Pirmais solis šīs divējādās problēmas atrisināšanai ir bezdimensiju vērtības P aprēķināšana, izmantojot Logit – funkciju:

$$P = \frac{1}{1 + e^{-(a_0 + a_1 d + a_2 \left(\frac{ig}{dbh}\right) + a_3 \left(\frac{h}{dbh}\right) + a_4 SI)}} \quad (3.43)$$

Kur P ir bezdimensiju vērtība (izmantota 4.formulā), kas nosaka mirstību (sliexnis 0,5); ig plānotais koka šķērslaukuma pieaugums ($\text{cm}^2/5$ gadi); SI bonitāte, izteikta kā audzes virsaugstums 50 gadu vecumā, kas izteikts no audzes augstuma pieauguma potenciāla; a_0, \dots, a_4 pieņemtie koeficienti.

Koeficienti tika noskaidroti, izmantojot maksimālās iespējamības metodi, izmantojot raksturlielumus no dabiski atmirušajiem kokiem un no tāda paša daudzuma nejauši izvēlētiem dzīvajiem kokiem. Izmantojot vienādu daudzumu dzīvos un atmirušos kokus, tiek novērsta modeļa neobjektivitāte. Principā visi koki ar P vērtību lielāku par 0,5 varētu tikt definēti kā mirstoši koki. Tomēr, par cik P -funkcijas neizskaidrotie lielumi nav vienmērīgi sadalīti, tie tiek izmantoti, lai precizētu sekojošu funkciju:

$$P_m = \frac{b_0}{e^{b_1 P^{b_2}}} \quad (3.44)$$

Kur P ir individuāla koka iespējamās atmiršanas vērtība, b_0, \dots, b_2 pieņemtie sugai specifiskie parametri.

Visbeidzot, vērtība P_m ir individuāla koka iespējamās atmiršanas vērtība. Konkrēts koks tiek uzskatīts par mirušu, tad ja P_m ir lielāks kā nejauši iegūts skaitlis ar līdzvērtīgu iespējamību intervālā no $[0; 1]$.

Kopšana cirte

Kopšanas cirte tiks veikta atbilstoši lietotāja definētajiem iestatījumiem simulācijas sākumā.

Augstuma pieaugums

Pirmkārt, atbilstoši 1. vienādojumam tiek aprēķināts no apstākļiem atkarīgs augstuma pieaugums. Ievietojot tagadējo koka augstumu h_t un atrisinot vienādojumu priekš t , tiek iegūts koka teorētiskais vecums, kas reprezentē minimālo gadu skaitu, kas nepieciešams, lai sasniegtu h_t (Pretzsch, 1992):

$$t = \frac{-\ln\left(\frac{P}{\sqrt{\frac{h_t}{A}}}\right)}{k} \quad (3.45)$$

Kur t ir koka teorētiskais vecums (gados), h_t tagadējais koka augstums teorētiskajā vecumā t (m).

Otrkārt, simulācijas laika solis Δt (5 gadi) tiek pievienots t un ievietots potenciālā augstuma pieauguma aprēķinā. Tādējādi, pēc nākamā simulācijas soļa tiek iegūts potenciālais koka augstums ($h_{pot\ t+\Delta t}$). Potenciālais augstuma pieaugums zh_{pot} tad var viegli tik izteikts no starpības starp $h_{pot\ t+\Delta t}$ un h_t (Monserud, 1975):

$$zh_{pot} = h_{pot\ t+\Delta t} - h_t \quad (3.46)$$

Tad potenciālais augstuma pieaugums tiek samazināts līdz sagaidāmajam augstuma pieaugumam zh ņemot vērā individuālā koka nosacījumus, kuri tiek definēti pēc tā konkurējošo koku indeksiem un vainaga dimensijām:

$$zh = z^{h_{pot}} * c_5 * (1 - e^{-c_0 CSA}) * e^{-c_4 * (1+KMA)^{c_1} * (1+NDIST)^{c_2} * (KKL+c_3 \Delta KKL)} \quad (3.47)$$

Kur zh ir sagaidāmais augstuma pieaugums (m/5 gados), CSA ir vainaga virsmas laukums (m^2), c_0, \dots, c_5 sugas specifiskie parametri.

3.1.1.7.2.6. Caurmēra pieaugums

Līdzīgi kā augstuma pieauguma modelis, koka diametra pieaugums arī tiek atvasināts no potenciālā augstuma, kas netiešā veidā ir atkarīgs no vietas apstākļiem.

Pirmkārt, potenciālais koka diametra pieaugums tiek aprēķināts atkarībā no koka caurmēra krūšaugstumā:

$$zd^{d_{pot}} = j_1 * (1 - e^{-j_2 * dbh})^{j_3} * j_2 * j_3 * e^{-j_2 * dbh} \quad (3.48)$$

Kur zd_{pot} ir potenciālais caurmēra pieaugums (cm/5 gados); j_1, j_2, j_3 sugas specifiskie parametri.

Tālākiem aprēķiniem potenciālais šķērslaukuma pieaugums zg_{pot} tiek izrēķināts no zd_{pot} :

$$zg_{pot} = [(dbh + zd_{pot})^2 - dbh^2] \frac{\pi}{4} \quad (3.49)$$

zg_{pot} tiek samazināts līdz sagaidāmā šķērslaukuma pieaugumam zg līdzīgā veidā kā tas ir atvasinot augstuma pieaugumu no potenciālā augstuma pieauguma:

$$zg = zg_{pot} * ES_{to} * k_5 * (1 - e^{-k^0 CSA}) * e^{-k_4 * (1+KMA)^{k_1} * (1+NDIST)^{k_2} * (KKL+k_3 \Delta KKL)} \quad (3.50)$$

Kur k_0, \dots, k_3 ir sugas specifiskie parametri

Šajā vienādojumā mainīgais ES_{to} reprezentē audzes apstākļu ietekmi uz šķērslaukuma pieaugumu. ES_{to} ir sugai specifiska funkcija, kurā augsnes barības vielu daudzums, atmosfēras CO_2 un NO_x koncentrācija kalpo kā neatkarīgie mainīgie. Tāpat kā augstuma pieauguma aprēķinā, neizskaidrotie

lielumi tiek uzskatīti par nejaušām modifikācijām no *zg*. Pievienojot *zg* sākotnējam pētītā koka šķērslaukumam, simulācijas beigu posmā kļūst viegli iegūt pārveidojumu uz jauno caurmēru krūšaugstumā.

Vainaga dimensiju attīstība

Pirmais solis jauno vainaga dimensiju aprēķināšanai ir novērtēt vainaga bāzes augstumu, izmantojot augstumu un caurmēru:

$$hcb = h(1 - e^{-(l_0 + l_1(\frac{h}{dbh}) + l_2 dbk)}) \quad (3.51)$$

Kur l_0, \dots, l_2 ir sugas specifiskie parametri

Vainaga diametrs tiek atvasināts no augstuma un caurmēra, izmantojot norādīto eksponenciālo sakarību:

$$cd = e^{m_0 + m_1 \ln(dhb) + m_2 h + m_3 \ln(dbh)} \quad (3.52)$$

Kur m_0, \dots, m_3 ir sugas specifiskie funkcijas parametri

Vienādojumā izmantotie dati norāda, ka konkrētais modelis dod labāku vainaga diametra aprakstu nekā gadījumos, kad vainaga diametrs tiek aprēķināts, izmantojot tikai caurmēru krūšaugstumā (cf. Gill et al., 2000), īpaši tas novērojams dažādvecuma jauktu koku audzēs.

Aprēķinos var izmantot arī vienkāršākus konkurences indeksus.

$$CI1 = \text{atan}(H_1 \div dis_{ij}) \quad (3.53)$$

$$CI2 = (H_1 \div H_2) * \text{atan}(H_1 \div dis_{ij}) \quad (3.57)$$

$$CI3 = \text{atan}((H_1 - 0,8 * H_2) \div dis_{ij}) \quad (3.55)$$

$$CI4 = \text{atan}((H_1 - 0,5 * H_2) \div dis_{ij}) \quad (3.56)$$

$$CI5 = (d_1 \div dis_{ij}) \quad (3.57)$$

$$CI6 = (d_1 \div d_2) \div dis_{ij} \quad (3.58)$$

$$CI7 = (d_1 \div d_2) \div dis_{ij}^2 \quad (3.59)$$

$$CI8 = (d_1 \div d_2)^2 \div \sqrt{dis_{ij}} \quad (3.60)$$

d1 Pirmā koka caurmērs, cm,

d2 Otrā koka caurmērs, cm,

- H1 Pirmā koka augstums, m,
H2 Otrā koka caurmērs, m,
disij Attālums no konkurējošā kokā, m,

Pētījumā plānots pārbaudīt vai papildinot netelpiskos individuāla koka augšanas gaitas modeļus ar konkurences indeksiem iespējams uzlabot modeļu statistiskos rādītājus.

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

Caurmēra pieaugums

Materiāls un metodika

Datu analīzē izmantoja datus par 123169 kokiem (priedes – 36268, egles – 38543, bērzi – 28101, melnalkšņi – 7907, apses – 4561, baltalkšņi – 7789) no 2897 MSI 2014. – 2020. 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:

$$i_{g5} = \exp \left(\alpha_0 + \alpha_1 \cdot \frac{SI_i}{10} + \alpha_2 \cdot \frac{10}{H_{vald}} + \alpha_3 \cdot \frac{10}{H_{vald}^2} + \alpha_4 \cdot \ln(d) + \alpha_5 \cdot \left(\frac{d}{100} \right)^2 + \alpha_6 \cdot \ln(cr) + \alpha_7 \cdot \ln(RDF + 1) + \alpha_8 \cdot RDFL + \alpha_9 \cdot \frac{T_{sum}}{1000} + \alpha_{10} \cdot c_{0-5} \right) \quad (3.61)$$

- kur* i_{g5} – koka nākošo 5 gadu šķērslaukuma pieaugums, cm²;
 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 (3.1. formula);
L – temperatūras summa;
 T_{sum} – aktīvās veģetācijas ($t^o > 5^oC$) temperatūru summa, °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.

Atsevišķu koku caurmēra augšanas gaita modelēta datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows, izmantojot Generalized Linear Model rīku. Analizējot pieaugumu audzes līmenī vieta jeb parauglaukums ir izmantots kā *Subject variable*, līdz ar to ņemot vērā, ka koki vienā parauglaukumā un atkārtoti pārmērīti 3 reizes un mērījumi ir savstarpēji saistīti.

Rezultāti

Balstoties uz MSI 2014. – 2020. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumu datiem aproksimētas koeficientu vērtības atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modeļiem (3.4. tabula). Vienādojumā atstāti visi bioloģiski loģiskie faktori, lai arī atsevišķos gadījumos tie nav būtiski.

3.4. tabula. Netelpiska atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modeļa (3.61. formula) 2021. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

Suga	Faktors	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	t-vērtība	p-vērtība
Priede	Intercept	α_0	0.90642	0.21052	4.306	0.000
	SI / 10	α_1	0.40689	0.01072	37.941	0.000
	10 / Hvald	α_2	-0.65933	0.07854	-8.395	0.000
	10 / Hvald ²	α_3	1.56642	0.17319	9.044	0.000
	Ln(D)	α_4	1.00834	0.03703	27.227	0.000
	(D / 10) ²	α_5	-0.02761	0.00732	-3.771	0.000
	Ln(CR)	α_6	1.58128	0.07185	22.008	0.000
	Ln(RDF+1)	α_7	-0.13865	0.03714	-3.733	0.000
	RDFL	α_8	-0.11786	0.03608	-3.266	0.001
	Tsum / 1000	α_9	0.25704	0.05017	5.124	0.000
C0-5	α_{10}	0.26453	0.01150	23.000	0.000	
Egle	Intercept	α_0	-1.11562	0.13470	-8.282	0.000
	SI / 10	α_1	0.42801	0.00694	61.662	0.000
	10 / Hvald	α_2	0.21207	0.06505	3.260	0.001
	10 / Hvald ²	α_3	1.68855	0.31166	5.418	0.000
	Ln(D)	α_4	1.25977	0.01923	65.497	0.000
	(D / 10) ²	α_5	-0.08319	0.00640	-12.995	0.000
	Ln(CR)	α_6	0.00000	0.00000	0.000	0.000
	Ln(RDF+1)	α_7	-0.59966	0.03054	-19.637	0.000
	RDFL	α_8	-0.54940	0.02426	-22.648	0.000
	Tsum / 1000	α_9	0.34259	0.05085	6.738	0.000
C0-5	α_{10}	0.23960	0.01036	23.119	0.000	
Bērzs	Intercept	α_0	-2.36775	0.19712	-12.012	0.000
	SI / 10	α_1	0.74239	0.00949	78.235	0.000
	10 / Hvald	α_2	1.30911	0.08002	16.361	0.000
	10 / Hvald ²	α_3	-2.71132	0.32137	-8.437	0.000
	Ln(D)	α_4	1.46052	0.02709	53.908	0.000
	(D / 10) ²	α_5	-0.11592	0.00806	-14.381	0.000
	Ln(CR)	α_6	0.00000	0.00000	0.000	0.000
	Ln(RDF+1)	α_7	-0.56621	0.03369	-16.807	0.000
	RDFL	α_8	-1.02919	0.03276	-31.412	0.000
	Tsum / 1000	α_9	0.25878	0.07158	3.615	0.000
C0-5	α_{10}	0.25396	0.01552	16.358	0.000	
Melnalksnis	Intercept	α_0	-2.25925	0.52749	-4.283	0.000
	SI / 10	α_1	0.57463	0.02252	25.519	0.000
	10 / Hvald	α_2	1.14887	0.38288	3.001	0.003
	10 / Hvald ²	α_3	-3.94574	1.41043	-2.798	0.005
	Ln(D)	α_4	1.42419	0.06787	20.984	0.000
	(D / 10) ²	α_5	-0.15146	0.01824	-8.303	0.000
	Ln(CR)	α_6	0.39113	0.43178	0.906	0.365
	Ln(RDF+1)	α_7	-0.60535	0.29736	-2.036	0.042
	RDFL	α_8	-1.04558	0.06454	-16.201	0.000
	Tsum / 1000	α_9	0.69681	0.12539	5.557	0.000
C0-5	α_{10}	0.15880	0.03554	4.468	0.000	
Apse	Intercept	α_0	-1.45048	0.66267	-2.189	0.029
	SI / 10	α_1	0.37249	0.02088	17.840	0.000
	10 / Hvald	α_2	1.47994	0.32300	4.582	0.000

Suga	Faktors	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	t-vērtība	p-vērtība	
	10 / Hvald ²	α_3	-2.95848	0.98251	-3.011	0.003	
	Ln(D)	α_4	1.84480	0.05994	30.775	0.000	
	(D / 10) ²	α_5	-0.14591	0.01292	-11.294	0.000	
	Ln(CR)	α_6	0.54351	0.67979	0.800	0.424	
	Ln(RDF+1)	α_7	-0.15328	0.18432	-0.832	0.406	
	RDFL	α_8	-1.20995	0.27988	-4.323	0.000	
	Tsum / 1000	α_9	0.00996	0.16405	0.061	0.952	
	C0-5	α_{10}	0.17694	0.05620	3.148	0.002	
	Baltalksnis	Intercept	α_0	-2.87495	0.36423	-7.893	0.000
		SI / 10	α_1	0.66556	0.03144	21.172	0.000
10 / Hvald		α_2	1.42593	0.15143	9.417	0.000	
10 / Hvald ²		α_3	-2.33866	0.67745	-3.452	0.001	
Ln(D)		α_4	1.65322	0.06772	24.413	0.000	
(D / 10) ²		α_5	-0.26505	0.02644	-10.026	0.000	
Ln(CR)		α_6	0.00000	0.00000	0.000	0.000	
Ln(RDF+1)		α_7	-0.26397	0.06749	-3.911	0.000	
RDFL		α_8	-1.28757	0.06048	-21.288	0.000	
Tsum / 1000		α_9	0.65276	0.13142	4.967	0.000	
C0-5	α_{10}	0.18986	0.02935	6.469	0.000		

Koku atmirs

Materiāls un metodika

Datu analīzē izmantoja datus MSI IV ciklā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem. Analīzē neiekļauj iepriekšējās paaudzes jeb “eko kokus”, kā arī raksturkokus. Analīzē neiekļauj parauglaukumus, kuros starpinventarizācijas periodā ir notikusi koku ciršana. Kopā izmantoti dati no 2767 parauglaukumiem. Aprēķinos izmantoti dati par 135275 kokiem – 38341 priedēm, 41862 eglēm, 32580 bērziem, 8896 melnalkšņiem, 5143 apsēm, 9453 baltalkšņiem.

Atsevišķa koka atmirsšanas varbūtība, ka tas atmirs nākamo piecu gadu laikā, tiek modelēta sekojoši:

$$p = 1 - (1 - p_{comp5}) \cdot (1 - p_{old5}) \quad (3.62)$$

- 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:

$$p_{comp5} = \frac{1}{1 + \exp(-(\alpha_0 + \alpha_1 \cdot d + \alpha_2 \cdot G + \alpha_3 \cdot BAL))} \quad (3.63)$$

- 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, m²ha⁻¹;
 BAL – šķērslaukuma summa kokiem, kas lielāki par konkrēto koku, m²ha⁻¹;
 $\alpha_0 - \alpha_3$ – koeficienti.

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

$$p_{old} = \frac{\exp\left(-10 + \frac{10 \cdot a}{0.82 \cdot A_{max}}\right)}{1 + \exp\left(-10 + \frac{10 \cdot a}{0.82 \cdot A_{max}}\right)} \quad (3.64)$$

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:

$$p_{old5} = \frac{p_{old(a+5)} - p_{old(a)}}{1 - p_{old(a)}} \quad (3.65)$$

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

Loģistiskās binārās regresijas analīzes rezultāti iegūti vienādojumu koeficienti apkopoti 3.5. tabulā. Ar atsevišķa koka atmiruma modeli tiek prognozēta varbūtība, vai koks aizies bojā konkurences, vai vecuma dēļ. Ar šo modeli nav iespējams prognozēt vēja, dzīvnieku, kukaiņu vai uguns dēļ 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.

3.5. tabula. Netelpiska atsevišķu koku atmiršanas varbūtības modelis. 2021. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji (formula 3.63)

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

Caurmēra pieaugums

Materiāls un metodika

Aprēķinos izmantota tā pati paraugkopa kas “netelpiskā modeļa” gadījumā. Datu analīzē izmanto tikai tos koku datus, kas trešajā un ceturtajā ciklā ir uzņēmēti kā dzīvi koki.

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:

$$i_{g5} = \exp \left(\alpha_0 + \alpha_1 \cdot SI_i + \alpha_2 \cdot \frac{10}{H_{vald}} + \alpha_3 \cdot \frac{10}{H_{vald}^2} + \alpha_4 \cdot \ln(d) + \alpha_5 \cdot \left(\frac{d}{100} \right)^2 + \alpha_6 \cdot \ln(cr) + \alpha_7 \cdot \ln(RDF + 1) + \alpha_8 \cdot RDFL + \alpha_9 \cdot \frac{T_{sum}}{1000} + \alpha_{10} \cdot c_{0-10} + \alpha_{11} \cdot CIX \right) \quad (3.66)$$

- kur
- i_{g5} – koka nākošo 5 gadu šķērslaukuma pieaugums, cm²;
 - 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 (3.1. formula);
 - L
 - T_{sum} – aktīvās veģetācijas ($t^\circ > 5^\circ C$) temperatūru summa, °C;
 - c_{0-10} – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 10 gadu laikā mežaudzē ir veikta koku ciršana, (0 vai 1);
 - CIX – Konkurences indekss (3.41-3.48 formula);
 - α_{0-11} – koeficienti.

Rezultāti

Balstoties uz MSI 2014. – 2020. gadā atkārtoti uzņēmējai parauglaukum datiem, aproksimētas koeficientu vērtības atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modelim (3.7. tabula). Vienādojumā atstāti visi bioloģiski loģiskie faktori, lai arī atsevišķos gadījumos tie nav būtiski.

3.7. tabula. Telpiska atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modeļa (3.66. formula) 2021. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

Suga	Faktors	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	t-vērtība	p-vērtība
Priede	Intercept	α_0	-1.53452	0.16399	-9.357	0.000
	SI / 10	α_1	0.60729	0.00543	111.824	0.000
	10 / Hvald	α_2	0.75174	0.04403	17.072	0.000
	10 / Hvald ²	α_3	-1.06426	0.13321	-7.989	0.000
	Ln(D)	α_4	1.16789	0.03627	32.195	0.000
	(D / 10) ²	α_5	-0.06425	0.00700	-9.181	0.000
	Ln(CR)	α_6	0.00000	0.00000	0.000	0.000
	Ln(RDF+1)	α_7	-0.48301	0.03135	-15.407	0.000
	RDFL	α_8	-0.60785	0.02688	-22.615	0.000
	Tsum / 1000	α_9	0.15749	0.05018	3.139	0.002
	C-05	α_{10}	0.16996	0.01071	15.862	0.000
CI	α_{11}	-0.15307	0.01046	-14.636	0.000	
Egle	Intercept	α_0	-0.37968	0.13970	-2.718	0.007
	SI / 10	α_1	0.42849	0.00691	62.012	0.000
	10 / Hvald	α_2	0.34848	0.06516	5.348	0.000
	10 / Hvald ²	α_3	0.56005	0.31602	1.772	0.076
	Ln(D)	α_4	0.91062	0.02669	34.115	0.000
	(D / 10) ²	α_5	-0.01843	0.00725	-2.544	0.011
	Ln(CR)	α_6	0.00000	0.00000	0.000	0.000
	Ln(RDF+1)	α_7	-0.46156	0.03128	-14.757	0.000
	RDFL	α_8	-0.47462	0.02448	-19.392	0.000
	Tsum / 1000	α_9	0.32655	0.05062	6.451	0.000
	C-05	α_{10}	0.24200	0.01032	23.456	0.000
CI	α_{11}	-0.09845	0.00524	-18.773	0.000	
Bērzs	Intercept	α_0	-1.83559	0.31089	-5.904	0.000
	SI / 10	α_1	0.73885	0.00970	76.205	0.000
	10 / Hvald	α_2	1.26588	0.16324	7.755	0.000
	10 / Hvald ²	α_3	-3.03494	0.48992	-6.195	0.000
	Ln(D)	α_4	1.26344	0.04070	31.040	0.000
	(D / 10) ²	α_5	-0.08198	0.00909	-9.024	0.000
	Ln(CR)	α_6	0.17712	0.28061	0.631	0.528
	Ln(RDF+1)	α_7	-0.39639	0.11661	-3.399	0.001
	RDFL	α_8	-0.93878	0.07289	-12.880	0.000
	Tsum / 1000	α_9	0.25824	0.07149	3.612	0.000
	C-05	α_{10}	0.25731	0.01673	15.377	0.000
CI	α_{11}	-0.07472	0.00807	-9.262	0.000	
Melnalksnis	Intercept	α_0	-1.22420	0.54007	-2.267	0.023
	SI / 10	α_1	0.57688	0.02242	25.726	0.000
	10 / Hvald	α_2	0.93703	0.38214	2.452	0.014
	10 / Hvald ²	α_3	-4.38900	1.40552	-3.123	0.002
	Ln(D)	α_4	1.06722	0.08027	13.296	0.000
	(D / 10) ²	α_5	-0.09287	0.01950	-4.762	0.000
	Ln(CR)	α_6	0.93616	0.43501	2.152	0.031
	Ln(RDF+1)	α_7	-0.11951	0.30191	-0.396	0.692
	RDFL	α_8	-0.95498	0.06520	-14.647	0.000
	Tsum / 1000	α_9	0.75672	0.12507	6.050	0.000
	C-05	α_{10}	0.15782	0.03539	4.459	0.000
CI	α_{11}	-0.13062	0.01585	-8.244	0.000	
Apse	Intercept	α_0	-1.39445	0.46258	-3.015	0.003

Suga	Faktors	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	t-vērtība	p-vērtība
	SI / 10	α_1	0.36438	0.02051	17.766	0.000
	10 / Hvald	α_2	1.69076	0.16426	10.293	0.000
	10 / Hvald ²	α_3	-3.89441	0.60932	-6.391	0.000
	Ln(D)	α_4	1.72152	0.06649	25.891	0.000
	(D / 10) ²	α_5	-0.13234	0.01306	-10.131	0.000
	Ln(CR)	α_6	0.00000	0.00000	0.000	0.000
	Ln(RDF+1)	α_7	-0.18612	0.07072	-2.632	0.009
	RDFL	α_8	-1.40219	0.06588	-21.284	0.000
	Tsum / 1000	α_9	-0.03965	0.16344	-0.243	0.808
	C-05	α_{10}	0.13538	0.02876	4.707	0.000
	CI	α_{11}	-0.06628	0.01648	-4.023	0.000
Baltalksnis	Intercept	α_0	-2.41479	0.36654	-6.588	0.000
	SI / 10	α_1	0.64864	0.03135	20.688	0.000
	10 / Hvald	α_2	1.71841	0.15457	11.117	0.000
	10 / Hvald ²	α_3	-3.81108	0.69603	-5.475	0.000
	Ln(D)	α_4	1.42670	0.07244	19.696	0.000
	(D / 10) ²	α_5	-0.21291	0.02701	-7.881	0.000
	Ln(CR)	α_6	0.00000	0.00000	0.000	0.000
	Ln(RDF+1)	α_7	-0.05234	0.07160	-0.731	0.465
	RDFL	α_8	-1.16312	0.06194	-18.777	0.000
	Tsum / 1000	α_9	0.59389	0.13099	4.534	0.000
	C-05	α_{10}	0.19176	0.02922	6.563	0.000
CI	α_{11}	-0.10051	0.01177	-8.542	0.000	

Atmirums

Materiāls un metodika

Aprēķinos izmantota tā pati paraugkopa, kas “netelpiskā modeļa” gadījumā. Datu analīzē izmantoja datus MSI IV ciklā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem. Analīzē neiekļauj iepriekšējās paaudzes jeb “eko kokus”, kā arī raksturkokus. Analīzē neiekļauj parauglaukumus, kuros starpinventarizācijas periodā ir notikusi koku ciršana. Kopā izmantoti dati no 2767 parauglaukumiem. Aprēķinos izmantoti dati par 135275 kokiem – 38341 priedēm, 41862 eglēm, 32580 bērziem, 8896 melnalkšņiem, 5143 apsēm, 9453 baltalkšņiem.

Saglabāta tā pati konceptuālā pieeja, vien formulā 3.68 papildinot ar konkurences indeksu.

Atsevišķa koka atmiršanas varbūtība, ka tas atmirs nākamo piecu gadu laikā, tiek modelēta sekojoši:

$$p = 1 - (1 - p_{comp5}) \cdot (1 - p_{old5}) \quad (3.67)$$

- 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.

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

$$p_{comp5} = \frac{1}{1 + \exp(-(\alpha_0 + \alpha_1 \cdot d + \alpha_2 \cdot G + \alpha_3 \cdot BAL + \alpha_4 \cdot CIx))} \quad (3.68)$$

- 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, m²ha⁻¹;
 BAL – šķērslaukuma summa kokiem, kas lielāki par konkrēto koku, m²ha⁻¹;
 CIx – konkurences indekss (3.41-3.48 formula);

α_0 – koeficienti.
 $-\alpha_4$

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

$$p_{old} = \frac{\exp\left(-10 + \frac{10 \cdot a}{0.82 \cdot A_{max}}\right)}{1 + \exp\left(-10 + \frac{10 \cdot a}{0.82 \cdot A_{max}}\right)} \quad (3.69)$$

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:

$$p_{old5} = \frac{p_{old(a+5)} - p_{old(a)}}{1 - p_{old(a)}} \quad (3.70)$$

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 .

Rezultāti

Loģistiskās binārās regresijas analīzes rezultātā iegūtie vienādojumu koeficienti apkopoti 3.8. tabulā. Ar atsevišķa koka atmiruma modeli tiek prognozēta varbūtība, vai koks aizies bojā konkurences dēļ.

3.8. tabula. Telpiskais atsevišķu koku atmiršanas varbūtības modelis. Aproximētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji (formula 3.68)

Suga	Koeficients	Faktors	Vērtība	Standartklūda	p-vērtība
Priede	α_1	D	0.072	0.008	0.000
	α_2	G	0.001	0.007	0.918
	α_3	BAL	-0.089	0.007	0.000
	α_4	CI	-0.030	0.004	0.000
	α_0	Konstante	3.965	0.150	0.000
Egle	α_1	D	-0.007	0.007	0.275
	α_2	G	0.031	0.006	0.000
	α_3	BAL	-0.051	0.006	0.000
	α_4	CI	-0.019	0.002	0.000
	α_0	Konstante	4.183	0.131	0.000
Bērzs	α_1	D	0.038	0.010	0.000
	α_2	G	0.050	0.010	0.000
	α_3	BAL	-0.108	0.010	0.000
	α_4	CI	-0.017	0.003	0.000
	α_0	Konstante	4.340	0.163	0.000

Melnalksnis	$\alpha 1$	D	0.042	0.022	0.057
	$\alpha 2$	G	0.026	0.017	0.117
	$\alpha 3$	BAL	-0.072	0.016	0.000
	$\alpha 4$	CI	-0.017	0.008	0.040
	$\alpha 0$	Konstante	4.277	0.437	0.000
Apse	$\alpha 1$	D	0.119	0.022	0.000
	$\alpha 2$	G	0.061	0.017	0.001
	$\alpha 3$	BAL	-0.147	0.018	0.000
	$\alpha 4$	CI	-0.009	0.006	0.139
	$\alpha 0$	Konstante	2.616	0.239	0.000
Baltalksnis	$\alpha 1$	D	0.018	0.016	0.279
	$\alpha 2$	G	0.080	0.012	0.000
	$\alpha 3$	BAL	-0.148	0.012	0.000
	$\alpha 4$	CI	-0.025	0.005	0.000
	$\alpha 0$	Konstante	4.152	0.255	0.000

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

2021.gadā nav plānots.

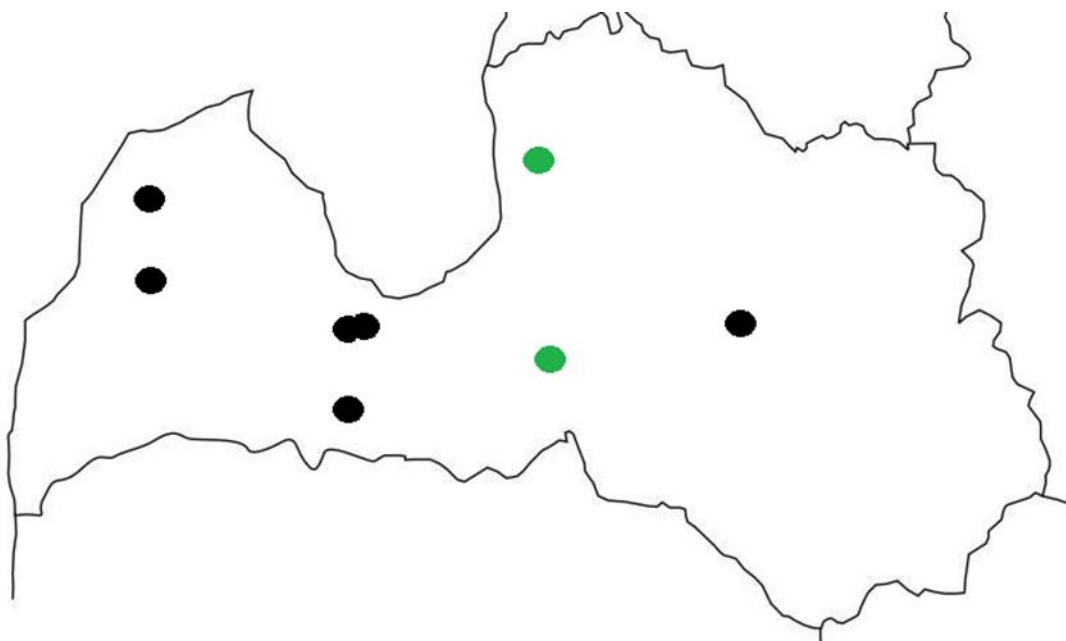
4.1.2. Parauglaukumi P, E, B audzēs, kuras ir bijušajās lauksaimniecības zemēs ieaudzētas kokaudzes LVMI Silava agrāk iekārtotos pētījumu objektos

Materiāls un metodika

Pētījuma etapā veikta visu koku augstumu, caurmēru, vainaga sākuma augstumu uzmērīšana un koku kvalitātes (zarojums, stumbra defekti) raksturošana astoņos stādījumos uz neizmantotām lauksaimniecības zemēm (4.1. attēls, 4.1.tabula):

- 1) bērza klonu stādījumā 50 gadu vecumā (3. pārmērījums; analizēm izmantojami 11 kloni);
- 2) bērza provenienču stādījumā 23 gadu vecumā (2. pārmērījums, 8 proveniences);
- 3) piecos egles klonu stādījumos 33 to 53 gadu vecumā (2. vai 3. pārmērījums). Iekļauti tikai tie kloni, kas kādā no stādījumiem pārstāvēti vismaz ar 10 rametiem (kopā 184).
- 4) egles klonu un ģimeņu (25 ģenētiski atšķirīgas vienības) apvienotā stādījumā 42 gadu vecumā (2. pārmērījums).

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



4.1.attēls. Pārmērīto bērza (zaļi) un egles (melni) stādījumu izvietojums

4.1.tabula. Pētījuma objektu apraksts

Nosaukums	Valdošā koku suga	Stādīšanas biežums	Retināšana pirms noslēdzošā mērījuma	Uzmērīšanas vecums*	Pieauguma urbumi
Limbaži	Bērzs	5x5 m	Nav	20, 40, 50	-
Rembate	Bērzs	2x1 m	Ir	13, 23	-
Druvēni	Egle	5x5 m	Nav	50	222 kokiem
Ugāle	Egle	2x1 m	Ir	31, 23	-
Skutuļi	Egle	2x8 m	Nav	24, 32	-
Valgums 1	Egle	5x5 m	Nav	50	476 kokiem
Valgums 2	Egle	5x5 m	Nav	50	124 kokiem
Jurģi	Egle	5x7 m	Nav	53	662 kokiem

*pieejami iepriekšējo mērījumu dati, noslēdzošais veikts šajā pētījumā

4.1.3. Datu analīze / pieaugumu aprakstošu vienādojumu koeficientu aproksimācija

Objektā “Limbaži” veikta bērzu klonu potējumu uzmērīšana. Aprēķināts vidējais augstums 20, 40 un 50 gadu vecumā un vidējais caurmērs 40 un 50 gadu vecumā. Sākotnējais biežums 400 koki uz hektāra. Taksācijas rādītāju dinamika atspoguļota 4.2.tabulā.

4.2.tabula. Bērza stādījuma 5x5m objektā “Limbaži” kokaudzes vidējo taksācijas rādītāju izmaiņas

Koku taksācijas rādītājs	Mērījumu skaits	Vidējā vērtība ± Standartklūda
Augstums 20 gados; m	327	15,7±2,1
Augstums 40 gados; m	735	25,8±2,8
Augstums 50 gados; m	729	28,4±3,1
Caurmērs 40 gados; cm	734	27,2±6,4
Caurmērs 50 gados; cm	730	30,6±7,1
Šķērslaukums 40 gados; m ²	734	0,061±0,027
Šķērslaukums 50 gados; m ²	730	0,078±0,035
Tilpums 40 gados; m ³	735	0,728±0,356
Tilpums 50 gados; m ³	729	1,011±0,489

Objektā “Rembate” veikta bērzu provenienču stādījumu uzmērīšana. Aprēķināts vidējais augstums 13 un 23 gadu vecumā un vidējais caurmērs 13 un 23 gadu vecumā, Sākotnējais biežums 5000 koki uz hektāru. Taksācijas rādītāju dinamika atspoguļota 4.3.tabulā.

4.3.tabula. Bērza stādījuma 2x2m objektā “Rembate” kokaudzes vidējo taksācijas rādītāju izmaiņas

Koku taksācijas rādītājs	Mērījumu skaits	Vidējā vērtība ± Standartklūda
Augstums 13 gados; m	4046	10,3±2,4
Augstums 23 gados; m	1521	18,1±2,5
Caurmērs 13 gados; cm	3881	8,5±2,8
Caurmērs 23 gados; cm	1547	15,6±4,2
Šķērslaukums 13 gados; m ²	3881	0,317±0,194
Šķērslaukums 23 gados; m ²	1547	1,030±0,514
Tilpums 13 gados; m ³	3881	0,036±0,026
Tilpums 23 gados; m ³	1521	0,183±0,101

13 gadu vecumā koku skaits uz hektāru samazinājies līdz 3500 kokiem, kopējā krāja 122,4 m³ ha⁻¹. 23 gadu vecumā uz hektāra konstatēti 1500 koki ar krāju 274,5 m³ ha⁻¹.

Objektā “Ugāle” veikta egles klonu spraudēņu, kā arī sēklu plantāciju pēcnācēju, provinces un standarta stādu stādījumu uzmērīšana. Sākotnējais koku skaits uz hektāru 5000. Pirms pirmās uzmērīšanas ir veikta kopšana. 31 gada vecumā konstatēti 1325 koki uz ha, krāja 202,725 m³ha⁻¹, 40 gadu vecumā – 1175 koku uz ha, krāja 368,95 m³ha⁻¹. Taksācijas rādītāju dinamika atspoguļota 4.4.tabulā.

4.4.tabula. Egles stādījuma 2x2m objektā “Ugāle” kokaudzes vidējo taksācijas rādītāju izmaiņas

Taksācijas rādītājs	Mērījumu skaits	Vidējā vērtība ± Standartklūda
Augstums 31 gados; m	1566	14,7±2,3
Augstums 40 gados; m	1429	17,6±2,9
Caurmērs 31 gados; cm	1608	14,8±4,2
Caurmērs 40 gados; cm	1429	20,2±26,2
Šķērslaukums 31 gados; m ² ha ⁻¹	1608	1,168±0,778
Šķērslaukums 40 gados; m ² ha ⁻¹	1429	2,186±1,493
Tilpums 31 gados; m ³	1566	0,153±0,085
Tilpums 40 gados; m ³	1428	0,314±0,192

Objektā “Skutuļi” veikts mērījums egles klonu spraudēņu stādījumu uzmērīšana. Sākotnējais koku skaits uz hektāru 625. 24 gadu vecumā 480 koki un hektāru ar krāju 65,28 m³ ha⁻¹, 32 gadu vecumā 135 koki uz hektāru ar krāju 61,56 m³ ha⁻¹. Taksācijas rādītāju dinamika atspoguļota 4.5.tabulā.

4.5.tabula. Egles stādījuma 2x8m objektā “Skutuļi” kokaudzes vidējo taksācijas rādītāju izmaiņas

Koku taksācijas rādītājs	Mērījumu skaits	Vidējā vērtība ± Standartklūda
Augstums 24 gados; m	2306	12,4±2,0
Augstums 32 gados; m	641	17,5±1,8
Caurmērs 24 gados; cm	2306	16,0±3,5
Caurmērs 32 gados; cm	658	26,9±4,6
Šķērslaukums 24 gados; m ² ha ⁻¹	2309	0,127±0,071
Šķērslaukums 32 gados; m ² ha ⁻¹	658	0,345±0,162
Tilpums 24 gados; m ³	2306	0,136±0,064
Tilpums 32 gados; m ³	640	0,456±0,160

Objektā “Valgums” veikti mērījumi divos laukos, kur stādīti egles klonu potējumi. Mērījums 50 gadu vecumā, aprēķināts vidējais augstums un caurmērs abos objektos kā arī caurmēra pieaugums pa piecgadēm. Taksācijas rādītāju dinamika atspoguļota 4.6.tabulā un 4.7.tabulā.

4.6.tabula. Egles stādījuma 5x5 m objektā “Valgums” kokaudzes vidējo taksācijas rādītāju izmaiņas

Koku taksācijas rādītājs	Mērījumu skaits	Vidējā vērtība ± Standartklūda
Augstums 50 gados; m	476	21,4±3,3
Caurmērs 50 gados; cm	476	34,6±9,2
Šķērslaukums 50 gados; m ²	476	0,101±0,050
Tilpums 50 gados; m ³	476	0,951±0,516

4.7.tabula. Egles stādījuma 5x5 m objektā “Valgums” kokaudzes vidējo taksācijas rādītāju izmaiņas

Koku taksācijas rādītājs	Mērījumu skaits	Vidējā vērtība ± Standartklūda
Augstums 50 gados; m	124	24,8±2,2
Caurmērs 50 gados; cm	124	40,6±5,5
Šķērslaukums 50 gados; m ²	124	0,132±0,035
Tilpums 50 gados; m ³	124	0,889±0,218

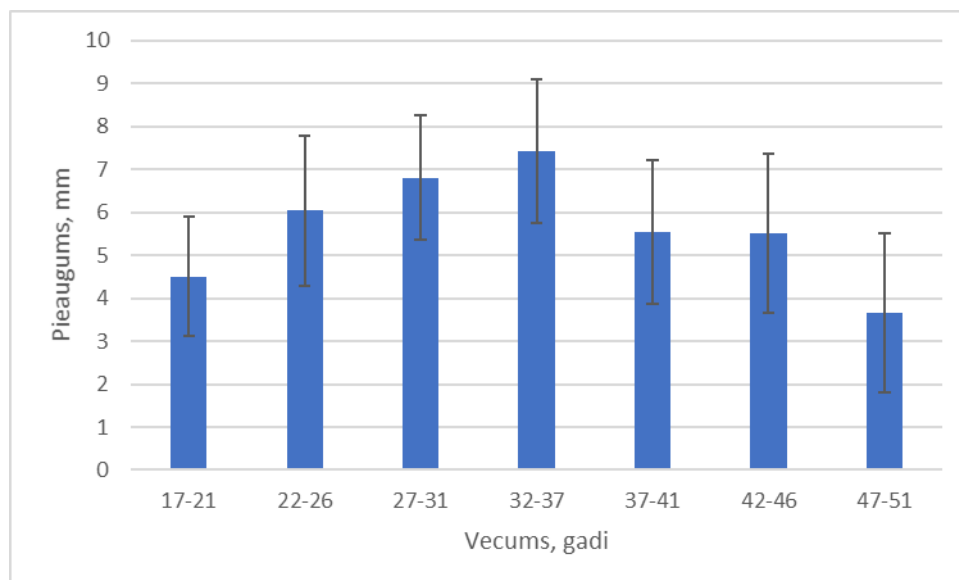
Objektā “Jurģi” veikts egles klonu potējumu uzmērīšana audzēs ar sākotnējo biežību 286 koki uz hektāru. Iegūti dati par koku augstumu, caurmēru un caurmēra pieaugumiem.

Objektā “Jurģi” veikts gadskārtu mērījums 51 gadu vecumā, Aprēķināts vidējais caurmēra pieaugums pa piecgadēm. Taksācijas rādītāju dinamika atspoguļota 4.8.tabulā.

4.8.tabula. Egles stādījuma 5x7 m objektā “Jurģi” kokaudzes vidējo taksācijas rādītāju izmaiņas

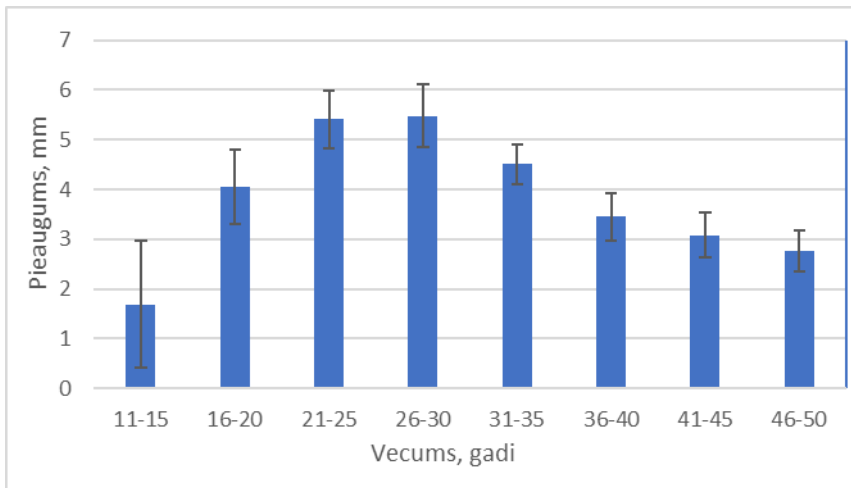
Koku taksācijas rādītājs	Mērījumu skaits	Vidējā vērtība ± Standartklūda
Augstums 50 gados; m	406	20,8±2,6
Caurmērs 53 gados; cm	406	38,1±6,7
Šķērslaukums 50 gados; m ²	406	0,118±0,038
Tilpums 50 gados; m ³	406	1,006±0,357

Koku periodiskas caurmēra pieaugums objektā kulminē 32- 37 gadu vecumā (skat 4.2.attēls).



4.2.attēls. Caurmēra (bez mizas) vidējais periodiskais pieaugums pa vecuma piecgadēm objektā “Jurģi”

Objektā “Druvēni” veikts gadskārtu mērījums 50 gadu vecumiem egļu klonu potējumiem, Audzes sākotnējā biežība 400 koki uz hektāru, Aprēķināts vidējais periodiskais caurmēra pieaugums pa piecgadēm. Pieaugumi kulminē 21 līdz 30 gadu vecumā (skat. 4.3.attēlā).



4.3.attēls. Caurmēra (bez mizas) vidējais periodiskais pieaugums pa vecuma piecgadēm objektā “Druvēni”

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

1. Burkhart H. E., Tomé M. (2012) *Modeling forest trees and stands*. Heidelberg, Germany: Springer. 457 p.
2. Cieszewski C. J. (2002) Comparing fixed- and variable-base-age site equations having single versus multiple asymptotes. *Forest Science*, Vol. 48, p. 7–23.
3. Cieszewski C. J., Bailey R. L. (2000) Generalized algebraic difference approach: Theory based derivations with polymorphism and variable asymptotes. *Forest Science*, Vol. 46 (1), p. 115–126.
4. Clutter J. L., Fortson J. S., Pienaar L. V., Brister G. H., Bailey R. L. (1983) *Timber management. A quantitative approach*. New York; Chichester; Brisbane; Toronto; Singapore: John Wiley & Sons, 333 p.
5. Dieguez–Aranda U., Alvarez Gonzalez J. G., Barrio Anta M., Rojo Alboreca A. (2005) Site quality equations for *Pinus sylvestris* L. plantations in Galicia (northwestern Spain). *Annals of Forest Science*, Vol. 62 (2), p.143–152.
6. Elfving B. (2010) *Growth modelling in the Heureka system*. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, Faculty of Forestry. 99 p. [tiešsaiste] [skatīts 07.01.2017.]. Pieejams: http://heureka.slu.org/mw/images/9/93/Heureka_prognos_system_%28Elfving_rapportutkast%29.pdf.
7. Eriksson, L. (2011). The Heureka forestry decision support system: an overview. *Mathematical and Computational Forestry and Natural Resources Sciences*.
8. Fabrika M., Āurskŷ J. (2005) Algorithms and software solution of thinning models for SIBYLA growth simulator. *Journal of forest science*, Vol. 51, p. 431–445.
9. Fabrika M., Pretsch H. (2011) *Analŷza a modelovanie lesnŷch ekosystŷmov*. Zvolen: Technickŷ univerzita vo Zvolene. 599 p.
10. Gadov von K., Hui G. (1999) *Modelling forest development*. Dordrecht: Kluwer academic publishers. 213 p.
11. Groot, A.; Gauthier, S.; Bergeron, Y Stand dynamics modelling approaches for multicohort management of eastern Canadian boreal forests. 2004.. *Silva Fennica* 38: 437-448.
12. Hynynen J., Ojansuu R., Hŷkkŷ H., Siipilehto J., Salminen H., Haapala P. (2002) *Models for predicting stand development in MELA System. Metsŷntutkimuslaitoksen tiedonantoja*. Research papers 835. Vantaa Research Center: The Finnish Forest Research Institute. 116 p.
13. Jansons ŀ. (2010) Sagaidŷmŷs klimata izmaiŷas Latvijŷ. No Jansons ŀ. (pŷtijuma vadŷtŷjs), *Meŷa apsaimniekoŷana klimata izmaiŷu kontekstŷ. Pŷrskats*. 31 lpp.
14. Kerr G, Haufe J (2011) *Thinning practice a Silvicultural guide*. Version 1.0, Forestry Commission, 54 p
15. Krumland. B., Eng. H., (2005) *Site index systems for major young-growth forest woodland species in northern California*. California Forestry Report 4. Sacramento, CA: Department of Forestry and Fire Protection, State of California Resources Agency. 219 p.
16. Kulieŷis A. (1993) *Lietuvos medynŷ prieaugio panaudojimo normatyvai. [Forest yield models and tables in Lithuania]*. Kaunas: Girios Aidas. 384 p.
17. Laar van A., Akŷa A. (2007) *Forest mensuration*. Dordrecht: Springer. 383 p.

18. Liepa I. (1996) *Pieauguma mācība*. Jelgava: LLU. 123 lpp.
19. Liepa I. (2018) *Meža taksācija*. Jelgava: LLU. 238 lpp.
20. Matthews R. W., Jenkins T. A. R., Mackie E. D., Dick, E. C. (2016) *Forest Yield: A handbook on forest growth and yield tables for British forestry*. Edinburgh: Forestry Commission. 92 p.
21. Matuzānis J. (1983) *Audžu augšanas gaitas un produktivitātes modeļi*. Apskats. Rīga, LatZTIZPI. 32 lpp.
22. Matuzānis J., Tauriņš J. (1971) *Audžu pieaugums*. Apskats. Rīga: LRZTIPI. 32 lpp.
23. Monserud R. (2003) Evaluating forest models in a sustainable forest management context. *Forest Biometry, Modelling and Information Sciences*, Vol. 1, p. 35–47.
24. Motulsky H. J., Christopoulos A. (2003) *Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression. A practical guide to curve fitting*. San Diego CA USA: GraphPad Software Inc. 351 p.
25. Ozoliņš R. (2002) Forest stand assortment structure analysis using mathematical modelling. *Forestry Studies, Metsanduslikud Uurimused*, Vol. 37, p. 33–42.
26. Ozols J. (1926) *Meža taksācija un ierīcība*. Rīga: Meža departamenta izdevums. 173 lpp.
27. Pommerening, Arne; Grabarnik, Pavel (2019). *Individual-based Methods in Forest Ecology and Management*. Cham: Springer.
28. Porte A., Bartelink H. H. (2002) Modelling mixed forest growth: a review of models for forest management. *Ecological Modelling*, Vol. 150, p. 141–188
29. Pretzsch H., Biber P., Āurský J. (2002) The single tree based stand simulator SILVA. Construction, application and evaluation. *Forest Ecology and Management*, Vol. 162, p. 3–21.
30. Pretzsch H. (2009) *Forest dynamics, growth and yield*. Berlin, Heidelberg: Springer. 664 p.
31. Sarma P. (1948) *Meža taksācija*. Rīga: Latvijas Valsts izdevniecība. 590 lpp.
32. Sharma R. P., Brunner A., Eid T., Øyen B. H. (2011) Modelling dominant height growth from national forest inventory individual tree data with short time series and large age errors. *Forest Ecology and Management*, Vol. 262, p. 2162–2175.
33. Skovsgaard J. P., Vanclay J. K. (2008) Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry*, Vol. 81, p. 12–31.
34. Skudra P., Dreimanis A. (1993) *Mežsaimniecības pamati*. Rīga: Zvaigzne. 263 lpp.
35. Soest van J., Ayral P., Schober R., Hummel F. C. (1965) *The standardization of symbols in forest*. Maine Agricultural Experiment Station Technical Bulletin 15, 32 p.
36. Spiecker H. 1999 Growth Trends in European Forests – Do We Have Sufficient Knowledge? In: Karjalainen T, Spiecker H., Laroussinie O.(ed.) *Causes and Consequences of Accelerating Tree Growth in Europe*. EFI Proceedings No. 27. Nancy: European Forest Institute, p. 157–171.
37. Spiecker H. 1999a. Overview of recent growth trends in European forests. *Water, Air, and Soil Pollution*, Vol. 116 (1–2), p. 33–46.
38. Fridman, Jonas & Ståhl, Göran. (2001). A Three-step Approach for Modelling Tree Mortality in Swedish Forests. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 16. 455-466.
39. Vanclay J. K. (1994) *Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests*. Copenhagen, Denmark: Wallingford UK: CAB International, Department of Economics and Natural Resource, Royal Veterinary and Agricultural University. 312 p.

40. Weiskittel A. R., Hann D. W., Kershaw J. A. Jr., Vanclay J. K. (2011) *Forest growth and yield modeling*. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd. 415 p.
41. West P.W. (2009) *Tree and Forest Measurement*. 2nd Edition. Berlin, Heidelberg: Springer. 191 p.
42. Кивисте А. К. (1988) *Функции роста леса*. Учебно- справочное пособие. Тарту: Эстонская сельскохозяйственная академия, 108 с.
43. *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 %)

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

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.