

PĀRSKATS

PAR PĒTĪJUMA 2017. GADA REZULTĀTIEM

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: AUGŠANAS GAITAS MODEĻU
 PILNVEIDOŠANA

IZPILDĪTĀIS: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”

PASŪTĪTĀIS: AKCIJU SABIEDRĪBA “LATVIJAS valsts meži”
Līguma Nr. 5-5.9_00uy_101_15_284

PĒTĪJUMA ZINĀTNISKAIS
VADĪTĀIS: Jānis Donis, LVMI Silava pētnieks

Salaspils, 2017

Kopsavilkums

AS „LATVIJAS VALSTS MEŽI” pasūtītā pētījuma Augšanas gaitas modeļu pilnveidošana 3. etapa starpatskaite

Līguma Nr.: 5-5.9_00uy_101_15_284

Izpildes laiks: 07.02.2017. - 01.02.2018.

Izpildītājs: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”

Projekta vadītājs: J. Donis

Pārējie galvenie izpildītāji: G. Šņepsts, L. Zdors.

Atbilstoši metodikai 3.etapā paredzēti sekojoši darba uzdevumi:

1.darba uzdevums Augšanas gaitas modeļiem nepieciešamo datu sagatavošana no 2016. gada MSI mērījumu datiem.

Meža statistiskās inventarizācijas (MSI) parauglaukumu datu bāzē atlasīti un MS Excel datorprogrammā ievadīti dati par 1380 atkārtoti 2014.-2016. gadā pārmērītajiem parauglaukumiem, kas tālāk izmantojami gan meža elementu, gan arī atsevišķu koku augšanas gaitas prognožu modeļu izstrādē.

2.darba uzdevums Augšanas gaitas vienādojumu koeficientu aprēķini balstot uz 3. MSI cikla 3 gadu datiem (meža elementi), t.sk. arī kopšanas ciršu efekta atspoguļojošo modeļu pilnveidošana.

Pārbaudīti 2016. gadā izstrādātie atsevišķa meža elementa vidējā augstuma, vidējā caurmēra un šķērslaukuma aktualizācijas modeļi, kā arī šiem modeļiem, balstoties uz garāku pārmērījumu periodu, aproksimētas jaunas koeficientu vērtības. Veikts vienādojumu statistisks izvērtējums.

3.darba uzdevums Audžu modālo (biežāk sastopamo) šķērslaukuma vērtību noteikšana relatīvi ilgi neapsaimniekotām audzēm.

Balstoties uz MSI parauglaukumu, kuros nav konstatēta saimnieciskā darbība nevienā no MSI cikliem, datiem, aprēķināts mediānais šķērslaukums pa valdošajām sugām un augstuma grupām. Izstrādāts vienādojums kokaudzes I stāva mediānā šķērslaukuma aprēķināšanai, kas izmantojams neapsaimniekotu audžu šķērslaukuma modelēšanai.

4.darba uzdevums Pieauguma, atmiruma un krājas differences prognožu modeļu pilnveidošana un statistisko rādītāju izvērtēšana, aprēķinus balstot uz 3. MSI cikla 3 gadu datiem.

Balstoties uz 10 gadu pārmērījuma datiem, aproksimētas jaunas koeficientu vērtības kokaudzes I stāva un kokaudzes tekošā vidēji periodiskā krājas pieauguma aprēķināšanai. Tekošais vidēji periodiskais krājas pieaugums ir aproksimēts atkarībā no I stāva valdošās koku sugas krūšaugstuma vecuma, Orlova bonitātes un mežaudzes attiecīgā šķērslaukuma visām koku sugām.

Kokaudzes I stāva un kokaudzes tekošā vidēji periodiskā krājas atmiruma aprēķināšanai ieteikts izmantot sakarības, kas atkarīgas no kokaudzes valdošās koku sugas vecuma un kokaudzes kopējā šķērslaukuma.

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

5.darba uzdevums Augšanas gaitas modeļu novērtēšanai, ar 2. un 4. punktā minētajiem vienādojumiem aprēķināt krājas pieaugumu uz LVM MSI datiem (“pilnajiem” parauglaukumiem) un salīdzināt ar MSI noteikto krājas diferenci (pēc MSI 3.

cikla 10 gadu pārmērījumiem) šādās audžu grupās: pa valdošās sugām, mistrotām un tīraudzēm, dažādu biezību audzēm , dažādu vecuma audzēm.

Ar izstrādātajiem vienādojumiem 488 MSI parauglaukumu, kuros starpinventarizācijas periodā nav veikta kopšana, meža elementiem aprēķinātas prognozētās krājas pēc 10 gadiem, kā sākotnējo stāvokli ņemot 1.cikla taksācijas datus. Visiem datu analīzē iekļautajiem 1.stāva meža elementiem prognožu un reālo pārmērījumu vidējā procentuālā novirze ir mazāka par 10%, tomēr konstatēts, ka prognozētais krājas pieaugums ir lielāks nekā uzmērītais.

6.darba uzdevums Metodikas izstrāde individuālu koku augšanas gaita modeļu izstrādei.

Izveidota vienādojumu sistēma kokaudzes I stāva, II stāva koku augstuma, caurmēra pieauguma aprēķināšanai, kā arī atmiršanas varbūtības aprēķināšanai. Metodika balstīta uz Somijā un Zviedrijā izstrādāto individuālu koku augšanas gaitas modeļu pamatprincipiem, paredzot tos pielāgot Latvijā izmantotajiem taksācijas rādītājiem un meža tipoloģijai, kā arī klimatiskajiem apstākļiem.

7.darba uzdevums Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrādei nepieciešamo iepriekš ierīkoto parauglaukumu pārmērīšana (10 objekti).

Audzes telpiskās struktūras raksturošanai 2017. gadā pārmērīti desmit 2006.-2012. gadā iekārtotie objekti, kuros izlases vai pakāpeniskās cirtes pirmais paņēmieni veikts laika periodā no 2001. līdz 2007. gadam.

8.darba uzdevums Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrāde, izmantojot 2017.gadā un iepriekšējos gados ievāktos datus.

Izstrādāta vienādojumu sistēma, kas pamatā balstīta uz matricu modeļiem. Koeficientu vērtības aprēķinātas balstoties uz pārmērīto parauglaukumu precizētajiem pieaugumu datiem. Atjaunošanās modelēta balstoties uz pārmērīto parauglaukumu datiem. Modelis ļauj prognozēt pieaugumu un atmirumu pēc izlases cirtēm. Atjaunošanās/ ieaugšanās modelis ir deterministisks.

9.darba uzdevums Mākslīgās atjaunošanas ietekmes (selekcijas efekta) noteikšana parastai priedei un parastai eglei, balstoties uz katras sugas 5 selekcijas izmēģinājumu objektu pārmērījumu datiem (pārmērīšana notiek citā projektā).

Selekcijas ietekmes uz parastās priedes augšanu novērtēts balstot uz 5 eksperimentālo stādījumu (vecums 31-43 gadi) pārmērījumu datiem. Konstatēts, ka eksperimentos iekļautais selekcionētais materiāls augstumā aug atbilstoši par vienu vienību augstākai bonitātei.

Selekcijas ietekme uz parastās egles augšanas gaitu novērtēta balstot uz 5 eksperimentāliem stādījumiem, kuru vecums ir no 13 līdz 19 gadiem. Šajā gadījumā augstuma pieaugums proporcionāli ir lielāks nekā priedei līdzīgā vecumā, taču arī šajā gadījumā vienkāršākais variants ir prognozēt par 1 vienību augstāku bonitāti.

10.darba uzdevums Kopšanas ciršu eksperimentālo parauglaukumu ierīkošana un sākotnējā uzmērīšana (pirms kopšanas) bērza un priedes audzēs (pieļaujams arī egļu audzēs) kopā 62 objektos 4 reģionos – Dienvidkurzemes, Ziemeļkurzemes, Austrumvidzemes un Vidusdaugavas. Objekti ierīkojami trīs vecuma grupās: 20-30, 30 – 50 un 50 – 70 gados, katrā parauglaukumā ierīkojot 3-4 kopšanas ciršu intensitātes, “kopšanu no augšas” un kontroli. (Koku ciršanu parauglaukumos veic Pasūtītājs).

Kopšanas ciršu parauglaukumi 2017. gadā uz 30.12.2017 iekārtoti 26 objekti. Katrā objektā iekārtoti 10-12 gab. 900m² lieli parauglaukumi. Kopumā uzmērīti 262 parauglaukumi ar kopējo platību 23.58 ha. Uzmērīti 38242 koki, bet augstums uzmērīts 2928 kokiem. Kopā projekta ietvaros tādējādi ir iekārtoti 72 objekti.

11.darba uzdevums **2016. gadā ierīkoto kopšanas ciršu parauglaukumu pārmērīšana pēc mežizstrādes un parauglaukumu shēmu, raksturojošās informācijas sagatavošana.**

No 2016. gadā ierīkotajiem 46 objektiem uz 30.12.2017. objektu shēmas un raksturojošā informācija ir sagatavota par 38 objektiem. 8 objektos kopšanas nocirste vēl nav veikta (3 objekti Vidusdaugavā, 2 objekti Austrumvidzemē, 2 objekti Ziemeļkurzemē un 1 objekts Dienvidkurzemē).

Summary

Study commissioned by JSC "LATVIAN STATE FORESTS".

Title "Improvement of the growth models".

Phase 3 report.

Article NO.: 5-5.9_00uy_101_15_284

Lead Time: 07/02/2017- 01.02.2018.

Performer: Latvian State Forest Research Institute "Silava".

Research project leader: J. Donis.

The other main performers: G. Šnepsts, L. Zdors.

Tasks according to the methodology of the 3rd phase:

Task 1. Preparation of NFI 2016 data for growth and yield model improvement.

From NFI database were selected 1380 re-measured NFI plots and recorded to MS Excel. The initial plot selection criteria are: 1) in all NFI measurement cycles sampling plot is not divided into sectors, which means that whole sampling plot is within limits of the one stand; 2) in all NFI cycles the land category is forest stand (code 10), destructed stand (11), burning (12), windfall (13), glade (14) or forest in agricultural land (62).

Task 2. Calculation of coefficients of growth equations based on 3 years measurement data of 3rd NFI cycle, including a thinning effect in the models.

We tested growth models of forest elements (average height, dbh and basal area) based on previously (2015) elaborated equations as well calculated new coefficients based on these models and the longer time series. Statistical evaluation of the equations was carried out.

Task 3. Model for modal values of basal area growth for unmanaged stands

Because of bimodal distribution, the equation for modelling of the median basal area of the dominant tree layer, was designed to model the basal area growth of uncultivated stands.

Task 4. Development of the forecasting model of growth, mortality and net change based on NFI 3rd cycle 3 years' data.

The new approximation of previously (2015) developed equations was carried out based on 10 years data. The current average periodic volume increment depends on the age of the dominant tree species and site index according to Orlov, and the basal area of all tree species.

The mortality model was calculated on new data set and based on age and basal area of the stand.

Task 5. To estimate the growth path models, calculate the growth of the stock on the LVM NFI data ("full" plots) and compare the NFI remeasurement data (after 10 years of NFI 3rd cycle) with the equations elaborated in Task 2 and Task 4 in the following forests in groups: by dominant species, mixed and monodominant, different density of stands, different age stands.

With the elaborated equations, 488 MSI plots with no cutting during the interspecific period have been used to calculate foreseen volume after 10 years based on the initial state of the 1st cycle data. For all forest elements included in the data analysis, the average percentage deviation is less than 10%, however, it has been determined that the predicted increase in the stock is higher than the measured.

Task 6. Development of methodology for of individual tree growth modelling.

An equation system was developed for calculating height growth, basal area and diameter growth of the tree layer, as well as for calculating probability of mortality. Proposed modelling approach based on Finnish and Swedish individual tree growth models based on assumptions regarding the compliance

of forest types, for example, indicators such as rohumus thickness, paludification applicable to Latvia's conditions.

Task 7. Re-measurement of previously installed sample plots in uneven-aged stands (10 objects).

Re-measurements of stand spatial structure characterization are carried out in stands managed by selective cutting or shelterwood cutting is carried out during the period from 2000 to 2011. Previous measurements were carried out in 2006 till 2012. Stand structure was re-evaluated in 55 plots (500 m² R = 12.62 m) and as well performed regeneration accounting in 165 sample plots (25 m²; R = 1.82 m).

Task 8: Development of multilevel stand growth models using data collected in 2017 and previous years

An equation system based on matrix models has been developed. The coefficient values are calculated based on the specified incremental data. The regeneration is modeled on the measured plot data. The model allows to predict the growth and mortality after selection cutting. The regeneration model is deterministic.

Task 9. Determination of impact of artificial regeneration (selection effect) - to develop breeding effect model of a Scots pine and Norway spruce, based on remeasured tree breeding experiments (field work done in other project)

The estimated effect Scots pine tree breeding using data from experimental plantations of up to 43 years old, but for Norway spruce up to 19 years old. Difference in height increment for modelling can be assumed equal to one site index class if compare to normal stands at the same site type.

Task 10. Establishment of thinning experiments in pine (birch and spruce) stands of Ia-II site index and III-IV site index stands. Together 72 objects, 4 regions – DK, ZK, AV, VD forestries; 3 age groups, 20 – 30, 30 – 50, 50 – 70 years, each experiment with 3-4 intensities, “thinning from the above” and control plots.

A total 26 experiments were installed in 2017 and thinning was carried out. Plot size 900m² 10 to 12 plots per experiment. A total of 262 plots points with a total surface area of 23.58 hectares, DBH measured for 38242 trees – height measurements for 2928 trees. In total 72 experiments established during project.

Task 11: Measurement of plot established in 2016 after the logging; preparation plot scheme, preparation of descriptive information.

From 46 experiments established during 2016 by the end of 2017 38 experiments were re-measured after cutting. 8 experiments still are not thinned.

Saturs

Kopsavilkums	2
Summary.....	5
Ievads	9
1. MSI datu atlase, ievade un primāro datu aprēķins	10
2. Atsevišķu meža elementu augšanas gaitas prognožu modeļu pilnveidošana	13
2.1. Vidējā augstuma augšanas gaitas modelis.....	13
2.1.1. Materiāls un metodika.....	13
2.1.2. Rezultāti.....	14
2.2. Virsaugstuma augšanas gaitas modelis.....	19
2.2.1. Materiāls un metodika.....	19
2.2.2. Rezultāti.....	20
2.3. Caurmēra augšanas gaitas modelis.....	23
2.3.1. Materiāls un metodika.....	23
2.3.2. Rezultāti.....	25
2.4. Šķērslaukuma izmaiņu modelis.....	30
2.4.1. Materiāls un metodika.....	30
2.4.2. Rezultāti.....	31
2.5. Kopšanas ciršu efekta modelis.....	41
3. Audžu modālo (biežāk sastopamo) šķērslaukuma vērtību noteikšana relatīvi ilgi neapsaimniekotām audzēm	42
3.1. Materiāls un metodika	42
3.2. Rezultāti	43
4. Pieauguma, atmiruma un krājas differences prognožu modeļu pilnveidošana.....	44
4.1. Faktiskās audzes tekošā pieauguma modelis.....	44
4.1.1. Materiāls un metodika.....	44
4.1.2. Rezultāti.....	45
4.2. Atmiruma modelis.....	49
4.2.1. Materiāls un metodika.....	49
4.2.2. Rezultāti.....	50
4.3. Krājas differences modelis	54
5. Augšanas gaitas modeļu kvalitātes un ticamības vērtējums.....	56
5.1. Materiāls un metodika	56
5.2. Rezultāti	56
6. Metodikas izstrāde individuālu koku augšanas gaitas modeļu izstrādei	59
6.1. Konceptuālā pieeja atsevišķu koku augšanas gaitas modeļu izstrādē	59
6.1.1. Bioloģisko procesu simulācijas shēma	59
6.1.2. Modelējamo rādītāju atribūti	60
6.2. Atsevišķu koku augšanas gaitas modeļi	63
6.2.1. Augšanas gaitas modeļiem nepieciešamie papildus rādītāji	64
6.2.2. Augstuma augšanas gaitas modeļi.....	65
6.2.3. Caurmēra augšanas gaitas modeļi	65
6.2.4. Atmiruma modeļi.....	66

7. Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrādei nepieciešamo iepriekš ierīkoto parauglaukumu pārmērīšana	69
7.1. Lauku darbu metodika	69
7.2. Rezultāti	70
8. Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrāde	74
8.1. Augošu koku krājas sadalījums atbilstoši caurmēra un augstuma grupām	74
8.2. Atjaunošanas / atjaunošanās sekmīgums	75
8.3. Koksnes pieauguma un ciršanas apjoma attiecība ilgtermiņā	78
9. Mākslīgās atjaunošanas ietekmes (selekcijas efekta) noteikšana parastai priedei un parastajai eglei	81
9.1. Parastās priedes selekcijas efekta novērtējums balstot uz selekcijas izmēģinājumu objektu pārmērījumu datiem	81
9.1.1. Materiāls un metodika	81
9.1.2. Rezultāti	81
9.2. Parastās egles selekcijas efekta novērtējums balstot uz selekcijas izmēģinājumu objektu pārmērījumu datiem	83
9.2.1. Materiāls un metodika	83
9.2.2. Rezultāti	83
10. Kopšanas ciršu eksperimentālo parauglaukumu ierīkošana un sākotnējā uzmērīšana (pirms kopšanas)	85
10.1. Objektu izvēle	85
10.2. Lauku darbu metodika	85
10.3. Ierīkoto objektu raksturojums	87
11. 2016. gadā ierīkoto kopšanas ciršu parauglaukumu pārmērīšana pēc mežizstrādes un parauglaukumu shēmu, raksturojošās informācijas sagatavošana	90
Secinājumi un rekomendācijas	91
Literatūra	92
Pielikumi	93
Pielikums 1. Vienādojumu atbilstības izvērtēšanas statistiskie rādītāji	94
Pielikums 2. Augšanas gaitas modeļos izmantojamie koeficienti	95

Ievads

Adekvātas augšanas gaitas prognozes ir būtiskas mežsaimnieciskās darbības seku prognozēšanai un lēmumu pieņemšanai plānojot mežsaimnieciskās darbības. Līdz šim Latvijā izmantotie pieaugumu noteikšanas modeļi (Liepa, 1996, Матузанис, 1988) lielā mērā ir balstīti uz 1960. -tajos un 70. -tajos gados vienreiz uzmērītu parauglaukumu datiem, kuros tekošais pieaugums noteikts pēc urbumu metodes (Matuzānis, 1983). Ar šo metodi nav iespējams iegūt ticamu informāciju par atmirumu (koku skaita izmaiņām) un attiecīgi arī par augšanas gaitu kopumā. Lai novērstu iepriekš izstrādāto modeļu trūkumus, LVMI "Silava" tika veikts pētījums "Mežaudžu augšanas gaitas un pieauguma noteikšana, izmantojot pārmērītos meža statistiskās inventarizācijas datus (Donis, 2015). Lai arī pētījumā izstrādāti adekvāti vienādojumi koku augstuma un caurmēra pieaugumu (augšanas gaitas novērtēšanai), tomēr, konstatēts, ka 5 gadu pārmērījumu periods ir nepietiekams, lai varētu izstrādāt ticamas ilgtermiņa prognozes koku skaita izmaiņām. Tādēļ nepieciešams 1) precizēt modeļus, kas balstīti uz Meža statistiskās inventarizācijas datiem, 2) precizēt modeļus, balstot tos uz eksperimentāliem ilglaicīgo parauglaukumu mērījumiem, kā arī 3) precizēt modeļus arī dažādvecuma audžu augšanai.

Atbilstoši metodikai 3.etapā paredzēti sekojoši darba uzdevumi:

- 1.darba uzdevums Augšanas gaitas modeļiem nepieciešamo datu sagatavošana no 2016. gada MSI mērījumu datiem.
- 2.darba uzdevums Augšanas gaitas vienādojumu koeficientu aprēķini balstot uz 3. MSI cikla 3 gadu datiem (meža elementi), t.sk. arī kopšanas ciršu efekta atspoguļojošo modeļu pilnveidošana.
- 3.darba uzdevums Audžu modālo (biežāk sastopamo) šķērslaukuma vērtību noteikšana relatīvi ilgi neapsaimniekotām audzēm.
- 4.darba uzdevums Pieauguma, atmiruma un krājas differences prognožu modeļu pilnveidošana un statistisko rādītāju izvērtēšana, aprēķinus balstot uz 3. MSI cikla 3 gadu datiem.
- 5.darba uzdevums Augšanas gaitas modeļu novērtēšanai, ar 2. un 4. punktā minētajiem vienādojumiem aprēķināt krājas pieaugumu uz LVM MSI datiem ("pilnajiem" parauglaukumiem) un salīdzināt ar MSI noteikto krājas diferenci (pēc MSI 3. cikla 10 gadu pārmērījumiem) šādās audžu grupās: pa valdošās sugām, mistrotām un tīraudzēm, dažādu biežību audzēm, dažādu vecuma audzēm.
- 6.darba uzdevums Metodikas izstrāde individuālu koku augšanas gaita modeļu izstrādei.
- 7.darba uzdevums Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrādei nepieciešamo iepriekš ierīkoto parauglaukumu pārmērīšana (10 objekti).
- 8.darba uzdevums Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrāde, izmantojot 2017.gadā un iepriekšējos gados ievāktos datus.
- 9.darba uzdevums Mākslīgās atjaunošanas ietekmes (selekcijas efekta) noteikšana parastai priedei un parastai eglei, balstoties uz katras sugas 5 selekcijas izmēģinājumu objektu pārmērījumu datiem (pārmērīšana notiek citā projektā).
- 10.darba uzdevums Kopšanas ciršu eksperimentālo parauglaukumu ierīkošana un sākotnējā uzmērīšana (pirms kopšanas) bērza un priedes audzēs (pieļaujams arī egļu audzēs) kopā 62 objektos 4 reģionos – Dienvidkurzemes, Ziemeļkurzemes, Austrumvidzemes un Vidusdaugavas. Objekti ierīkojami trīs vecuma grupās: 20-30, 30 – 50 un 50 – 70 gados, katrā parauglaukumā ierīkojot 3-4 kopšanas ciršu intensitātes, "kopšanu no augšas" un kontroli. (Koku ciršanu parauglaukumos veic Pasūtītājs).
- 11.darba uzdevums 2016. gadā ierīkoto kopšanas ciršu parauglaukumu pārmērīšana pēc mežizstrādes un parauglaukumu shēmu, raksturojošās informācijas sagatavošana.

1. MSI datu atlase, ievade un primāro datu aprēķins

1. darba uzdevums. **Augšanas gaitas modeļiem nepieciešamo datu sagatavošana no 2016. gada MSI mērījumu datiem.**

Tā kā turpmākā pētījuma gaitā ir paredzēts izstrādāt atsevišķa koka augšanas gaitas modeļus, ir nepieciešams ievadīt no jauna visu trīs ciklu un visu cikla gadu parauglaukumu datus, jau fiksējot ne tikai mežaudzes, katra atsevišķa mežaudzes stāva un katra atsevišķa mežaudzes elementa galvenos taksācijas rādītājus (vecums, vidējais kvadrātiskais caurmērs un tam atbilstošais augstums, šķērslaukums, krāja un koku skaits) kā arī izcirstās un atmirušās koksnes apjoms (krāja), bet arī katra atsevišķa koka stāvu, caurmēru, augstumu, šķērslaukumu, krāju, reprezentatīvo koku skaitu un stāvokli.

Meža statistiskās inventarizācijas (MSI) parauglaukumu datu bāzē atlasīti un MS Excel datorprogrammā ievadīti dati par 1380 atkārtoti 2014.-2016. gadā pārmērītajiem parauglaukumiem, kas tālāk izmantojami gan meža elementu, gan arī atsevišķu koku augšanas gaitas prognožu modeļu izstrādē.

Galvenie sākotnējie atlases kritēriji ir: 1) visos ciklos parauglaukums nav sadalīts sektoros, kas nozīmē, ka viss parauglaukums ir vienas audzes robežās; 2) visos ciklos zemju kategorija ir mežs (kods 10), iznīkusi audze (11), degums (12), vējgāzes (13), izcirtums (14) vai mežs lauksaimniecības zemē (62).

Atlasīto un ievadīto MSI parauglaukumu sadalījums pa 1. ciklā konstatētajām valdošajām koku sugām un meža tipi un vecuma desmitgadēm atspoguļots 1.1.- 1.2. tabulās.

Tabula 1.1. Parauglaukumu sadalījums pa meža tipi un pa I stāva valdošajām koku sugām

Meža tips	Valdošā koku suga														Izcirtumi		Kopā
	Priede		Egle		Bērzs		Melnalksnis		Apse		Baltalksnis		Citas				
	1.cikls	3.cikls	1.cikls	3.cikls	1.cikls	3.cikls	1.cikls	3.cikls	1.cikls	3.cikls	1.cikls	3.cikls	1.cikls	3.cikls	1.cikls	3.cikls	
Sl	6	6															6
Mr	66	67			4	3											70
Ln	57	56	2	2	1	2											60
Dm	91	85	38	37	65	66			8	10	6	8	1	2	2	3	211
Vr	2	1	66	63	80	72	6	6	49	55	44	45	6	8	1	4	254
Gr	3	2	4	3	13	12			7	9	13	11	8	8		3	48
Gs					1	1											1
Mrs	19	20	4	3	4	4											27
Dms	21	19	18	20	24	22			3	4			1	1		1	67
Vrs			10	13	29	26	7	9	7	5	2	2	1	2	1		57
Grs					2	3	1	2			2	1	1				6
Pv	46	46			2	2											48
Nd	25	23	2	2	16	17		1	1	1							44
Db			2	2	18	15	13	17			2	1					35
Lk							3	3									3
Av	1	1															1
Am	19	18	1	1	1	1				1							21
As	30	28	53	57	55	52	3	7	19	17	10	11	1		3	2	174
Ap		1	10	14	18	19	4	4	8	9	16	19	7	2	5		68
Kv	8	8															8
Km	33	30	1	1		2										1	34
Ks	24	19	20	22	47	47	10	10	1	3	1			1	1	2	104
Kp			8	7	16	16	4	6	1	1	3	2	1	1			33
Kopā	451	430	239	247	396	382	51	65	104	115	99	100	27	25	13	16	1380

Tabula 1.2. Parauglaukumu sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām un vecuma desmitgadēm

Audzes vecums	Valdošā koku suga														Kopā	
	Priede		Egle		Bērzs		Melnalksnis		Apse		Baltalksnis		Citas			
	1.cikls	3.cikls	1.cikls	3.cikls	1.cikls	3.cikls	1.cikls	3.cikls	1.cikls	3.cikls	1.cikls	3.cikls	1.cikls	3.cikls	1.cikls	3.cikls
1-10	22	16	22	12	66	47	3	5	38	35	22	28	2	5	175	148
11-20	12	22	12	28	41	80	2	9	10	28	20	19	3	8	100	194
21-30	8	13	25	15	26	29	12	3	7	12	23	18	2	1	103	91
31-40	12	9	45	28	52	28	6	13	10	5	18	18	5		148	101
41-50	38	15	33	47	67	48	11	7	13	10	10	11	1	4	173	142
51-60	59	35	26	31	72	60	9	11	13	7	6	5	2		187	149
61-70	67	56	24	23	36	53	4	10	8	10		1	4	1	143	154
71-80	57	60	11	20	24	21	3	4	2	4			1	1	98	110
81-90	52	54	19	7	10	11	1	3	2	2			3	1	87	78
91-100	37	49	5	17	2	4				1			1	2	45	73
101-110	29	31	7	7		1							2		38	39
111-120	21	19	5	6					1					1	27	26
121-130	19	17	2	2						1					21	20
131-140	9	18		1									1		10	19
141-150	2	7	1											1	3	8
151-160	4	4	1	1											5	5
161-	3	5	1	2											4	7
Kopā	451	430	239	247	396	382	51	65	104	115	99	100	27	25	1367	1364

Kopumā ievadīta informācija par 49510 uzmērītajiem kokiem (1.3. – 1.5. tabulas).

Tabula 1.3. Koku skaits dalījumā pa koku sugām un meža tipiem

Meža tips	Priede	Egle	Bērzs	Melnalksnis	Apse	Baltalksnis	Osis	Ozols	Liepa	Goba, vīksna	Blīgzna	Kļava	Citas sugas	Kopā
Sl	124	2	1											127
Mr	1650	133	88	2	4		1							1878
Ln	1420	392	141	4	6		11						1	1975
Dm	1657	2763	1733	30	220	341	105	5	2	2	66	20	75	7019
Vr	81	2990	2128	364	1489	2235	96	52	67	13	368	67	76	10026
Gr	29	296	295	26	179	510	50	158	45	21	37	51	14	1711
Gs			6											6
Mrs	620	184	135	1	5									945
Dms	463	966	720	64	78	12	8	1			14		4	2330
Vrs	18	601	920	320	109	94	7	9	6		36	2	7	2129
Grs	1	26	54	81	2	76	2	14	1					257
Pv	1337	9	108	7										1461
Nd	715	173	443	63	19	6					1		3	1423
Db	29	184	529	433	6	107		5			9	4	4	1310
Lk		11	18	85										114
Av	18													18
Am	615	159	58	4	36		3	2						877
As	678	2803	1606	258	403	515	56	24	20	1	52	6	14	6436
Ap	4	678	599	194	264	749	32	101	30	16	66	17	17	2767
Kv	322		5											327
Km	875	198	128			1								1202
Ks	588	1384	1399	350	42	60	11	10	2		11	1	9	3867
Kp	3	383	489	238	23	55		5	11		24			1231
Kopā	11247	14335	11603	2524	2885	4761	382	386	184	53	684	168	224	49436

Tabula 1.4. Koku skaits dalījumā pa koku sugām un 1. ciklā fiksētajām mežaudzes vecuma grupām

Audzes vecums	Priede	Egle	Bērzs	Melnalksnis	Apse	Baltalksnis	Osis	Ozols	Liepa	Goba, vīksna	Blīgzna	Kļava	Citas sugas	Kopā
0	23	8	26	14	15	16	3	1		2	2	1	1	112
1-10	379	557	1306	149	674	651	45	38	24	3	129	23	7	3985
11-20	302	607	1228	150	397	858	38	18	42	10	182	5	42	3879
21-30	206	1401	1072	449	315	1155	19	10			122	15	32	4796
31-40	534	2203	1698	427	410	989	37	76	6	13	121	18	38	6570
41 -50	1376	1820	2074	652	318	426	46	36	26	4	55	40	31	6904
51-60	1674	2284	1773	361	335	521	79	36	14	4	34	8	44	7167
61-70	1475	1757	1111	185	185	68	49	100	25	5	13	25	12	5010
71-80	1461	988	575	84	96	12	34	9	24	1	11	4	4	3303
81-90	1118	1050	360	30	99	37	7	37	8	3	6	14	5	2774
91-100	809	534	153	12	14	3	2	17	9	5	6		1	1565
101-110	624	425	92		2	12	9	6	4		2	9	5	1190
111-120	398	327	54	1	25		11		2	2	1	2	1	824
121-130	385	197	41	10		13	2					3	1	652
131-140	219	46	25				1	2		1		1		295
141-150	53	42	5											100
151-160	127	41	5											173
161-	84	48	5											137
Kopā	11247	14335	11603	2524	2885	4761	382	386	184	53	684	168	224	49436

Tabula 1.5. Koku skaits dalījumā pa koku sugām un 1. ciklā fiksētajām valdošajām koku sugām

Valdošā koku suga	Priede	Egle	Bērzs	Melnalksnis	Apse	Baltalksnis	Osis	Ozols	Liepa	Goba, vīksna	Blīgzna	Kļava	Citas sugas	Kopā
Priede	10323	3005	1217	53	62	42	75	6	4	2	20	26	24	14859
Egle	384	6755	899	262	207	232	75	47	29	4	43	9	4	8950
Bērzs	466	3203	8114	621	371	646	144	54	43	5	302	47	46	14062
Melnalksnis	14	273	341	1343	41	60	3	20	3	4	14	4	27	2147
Apse	17	696	541	87	2093	194	42	40	90	6	91	31	20	3948
Baltalksnis	5	281	353	85	65	3525	19	53	1	22	117	37	46	4609
Osis	2	23	11	1			10	2		1	2	1		53
Ozols	1	45	48	4	21	23	6	158	4	6	7	5	4	332
Liepa		10			2	3			10	1	1			27
Goba, vīksna														0
Blīgzna	2	11	51	52	4	20		1			85		6	232
Kļava		13			1							7		21
Citas sugas	10	12	2	2	3		5	4					46	84
Izcirtumi	23	8	26	14	15	16	3	1		2	2	1	1	112
Kopā	11247	14335	11603	2524	2885	4761	382	386	184	53	684	168	224	49436

2. Atsevišķu meža elementu augšanas gaitas prognožu modeļu pilnveidošana

2. darba uzdevums. **Augšanas gaitas vienādojumu koeficientu aprēķini balstot uz 3. MSI cikla 3 gadu datiem (meža elementi), t.sk. arī kopšanas ciršu efekta atspoguļojošo modeļu pilnveidošana.**

Atsevišķu meža elementu augšanas gaitas prognozēšanai izmanto vidējā augstuma, vidējā caurmēra un šķērslaukuma izmaiņu modeļus, bet pārējos taksācijas rādītājus (koku skaits un krāja) aprēķina sekundāri.

2.1. Vidējā augstuma augšanas gaitas modelis

2.1.1. Materiāls un metodika

Datu analīzē izmantoja datus par 2068 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paaudzes vienā stāvā esošus kokus) no 1157 MSI 2014. - 2016. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- ✓ meža elementi ir P1st (482 meža elementi), E1st (373), B1st (543), A1st (104), M1st (119), Ba1st (108), E2st (339);
- ✓ katrā uzmērīšanas ciklā augstums uzmērīts vismaz 3 dzīvajiem kokiem no viena meža elementa;
- ✓ visās uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums;
- ✓ prognozētais augstums bāzes vecumā (P, E 100 gadi; B, M, A 50 gadi; Ba 20 gadi) starp uzmērīšanas cikliem neatšķiras vairāk kā 15% vai 3 m;
- ✓ meža elementa piecu gadu augstuma tekošais periodiskais pieaugums neatšķiras vairāk kā divas standartnovirzes no tam atbilstošās vecuma desmitgades un bāzes vecuma augstuma grupas aritmētiski vidējās vērtības.

Lai izvairītos no autokorelācijas, analīzē no viena meža elementa izmanto tikai viena perioda datus. Primāri tiek izmantoti garākā perioda (pirmā un trešā cikla) dati, bet, ja šie dati neatbilst iepriekšminētajiem nosacījumiem, tad nākošā prioritāte ir pēdējā perioda (otrā un trešā cikls) dati.

Augstuma augšanas gaitas aproksimācijai pārbaudīti un pilnveidoti iepriekš izstrādātie vienādojumi (Donis et al., 2015), kas balstīti uz vispārinātās algebriskās diferences pieeju (GADA - generalized algebraic difference approach), kas ļauj augstuma pieaugumu prognozēt zinot tikai audzes augstumu un vecumu, bet nav nepieciešama informācija par bonitāti.

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

Vienādojumu atbilstība izvērtēta izmantojot sekojošus statistiskos rādītājus:

- ✓ vidējā novirze (MRES),
- ✓ procentuālā vidējā novirze (MRES%);
- ✓ vidējā absolūtā novirze (AMRES);
- ✓ standartnovirze (RMSE)
- ✓ variācijas koeficients (RMSE%)
- ✓ vidējā kvadrātiskā kļūda (MSE);
- ✓ modeļa efektivitāte (MEF); un
- ✓ dispersijas attiecība (VR).

Rādītāju aprēķināšanas formulas dotas 1. pielikumā.

2.1.2. Rezultāti

Balstoties uz MSI 1., 2. un 3. cikla datiem aproksimētas jaunas koeficientu vērtības meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modelim (2.1. tabula). Jaunās koeficientu vērtības aprēķinātas kombinētajā 5 un 10 gadu cikla variantā vienlaicīgi izmantojot visu trīs ciklu datus, bet analizē no viena meža elementa izmanto tikai viena perioda datus.

Tabula 2.1. Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) 2017. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

Suga	Koef.	Vērtība	Standard-kļūda	95% ticamības intervāls		95% nogrieztais ticamības intervāls	
				Min.	Maks.	Min.	Maks.
Priede	α_1	1.15277	0.02744	1.09787	1.20767	1.10881	1.22292
	α_2	-49.61043	0.66258	-50.93626	-48.28461	-51.43767	-48.47297
	α_3	31.14203	1.02156	29.09790	33.18616	29.12308	33.54593
Egle 1. stāvs	α_1	1.15894	0.03841	1.08207	1.23581	1.06971	1.24501
	α_2	-49.21868	2828.138	-5708.310	5609.873	-50.76173	-47.93866
	α_3	28.54178	1427.229	-2827.336	2884.420	26.69644	31.94570
Bērzs	α_1	1.17109	0.04402	1.08301	1.25917	1.08052	1.25970
	α_2	-50.00029	3965.604	-7985.156	7885.156	-51.77950	-48.91145
	α_3	24.99946	1840.608	-3658.048	3708.047	23.52475	27.75741
Melnalksnis	α_1	1.09150	0.05229	0.98686	1.19613	0.99767	1.21011
	α_2	-49.24093	1.87777	-52.99835	-45.48351	-52.44498	-43.84383
	α_3	27.16680	3.20189	20.75984	33.57376	22.33649	37.10749
Apse	α_1	1.31024	0.02981	1.25059	1.36990	1.24765	1.35820
	α_2	-48.03156	4272.403	-8597.089	8501.026	-50.30936	-45.58209
	α_3	30.47697	2082.735	-4137.067	4198.021	27.73066	36.76198
Baltalksnis	α_1	1.26429	0.08498	1.09424	1.43434	1.07725	1.43874
	α_2	-54.64950	0.52530	-55.70063	-53.59837	-55.95621	-53.89615
	α_3	17.99759	1.37476	15.24670	20.74847	15.43829	20.77207
Egle 2. stāvs	α_1	1.02673	0.04876	0.92915	1.12430	0.94808	1.17138
	α_2	-50.03865	1.12924	-52.29826	-47.77904	-52.79999	-45.56523
	α_3	25.09738	2.19955	20.69610	29.49866	20.79770	34.84859

Vidējā augstuma augšanas gaitas vienādojumam statistiskie rādītāji ar 2016.gadā ieteiktajām un ar 2017. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām ir augsti un savstarpēji ļoti līdzīgi (2.2. tabula). Jāatzīmē, ka statistiskie rādītāji aprēķināti gan koeficientu aprēķināšanā izmantotajiem datiem (dati bez autokorelācijas), gan arī koeficientu aprēķināšanā neizmantotajiem datiem (tie meža elementi, kas atbilst metodikas sadaļā aprakstītajiem kritērijiem, bet izslēgti no aprēķiniem autokorelācijas dēļ).

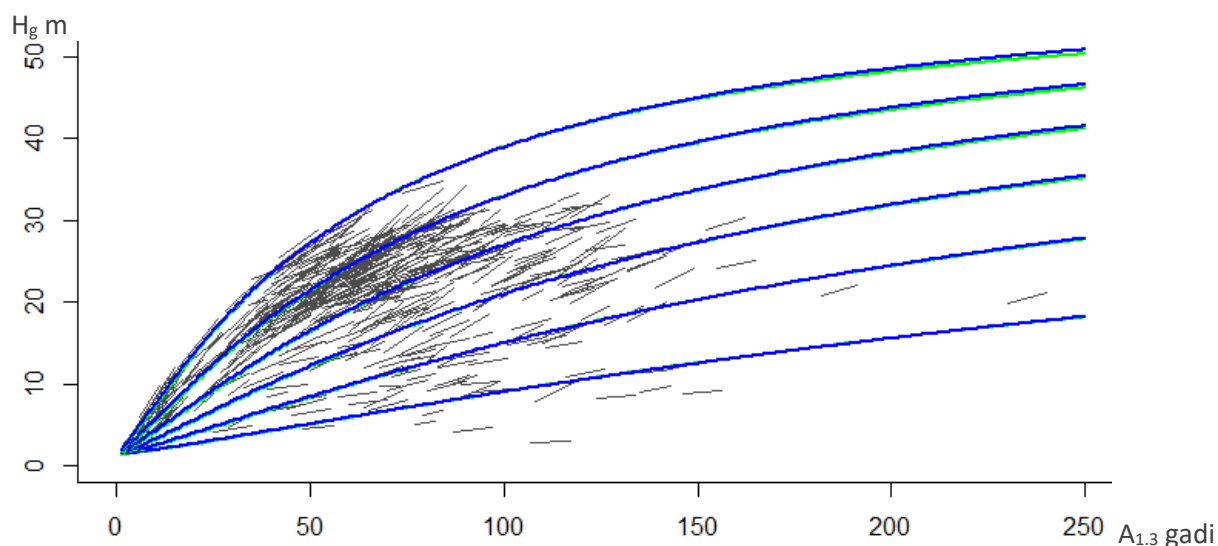
Ekstrapolējot datus ilgākā laika posmā konstatēts, ka skuju kokiem un baltalksnim loģiskākas augstuma izmaiņas tiek prognozētas ar 2017. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām, bet bērzam,

melnalksnim un apsei loģiskākas augstuma izmaiņas tiek prognozētas ar 2016. gadā ieteiktajām koeficientu vērtībām (2.1. – 2.7. attēli).

Tabula 2.2. Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) prognozētā ikgadējā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji ar 2016. ieteiktajām un ar 2017. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām

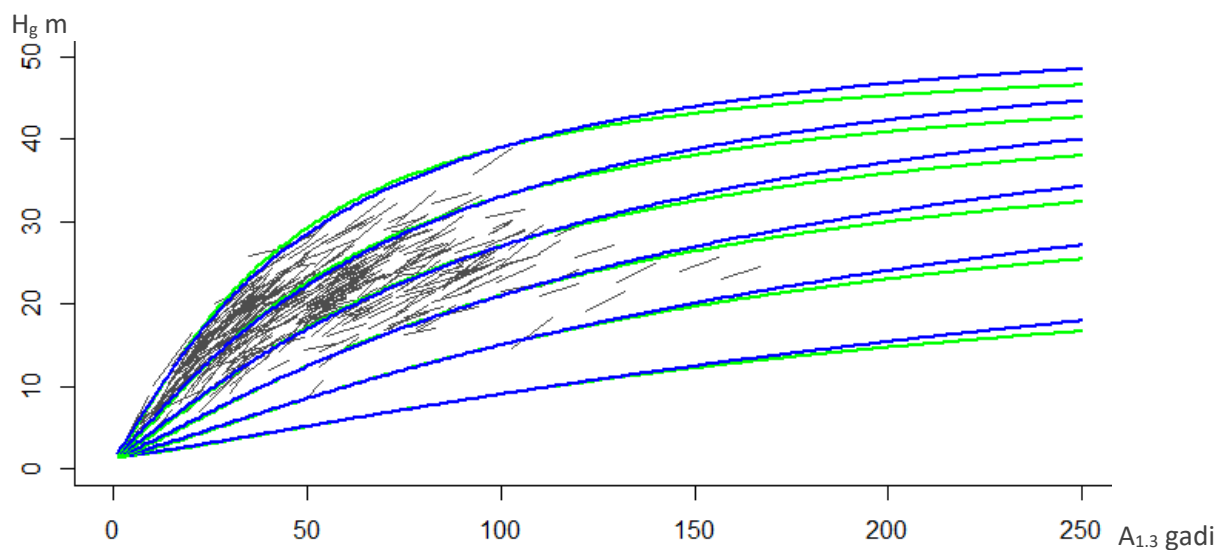
Dati	Gads	Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R2	N	AIC
Aprēķinos izmantotie dati	2016	P	0.25	0.01	2.53	0.08	0.10	40.37	0.01	0.53	0.786	0.709	0.503	482	-2202.0
		E 1.st.	0.33	0.01	2.58	0.10	0.13	38.81	0.02	0.66	0.930	0.659	0.434	373	-1534.4
		B	0.36	0.01	1.47	0.13	0.17	46.38	0.03	0.61	1.100	0.712	0.507	543	-1936.1
		M	0.36	0.03	7.17	0.11	0.14	38.31	0.02	0.60	0.799	0.682	0.465	119	-467.5
		A	0.57	0.03	5.82	0.16	0.21	36.72	0.04	0.57	0.945	0.717	0.513	104	-324.5
		Ba	0.43	0.03	7.35	0.13	0.17	38.90	0.03	0.57	0.804	0.700	0.490	108	-383.2
		E 2.st.	0.22	0.00	0.20	0.11	0.13	60.19	0.02	0.92	0.396	0.382	0.146	339	-1376.4
	2017	P	0.25	0.01	4.57	0.08	0.10	40.11	0.01	0.52	0.707	0.708	0.501	482	-2208.2
		E 1.st.	0.33	0.02	5.66	0.10	0.12	38.00	0.02	0.63	0.717	0.647	0.419	373	-1550.2
		B	0.36	0.02	4.47	0.12	0.16	43.98	0.03	0.55	0.780	0.702	0.493	543	-1993.8
		M	0.36	0.02	4.99	0.11	0.14	37.95	0.02	0.59	0.721	0.672	0.451	119	-469.8
		A	0.57	0.01	2.02	0.16	0.21	36.41	0.04	0.56	0.889	0.707	0.500	104	-326.3
		Ba	0.43	0.02	4.82	0.13	0.16	38.11	0.03	0.55	0.695	0.694	0.482	108	-387.6
		E 2.st.	0.22	0.00	2.04	0.10	0.13	59.26	0.02	0.89	0.332	0.387	0.150	339	-1387.0
Aprēķinos neizmantotie dati	2016	P	0.24	0.00	-0.70	0.08	0.10	41.85	0.01	0.57	0.651	0.669	0.447	765	-3542.7
		E 1.st.	0.32	0.01	2.24	0.10	0.13	40.27	0.02	0.77	0.915	0.601	0.361	533	-2182.8
		B	0.31	0.00	0.64	0.12	0.16	49.78	0.02	0.71	0.830	0.612	0.375	743	-2755.0
		M	0.33	0.02	7.45	0.11	0.13	40.83	0.02	0.85	0.480	0.476	0.227	176	-705.0
		A	0.52	0.02	4.42	0.16	0.21	40.37	0.04	0.63	0.801	0.661	0.437	118	-367.7
		Ba	0.40	0.04	10.52	0.15	0.19	46.14	0.03	0.89	0.692	0.512	0.262	124	-415.9
		E 2.st.	0.22	0.00	1.29	0.11	0.13	60.90	0.02	1.02	0.357	0.279	0.078	343	-1374.1
	2017	P	0.24	0.00	1.10	0.08	0.10	41.65	0.01	0.57	0.600	0.667	0.445	765	-3550.0
		E 1.st.	0.32	0.02	4.73	0.10	0.13	39.10	0.02	0.72	0.728	0.595	0.354	533	-2214.2
		B	0.31	0.00	1.39	0.12	0.15	48.07	0.02	0.67	0.611	0.605	0.365	743	-2807.0
		M	0.33	0.01	4.24	0.11	0.13	40.55	0.02	0.84	0.455	0.465	0.216	176	-707.4
		A	0.52	0.00	-0.28	0.16	0.21	40.10	0.04	0.62	0.755	0.654	0.428	118	-369.3
		Ba	0.40	0.03	6.78	0.14	0.18	44.68	0.03	0.83	0.613	0.511	0.261	124	-423.9
		E 2.st.	0.22	0.00	1.23	0.11	0.13	59.51	0.02	0.98	0.311	0.299	0.090	343	-1389.9
Visi dati	2016	P	0.24	0.00	0.60	0.08	0.10	41.19	0.01	0.55	0.706	0.686	0.471	1247	-5750.3
		E 1.st.	0.32	0.01	2.39	0.10	0.13	39.57	0.02	0.72	0.921	0.627	0.393	906	-3723.1
		B	0.33	0.00	1.02	0.12	0.16	48.18	0.03	0.65	0.963	0.668	0.447	1286	-4694.1
		M	0.34	0.03	7.33	0.11	0.14	39.48	0.02	0.72	0.644	0.593	0.352	295	-1178.4
		A	0.54	0.03	5.11	0.16	0.21	38.22	0.04	0.59	0.870	0.691	0.477	222	-698.2
		Ba	0.42	0.04	8.98	0.14	0.18	42.32	0.03	0.72	0.757	0.617	0.380	232	-804.0
		E 2.st.	0.22	0.00	0.75	0.11	0.13	60.38	0.02	0.97	0.377	0.333	0.111	682	-2756.2
	2017	P	0.24	0.01	2.50	0.08	0.10	40.97	0.01	0.55	0.643	0.685	0.469	1247	-5763.8
		E 1.st.	0.32	0.02	5.12	0.10	0.12	38.55	0.02	0.68	0.723	0.618	0.382	906	-3770.4
		B	0.33	0.01	2.80	0.12	0.15	46.14	0.02	0.60	0.693	0.659	0.435	1286	-4805.1
		M	0.34	0.02	4.56	0.11	0.13	39.17	0.02	0.71	0.591	0.582	0.339	295	-1183.1
		A	0.54	0.00	0.85	0.16	0.21	37.94	0.04	0.58	0.818	0.683	0.466	222	-701.5
		Ba	0.42	0.02	5.84	0.14	0.17	41.18	0.03	0.68	0.661	0.613	0.375	232	-816.6
		E 2.st.	0.22	0.00	1.63	0.10	0.13	59.21	0.02	0.93	0.322	0.345	0.119	682	-2782.8

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; R - korelācijas koeficients; R2 - determinācijas indekss; N - elementu skaits; AIC - Akaikes indekss.



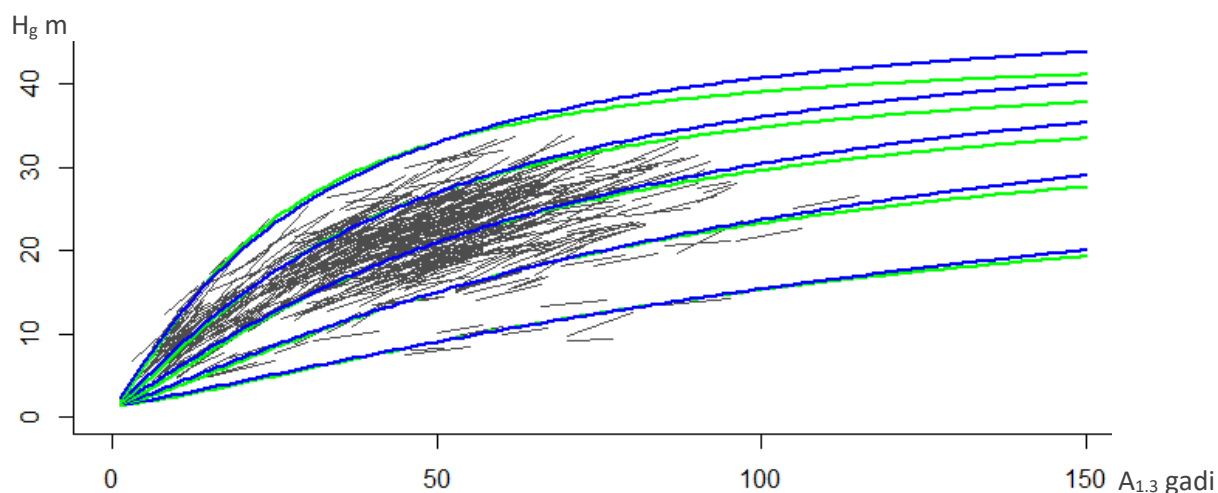
2.1. attēls. Priedes uzmērītās vidējā augstuma (H_g) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m).

Zaļā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā ieteiktajiem koeficientiem, zilā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



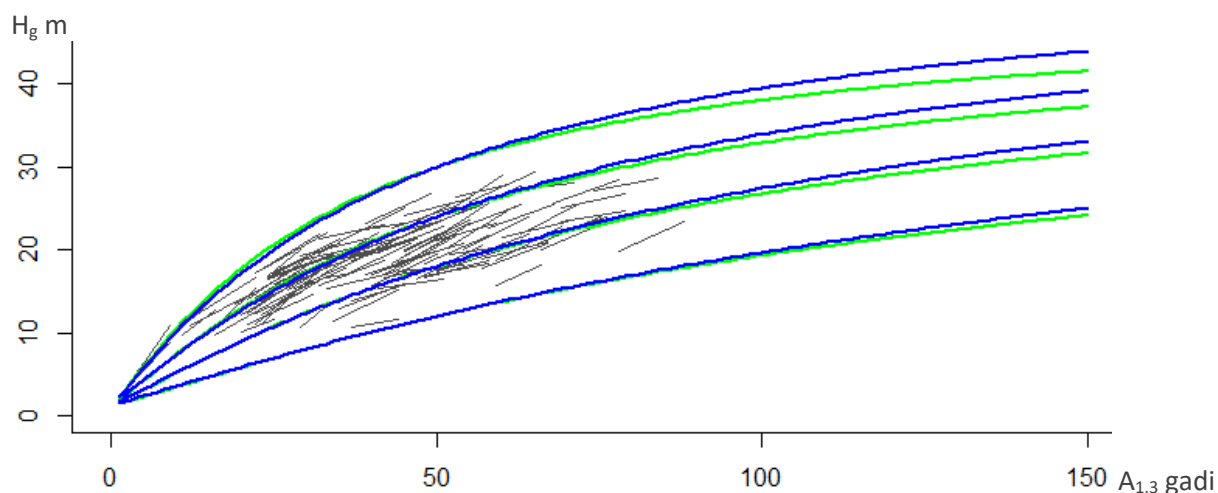
2.2. attēls. Egles uzmērītās vidējā augstuma (H_g) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m).

Zaļā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā ieteiktajiem koeficientiem, zilā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



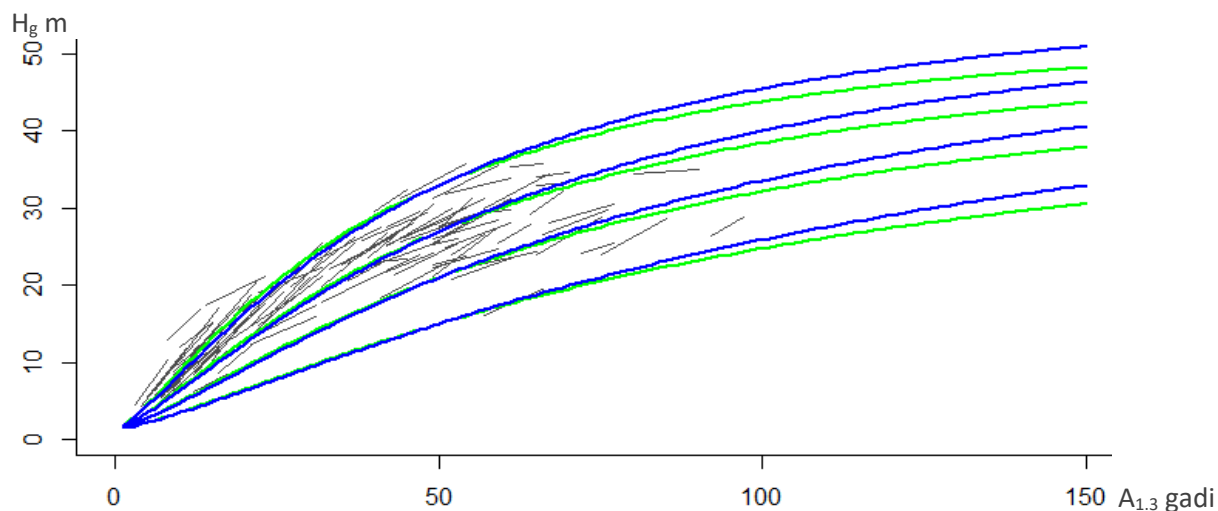
2.3. attēls. Bērza uzmērītās vidējā augstuma (H_g) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 33; 27; 21; 15; 9$ m).

Zaļā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā ieteiktajiem koeficientiem, zilā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



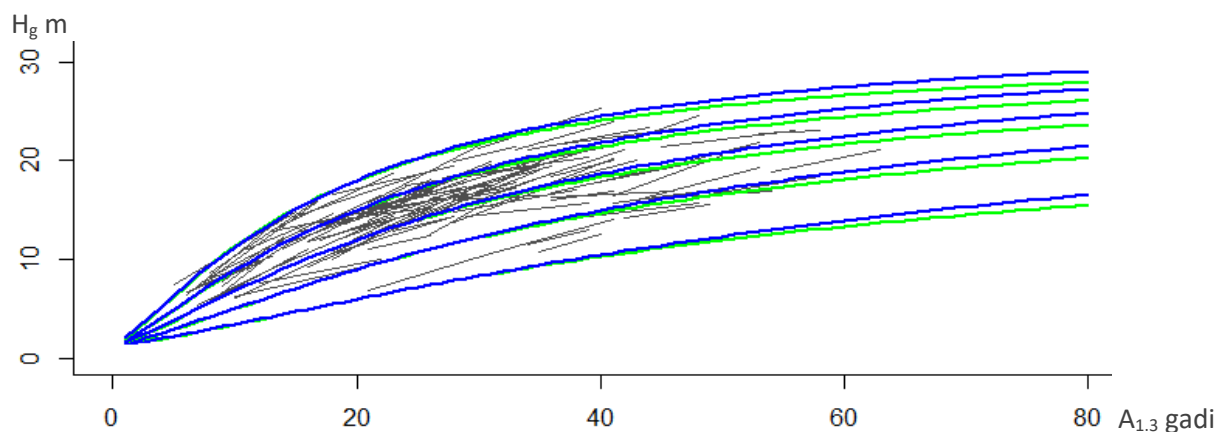
2.4. attēls. Melnalkšņa uzmērītās vidējā augstuma (H_g) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 30; 24; 18; 12$ m).

Zaļā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā ieteiktajiem koeficientiem, zilā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



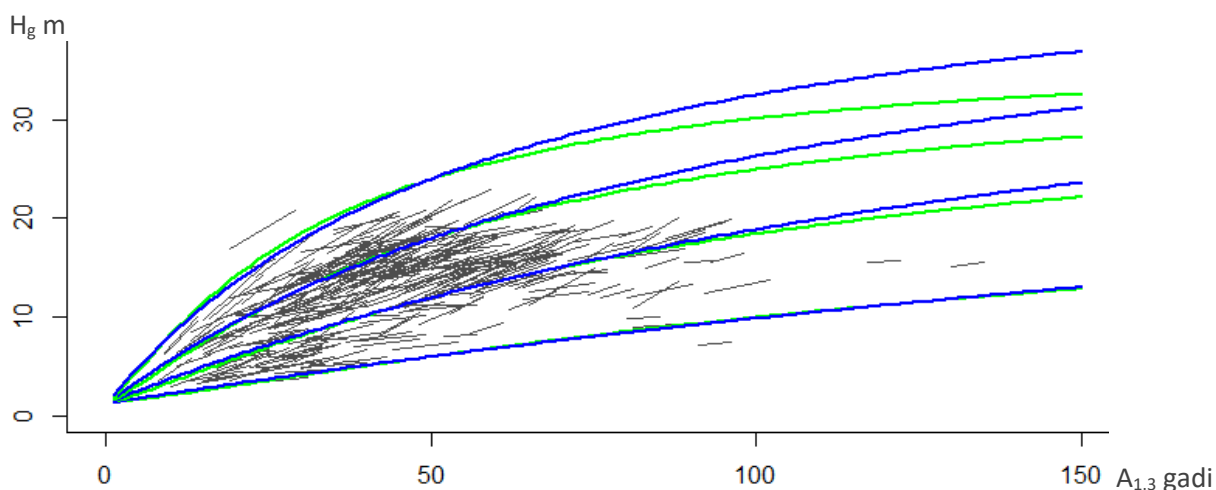
2.5. attēls. Apses uzmērītās vidējā augstuma (H_g) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 33; 27; 21; 15$ m).

Zaļā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā ieteiktajiem koeficientiem, zilā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



2.6. attēls. Baltalkšņa uzmērītās vidējā augstuma (H_g) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 20 gadi ($H_{20} = 18; 15; 12; 9; 6$ m).

Zaļā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā ieteiktajiem koeficientiem, zilā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



2.7. attēls. Egles 2. stāva uzmērītās vidējā augstuma (H_g) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) 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).

Zaļā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā ieteiktajiem koeficientiem, zilā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.

2.2. Virsaugstuma augšanas gaitas modelis

2.2.1. Materiāls un metodika

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

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

Datu analizē izmantoja datus par 3069 virsaugstuma kokiem no 1115 MSI 2014. - 2016. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- ✓ meža elementi ir P (1098 koki), E (698), B (543), A (237), M (141), Ba (109);
- ✓ visās uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums;
- ✓ koka augstuma tekošais vidēji periodiskais pieaugums neatšķiras vairāk kā divas standartnovirzes no tam atbilstošās vecuma desmitgades aritmētiski vidējās vērtības.

Lai izvairītos no autokorelācijas, analizē katram kokam izmanto tikai viena perioda datus. Primāri tiek izmantoti garākā perioda (pirmā un trešā cikla) dati, bet, ja šie dati neatbilst iepriekšminētajiem nosacījumiem, tad nākošā prioritāte ir pēdējā perioda (otrā un trešā cikls) dati.

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

Virsaugstuma augšanas gaitas aproksimācijai pārbaudīti un pilnveidoti iepriekš izstrādātie vienādojumi (Donis et al., 2015), kas balstīti uz vispārinātās algebriskās differences 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 differences pieejas modelis (2.1. formula).

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

Vienādojumu atbilstība izvērtēta izmantojot sekojošus statistiskos rādītājus:

- ✓ vidējā novirze (MRES),
- ✓ procentuālā vidējā novirze MRES%);
- ✓ vidējā absolūtā novirze (AMRES);

- ✓ standartnovirze (RMSE)
- ✓ variācijas koeficients (RMSE%)
- ✓ vidējā kvadrātiskā kļūda (MSE);
- ✓ modeļa efektivitāte (MEF); un
- ✓ dispersijas attiecība (VR).

Rādītāju aprēķināšanas formulas dotas 1. pielikumā.

2.2.2. Rezultāti

Balstoties uz MSI 1., 2. un 3. cikla datiem aproksimētas jaunas koeficientu vērtības meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modelim (2.3. tabula). Jaunās koeficientu vērtības aprēķinātas kombinētajā 5 un 10 gadu cikla variantā vienlaicīgi izmantojot visu trīs ciklu datus, bet analizē no viena meža elementa izmanto tikai viena perioda datus (dati bez autokorelācijas).

Tabula 2.3. Virsaugstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

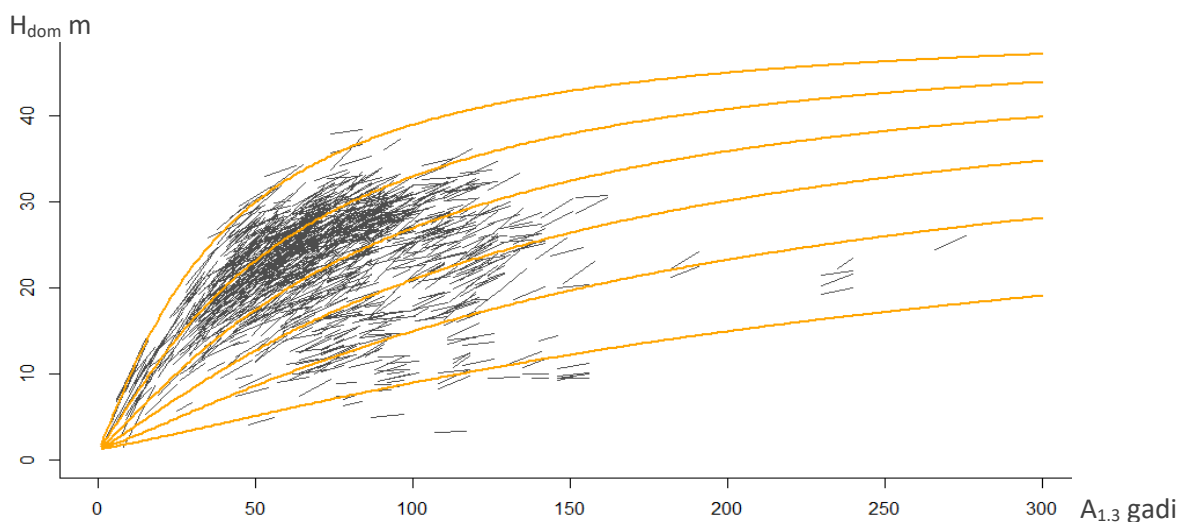
Suga	Koef.	Vērtība	Standard-kļūda	95% ticamības intervāls		95% nogrieztais ticamības intervāls	
				Min.	Maks.	Min.	Maks.
Priede	α_1	1.18637	0.01909	1.14816	1.22457	1.15279	1.22535
	α_2	-49.99697	0.22285	-50.44289	-49.55106	-50.64594	-49.79609
	α_3	25.76125	0.33528	25.09035	26.43215	25.54240	26.86823
Egle	α_1	1.25770	0.02280	1.21209	1.30332	1.20677	1.30687
	α_2	-50.61810	0.30698	-51.23237	-50.00383	-51.43581	-50.39155
	α_3	24.59717	0.52659	23.54347	25.65087	24.28008	26.32232
Bērzs	α_1	1.31953	0.04888	1.22172	1.41734	1.27409	1.44653
	α_2	-51.58704	0.41571	-52.41887	-50.75521	-52.78246	-51.58686
	α_3	23.52032	0.42027	22.67936	24.36128	22.60231	24.41358
Melnalksnis	α_1	1.46445	0.07016	1.32406	1.60483	1.35240	1.63931
	α_2	-53.96222	0.23970	-54.44185	-53.48259	-54.54297	-53.51340
	α_3	19.69977	0.64943	18.40026	20.99928	18.41027	21.28566
Apse	α_1	1.28130	0.05416	1.17293	1.38967	1.17568	1.38330
	α_2	-49.96142	0.52199	-51.00591	-48.91693	-51.22481	-48.88708
	α_3	26.03085	0.89292	24.24412	27.81759	24.60099	28.34856
Baltalksnis	α_1	1.36976	0.08685	1.19597	1.54354	1.18365	1.53191
	α_2	-56.11828	0.34034	-56.79929	-55.43727	-56.60976	-55.16017
	α_3	17.84767	1.00455	15.83756	19.85777	16.71816	20.70120

Virsaugstuma augšanas gaitas vienādojumam statistiskie rādītāji ar 2017. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām ir augsti (2.4. tabula), gan to pārbaudot uz koeficientu aprēķināšanā izmantotajiem datiem (dati bez autokorelācijas), gan arī koeficientu aprēķināšanā neizmantotajiem datiem (tie meža elementi, kas atbilst metodikas sadaļā aprakstītajiem kritērijiem, bet izslēgti no aprēķiniem autokorelācijas dēļ).

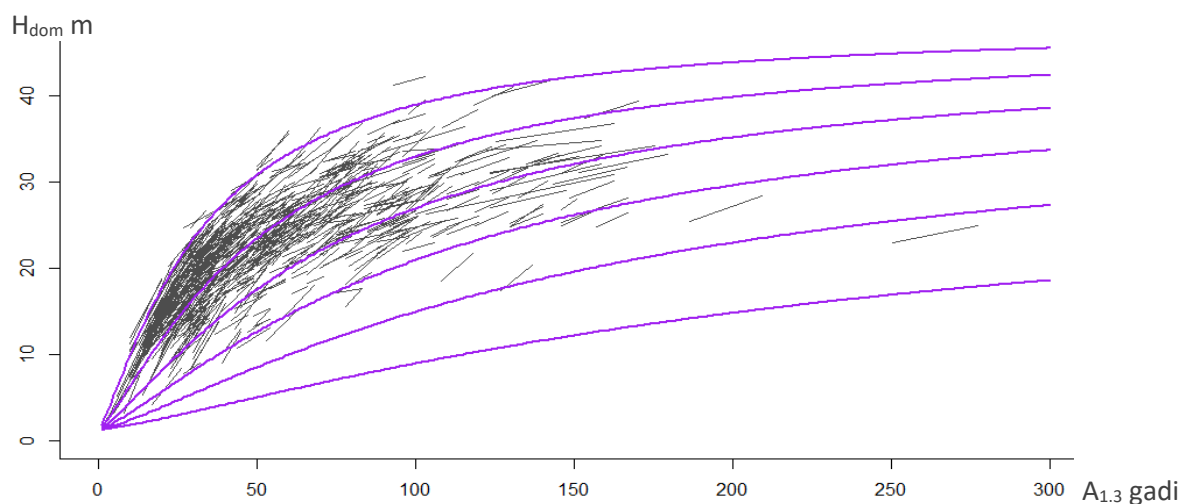
Tabula 2.4. Meža elementa virsaugstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) prognozētā ikgadējā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji ar 2017. gadā aptuvenajiem koeficientu vērtībām

Dati	Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R ²	N	AIC
Aprēķinos izmantotie dati	P	0.22	0.01	3.49	0.08	0.10	46.55	0.01	0.57	0.609	0.668	0.446	1098	-5017.8
	E	0.34	0.02	6.39	0.10	0.13	38.08	0.02	0.57	0.824	0.698	0.488	698	-2852.5
	B	0.35	0.02	4.65	0.13	0.17	48.19	0.03	0.48	0.647	0.729	0.532	786	-2796.1
	M	0.34	0.01	2.54	0.10	0.12	36.50	0.01	0.31	0.731	0.831	0.690	141	-589.3
	A	0.45	0.03	6.85	0.15	0.20	44.39	0.04	0.43	0.695	0.765	0.585	237	-766.8
	Ba	0.40	0.01	2.48	0.13	0.17	42.18	0.03	0.51	0.624	0.706	0.499	109	-387.8
Aprēķinos naizmantojamie dati	P	0.20	0.00	0.58	0.08	0.09	46.39	0.01	0.60	0.517	0.639	0.408	1472	-6931.8
	E	0.33	0.02	5.82	0.10	0.13	38.31	0.02	0.58	0.885	0.701	0.491	844	-3492.8
	B	0.30	0.00	-0.75	0.12	0.15	50.60	0.02	0.61	0.541	0.636	0.405	944	-3544.3
	M	0.29	0.00	-0.31	0.09	0.11	38.65	0.01	0.40	0.735	0.776	0.603	162	-701.8
	A	0.34	0.01	2.64	0.14	0.17	49.38	0.03	0.56	0.473	0.664	0.441	261	-929.3
	Ba	0.38	0.02	5.59	0.14	0.17	45.53	0.03	0.68	0.546	0.590	0.349	89	-309.0
Visi dati	P	0.21	0.00	1.87	0.08	0.10	46.45	0.01	0.58	0.560	0.653	0.427	2570	-11949.6
	E	0.33	0.02	6.08	0.10	0.13	38.16	0.02	0.58	0.856	0.700	0.490	1542	-6350.8
	B	0.32	0.01	1.90	0.13	0.16	49.42	0.03	0.53	0.598	0.692	0.480	1730	-6338.1
	M	0.31	0.00	1.11	0.09	0.12	37.35	0.01	0.35	0.732	0.809	0.654	303	-1296.3
	A	0.39	0.02	4.93	0.14	0.18	46.63	0.03	0.46	0.612	0.739	0.546	498	-1695.6
	Ba	0.39	0.02	3.85	0.14	0.17	43.21	0.03	0.58	0.596	0.662	0.439	198	-702.7

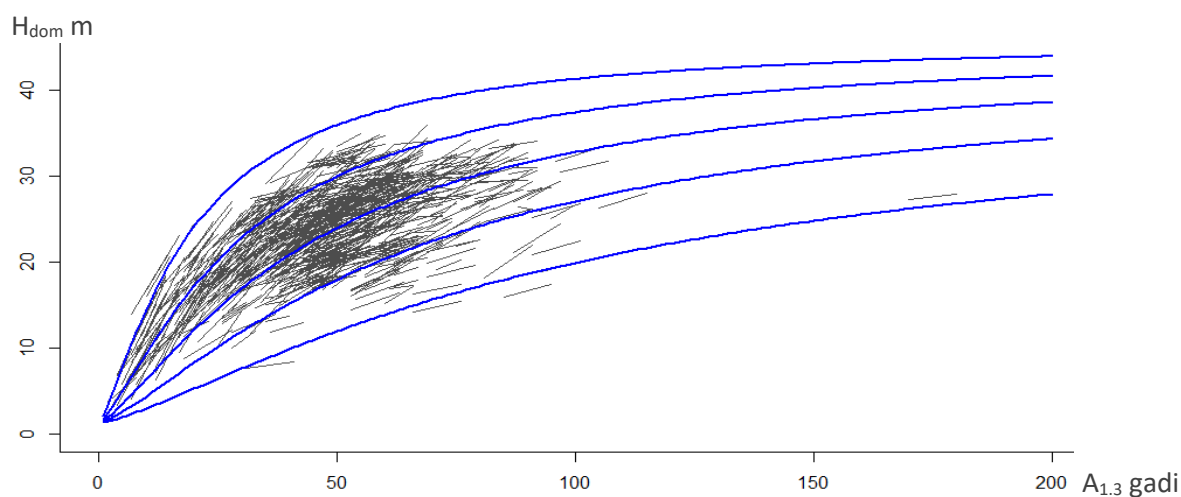
Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība;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



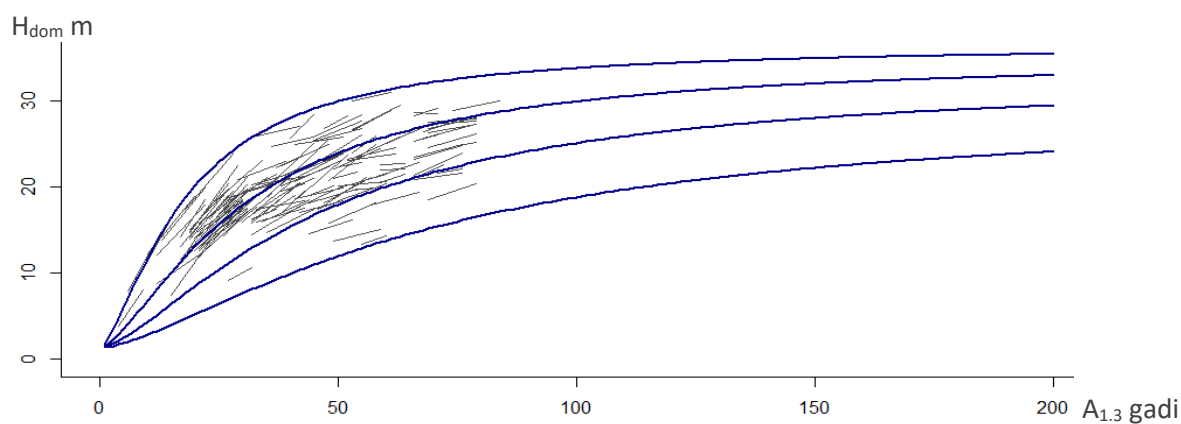
2.8. attēls. Priedes uzmērītās virsaugstuma (H_{dom}) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aptuvenā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m).



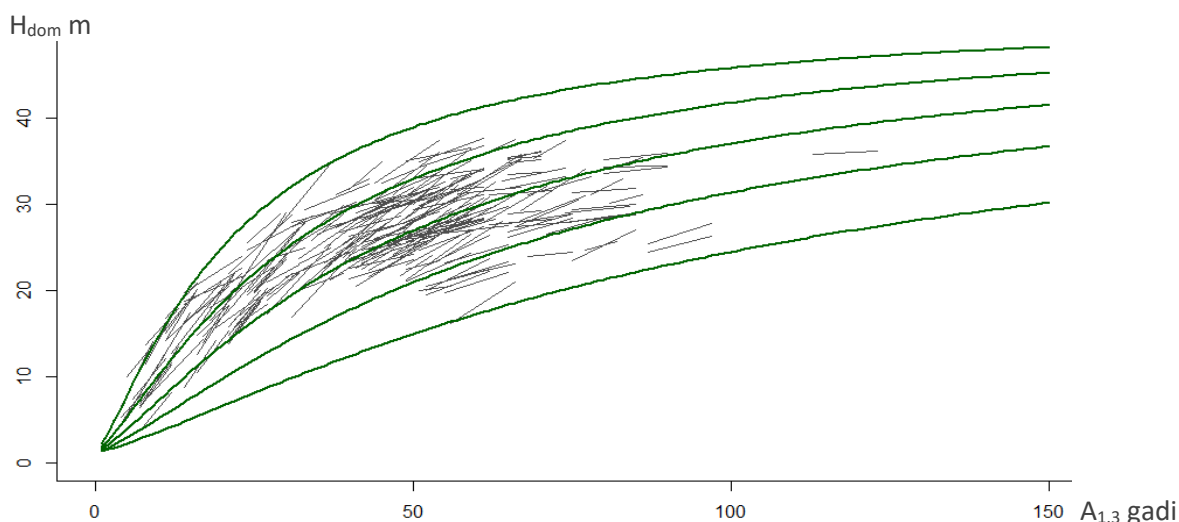
2.9. attēls. Egles uzmērītās virsaugstuma (H_{dom}) izmaiņas atkarībā no krūšaugsstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugsstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m).



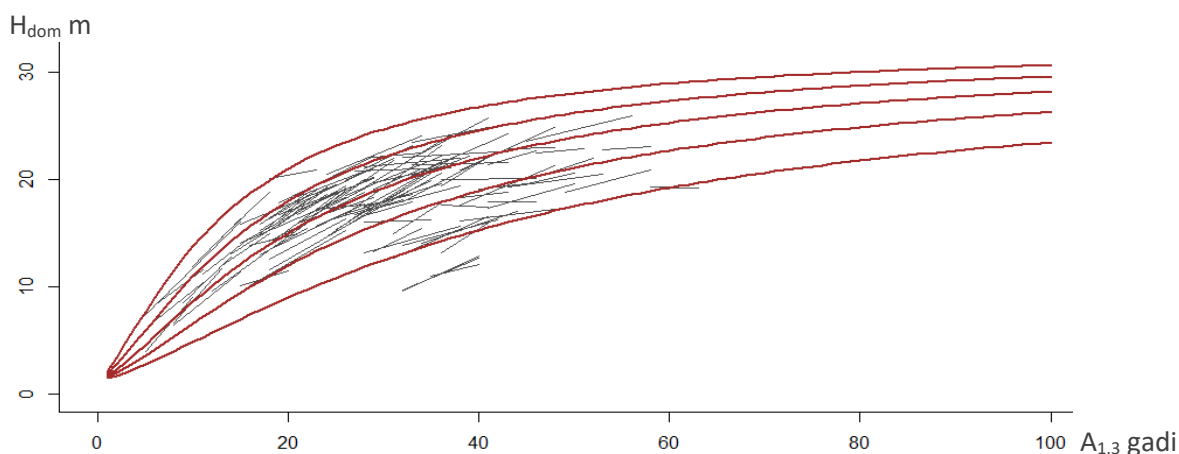
2.10. attēls. Bērza uzmērītās virsaugstuma (H_{dom}) izmaiņas atkarībā no krūšaugsstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugsstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 36; 30; 24; 18; 12$ m).



2.11. attēls. Melnalkšņa uzmērītās virsaugstuma (H_{dom}) izmaiņas atkarībā no krūšaugsstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugsstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 30; 24; 18; 12$ m).



2.12. attēls. Apses uzmērītās virsaugstuma (H_{dom}) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{50} = 39; 33; 27; 21; 15$ m).



2.13. attēls. Baltalkšņa uzmērītās virsaugstuma (H_{dom}) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 20 gadi ($H_{20} = 21; 18; 15; 12; 9$ m).

2.3. Caurmēra augšanas gaitas modelis

2.3.1. Materiāls un metodika

Datu analīzē izmantoja datus par 1831 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paaudzes vienā stāvā esošus kokus) no 992 MSI 2014. - 2016. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- ✓ meža elementi ir P1st (447 meža elementi), E1st (323), B1st (441), A1st (79), M1st (112), Ba1st (77), E2st (352);
- ✓ katrā uzmērīšanas ciklā meža elementam uzmērīti vismaz 3 dzīvi koki;
- ✓ visās uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums;
- ✓ starpinventarizācijas periodā parauglaukumā nocirsto koku šķērslaukums nepārsniedz 5% no sākotnēji uzmērītā kokaudzes šķērslaukuma;
- ✓ meža elementa aprēķinātais caurmēra tekošais ikgadējais pieaugums neatšķiras vairāk kā divas standartnovirzes no meža elementa vecuma desmitgades aritmētiski vidējā caurmēra tekošā ikgadējā pieauguma.

Lai izvairītos no autokorelācijas, analizē no viena meža elementa izmanto tikai viena perioda datus. Primāri tiek izmantoti garākā perioda (pirmā un trešā cikla) dati, bet, ja šie dati neatbilst iepriekšminētajiem nosacījumiem, tad nākošā prioritāte ir pēdējā perioda (otrā un trešā cikls) dati.

Meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņu aproksimācijai pārbaudīts iepriekš izstrādātais vienādojums, kas balstīts uz vispārinātās algebriskās diferences pieeju, tādējādi caurmēra pieaugumu var prognozēt zinot tikai meža elementa vidējo caurmēru un krūšaugstuma vecumu, bet nav nepieciešama informācija par bonitāti. Algebriskās diferences vienādojums ir papildināts vēl ar audzes I stāva biežības rādītāju, kas raksturo koku savstarpējo konkurenci (Donis et al., 2015).

Caurmēra augšanas gaitas aproksimācijai pārbaudīts iepriekš izstrādātais Hossfeld IV vienādojuma (Кивисте, 1988) vispārinātās algebriskās diferences pieejas modelis (Krumland & Eng, 2005), kurš modificēts iekļaujot papildus audzes relatīvo biežību:

$$D_2 = 1.3 + \frac{A_2^{\alpha_1}}{\alpha_2 \cdot \frac{N_1}{N_{max}} + 100 \cdot \alpha_3 \cdot X_0 + X_0 \cdot A_2^{\alpha_1}} \quad (2.2)$$

$$X_0 = \frac{\frac{A_1^{\alpha_1}}{D_1 - 1.3} - \alpha_2 \cdot \frac{N_1}{N_{max}}}{100 \cdot \alpha_3 + A_1^{\alpha_1}} \quad (2.2.1)$$

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

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

<i>kur</i>	D_2	– meža elementa vidējais caurmērs aktualizācijas perioda beigās, cm;
	D_1	– meža elementa vidējais caurmērs aktualizācijas perioda sākumā, cm;
	A_1	– meža elementa vecums 1.3 m augstumā aktualizācijas perioda sākumā, gadi;
	A_2	– meža elementa vecums 1.3 m augstumā aktualizācijas perioda beigās, gadi;
	N_1	– kokaudzes 1. stāva koku skaits aktualizācijas perioda sākumā, ha ⁻¹ ;
	N_{max}	– kokaudzes 1. stāva maksimālais koku skaits aktualizācijas perioda sākumā, ha ⁻¹ ;
	n_{max}	– atsevišķa 1. stāva meža elementa maksimālais koku skaits aktualizācijas perioda sākumā, ha ⁻¹ ;
	ip	– atsevišķa 1. stāva meža elementa īpatsvars;
	H_1	– meža elementa vidējais augstums aktualizācijas perioda sākumā, m;
	$\alpha_{1-3}, \beta_{1-3}$	– koeficienti.

Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modelēta datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows, izmantojot rīku *Non-linear regression*.

Vienādojumu atbilstība izvērtēta izmantojot sekojošus statistiskos rādītājus:

- ✓ vidējā novirze (MRES),
- ✓ procentuālā vidējā novirze MRES%);
- ✓ vidējā absolūtā novirze (AMRES);
- ✓ standartnovirze (RMSE)
- ✓ variācijas koeficients (RMSE%)
- ✓ vidējā kvadrātiskā kļūda (MSE);
- ✓ modeļa efektivitāte (MEF); un
- ✓ dispersijas attiecība (VR).

Rādītāju aprēķināšanas formulas dotas 1. pielikumā.

2.3.2. Rezultāti

Balstoties uz MSI 1., 2. un 3. cikla datiem aproksimētas jaunas koeficientu vērtības meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modelim (2.5. tabula). Jaunās koeficientu vērtības aprēķinātas kombinētajā 5 un 10 gadu cikla variantā vienlaicīgi izmantojot visu trīs ciklu datus, bet analizē no viena meža elementa izmanto tikai viena perioda datus (dati bez autokorelācijas).

Tabula 2.5. Vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) 2017. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

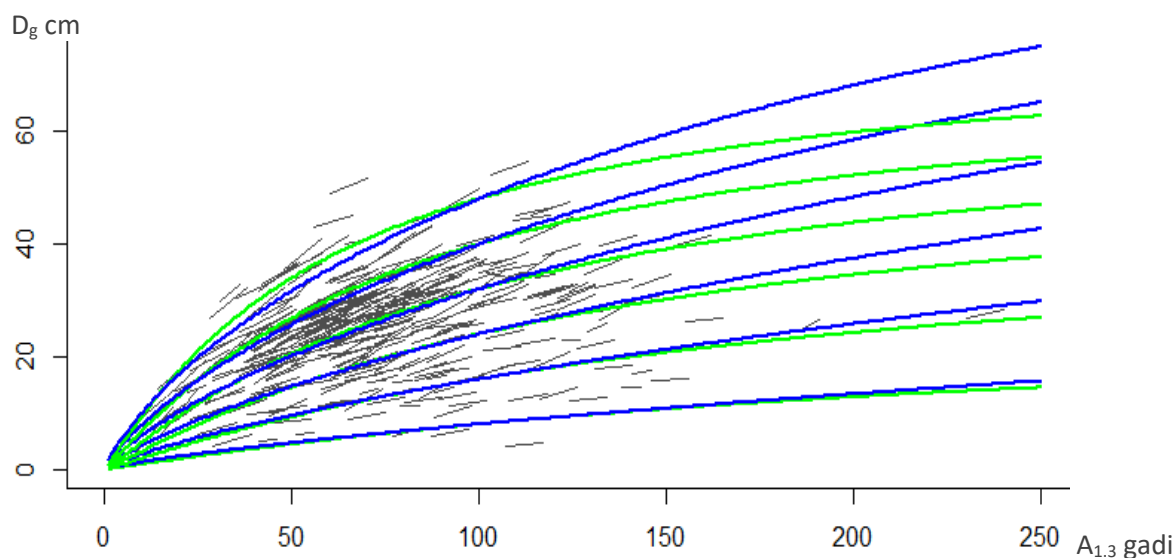
Suga	Koef.	Vērtība	Standard- klūda	95% ticamības intervāls		95% nogrieztais ticamības intervāls	
				Min.	Maks.	Min.	Maks.
Priede	α_1	0.80400	0.04900	0.70600	0.90300	0.71900	0.91500
	α_2	-37.43100	3.39600	-44.22600	-30.63600	-43.75100	-29.55200
	α_3	32.74800	3.74300	25.25800	40.23800	26.18100	41.25800
Egle 1. stāvs	α_1	0.77500	0.05000	0.67400	0.87500	0.67400	0.88200
	α_2	-32.59900	20675.73400	-41404.64800	41339.45000	-16266.26000	-7.22900
	α_3	37.89800	18860.45000	-37701.77600	37777.57200	31.19400	15822.99300
Bērzs	α_1	0.66700	0.06400	0.53800	0.79700	0.60400	0.93500
	α_2	-31.73000	9.87500	-51.48900	-11.97100	-42.52500	-1.25000
	α_3	38.32900	9.40700	19.50600	57.15200	1.03700	53.83300
Melnalksnis	α_1	0.75871	0.05362	0.65141	0.86601	0.63524	0.86926
	α_2	-45.65368	2.00099	-49.65765	-41.64971	-48.62037	-40.40774
	α_3	22.65660	3.86708	14.91860	30.39460	17.25842	32.40529
Apse	α_1	1.04886	0.04474	0.95935	1.13838	0.96162	1.12459
	α_2	-33.05705	0.81750	-34.69286	-31.42125	-33.05697	-30.39743
	α_3	32.43731	0.88100	30.67444	34.20019	32.43740	35.22022
Baltalksnis	α_1	0.84046	0.10159	0.63717	1.04375	0.71752	1.08660
	α_2	-3.19967	803.70337	-1611.40641	1605.00706	-2266.71825	-0.40421
	α_3	1.16266	257.58632	-514.26638	516.59171	0.42254	857.29686
Egle 2. stāvs	α_1	0.53000	0.02100	0.48800	0.57300	0.49500	0.57000
	α_2	-33.84400	0.10100	-34.04700	-33.64100	-33.84400	-33.48200
	α_3	36.25700	0.09700	36.06200	36.45100	36.25700	36.60100

Vidējā caurmēra augšanas gaitas vienādojumam statistiskie rādītāji ar 2016.gadā ieteiktajām un ar 2017. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām ir augsti un savstarpēji ļoti līdzīgi (2.6. tabula). Jāatzīmē, ka statistiskie rādītāji aprēķināti gan koeficientu aprēķināšanā izmantotajiem datiem (dati bez auto korelācijas), gan arī koeficientu aprēķināšanā neizmantotajiem datiem (tie meža elementi, kas atbilst metodikas sadaļā aprakstītajiem kritērijiem, bet izslēgti no aprēķiniem autokorelācijas dēļ).

Ekstrapolējot datus ilgākā laika posmā konstatēts, ka priedei un baltalksnim loģiskākas caurmēra izmaiņas tiek prognozētas ar 2016. gadā ieteiktajām koeficientu vērtībām, bet eglei (1. un 2. stāvā) bērzam, melnalksnim un baltalksnim loģiskākas caurmēra izmaiņas tiek prognozētas ar 2017. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām (2.14. – 2.21. attēli).

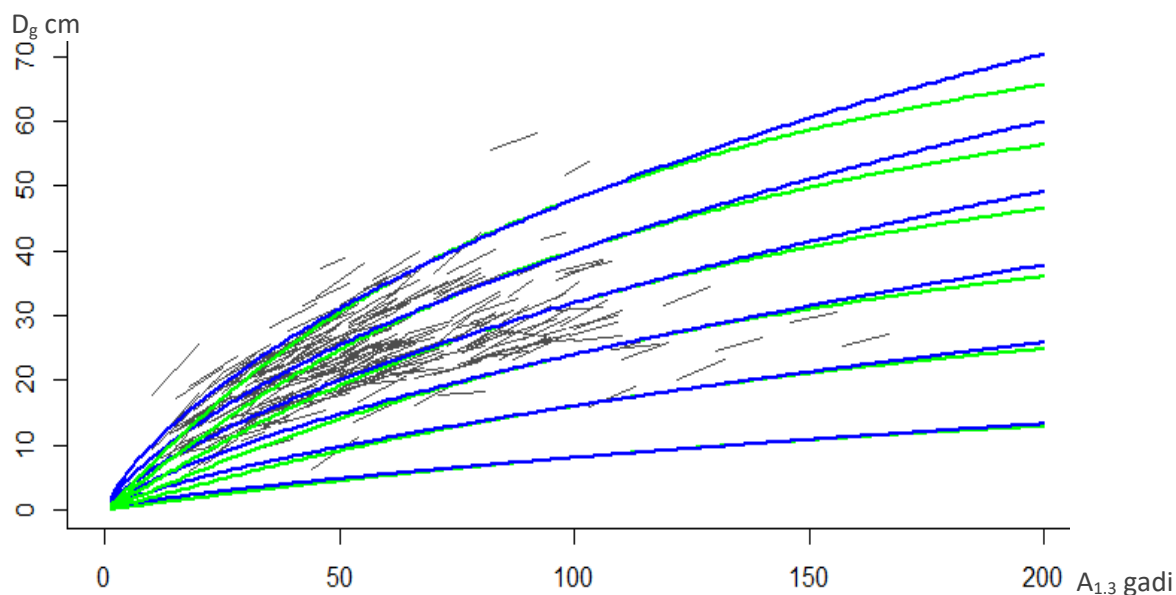
Tabula 2.6. Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) prognozētā ikgadējā caurmēra pieauguma statistiskie rādītāji ar 2016. gadā ieteiktajām un ar 2017. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām

Dati	Gads	Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R2	N	AIC
Aprēķinos izmantotie dati	2016	P	0.28	0.03	9.85	0.11	0.15	52.40	0.02	0.93	0.99	0.549	0.301	447	-1710
		E 1.st.	0.35	-0.03	-8.25	0.13	0.17	49.15	0.03	1.15	1.22	0.498	0.248	323	-1126
		B	0.29	-0.02	-5.99	0.13	0.19	65.74	0.04	1.29	1.17	0.409	0.167	441	-1449
		M	0.28	-0.04	-14.14	0.10	0.14	49.70	0.02	1.14	0.69	0.390	0.152	112	-439
		A	0.55	-0.03	-5.90	0.20	0.28	51.08	0.08	2.36	1.50	0.071	0.005	79	-197
		Ba	0.31	-0.03	-8.17	0.11	0.13	42.23	0.02	0.93	0.70	0.485	0.235	77	-309
		E 2.st.	0.16	-0.08	-47.86	0.12	0.15	94.84	0.02	1.94	0.78	0.191	0.036	352	-1314
	2017	P	0.28	0.02	7.37	0.10	0.13	47.81	0.02	0.78	0.57	0.538	0.290	447	-1792
		E 1.st.	0.35	0.03	8.86	0.12	0.15	43.65	0.02	0.91	0.54	0.456	0.208	323	-1203
		B	0.29	0.03	10.69	0.12	0.16	54.38	0.03	0.89	0.28	0.405	0.164	441	-1617
		M	0.28	0.01	2.78	0.09	0.13	45.21	0.02	0.94	0.50	0.397	0.157	112	-461
		A	0.55	0.02	3.68	0.17	0.24	42.38	0.05	1.62	0.71	0.057	0.003	79	-227
		Ba	0.31	0.02	6.29	0.10	0.13	40.25	0.02	0.84	0.49	0.480	0.230	77	-317
		E 2.st.	0.16	0.02	10.52	0.09	0.11	69.49	0.01	1.04	0.25	0.233	0.054	352	-1533
Aprēķinos neizmantotie dati	2016	P	0.28	0.03	9.91	0.12	0.16	56.73	0.03	0.91	0.72	0.490	0.241	732	-2693
		E 1.st.	0.36	-0.03	-8.36	0.15	0.20	55.72	0.04	1.06	0.93	0.462	0.213	540	-1745
		B	0.29	-0.02	-6.31	0.14	0.20	68.59	0.04	1.08	0.74	0.389	0.151	758	-2454
		M	0.29	-0.03	-9.32	0.11	0.15	52.22	0.02	0.96	0.41	0.375	0.141	174	-660
		A	0.56	0.00	-0.27	0.19	0.24	43.70	0.06	1.51	1.01	0.248	0.062	118	-330
		Ba	0.30	-0.03	-11.03	0.13	0.16	53.38	0.03	1.14	0.46	0.272	0.074	122	-443
		E 2.st.	0.16	-0.08	-48.49	0.13	0.16	101.87	0.03	1.65	0.54	0.178	0.032	584	-2134
	2017	P	0.28	0.02	6.46	0.11	0.15	53.19	0.02	0.80	0.43	0.487	0.237	732	-2787
		E 1.st.	0.36	0.03	8.26	0.13	0.18	50.93	0.03	0.89	0.44	0.433	0.187	540	-1843
		B	0.29	0.02	8.37	0.13	0.18	61.86	0.03	0.88	0.22	0.381	0.145	758	-2610
		M	0.29	0.02	6.64	0.11	0.14	49.98	0.02	0.88	0.30	0.396	0.157	174	-675
		A	0.56	0.04	7.14	0.16	0.22	38.95	0.05	1.20	0.48	0.233	0.055	118	-358
		Ba	0.30	0.01	3.04	0.12	0.15	50.60	0.02	1.02	0.34	0.274	0.075	122	-456
		E 2.st.	0.16	0.01	8.26	0.10	0.13	79.99	0.02	1.02	0.19	0.207	0.043	584	-2416
Visi dati	2016	P	0.28	0.03	9.89	0.11	0.15	55.03	0.02	0.92	0.81	0.511	0.261	1179	-4406
		E 1.st.	0.36	-0.03	-8.32	0.14	0.19	53.25	0.04	1.09	1.02	0.473	0.223	863	-2871
		B	0.29	-0.02	-6.19	0.14	0.20	67.42	0.04	1.15	0.87	0.394	0.155	1199	-3908
		M	0.28	-0.03	-11.18	0.11	0.14	50.91	0.02	1.02	0.50	0.376	0.142	286	-1105
		A	0.56	-0.01	-2.51	0.19	0.26	46.25	0.07	1.82	1.19	0.174	0.030	197	-532
		Ba	0.31	-0.03	-9.90	0.12	0.15	48.71	0.02	1.07	0.54	0.353	0.125	199	-755
		E 2.st.	0.16	-0.08	-48.25	0.12	0.16	98.99	0.02	1.74	0.61	0.183	0.033	936	-3453
	2017	P	0.28	0.02	6.81	0.11	0.14	51.12	0.02	0.79	0.48	0.505	0.255	1179	-4580
		E 1.st.	0.36	0.03	8.48	0.13	0.17	48.24	0.03	0.89	0.47	0.440	0.193	863	-3042
		B	0.29	0.03	9.23	0.13	0.17	59.07	0.03	0.88	0.24	0.388	0.151	1199	-4225
		M	0.28	0.01	5.15	0.10	0.14	47.89	0.02	0.90	0.36	0.392	0.154	286	-1140
		A	0.56	0.03	5.76	0.17	0.22	39.91	0.05	1.35	0.56	0.160	0.026	197	-590
		Ba	0.31	0.01	4.33	0.11	0.14	46.25	0.02	0.96	0.39	0.351	0.123	199	-775
		E 2.st.	0.16	0.01	9.13	0.09	0.12	75.91	0.01	1.03	0.21	0.216	0.047	936	-3950
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; R - korelācijas koeficients; R2 - determinācijas indekss; N - elementu skaits; AIC - Akaikes indekss.															



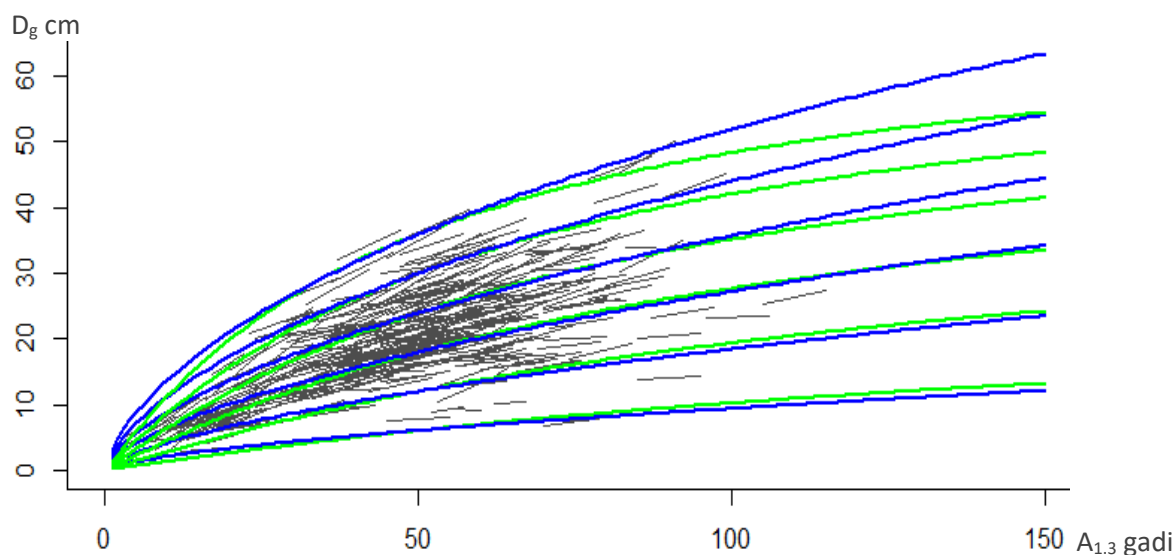
2.14. attēls. Priedes uzmērītās vidējā caurmēra (D_g) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($D_{100} = 8; 16; 24; 32; 40; 48$ cm).

Zaļā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā ieteiktajiem koeficientiem, zilā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



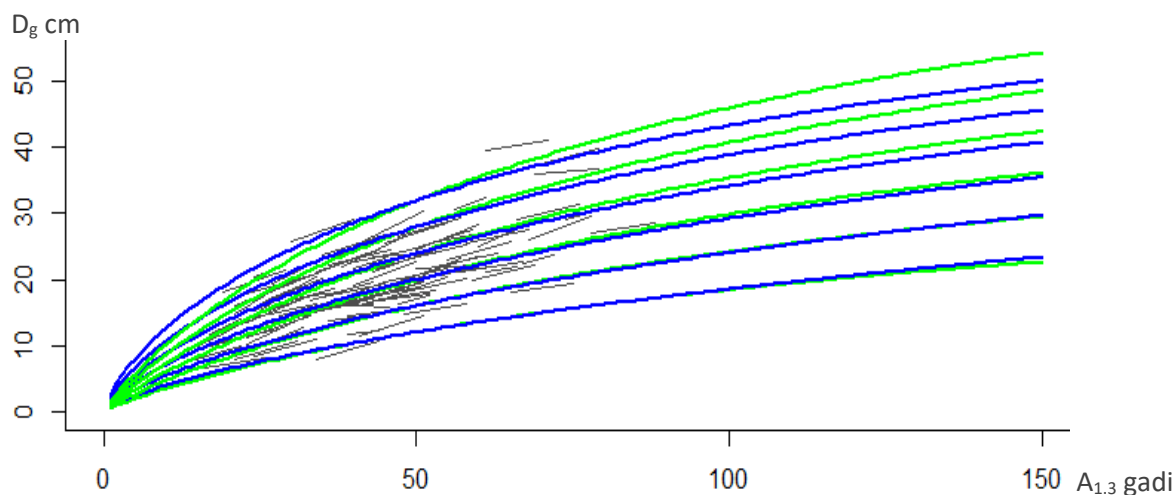
2.15. attēls. Egles uzmērītās vidējā caurmēra (D_g) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($D_{100} = 8; 16; 24; 32; 40; 48$ cm) un pie 1. stāva relatīvās biezības 0.55.

Zaļā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā ieteiktajiem koeficientiem, zilā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



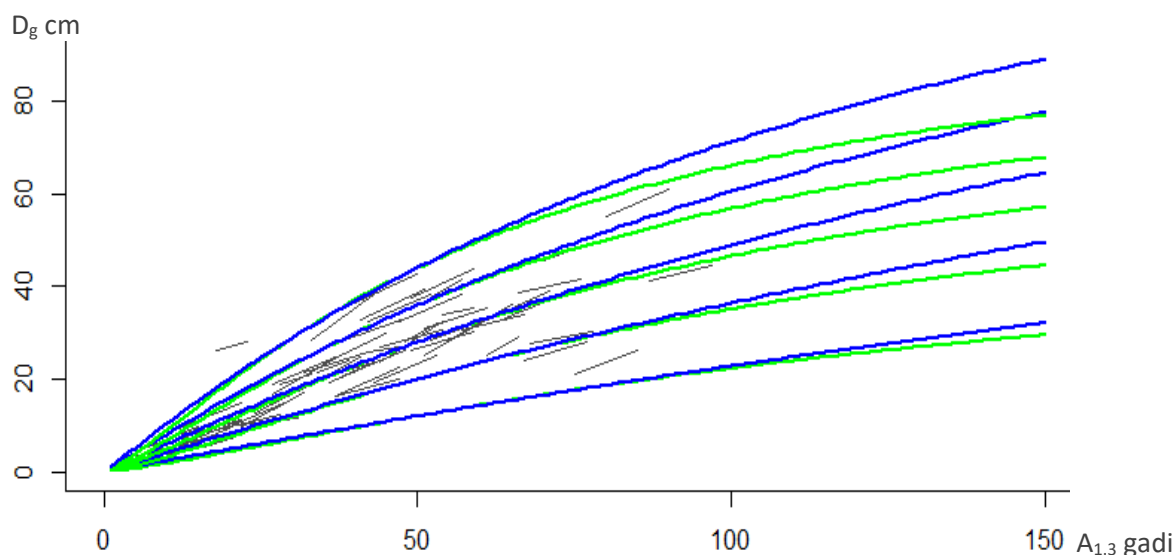
2.16. attēls. Bērza uzmērītās vidējā caurmēra (D_g) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($D_{50} = 6; 12; 18; 24; 36$ cm) un pie 1. stāva relatīvās biezības 0.55.

Zaļā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā ieteiktajiem koeficientiem, zilā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



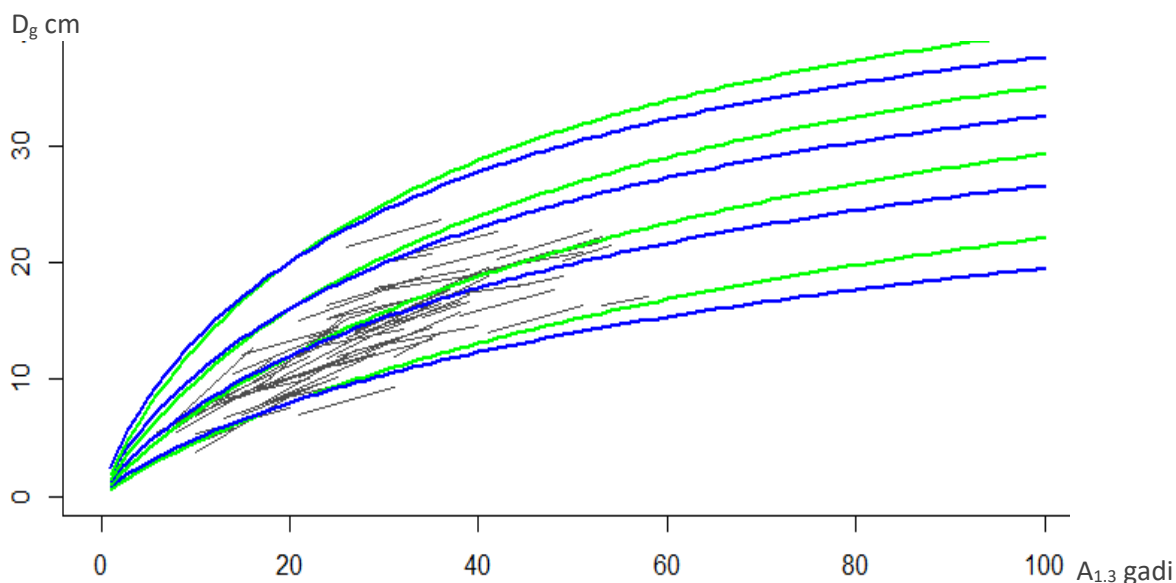
2.17. attēls. Melnalkšņa uzmērītās vidējā caurmēra (D_g) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($D_{50} = 8; 12; 16; 20; 24; 28$ cm) un pie 1. stāva relatīvās biezības 0.55.

Zaļā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā ieteiktajiem koeficientiem, zilā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



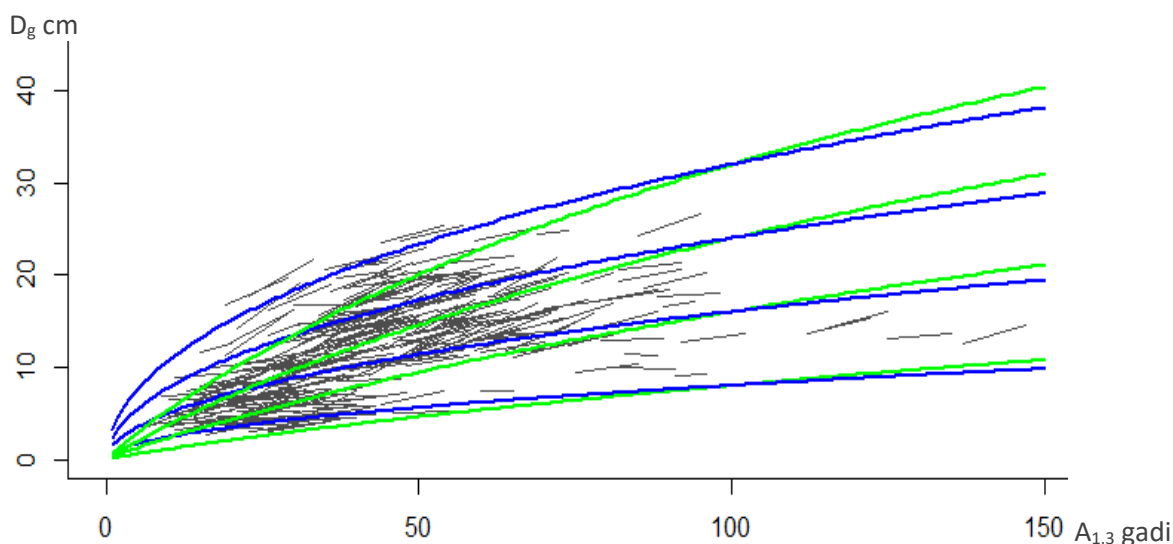
2.18. attēls. Apses uzmērītās vidējā caurmēra (D_g) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($D_{50} = 12; 20; 28; 36; 44$ cm) un pie 1. stāva relatīvās biezības 0.55.

Zaļā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā ieteiktajiem koeficientiem, zilā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



2.19. attēls. Baltalkšņa uzmērītās vidējā caurmēra (D_g) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 20 gadi ($D_{20} = 8; 16; 24; 32; 40; 48$ cm) un pie 1. stāva relatīvās biezības 0.55.

Zaļā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā ieteiktajiem koeficientiem, zilā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



2.20. attēls. Egles 2. stāva uzņēmītās vidējā caurmēra (D_g) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($D_{100} = 8; 16; 24; 32$ cm) un pie 1. stāva relatīvās biezības 0.55.

Zaļā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā ieteiktajiem koeficientiem, zilā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.

2.4 Šķērslaukuma izmaiņu modelis

2.4.1. Materiāls un metodika

Meža elementa ikgadējā šķērslaukuma izmaiņu prognozēšanai, balstoties uz 2014. – 2016. gada pārmērījuma datiem, aproksimētas jaunas koeficientu vērtības iepriekšējā gadā izstrādātajam vienādojumam:

$$g_2 = g_1 + \left(\alpha_1 + \alpha_2 \cdot \ln(g_1) + \alpha_3 \cdot \ln(A_1) + \alpha_4 \cdot z_H + \alpha_5 \cdot \frac{N_1}{N_{max}} \right) (A_2 - A_1) \quad (2.3)$$

- kur
- g_2 – meža elementa šķērslaukums perioda beigās, $m^2 ha^{-1}$;
 - g_1 – meža elementa šķērslaukums perioda sākumā, $m^2 ha^{-1}$;
 - A_1 – meža elementa krūšaugstuma vecums perioda sākumā, gadi;
 - A_2 – meža elementa krūšaugstuma vecums perioda beigās, gadi;
 - z_H – pēc 2.1. formulas prognozētais piecu gadu vidējais periodiskais augstuma pieaugums, m;
 - N_{max} – maksimālais mežaudzes I stāva koku skaits, ha^{-1} (2.2. formula);
 - N_1 – mežaudzes 1. stāva koku skaits pirmajā uzmērīšanas reizē, ha^{-1} ;
 - α_{1-4} – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas.

Tāpat meža elementa ikgadējā šķērslaukuma izmaiņu prognozēšanai aproksimēts jauns vienādojums:

$$G_2 = G_1 + \left(\alpha_1 + \alpha_2 \cdot \frac{A_1}{100} + \alpha_3 \cdot A_1^{-2} + \alpha_4 \cdot \frac{G_1}{A_1} + \alpha_5 \cdot \frac{GL}{A_1} + \alpha_6 \cdot \frac{SI}{A_1} \right) (A_2 - A_1) \quad (2.4)$$

- kur
- G_2 – meža elementa šķērslaukums perioda beigās, $m^2 ha^{-1}$;
 - G_1 – meža elementa šķērslaukums perioda sākumā, $m^2 ha^{-1}$;
 - 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), $m^2 ha^{-1}$;
- SI – pēc 2.1. formulas prognozētais vidējais augstums krūšaugstuma bāzes vecumā (P, E 100 gadi; B, M, A 50 gadi; Ba 20 gadi), m;
- α_{1-6} – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas.

Šķērslaukumu izmaiņas modeļi (2.3. un 2.4. formula) izstrādāti gan I stāva, gan II stāva meža elementu šķērslaukuma izmaiņu modelēšanai. Šo modeļu datu analīzē izmanto 2453 meža elementu datus no 2014.–2016. gadā atkārtoti uzmērītajiem 1144 MSI parauglaukumiem, kas atbilst sekojošiem kritērijiem:

- ✓ meža elementa suga ir priede (492 meža elements), egļe (885), bērzi (673), melnalksnis (140), apse (118), baltalksnis (145);
- ✓ meža elementam pirmajā uzmērīšanas reizē konstatēti vismaz trīs dzīvie koki;
- ✓ abās uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums;
- ✓ nevienā no uzmērīšanas cikliem parauglaukumā nav vecās paaudzes koki;
- ✓ parauglaukumā starp inventarizācijas periodā nav konstatēta koku ciršana.

Lai izvairītos no autokorelācijas, analīzē no viena meža elementa izmanto tikai viena perioda datus. Primāri tiek izmantoti garākā perioda (pirmā un trešā cikla) dati, bet, ja šie dati neatbilst iepriekšminētajiem nosacījumiem, tad nākošā prioritāte ir pēdējā perioda (otrā un trešā cikls) dati.

Meža elementa šķērslaukuma izmaiņas modelētas datorprogrammā MS Excel 2010, izmantojot *Data analysis* rīku *Regression*.

Vienādojumu atbilstība izvērtēta izmantojot sekojošus statistiskos rādītājus:

- ✓ vidējā novirze (MRES),
- ✓ procentuālā vidējā novirze (MRES%);
- ✓ vidējā absolūtā novirze (AMRES);
- ✓ standartnovirze (RMSE)
- ✓ variācijas koeficients (RMSE%)
- ✓ vidējā kvadrātiskā kļūda (MSE);
- ✓ modeļa efektivitāte (MEF); un
- ✓ dispersijas attiecība (VR).

Rādītāju aprēķināšanas formulas dotas 1. pielikumā.

2.4.2. Rezultāti

Iepriekšējos gados izstrādātajam šķērslaukuma izmaiņu modelim (2.3. formula) 2017. gadā aproksimētas jaunas koeficientu vērtības (2.7. tabula), pie tam modelī ikgadējā šķērslaukuma pieauguma aprēķins papildināts ar brīvo locekli.

Aproksimētas koeficientu vērtības jaunam šķērslaukuma izmaiņu modelim (2.8. tabula). Jaunas vienādojums teorētiski uzskatāms par piemērotāku otrā stāva meža elementu šķērslaukuma izmaiņu prognozēšanai, jo vienādojumā koku konkurences atspoguļošanai tiek ņemts vērā ne tikai pirmā stāva, bet arī otrā stāva taksācijas rādītāji.

Lai gan abiem vienādojumiem atsevišķām koku sugām atsevišķi koeficienti (faktoriālie mainīgie) ir statistiski nebūtiski (2.7. un 2.8. tabulas), tie tik un tā tiek saglabāti vienādojumos, lai tiktu saglabāta vienveidīga vienādojuma forma, kas atvieglo šo vienādojumu praktisko pielietojumu.

Tabula 2.7. Iepriekšējos gados izstrādātā šķērslaukuma izmaiņu modeļa (2.3. formula) 2017. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un statistiskie rādītāji

Koka suga	Koficientu statistiskie rādītāji				Vienādojuma statistiskie rādītāji			
	koeficients	vērtība	standartklūda	p-vērtība	korelācijas koeficients	standartklūda	elementu skaits	būtiskums
Priede	α_1	1.75200	0.12771	0.0000	0.7678	0.1794	492	0.0000
	α_2	0.22175	0.01302	0.0000				
	α_3	-0.44801	0.02813	0.0000				
	α_4	-0.46411	0.13949	0.0009				
	α_5	-0.11195	0.04286	0.0093				
Egle	α_1	0.61622	0.08281	0.0000	0.7151	0.2214	885	0.0000
	α_2	0.21421	0.01111	0.0000				
	α_3	-0.18652	0.01954	0.0000				
	α_4	0.50847	0.09509	0.0000				
	α_5	-0.22325	0.03442	0.0000				
Bērzs	α_1	1.14654	0.13819	0.0000	0.6931	0.2362	673	0.0000
	α_2	0.23830	0.01308	0.0000				
	α_3	-0.31848	0.03387	0.0000				
	α_4	0.00946	0.09063	0.9169				
	α_5	-0.30633	0.04383	0.0000				
Melnalksnis	α_1	1.05593	0.42359	0.0139	0.7451	0.1879	140	0.0000
	α_2	0.21727	0.02022	0.0000				
	α_3	-0.29200	0.09418	0.0024				
	α_4	-0.03226	0.34517	0.9257				
	α_5	-0.19303	0.08070	0.0181				
Apse	α_1	1.93066	0.44284	0.0000	0.7530	0.3791	118	0.0000
	α_2	0.46403	0.04992	0.0000				
	α_3	-0.55307	0.11243	0.0000				
	α_4	-0.09535	0.27633	0.7307				
	α_5	-0.60840	0.17714	0.0008				
Baltalksnis	α_1	2.12187	0.61968	0.0008	0.7348	0.3849	145	0.0000
	α_2	0.43478	0.04006	0.0000				
	α_3	-0.65045	0.14902	0.0000				
	α_4	-0.55860	0.47019	0.2368				
	α_5	-0.39992	0.14703	0.0074				

Tabula 2.8. 2017. gadā izstrādātā šķērslaukuma izmaiņu modeļa (2.4. formula) aproksimētās koeficientu vērtības un statistiskie rādītāji

Koka suga	Koficientu statistiskie rādītāji				Vienādojuma statistiskie rādītāji			
	koeficients	vērtība	standartklūda	p-vērtība	korelācijas koeficients	standartklūda	elementu skaits	būtiskums
Priede	α_1	0.18916	0.03216	0.0000	0.8136	0.1630	492	0.0000
	α_2	-0.07944	0.03193	0.0132				
	α_3	-9.31479	1.48963	0.0000				
	α_4	0.92510	0.04714	0.0000				
	α_5	-0.37499	0.03547	0.0000				
	α_6	0.14338	0.01662	0.0000				
Egle	α_1	0.21188	0.02953	0.0000	0.8461	0.1689	885	0.0000
	α_2	-0.12098	0.03619	0.0009				
	α_3	13.62128	3.02530	0.0000				
	α_4	1.06915	0.03245	0.0000				
	α_5	-0.17308	0.01155	0.0000				
	α_6	0.02417	0.01958	0.2173				
Bērzs	α_1	0.34223	0.03258	0.0000	0.7941	0.1993	673	0.0000
	α_2	-0.45573	0.05344	0.0000				
	α_3	-2.06353	0.49522	0.0000				
	α_4	1.00152	0.04605	0.0000				
	α_5	-0.25272	0.01558	0.0000				
	α_6	0.04876	0.01047	0.0000				
Melnalksnis	α_1	0.23645	0.08027	0.0038	0.8456	0.1509	140	0.0000
	α_2	-0.24921	0.13263	0.0624				

Koka suga	Koficientu statistiskie rādītāji				Vienādojuma statistiskie rādītāji			
	koeficients	vērtība	standartklūda	p-vērtība	korelācijas koeficients	standartklūda	elementu skaits	būtiskums
	α_3	5.36415	5.71301	0.3495				
	α_4	1.05271	0.06839	0.0000				
	α_5	-0.20953	0.03522	0.0000				
	α_6	0.02142	0.05577	0.7015				
Apse	α_1	0.49877	0.13330	0.0003	0.8242	0.3278	118	0.0000
	α_2	-0.67513	0.23614	0.0051				
	α_3	7.76113	5.37882	0.1518				
	α_4	1.41832	0.11873	0.0000				
	α_5	-0.18657	0.03860	0.0000				
	α_6	-0.02458	0.05013	0.6249				
Baltalksnis	α_1	0.51025	0.15398	0.0012	0.8214	0.3248	145	0.0000
	α_2	-0.96143	0.35707	0.0080				
	α_3	9.24822	7.93726	0.2459				
	α_4	1.17040	0.08084	0.0000				
	α_5	-0.28978	0.04070	0.0000				
	α_6	-0.06710	0.12141	0.5814				

Abiem šķērslaukuma izmaiņu modeļiem ir augsti statistiskie rādītāji gan tos pārbaudot uz modeļa izstādē izmantotajiem datiem, gan arī modeļu izstrādē neizmantotajiem datiem (tie meža elementi, kas atbilst metodikas sadaļā aprakstītajiem kritērijiem, bet izslēgti no aprēķiniem autokorelācijas dēļ). Nedaudz augstāki statistiskie rādītāji ir 2.4. vienādojumam (2.9. un 2.10. tabulas).

Tabula 2.9. Iepriekšējos gados izstrādātā meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modeļa (2.3. formula) prognozētā ikgadējā šķērslaukuma pieauguma statistiskie rādītāji ar 2017. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām

Dati	Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R ²	N	AIC
Aprēķinos izmantotie dati	P	0.33	0.00	0.00	0.12	0.18	54.51	0.03	0.41	0.589	0.768	0.589	492	-1685.4
	E	0.27	0.00	0.00	0.14	0.22	83.29	0.05	0.49	0.511	0.715	0.511	885	-2663.9
	B	0.28	0.00	0.00	0.16	0.24	84.46	0.06	0.52	0.480	0.693	0.480	673	-1937.5
	M	0.29	0.00	0.00	0.13	0.19	65.68	0.04	0.44	0.555	0.745	0.555	140	-463.2
	A	0.60	0.00	0.00	0.26	0.38	63.24	0.14	0.43	0.567	0.753	0.567	118	-224.0
	Ba	0.52	0.00	0.00	0.27	0.39	74.79	0.15	0.46	0.540	0.735	0.540	145	-272.0
Aprēķinos neizmantotie dati	P	0.25	-0.05	-21.90	0.13	0.18	74.37	0.03	0.70	0.700	0.635	0.403	711	-2398.7
	E	0.24	-0.04	-14.99	0.14	0.19	78.61	0.03	0.49	0.656	0.732	0.536	1154	-3877.7
	B	0.24	-0.02	-9.89	0.15	0.22	89.38	0.05	0.58	0.595	0.662	0.438	849	-2600.0
	M	0.25	-0.03	-11.59	0.13	0.17	69.53	0.03	0.52	0.751	0.720	0.518	201	-701.7
	A	0.54	-0.04	-8.25	0.24	0.35	63.93	0.12	0.52	0.836	0.725	0.526	126	-261.8
	Ba	0.50	-0.06	-12.63	0.23	0.32	64.73	0.10	0.50	0.702	0.732	0.535	154	-344.0
Visi dati	P	0.28	-0.03	-11.41	0.13	0.18	64.71	0.03	0.53	0.628	0.701	0.492	1203	-4093.7
	E	0.25	-0.02	-8.05	0.14	0.20	80.96	0.04	0.49	0.579	0.721	0.519	2039	-6521.0
	B	0.26	-0.01	-5.16	0.15	0.22	86.94	0.05	0.55	0.534	0.677	0.458	1522	-4541.3
	M	0.26	-0.02	-6.42	0.13	0.18	67.25	0.03	0.48	0.652	0.729	0.531	341	-1173.8
	A	0.57	-0.02	-4.06	0.25	0.36	62.83	0.13	0.47	0.680	0.736	0.542	244	-494.9
	Ba	0.51	-0.03	-6.40	0.25	0.35	69.24	0.12	0.47	0.608	0.730	0.532	299	-621.3

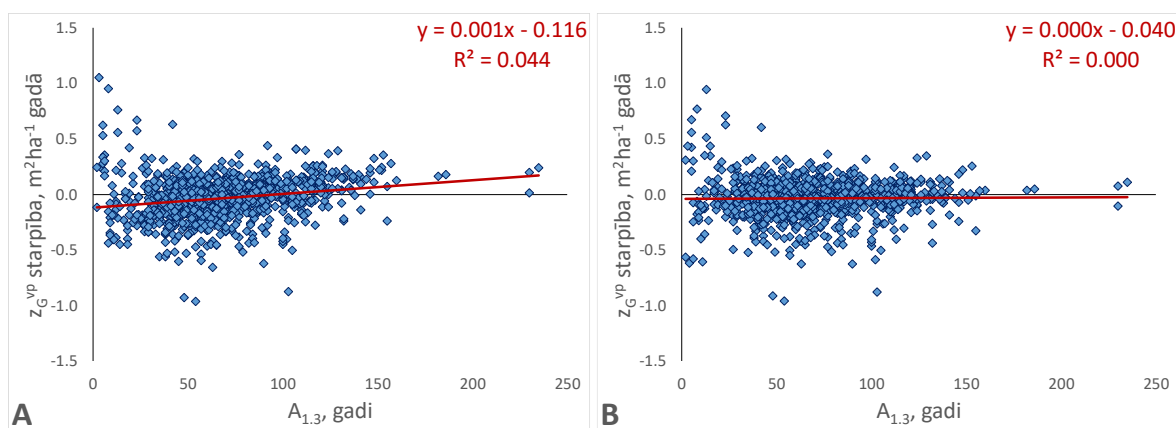
Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE - standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība;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

Tabula 2.10. Šogad izstrādātā meža elementa šķerslaukuma izmaiņu modeļa (2.4. formula) prognozētā ikgadējā šķerslaukuma pieauguma statistiskie rādītāji

Dati	Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R ²	N	AIC
Aprēķinos izmantotie dati	P	0.33	0.00	0.00	0.11	0.16	49.51	0.03	0.34	0.662	0.814	0.662	492	-1779.0
	E	0.27	0.00	0.00	0.11	0.17	63.55	0.03	0.28	0.716	0.846	0.716	885	-3141.7
	B	0.28	0.00	0.00	0.13	0.20	71.26	0.04	0.37	0.631	0.794	0.631	673	-2165.2
	M	0.29	0.00	0.00	0.10	0.15	52.76	0.02	0.28	0.715	0.846	0.715	140	-523.6
	A	0.60	0.00	0.00	0.21	0.33	54.68	0.11	0.32	0.679	0.824	0.679	118	-257.4
	Ba	0.52	0.00	0.00	0.21	0.33	63.13	0.11	0.33	0.675	0.821	0.675	145	-320.2
Aprēķinos neizmantotie dati	P	0.25	-0.06	-24.44	0.12	0.17	67.79	0.03	0.58	0.517	0.704	0.495	711	-2530.4
	E	0.24	-0.03	-12.85	0.10	0.15	61.88	0.02	0.30	0.797	0.844	0.713	1154	-4429.9
	B	0.24	-0.04	-16.66	0.13	0.18	75.56	0.03	0.42	0.836	0.788	0.621	849	-2885.1
	M	0.25	-0.04	-16.80	0.10	0.15	60.02	0.02	0.39	0.835	0.810	0.656	201	-760.9
	A	0.54	-0.07	-12.01	0.19	0.30	55.52	0.09	0.39	0.937	0.808	0.654	126	-297.4
	Ba	0.50	-0.10	-19.49	0.22	0.33	65.34	0.11	0.51	1.006	0.771	0.595	154	-341.1
Visi dati	P	0.28	-0.04	-12.74	0.11	0.17	58.90	0.03	0.44	0.580	0.761	0.579	1203	-4318.8
	E	0.25	-0.02	-6.90	0.10	0.16	62.72	0.02	0.29	0.753	0.844	0.712	2039	-7561.3
	B	0.26	-0.02	-8.68	0.13	0.19	73.43	0.04	0.39	0.728	0.787	0.620	1522	-5054.4
	M	0.26	-0.02	-9.31	0.10	0.15	56.26	0.02	0.33	0.772	0.823	0.678	341	-1294.5
	A	0.57	-0.03	-5.90	0.20	0.31	54.42	0.10	0.35	0.787	0.812	0.660	244	-564.1
	Ba	0.51	-0.05	-9.88	0.21	0.32	63.59	0.10	0.40	0.816	0.790	0.624	299	-671.3

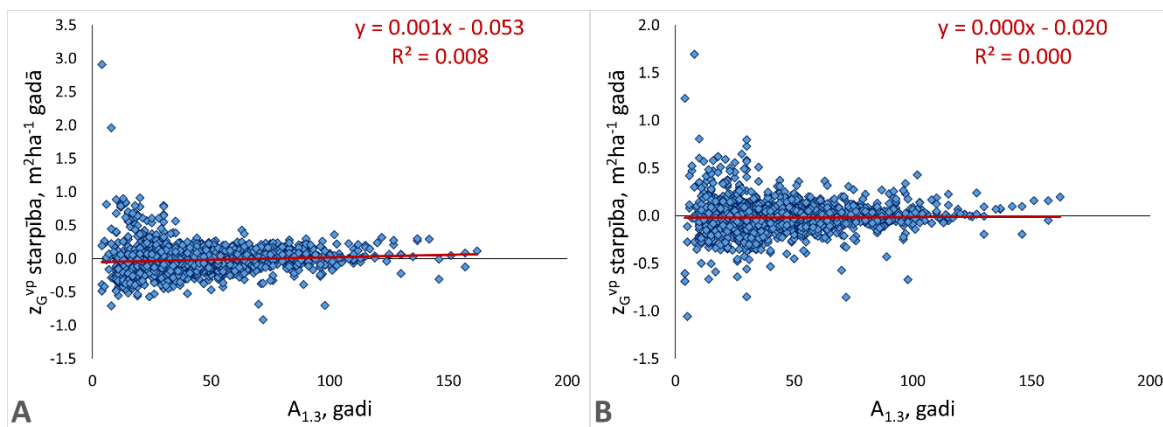
Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība;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

Abiem vienādojumiem visām koku sugām novirzei starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķerslaukuma vidējo periodisko pieaugumu konstatēta vāja lineāra korelācija ar meža elementa vecumu, šķerslaukumu aktualizācijas perioda sākumā un meža elementa augstumu bāzes vecumā (2.21. – 2.38. attēli). Lai gan atsevišķos gadījumos lielā novērojuma skaita dēļ šīs korelācijas ir statistiski būtiskas, tomēr nevar uzskatīt, ka vienādojumi prognozētu kādu sistemātisku novirzi vai novirzei būtu kāda likumsakarība atkarībā no iepriekš pieminētajiem meža elementa taksācijas rādītājiem.



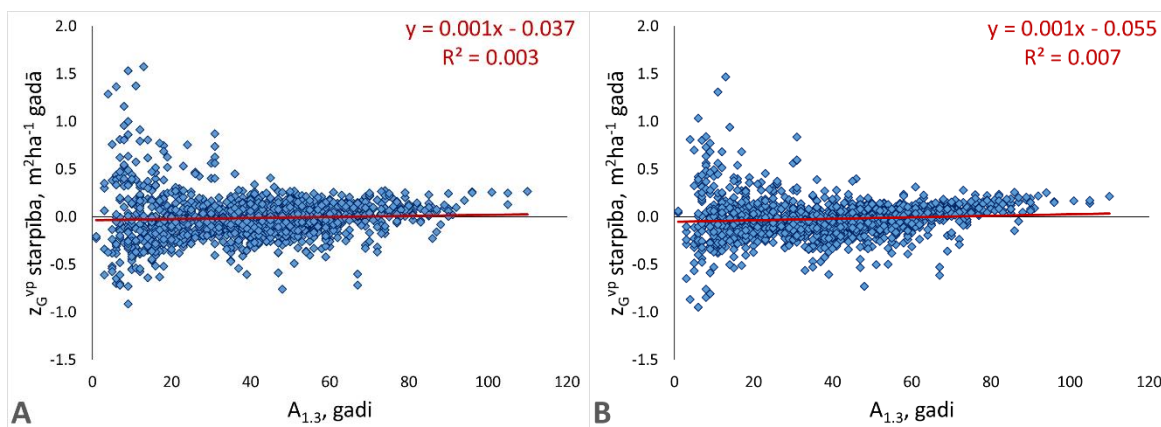
2.21. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķerslaukuma vidējo periodisko pieaugumu (z_G^{vp}) atkarībā meža elementa krūšaugsstuma vecuma ($A_{1.3}$) priedēm.

A – 2.3. formula; B – 2.4. formula.



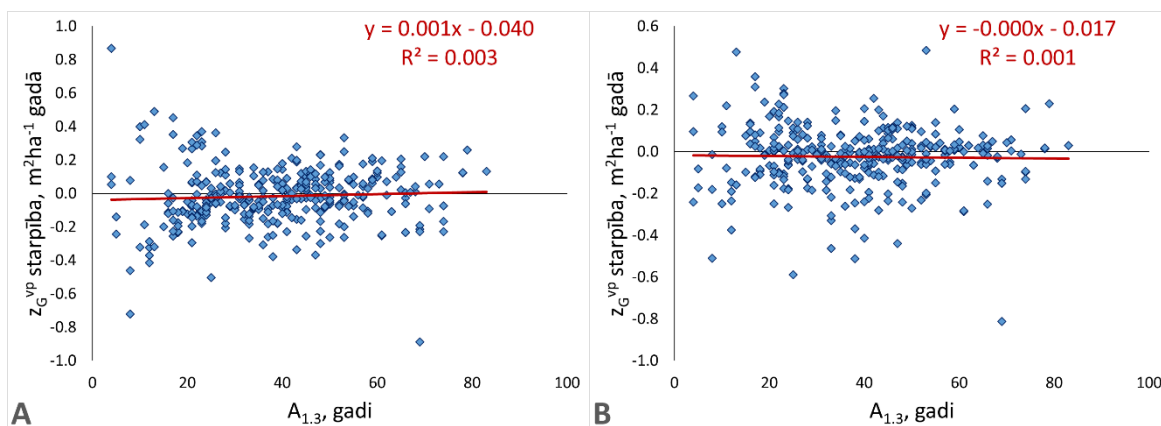
2.22. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu (z_G^{vp}) atkarībā meža elementa krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) eglēm.

A – 2.3. formula; B – 2.4. formula.



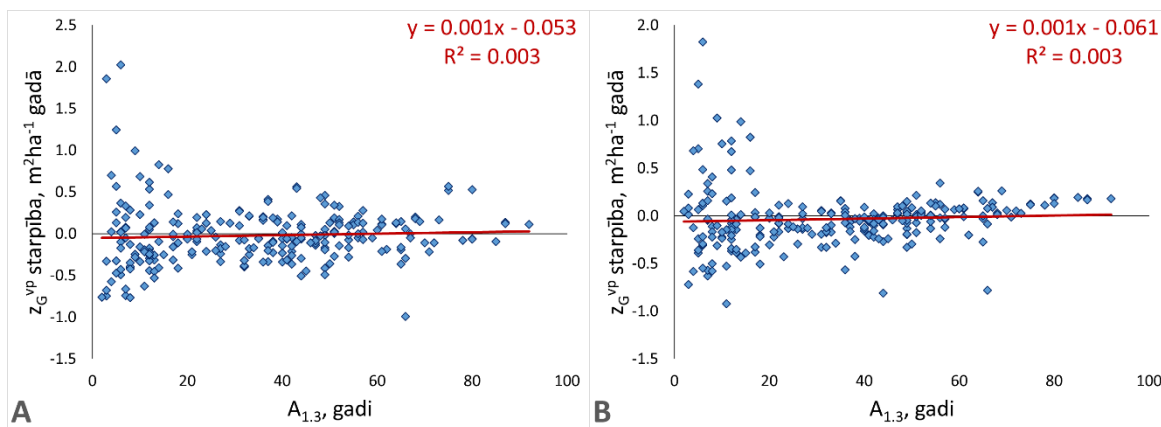
2.23. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu (z_G^{vp}) atkarībā meža elementa krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) bērziem.

A – 2.3. formula; B – 2.4. formula.



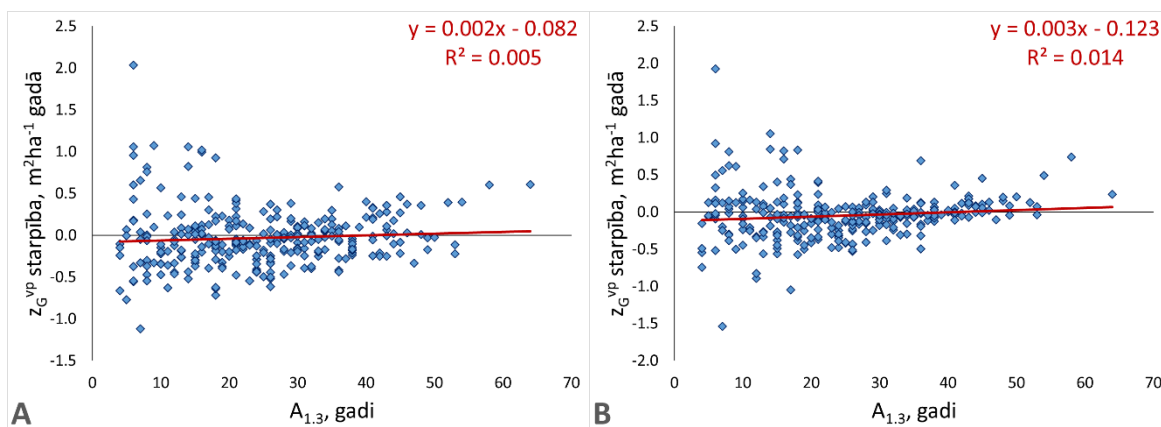
2.24. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu (z_G^{vp}) atkarībā meža elementa krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) melnalkšņiem.

A – 2.3. formula; B – 2.4. formula.



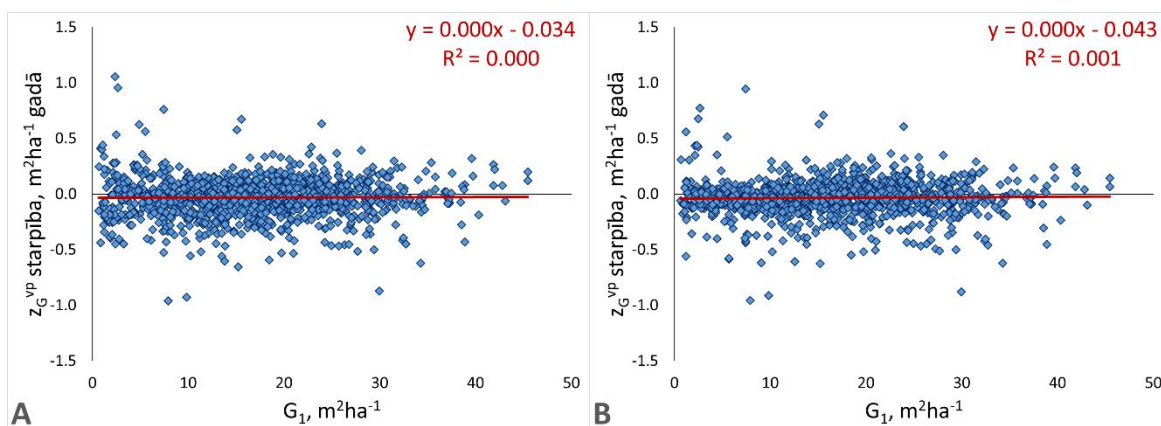
2.25. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu (z_G^{vp}) atkarībā meža elementa krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) apsēm.

A – 2.3. formula; B – 2.4. formula.



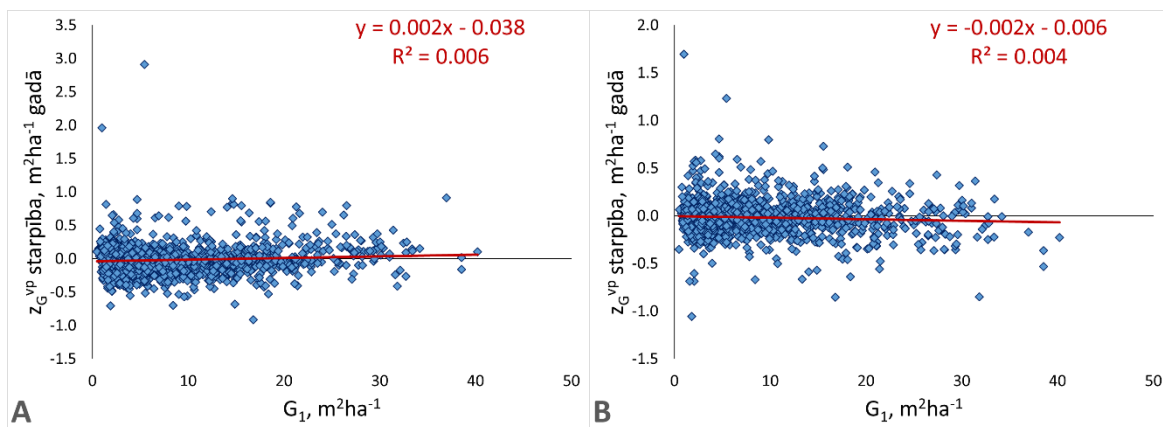
2.26. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu (z_G^{vp}) atkarībā meža elementa krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) baltalkšņiem.

A – 2.3. formula; B – 2.4. formula.



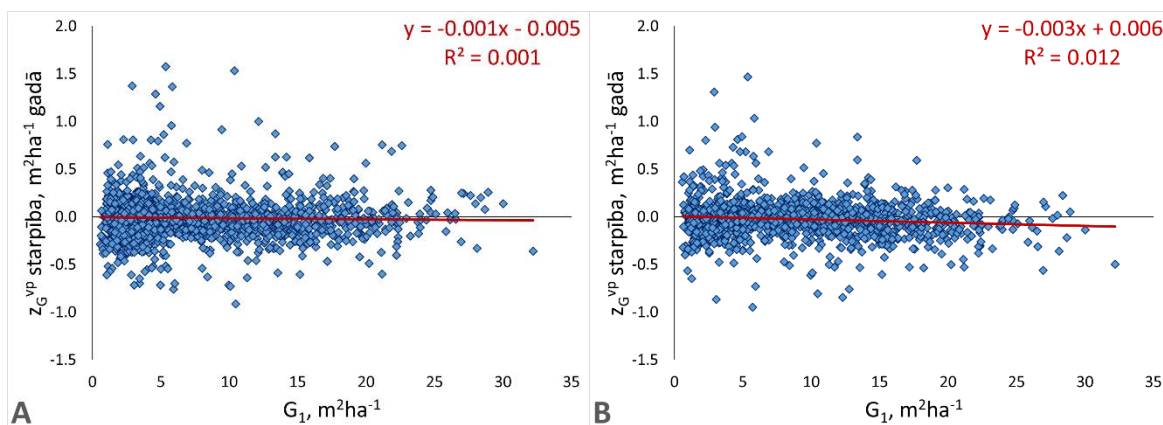
2.27. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu (z_G^{vp}) atkarībā meža elementa šķērslaukuma prognožu perioda sākumā (G_1) piedēm.

A – 2.3. formula; B – 2.4. formula.



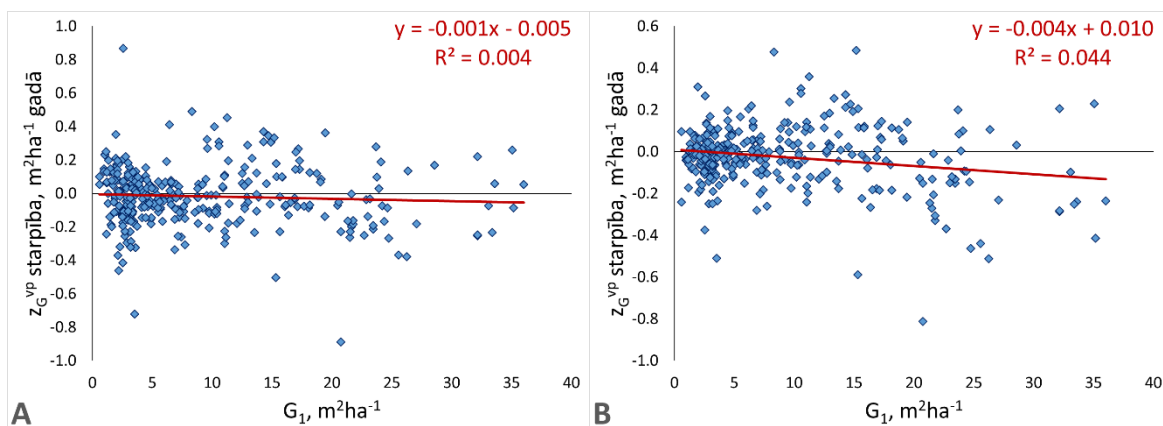
2.28. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu (z_G^{vp}) atkarībā meža elementa šķērslaukuma prognožu perioda sākumā (G_1) eglēm.

A – 2.3. formula; B – 2.4. formula.



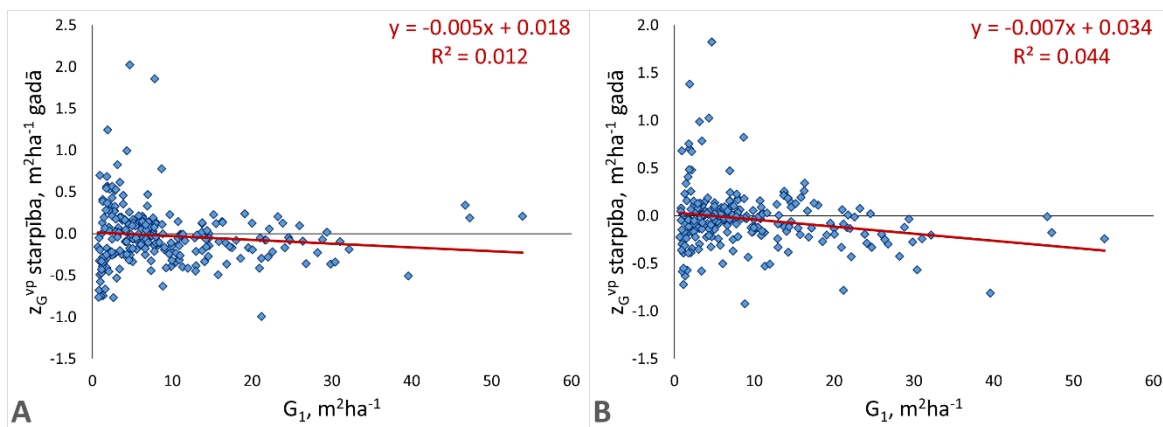
2.29. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu (z_G^{vp}) atkarībā meža elementa šķērslaukuma prognožu perioda sākumā (G_1) bērziem.

A – 2.3. formula; B – 2.4. formula.



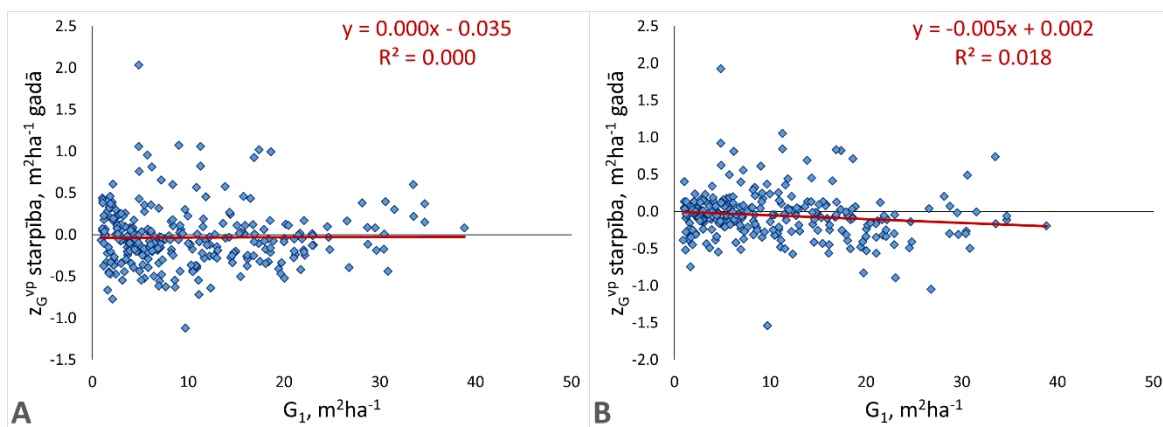
2.30. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu (z_G^{vp}) atkarībā meža elementa šķērslaukuma prognožu perioda sākumā (G_1) melnalkšņiem.

A – 2.3. formula; B – 2.4. formula.



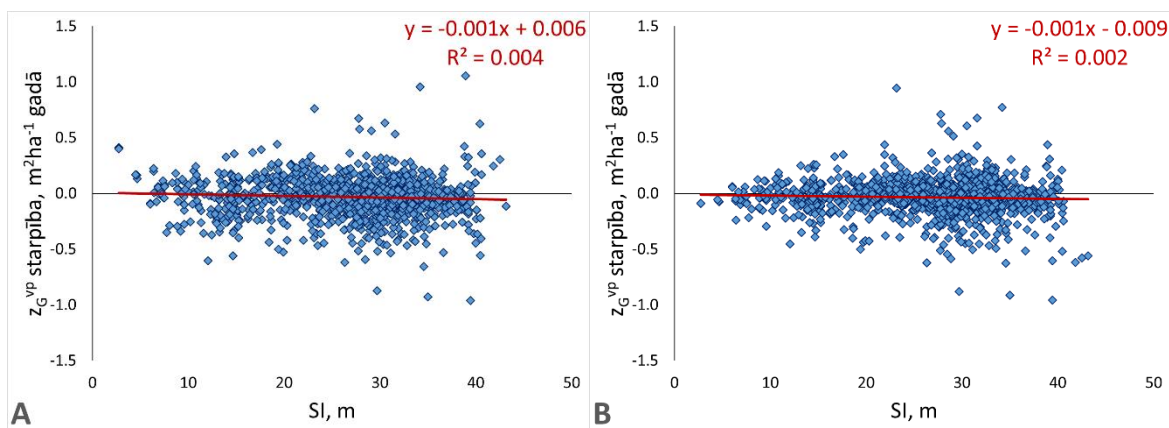
2.31. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu (z_G^{vp}) atkarībā meža elementa šķērslaukuma prognožu perioda sākumā (G_1) apsēm.

A – 2.3. formula; B – 2.4. formula.



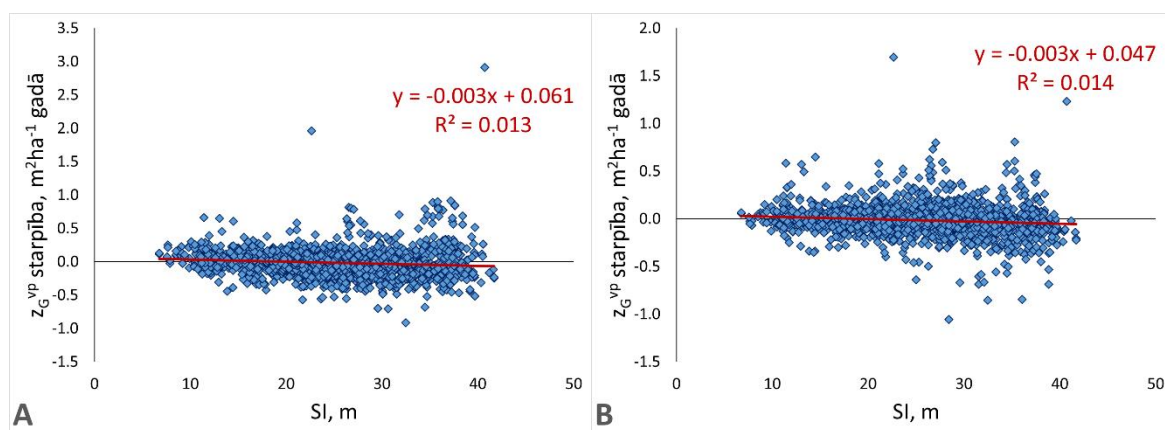
2.32. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu (z_G^{vp}) atkarībā meža elementa šķērslaukuma prognožu perioda sākumā (G_1) baltalkšņiem.

A – 2.3. formula; B – 2.4. formula.



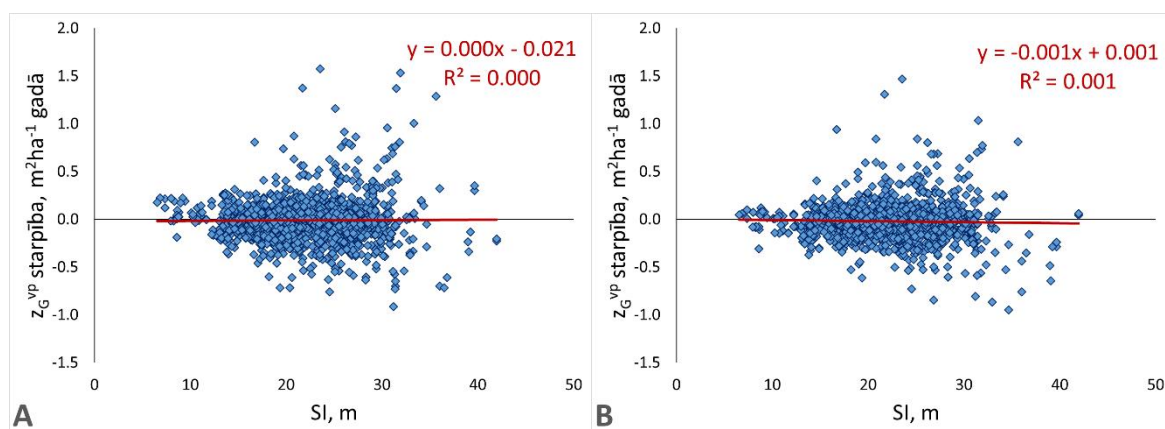
2.33. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu (z_G^{vp}) atkarībā meža elementa prognozētā augstuma bāzes vecumā (SI) priedēm.

A – 2.3. formula; B – 2.4. formula.



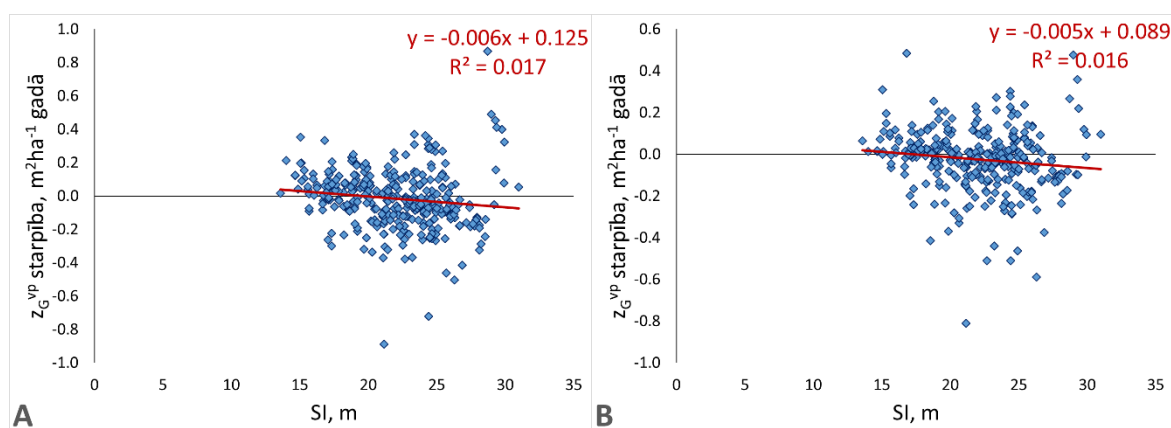
2.34. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu (z_G^{vp}) atkarībā meža elementa prognozētā augstuma bāzes vecumā (SI) eglēm.

A – 2.3. formula; B – 2.4. formula.



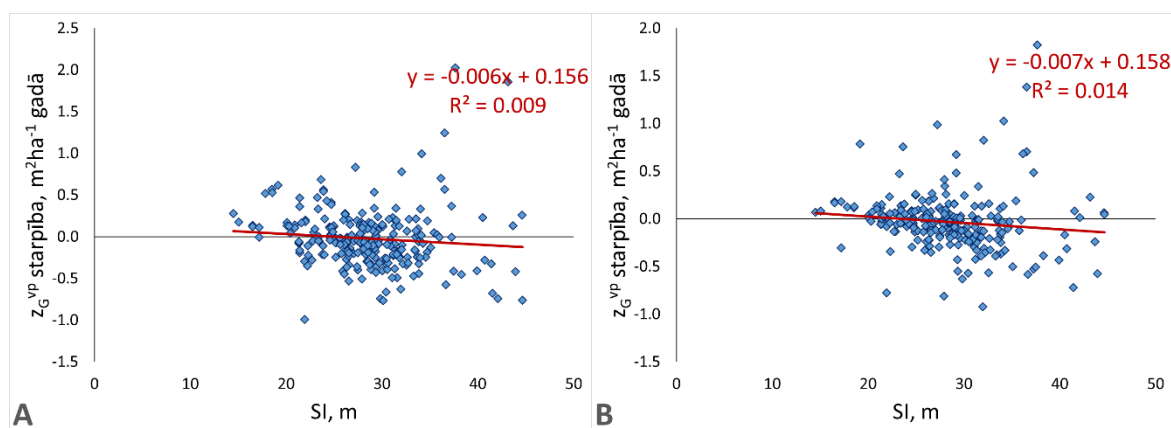
2.35. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu (z_G^{vp}) atkarībā meža elementa prognozētā augstuma bāzes vecumā (SI) bērziem.

A – 2.3. formula; B – 2.4. formula.



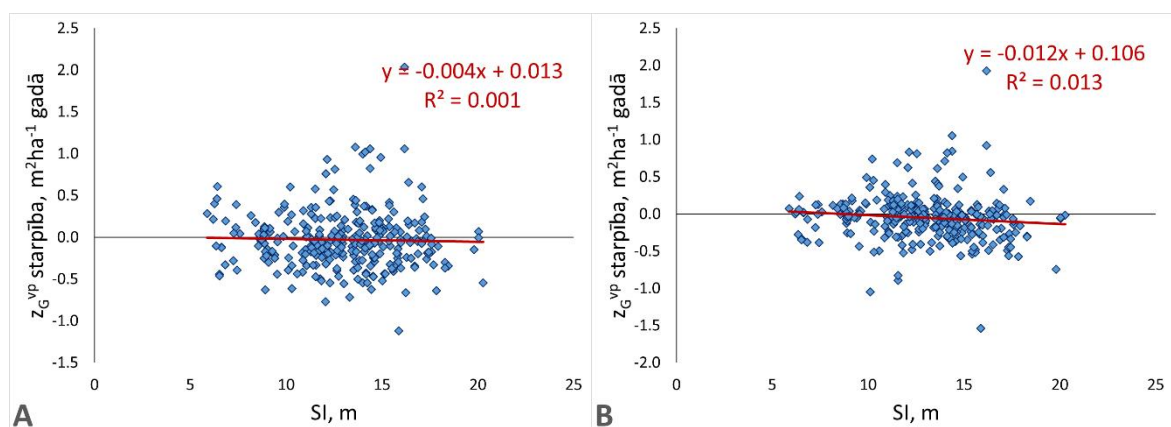
2.36. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu (z_G^{vp}) atkarībā meža elementa prognozētā augstuma bāzes vecumā (SI) melnalkšņiem.

A – 2.3. formula; B – 2.4. formula.



2.37. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu (z_G^{vp}) atkarībā meža elementa prognozētā augstuma bāzes vecumā (SI) apsēm.

A – 2.3. formula; B – 2.4. formula.



2.38. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu (z_G^{vp}) atkarībā meža elementa prognozētā augstuma bāzes vecumā (SI) baltalkšņiem.

A – 2.3. formula; B – 2.4. formula.

Ņemot vērā vienādojumu statistiskos rādītājus, meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modelēšanā būtu ieteicams izmantot 2.4. vienādojumu.

Lai gan ir izveidots jauns vienādojums meža elementa šķērslaukuma izmaiņu prognozēšanai, tomēr tas, līdzīgi kā iepriekš, ir paredzēts īslaicīgai meža elementa šķērslaukuma modelēšanai. Bet, ja meža elementa šķērslaukums ir mazāks par $5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, vai prognozējamā perioda ilgums pārsniedz 20 gadus, vai arī meža elementa krūšaugstuma vecums pārsniedz priedei 120 gadus; eglei 100 gadus; bērzam, apsei un melnalksnim 80 gadus; baltalksnim 50 gadus, tad meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modelēšanai izmantojams iepriekš izstrādātais vienādojums (Donis et al., 2016):

$$G_2 = G_1 + G_1 \cdot \left(\alpha_1 + \alpha_2 \cdot \frac{A_1}{100} + \alpha_3 \cdot A_1^{-2} \right) (A_2 - A_1) \quad (2.5)$$

kur

G_2	– meža elementa šķērslaukums perioda beigās, $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$;
G_1	– meža elementa šķērslaukums perioda sākumā, $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$;
A_1	– meža elementa krūšaugstuma vecums perioda sākumā, gadi;
A_2	– meža elementa krūšaugstuma vecums perioda beigās, gadi;
α_{1-4}	– empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas.

Tāpat meža elementa prognozētais šķērslaukums nedrīkst pārsniegt meža elementa teorētiski iespējamo maksimālo šķērslaukumu, kas aprēķināms pēc iepriekš izstrādātā vienādojuma (Donis et al., 2016):

$$g_{max} = \frac{\alpha_1}{1 + \left(\frac{D}{\alpha_2}\right)^{\alpha_3}} \quad (2.6)$$

kur g_{max} – meža elementa maksimālais šķērslaukums perioda beigās, $m^2 ha^{-1}$;
 D – meža elementa krūšaugsstuma caurmērs perioda beigās, cm;
 α_{1-3} – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas.

Meža elementa šķērslaukuma aktualizāciju veic pēc sekojoša algoritma:

1. katram meža elementam aprēķina tā maksimālo šķērslaukumu aktualizācijas perioda beigās (2.6. formula);
2. ņemot vērā meža elementa krūšaugsstuma vecumu, šķērslaukumu un prognožu perioda garumu, izvēlās aktualizācijas modeli un prognozē meža elementa šķērslaukuma izmaiņas (2.4. vai 2.5. formulas);
3. aktualizē meža elementa šķērslaukuma izmaiņas kā minimumu starp pirmā un otrā soļa rezultātu.

2.5. Kopšanas ciršu efekta modelis

Izvērtējot analītiski iepriekšējos gados izstrādātos modeļus, kuri ņem vērā vidējā caurmēra mehānisku palielināšanos, veicot “kopšanu no apakšas”, kā arī vidējā caurmēra pieauguma palielināšanos relatīvās biežības (konkurences) samazināšanās pēc kopšanas cirtes dēļ, konstatēts, ka iekļaujot vienādojumā vēl papildus “kopšanas ciršu efektu” tiek veidota dubulta uzskaitē (double counting), tādēļ papildus koeficienti vai vienādojumi kopšanas ciršu efekta noteikšanai vairs netiek paredzēti. Par pieņemtu pareizību būs iespējams pārliecināties pēc MSI 3.cikla pabeigšanas un šī projekta ietvaros ierīkoto kopšanas ciršu parauglaukumu pārmērījumu datu analīzes.

3. Audžu modālo (biežāk sastopamo) šķērslaukuma vērtību noteikšana relatīvi ilgi neapsaimniekotām audzēm

3. darba uzdevums. **Audzū modālo (biežāk sastopamo) šķērslaukuma vērtību noteikšana relatīvi ilgi neapsaimniekotām audzēm.**

3.1. Materiāls un metodika

Datu analīzē izmanto datus par 1156 MSI 3. ciklā atkārtoti pārmērītiem parauglaukumu sektoriem, kuriem:

- visos ciklos sektora platība nav mainījusies un tā ir vismaz 400 m²;
- visos ciklos zemju kategorija ir mežs (kods=10);
- nav konstatētas saimnieciskās darbības pazīmes par pēdējiem 15 gadiem – nav nevienā uzmērīšanas reizē konstatēti celmi vai atsevišķos gadījumos ir konstatēts viens paaugas celms;
- kokaudzes I stāva biezība ir vismaz 0.65;
- kokaudzes I stāva valdošā koku suga ir priede (397 sektori), egle (196), bērzs (315), melnalksnis (91), apse (56) vai baltalksnis (101).

Datu analīzē sektori tiek sagrupēti pa kokaudzes I stāva valdošajām koku sugām un to augstuma grupām (3.1. tabula). Katrai grupai aprēķināts mediānais šķērslaukums, kas pēc tam aproksimēts ar sekojošu vienādojumu:

$$G = \alpha_1 \cdot (1 - \exp(-\alpha_2 \cdot H)) \quad (3.1)$$

kur G – kokaudzes I stāva mediānais šķērslaukums, m²ha⁻¹;

H – kokaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošais augstums, m;

α_{1-2} – koeficienti (3.2. tabula).

Tabula 3.1. Datu analīzē izmantoto MSI parauglaukumu sektoru sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām un to augstuma grupām

Augstuma grupa, metri	Valdošā koku suga						Kopā
	Priede	Egle	Bērzs	Melnalksnis	Apse	Baltalksnis	
6	4	1	1				6
9	15	3	4	1	3	5	31
12	15	14	11	3	1	11	55
15	32	25	31	7	2	23	120
18	44	26	39	20	2	35	166
21	59	49	60	22	7	21	218
24	86	31	66	19	3	5	210
27	80	27	59	12	6	1	185
30	44	12	30	6	12		104
33	16	7	13	1	9		46
36	2		1		10		13
39		1			1		2
Kopā	397	196	315	91	56	101	1156

Datu pirmapstrāde veikta datorprogrammā MS Excel 2007. Kokaudzes I stāva mediānā šķērslaukuma aproksimācija veikta datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows, izmantojot rīku Non-linear regression

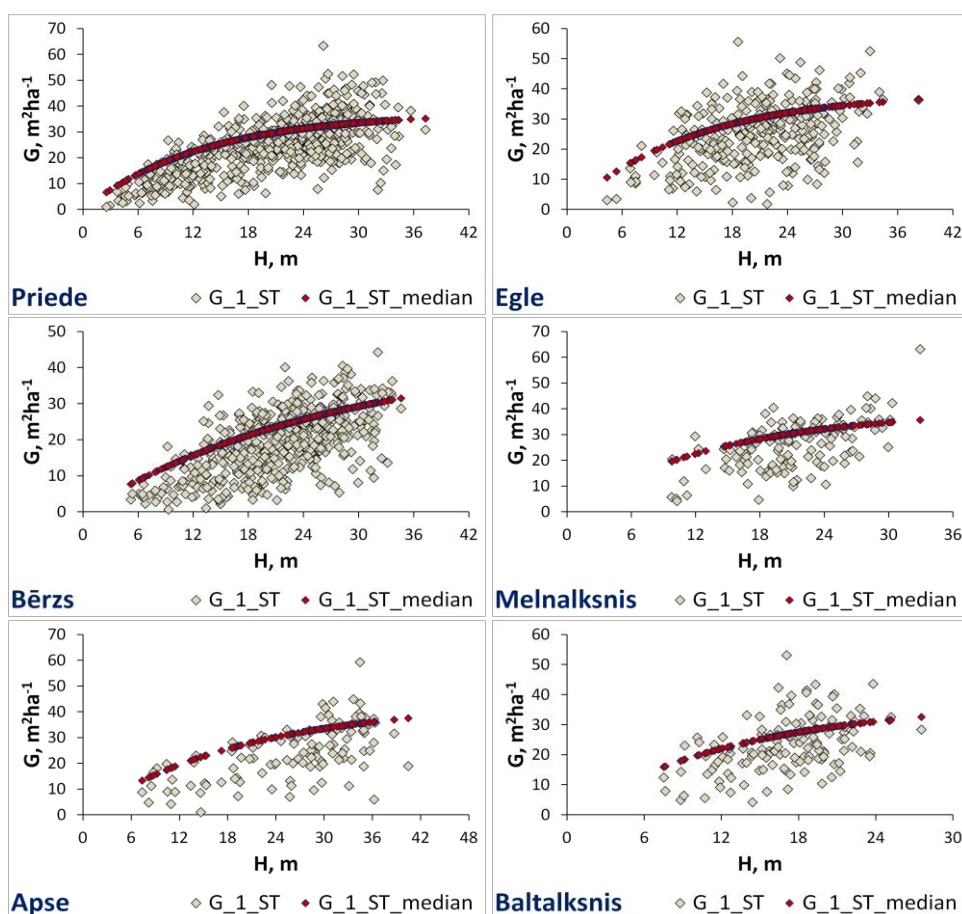
3.2. Rezultāti

Izstrādāts vienādojums kokaudzes I stāva mediānā šķērslaukuma aprēķināšanai (3.1. formula), kas paredzēts neapsaimniekotu audžu šķērslaukuma modelēšanai. Šī vienādojuma aproksimētas koeficientu vērtības un statistiskie rādītāji apkopoti 3.2. tabulā.

Tabula 3.2. Kokaudzes I stāva mediānā šķērslaukuma aprēķināšanas vienādojuma (3.1. formula) koeficienti un statistiskie rādītāji

Suga	Koeficienti			Vienādojums	
	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	Standartklūda	Korelācijas koeficients
Priede	α_1	37.348	1.804	1.509	0.977
	α_2	0.0762	0.0089		
Egle	α_1	38.744	2.231	1.648	0.962
	α_2	0.0733	0.0102		
Bērzs	α_1	43.541	6.321	1.509	0.975
	α_2	0.0371	0.0086		
Melnalksnis	α_1	39.561	4.091	2.281	0.929
	α_2	0.0698	0.0159		
Apse	α_1	43.247	3.423	1.532	0.974
	α_2	0.0497	0.0079		
Baltalksnis	α_1	37.401	9.177	3.347	0.810
	α_2	0.0739	0.0366		

Kokaudzes I stāva aproksimētās mediānās šķērslaukuma vērtībās un visos MSI (neatkarīgi no biežības) relatīvi ilgi neapsaimniekotos sektoros konstatētās I stāva šķērslaukuma vērtības atspoguļotas 3.1. attēlā.



3.1. attēls. MSI parauglaukumos konstatētais kokaudzes I stāva šķērslaukums (G_{1_ST}) un ar 3.1. vienādojumu prognozētais kokaudzes I stāva mediānais šķērslaukums ($G_{1_ST_median}$).

4. Pieauguma, atmiruma un krājas differences prognožu modeļu pilnveidošana

4. darba uzdevums. **Pieauguma, atmiruma un krājas differences prognožu modeļu pilnveidošana un statistisko rādītāju izvērtēšana, aprēķinus balstot uz 3. MSI cikla 3 gadu datiem.**

4.1. Faktiskās audzes tekošā pieauguma modelis

4.1.1. Materiāls un metodika

Analīzē izmantoti dati par 598 MSI 2014. – 2016. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem. Analīzē izmanto datus tikai par tiem parauglaukumiem, kuriem:

- I stāva valdošā koku suga pirmajā uzmērīšanas reizē ir priede (264 parauglaukumi), egļe (96 bērzs (152), apse (24), melnalksnis (24), un baltalksnis (38);
- I stāva valdošās koku sugas krūšaugstuma vecums 1. uzmērīšanas reizē ir vismaz 5 gadi;
- I stāva valdošās koku sugas sastāva koeficients pirmajā uzmērīšanas reizē ir 7;
- I stāva valdošās koku sugas koku skaits 1. ciklā ir vismaz 100 koki uz hektāra;
- 10 gadu laikā parauglaukumā nav konstatēta masveida koku atmiršana (atmirušās koksnes īpatsvars $\leq 33\%$ no kopējā šķērslaukuma);
- 10 gadu laikā parauglaukumā nav konstatēta koku ciršana.

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

Faktiskās audzes tekošā vidēji periodiskā krājas pieauguma aprēķināšanai pārbaudīts sekojošs vienādojums (Donis et al., 2015):

$$Z_M = \alpha_1 \cdot A^{\alpha_2} \cdot \alpha_3^B \cdot G^{\alpha_4} \quad (4.1)$$

kur Z_M – faktiskās audzes tekošais vidēji periodiskais krājas pieaugums, $\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{gadā}$;
 A – kokaudzes I stāva valdošās koku sugas krūšaugstuma vecums, gadi;
 B – audzes bonitāte (atbilstoši Orlova bonitāšu skalai $Ia=0, I=1...IV=4; V=5$);
 G – kokaudzes (meža elementa) šķērslaukums, m^2ha^{-1} .
 α_{1-4} – koeficienti.

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

$$Z_m = \frac{M_A - m_{A-n}}{n} \quad (4.2)$$

kur Z_M – faktiskās audzes tekošais vidēji periodiskais krājas pieaugums, $\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{gadā}$;
 M_A – kokaudzes krājas vecumā A , m^3ha^{-1} ;
 m_{A-n} – intervāla n beigās audzē augošo koku krāja A -n gadu vecumā, m^3ha^{-1} ;
 n – laika intervāls, gadi.

Koeficientu vērtības aprēķinātas izmantojot datorprogrammu SPSS 14 rīku *Nonlinear regression* un *bootstrap* funkciju.

4.1.2. Rezultāti

Aprēķināti jauni koeficienti faktiskās audzes krājas tekošā vidēji periodiskā krājas pieauguma aprēķināšanai (4.1. tabula). Tomēr jāatzīmē ka atsevišķām koku sugām atsevišķi koeficienti ir mežsaimnieciski neloģiski. Piemēram, apsei α_3 koeficients ir lielāks par viens, kas nozīmē ka pie zemākām bonitātēm tiek prognozēts lielāks krājas pieaugums, vai piemēram, melnalksnim α_1 koeficients ir neloģiski liels, līdz ar to jaunaudzju vecumā tiek modelēts neloģiski liels krājas pieaugums.

Tabula 4.1. Kokaudzes faktiskās audzes tekošā krājas pieauguma modeļa (4.1. formula) 2017. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

Taksācijas vienība	Valdošā koku suga	Koef.	Vērtība	Standard-kļūda	95% ticamības intervāls		95% nogrieztais ticamības intervāls	
					Min.	Maks.	Min.	Maks.
Kokaudzes 1. stāvs	Priede	α_1	9.59324	2.51782	4.59733	14.58915	4.82169	14.14281
		α_2	-0.54686	0.07185	-0.68942	-0.40430	-0.71549	-0.40654
		α_3	0.92310	0.01285	0.89760	0.94859	0.89600	0.94707
		α_4	0.66110	0.06469	0.53275	0.78945	0.54390	0.78202
	Egle	α_1	16.45754	3.53531	9.44273	23.47236	8.64063	23.52668
		α_2	-0.60332	0.07534	-0.75280	-0.45383	-0.74550	-0.46092
		α_3	0.99521	0.04229	0.91129	1.07913	0.92660	1.07667
		α_4	0.59361	0.05639	0.48171	0.70551	0.49994	0.70707
	Bērzs	α_1	22.46105	3.22404	16.06385	28.85825	14.20399	28.34258
		α_2	-0.77898	0.07879	-0.93533	-0.62264	-0.93327	-0.63363
		α_3	0.93454	0.02711	0.88075	0.98834	0.88028	0.98830
		α_4	0.66480	0.08496	0.49623	0.83337	0.53867	0.86829
	Melnalksnis	α_1	63.52540	68.56553	-72.52349	199.57429	14.17929	245.04134
		α_2	-0.84074	0.22699	-1.29114	-0.39034	-1.24524	-0.40358
		α_3	0.94843	0.07195	0.80566	1.09120	0.80515	1.08376
		α_4	0.41877	0.30743	-0.19124	1.02877	-0.04134	1.03158
	Apse	α_1	10.12483	2.80096	4.56711	15.68254	6.45727	16.65189
		α_2	-0.32692	0.10105	-0.52742	-0.12641	-0.51066	-0.12792
		α_3	1.11677	0.07378	0.97037	1.26318	0.95700	1.22754
		α_4	0.48058	0.08310	0.31570	0.64547	0.32898	0.65288
	Baltalksnis	α_1	15.85952	6.41813	3.12456	28.59449	6.70411	30.23990
		α_2	-0.50955	0.19494	-0.89634	-0.12275	-1.03288	-0.21297
		α_3	0.94413	0.08634	0.77280	1.11545	0.79697	1.12554
		α_4	0.49384	0.14362	0.20887	0.77880	0.26341	0.82008
Kokaudze kopā	Priede	α_1	6.07253	1.97018	2.16326	9.98180	2.97742	10.44018
		α_2	-0.40441	0.08072	-0.56457	-0.24425	-0.57893	-0.26534
		α_3	0.90495	0.01613	0.87294	0.93696	0.87430	0.93370
		α_4	0.65807	0.07083	0.51752	0.79862	0.50195	0.80156
	Egle	α_1	16.15446	4.05390	8.11064	24.19828	8.93134	24.90521
		α_2	-0.53991	0.08965	-0.71779	-0.36203	-0.74770	-0.36916
		α_3	0.98205	0.03444	0.91370	1.05039	0.93908	1.07096
		α_4	0.53030	0.06899	0.39342	0.66718	0.42297	0.71378
	Bērzs	α_1	16.10331	3.31226	9.53106	22.67555	9.24500	22.61866
		α_2	-0.61973	0.07208	-0.76276	-0.47669	-0.74607	-0.45841
		α_3	0.94109	0.02763	0.88626	0.99591	0.89284	1.00402
		α_4	0.60349	0.08295	0.43890	0.76807	0.46457	0.80229
	Melnalksnis	α_1	29.68387	38.73005	-47.16496	106.53270	3.18918	121.21618
		α_2	-0.76090	0.23856	-1.23425	-0.28755	-1.25143	-0.32046
		α_3	0.92986	0.07699	0.77710	1.08263	0.80067	1.11393
		α_4	0.58962	0.27228	0.04936	1.12988	0.24501	1.38333
	Apse	α_1	9.36317	2.37797	4.64475	14.08159	5.04518	14.26986
		α_2	-0.26520	0.10148	-0.46656	-0.06383	-0.45942	-0.04930
		α_3	1.10034	0.06632	0.96875	1.23193	0.96355	1.19010
		α_4	0.45010	0.08293	0.28555	0.61465	0.32992	0.65483
	Baltalksnis	α_1	13.27573	5.65036	2.06420	24.48727	6.10767	28.08330
		α_2	-0.41181	0.16212	-0.73350	-0.09012	-0.84214	-0.20092
		α_3	0.95065	0.06360	0.82445	1.07685	0.85346	1.11319
		α_4	0.46178	0.11689	0.22984	0.69371	0.27624	0.71739

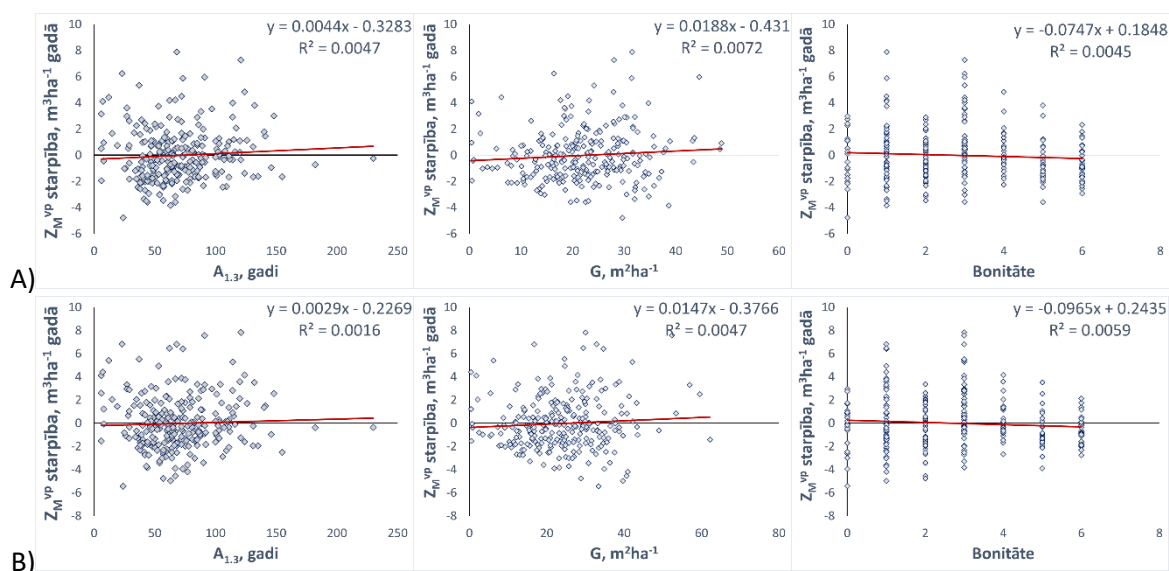
Visām koku sugām krājas pieauguma modelim, pārbaudot to uz datu analīzē izmantotajiem datiem, ir salīdzinoši augsti statistiskie rādītāji (4.2. tabula).

Tabula 4.2. Kokaudzes faktiskās audzes tekošā krājas pieauguma modeļa (4.1. formula) statistiskie rādītāji

Stāvs	Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R ²	N	AIC
1. stāvs	Priede	6.13	-0.02	-0.37	1.52	2.01	32.74	4.02	0.37	0.601	0.792	0.628	264	370.2
	Egle	11.00	-0.01	-0.13	2.70	3.45	31.33	11.75	0.40	0.589	0.774	0.599	96	239.4
	Bērzs	7.52	0.01	0.19	1.98	2.58	34.34	6.62	0.32	0.686	0.822	0.675	152	290.2
	Melnalksnis	10.38	0.00	-0.05	2.33	3.12	30.09	9.30	0.46	0.532	0.733	0.538	24	56.3
	Apse	12.51	-0.03	-0.23	2.29	2.99	23.92	8.54	0.26	0.709	0.858	0.736	24	54.3
Visi	Baltalksnis	13.17	-0.08	-0.58	3.62	5.08	38.56	25.07	0.56	0.392	0.666	0.443	38	125.3
	Priede	7.02	-0.02	-0.35	1.72	2.27	32.37	5.14	0.35	0.621	0.804	0.646	264	435.2
	Egle	11.71	-0.02	-0.14	2.78	3.57	30.51	12.63	0.44	0.547	0.749	0.561	96	246.4
	Bērzs	8.91	-0.02	-0.17	2.47	3.13	35.16	9.75	0.38	0.613	0.790	0.624	152	349.2
	Melnalksnis	11.39	-0.03	-0.28	2.63	3.73	32.72	13.23	0.56	0.409	0.667	0.445	24	64.8
	Apse	14.03	-0.05	-0.36	2.25	3.00	21.37	8.56	0.23	0.722	0.875	0.766	24	54.3
	Baltalksnis	13.98	-0.08	-0.59	3.79	5.23	37.41	26.59	0.56	0.388	0.665	0.443	38	127.5

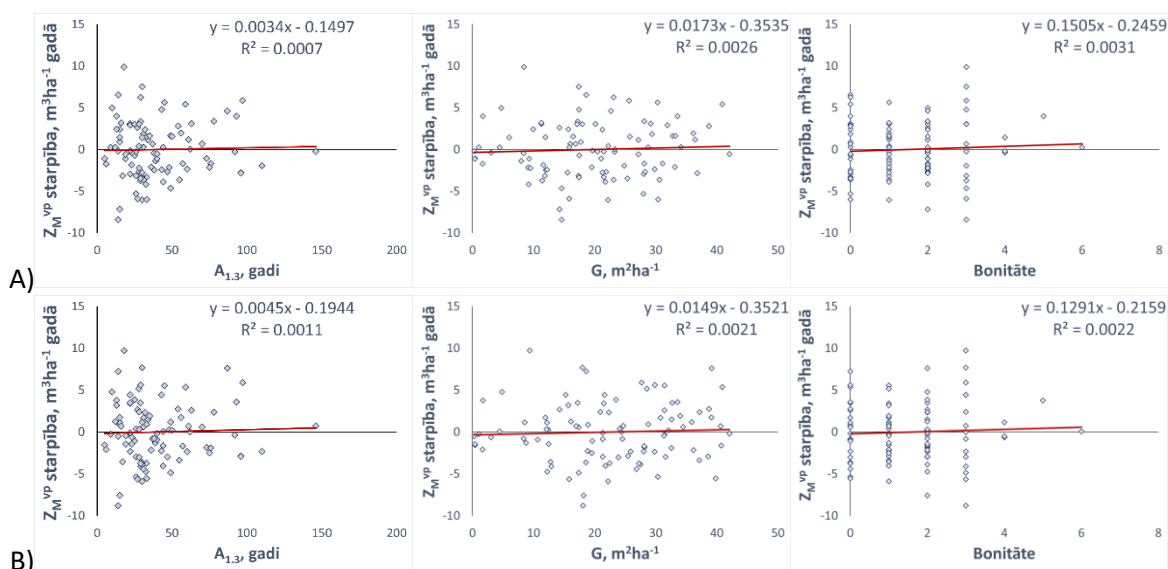
Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība;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

Nevienai koku sugai ne kokaudzes pirmā stāva, ne kokaudzes visu stāvu kopā prognozētajam krājas pieaugumam nav konstatētas sistemātiskas novirzes ar vienādojumos izmantotajām faktoriālajām vērtībām (vecums, šķērslaukums un bonitāte), jo starpībām starp uzmērīto un prognozēto vērtību ir vājas lineārās korelācijas ar faktoriālajām pazīmēm (4.1. – 4.6. attēli).



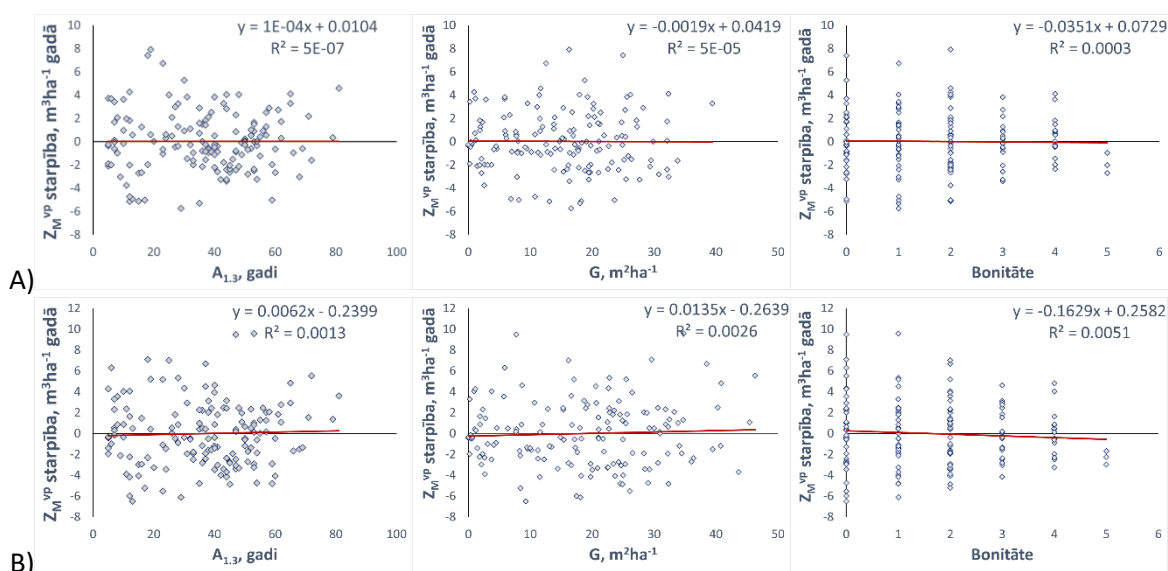
4.1. attēls. Starpība starp MSI parauglaukumos konstatēto un ar 4.1. formulu prognozēto faktiskās audzes krājas tekošo vidēji periodisko pieaugumu (Z_M^{vp}) atkarībā no valdošās koku sugas krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$), šķērslaukuma (G) un bonitātes priežu audzēs.

A – kokaudzes I stāvs; B – kokaudzes visi stāvi kopā.



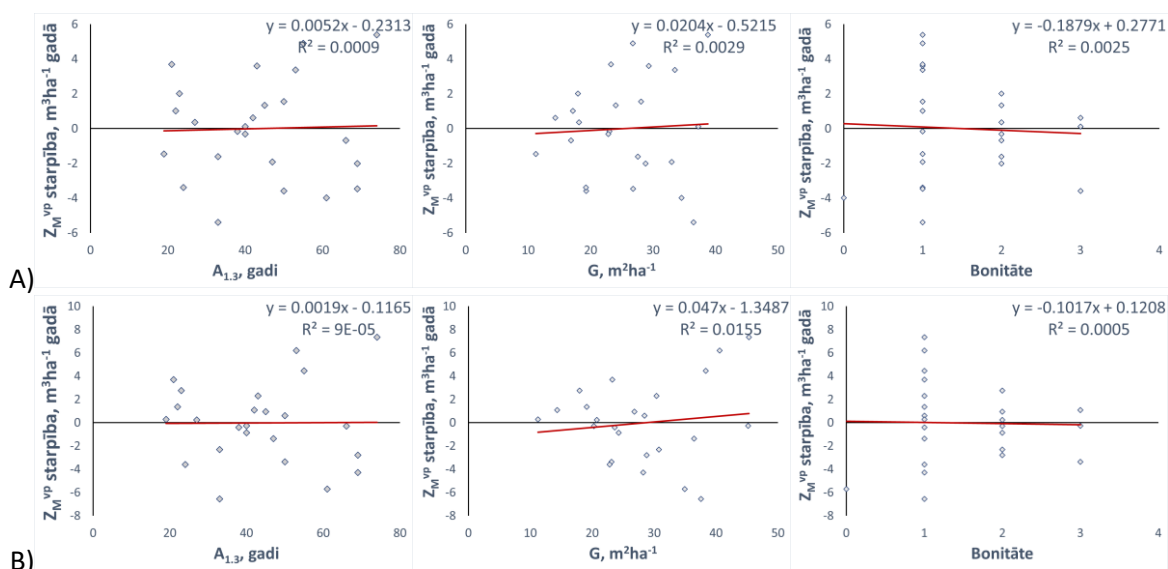
4.2. attēls. Starpība starp MSI parauglaukumos konstatēto un ar 4.1. formulu prognozēto faktiskās audzes krājas tekošo vidēji periodisko pieaugumu (Z_M^{vp}) atkarībā no valdošās koku sugas krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$), šķērslaukuma (G) un bonitātes egļu audzēs.

A – kokaudzes I stāvs; B – kokaudzes visi stāvi kopā.



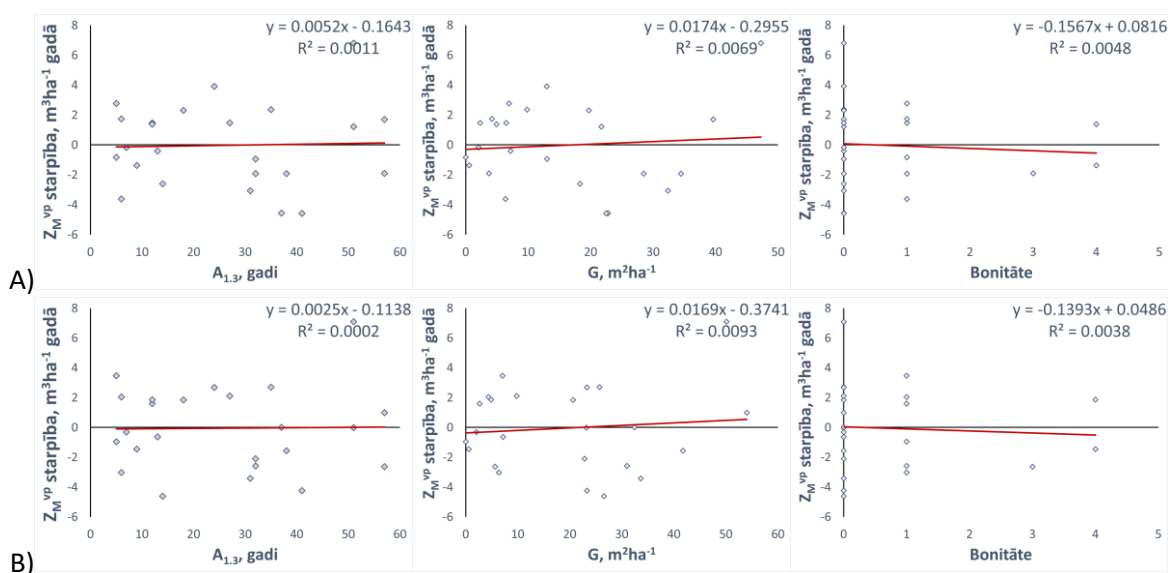
4.3. attēls. Starpība starp MSI parauglaukumos konstatēto un ar 4.1. formulu prognozēto faktiskās audzes krājas tekošo vidēji periodisko pieaugumu (Z_M^{vp}) atkarībā no valdošās koku sugas krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$), šķērslaukuma (G) un bonitātes bērzu audzēs.

A – kokaudzes I stāvs; B – kokaudzes visi stāvi kopā.



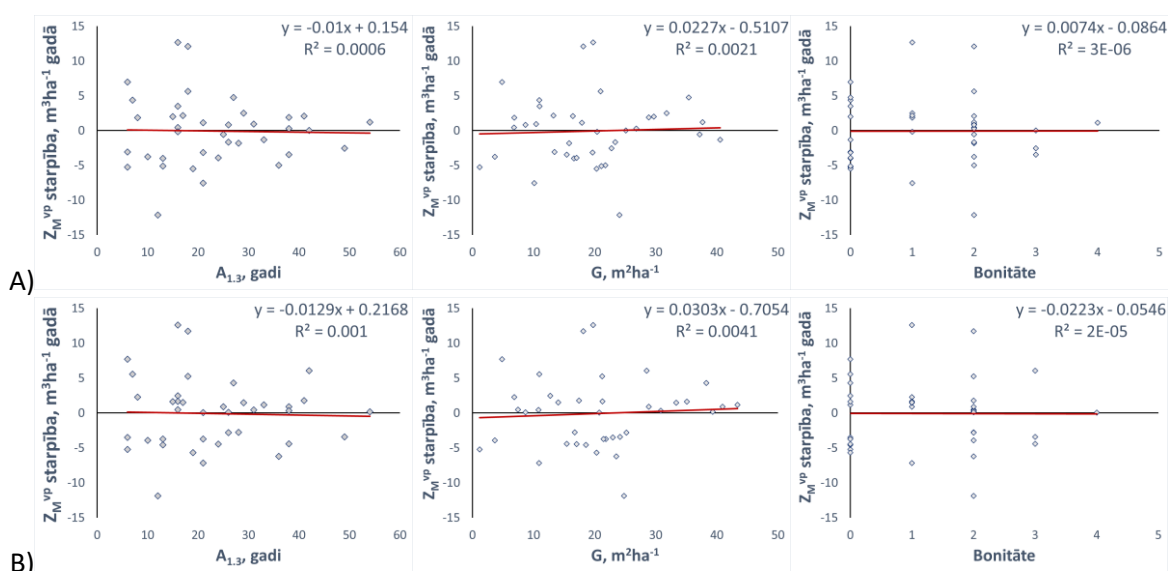
4.4. attēls. Starpība starp MSI parauglaukumos konstatēto un ar 4.1. formulu prognozēto faktiskās audzes krājas tekošo vidēji periodisko pieaugumu (Z_M^{vp}) atkarībā no valdošās koku sugas krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$), šķērslaukuma (G) un bonitātes melnalkšņu audzēs.

A – kokaudzes I stāvs; B – kokaudzes visi stāvi kopā.



4.5. attēls. Starpība starp MSI parauglaukumos konstatēto un ar 4.1. formulu prognozēto faktiskās audzes krājas tekošo vidēji periodisko pieaugumu (Z_M^{vp}) atkarībā no valdošās koku sugas krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$), šķērslaukuma (G) un bonitātes apšu audzēs.

A – kokaudzes I stāvs; B – kokaudzes visi stāvi kopā.



4.6. attēls. Starpība starp MSI parauglaukumos konstatēto un ar 4.1. formulu prognozēto faktiskās audzes krājas tekošo vidēji periodisko pieaugumu (Z_M^{vp}) atkarībā no valdošās koku sugas krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$), šķērslaukuma (G) un bonitātes baltalkšņu audzēs.

A – kokaudzes I stāvs; B – kokaudzes visi stāvi kopā.

Tā kā šogad ir mainījušies MSI datu atlasē kritēriji, kas ir samazinājis šobrīd analizē izmantojamo datu apjomu, šogad izstrādātajam krājas pieauguma modelim (4.1. formula) ir vairāk informatīvi-ilustratīva nozīme un tas pagaidām ar šīm koeficientu vērtībām nav piemērojams izmantošanai modelēšanā. Turpmākā pētījumā laikā, papildinot datu apjomu, tiks izstrādāti krājas pieauguma prognožu modeļi, kas būs izmantojami praktiskai lietošanai. Šobrīd krājas pieauguma modelēšanā ieteicams lietot iepriekš izstrādātos uz piecu gadu pārmērījuma datiem balstītos vienādojumus (Donis et al., 2015).

4.2. Atmiruma modelis

4.2.1. Materiāls un metodika

Analīzē izmantoti dati par 598 MSI 2014. – 2016. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukiem, kas atbilst 4.1. apakšnodaļā minētajiem kritērijiem.

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

Ilgadējā dabiskā atmiruma modelēšanai pārbaudīts vienādojums (Donis et al., 2015):

$$Z_M(-) = \alpha_1 \cdot A^{\alpha_2} \cdot \alpha_3 \left(\frac{A}{100}\right) \cdot G^{\alpha_4} \quad (4.3)$$

kur $Z_M(-)$ – dabiskais tekošais vidēji periodiskais krājas atmirums, $m^3 ha^{-1}$ gadā;
 A – kokaudzes I stāva valdošās koku sugas krūšaugstuma vecums, gadi;
 G – kokaudzes (meža elementa) šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$.
 α_{1-4} – koeficienti.

Koeficientu vērtības aprēķinātas izmantojot datorprogrammu SPSS 14 rīku *Nonlinear regression* un *bootstrap* funkciju.

4.2.2. Rezultāti

Aprēķināti jauni koeficienti audzes tekošā vidēji periodiskā atmiruma aprēķināšanai (4.3. tabula). Atmiruma modelim, pārbaudot to uz datu analīzē izmantotajiem datiem, ir salīdzinoši augsti statistiskie rādītāji (4.4. tabula).

Tabula 4.3. Kokaudzes atmiruma modeļa (4.3. formula) 2017. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

Taksācijas vienība	Suga	Koef.	Vērtība	Standard-kļūda	95% ticamības intervāls		95% nogrieztais ticamības intervāls	
					Min.	Maks.	Min.	Maks.
Kokaudzes 1. stāvs	Priede	α_1	0.00207	0.00845	-0.01471	0.01884	0.00140	0.03115
		α_2	0.53081	0.31271	-0.08968	1.15131	-0.29057	0.83356
		α_3	0.27876	0.28232	-0.28143	0.83895	0.13909	1.15565
		α_4	1.58921	0.17536	1.24125	1.93717	1.20598	2.05616
	Egle	α_1	0.03151	0.03934	-0.04656	0.10957	0.00290	0.17591
		α_2	-0.43955	0.45832	-1.34896	0.46986	-1.48598	0.59111
		α_3	4.35970	5.69139	-6.93325	15.65266	0.95448	22.92882
		α_4	1.56564	0.32348	0.92378	2.20750	1.03047	2.39564
	Bērzs	α_1	0.00009	0.00038	-0.00066	0.00085	0.00005	0.00145
		α_2	0.08432	0.68751	-1.27986	1.44849	-0.95585	1.52945
		α_3	19.11998	60.62061	-101.16446	139.40442	0.03104	274.13261
		α_4	2.51721	0.49271	1.53956	3.49485	1.32724	3.34627
	Melnalksnis	α_1	0.01178	0.05065	-0.08872	0.11229	0.00199	0.20299
		α_2	1.06470	0.75363	-0.43067	2.56006	-0.73526	2.05673
		α_3	0.09354	3.31810	-6.49029	6.67737	0.01829	9.15015
		α_4	0.74855	0.85008	-0.93819	2.43530	-0.65212	2.82048
	Apse	α_1	0.00057	0.00014	0.00030	0.00084	0.00002	0.00052
		α_2	2.68184	0.32094	2.04504	3.31865	1.76806	3.05250
		α_3	0.00023	0.05578	-0.11045	0.11090	0.00018	0.03320
		α_4	0.71570	0.32981	0.06129	1.37011	0.59165	1.76585
	Baltalksnis	α_1	0.00980	0.03016	-0.05004	0.06965	0.00173	0.12717
		α_2	0.16378	0.46235	-0.75362	1.08119	-0.96911	0.82591
		α_3	2.86983	124.85376	-244.86711	250.60677	0.33052	622.47364
		α_4	1.48818	0.39641	0.70162	2.27473	0.85427	2.30820
Kokaudze kopā	Priede	α_1	0.01278	0.00933	-0.00572	0.03129	0.00305	0.04238
		α_2	-0.01587	0.20865	-0.42987	0.39813	-0.56762	0.39999
		α_3	0.64647	0.21178	0.22624	1.06669	0.31774	1.23505
		α_4	1.54347	0.15813	1.22971	1.85723	1.27755	1.89450
	Egle	α_1	0.00607	0.02185	-0.03728	0.04941	0.00172	0.09673
		α_2	0.33078	0.50962	-0.68043	1.34198	-1.09267	0.95315
		α_3	1.00003	3.18376	-5.31723	7.31729	0.37541	8.11263
		α_4	1.42782	0.37909	0.67562	2.18002	0.81120	2.37676
	Bērzs	α_1	0.00578	0.04816	-0.08977	0.10133	0.00521	0.20226
		α_2	-0.11764	0.52738	-1.16408	0.92881	-2.06653	0.29467
		α_3	3.12035	50.92098	-97.91792	104.15861	0.38507	95.80515
		α_4	1.76347	0.28110	1.20570	2.32124	1.21299	2.32967
	Melnalksnis	α_1	0.00534	0.02482	-0.04390	0.05458	0.00143	0.07832
		α_2	1.65650	0.61773	0.43079	2.88220	0.24387	2.48097
		α_3	0.03553	0.37558	-0.70970	0.78077	0.00542	0.66941
		α_4	0.46903	0.49000	-0.50323	1.44129	-0.37331	1.50469
	Apse	α_1	0.00139	0.00368	-0.00591	0.00869	0.00028	0.01067
		α_2	2.11800	0.52745	1.07143	3.16457	0.91097	2.91579
		α_3	0.00120	0.04189	-0.08193	0.08432	0.00011	0.12143
		α_4	0.86789	0.43883	-0.00285	1.73863	0.28768	1.82513
	Baltalksnis	α_1	0.01215	0.04067	-0.06855	0.09285	0.00241	0.14216
		α_2	-0.02592	0.36927	-0.75864	0.70681	-1.20494	0.33109
		α_3	3.79699	337.68869	-666.25062	673.84461	1.04307	930.18871
		α_4	1.58313	0.33245	0.92348	2.24277	0.94491	2.15646

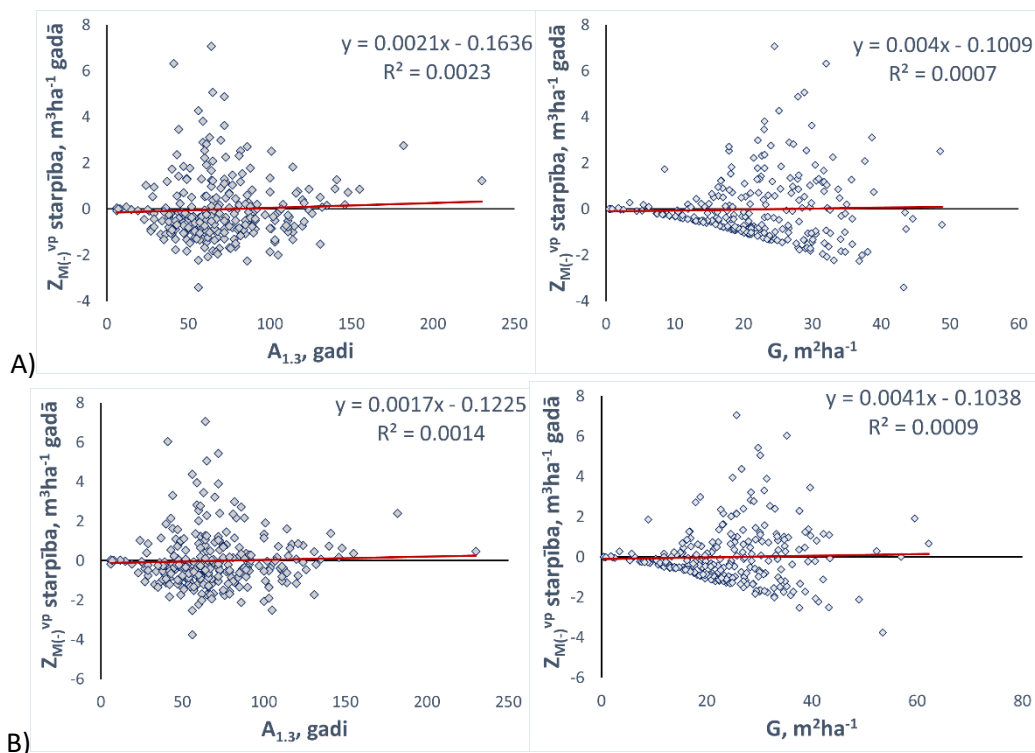
Visām koku sugām atmiruma modelim, pārbaudot to uz datu analīzē izmantotajiem datiem, ir salīdzinoši augsti statistiskie rādītāji (4.4. tabula).

Tabula 4.4. Kokaudzes atmiruma modeļu (4.3. formula) statistiskie rādītāji

Stāvs	Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R ²	N	AIC
1. stāvs	Priede	1.10	-0.01	-1.27	1.00	1.41	128.26	1.97	0.80	0.191	0.446	0.199	264	181.7
	Egle	1.45	-0.03	-2.38	1.05	1.50	103.60	2.23	0.62	0.352	0.619	0.383	96	80.0
	Bērzs	0.97	0.14	14.57	0.71	1.20	123.65	1.43	0.52	0.511	0.695	0.484	152	57.6
	Melnalksnis	2.42	-0.01	-0.42	1.35	1.82	75.32	3.16	0.86	0.126	0.377	0.142	24	30.4
	Apse	1.93	-0.11	-5.71	1.18	1.98	102.67	3.74	0.46	0.434	0.741	0.549	24	34.5
	Baltalksnis	1.98	-0.02	-0.80	0.74	1.03	51.87	1.03	0.25	0.734	0.867	0.751	38	3.9
Visi	Priede	1.26	-0.01	-0.49	0.99	1.42	112.57	2.01	0.74	0.240	0.509	0.259	264	186.9
	Egle	1.91	-0.02	-0.83	1.17	1.64	85.81	2.66	0.58	0.410	0.650	0.423	96	97.0
	Bērzs	1.43	0.06	4.53	0.80	1.32	92.62	1.74	0.51	0.520	0.703	0.495	152	87.1
	Melnalksnis	2.74	-0.02	-0.88	1.20	1.69	61.87	2.73	0.80	0.163	0.447	0.200	24	26.9
	Apse	2.41	-0.06	-2.51	1.29	2.16	89.32	4.43	0.45	0.505	0.744	0.554	24	38.5
	Baltalksnis	2.21	0.02	0.84	0.70	0.98	44.36	0.94	0.21	0.808	0.888	0.789	38	0.4

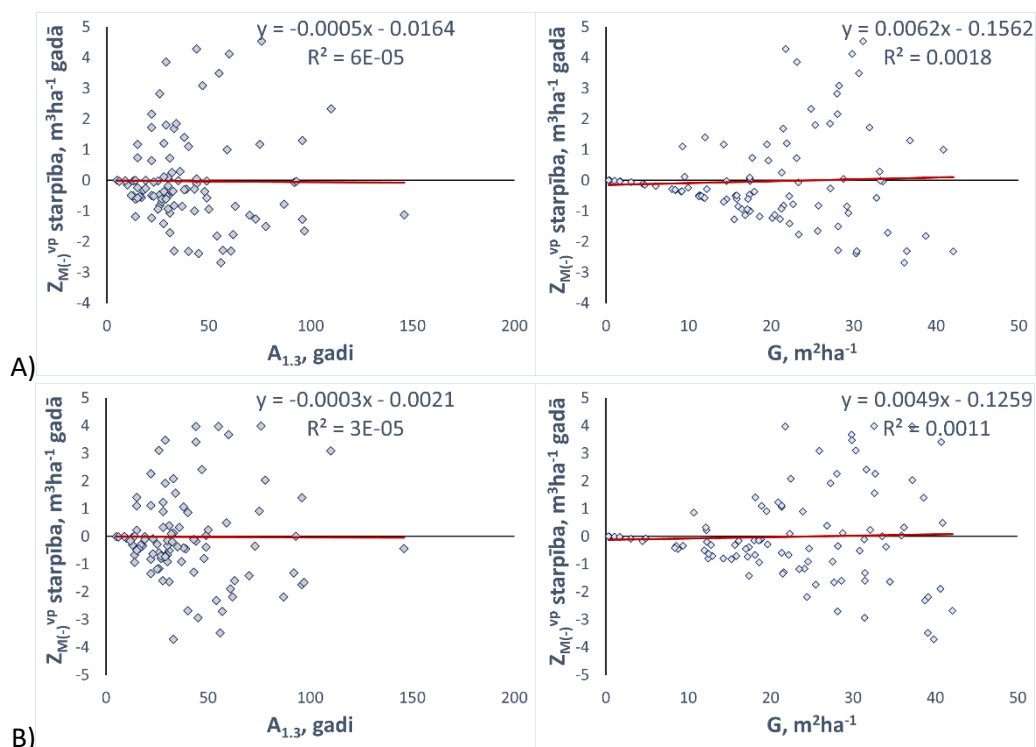
Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība;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

Nevienai no koku sugām ne kokaudzes pirmā stāva, ne kokaudzes visiem stāviem kopā prognozētajam atmirumam nav konstatētas sistemātiskas novirzes ar vienādojumos izmantotajām faktoriālajām vērtībām (vecums un šķērslaukums), jo starpībām starp uzmērīto un prognozēto vērtību ir vājas lineārās korelācijas ar faktoriālajām pazīmēm (4.7. – 4.12. attēli).



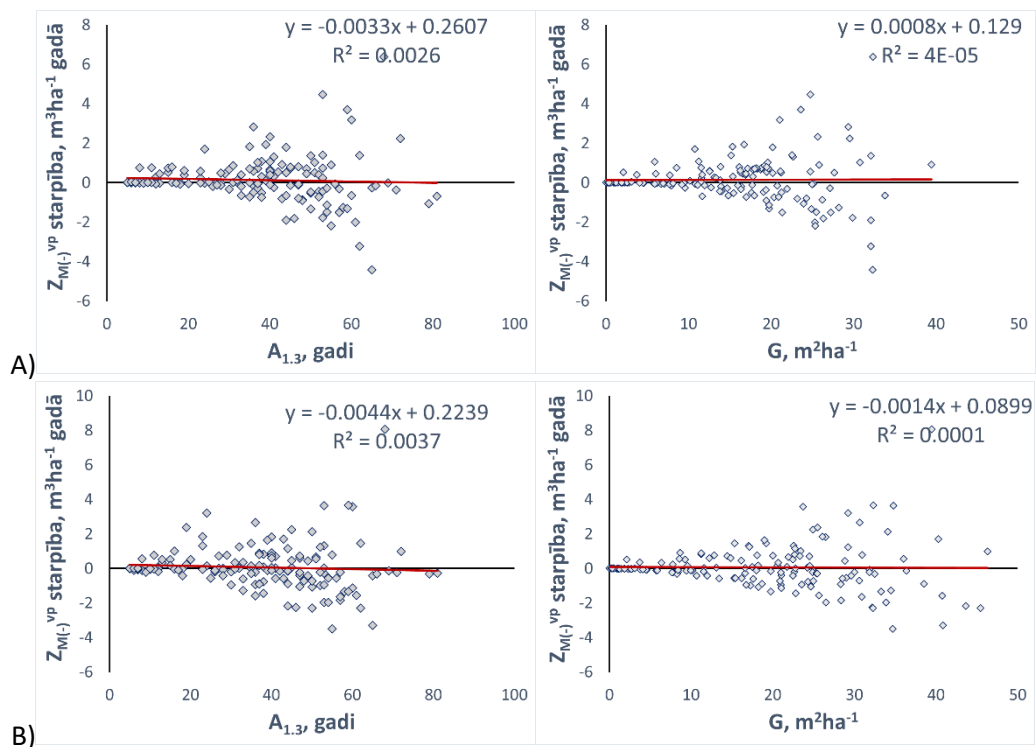
4.7. attēls. Starpība starp MSI parauglaukumos konstatēto un ar 4.3. formulu prognozēto tekošo vidēji periodisko atmirumu (Z_{M(-)}^{vp}) atkarībā no valdošās koku sugas krūšaugsstuma vecuma (A_{1.3}) un šķērslaukuma (G) priežu audzēs.

A – kokaudzes I stāvs; B – kokaudzes visi stāvi kopā.



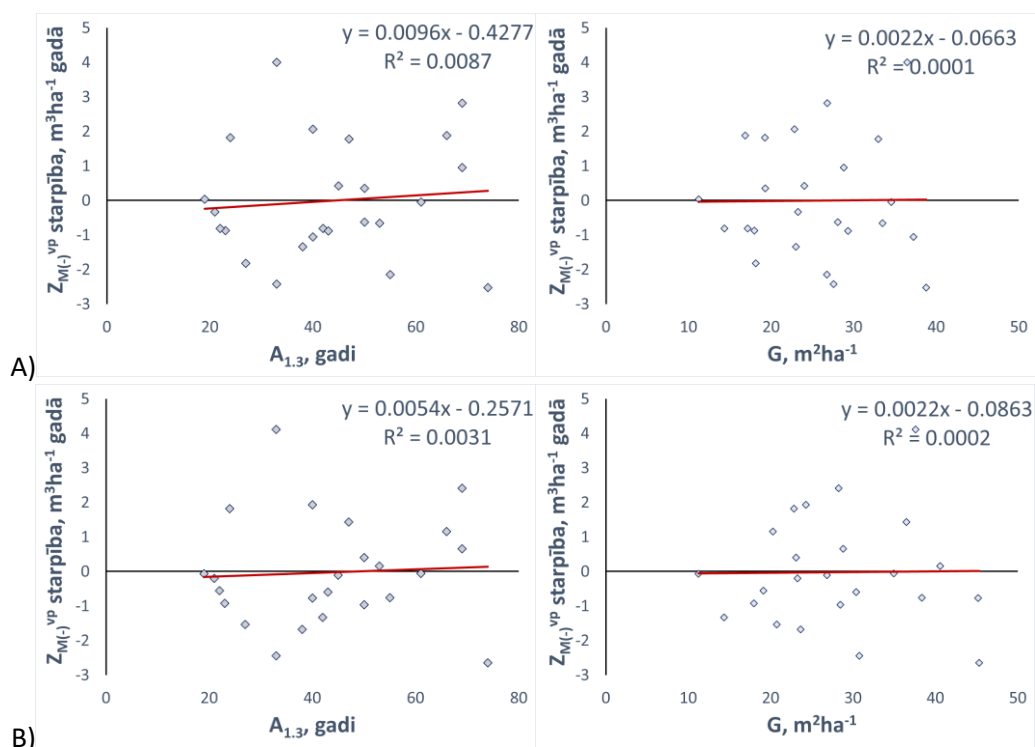
4.8. attēls. Starpība starp MSI parauglaukumos konstatēto un ar 4.3. formulu prognozēto tekošo vidēji periodisko atmirumu ($Z_{M(-)}^{vp}$) atkarībā no valdošās koku sugas krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un šķērslaukuma (G) egļu audzēs.

A – kokaudzes I stāvs; B – kokaudzes visi stāvi kopā.



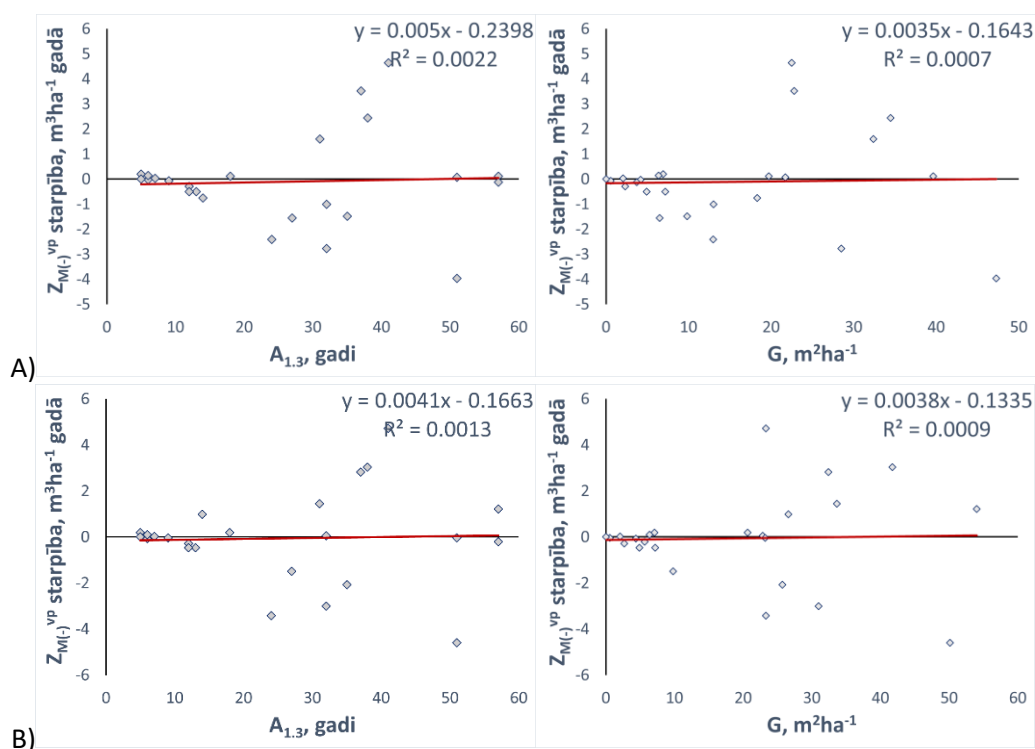
4.9. attēls. Starpība starp MSI parauglaukumos konstatēto un ar 4.3. formulu prognozēto tekošo vidēji periodisko atmirumu ($Z_{M(-)}^{vp}$) atkarībā no valdošās koku sugas krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un šķērslaukuma (G) bērzu audzēs.

A – kokaudzes I stāvs; B – kokaudzes visi stāvi kopā.



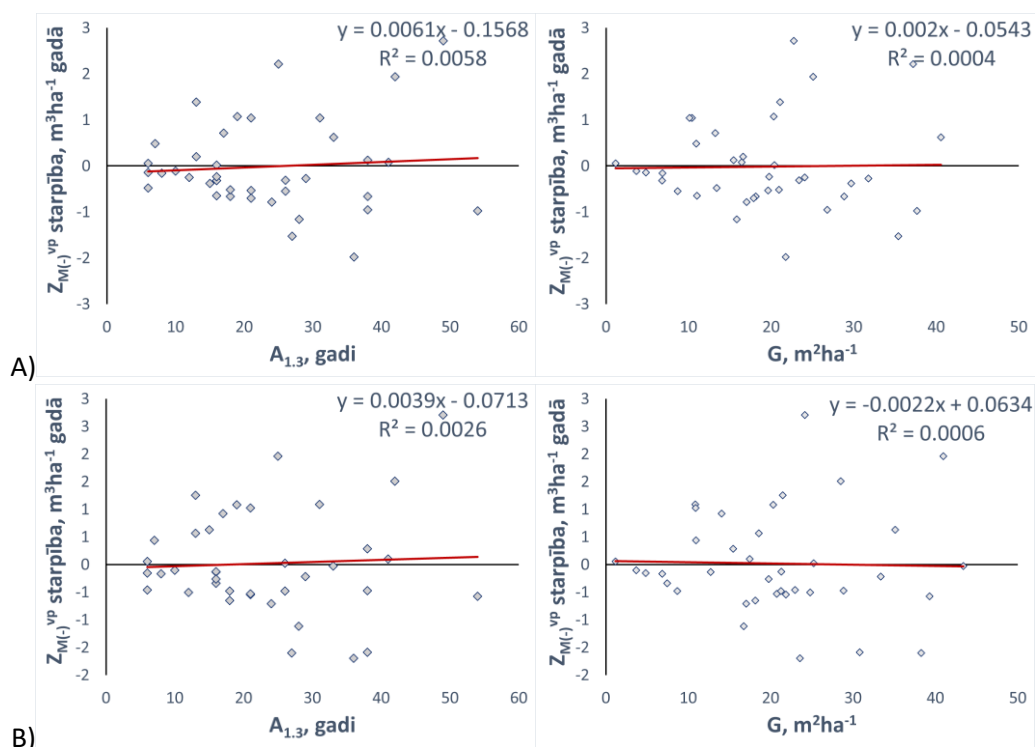
4.10. attēls. Starpība starp MSI parauglaukumos konstatēto un ar 4.3. formulu prognozēto tekošo vidēji periodisko atmirumu ($Z_{M(-)}^{vp}$) atkarībā no valdošās koku sugas krūšaugsstuma vecuma ($A_{1,3}$) un šķērslaukuma (G) melnalkšņu audzēs.

A – kokaudzes I stāvs; B – kokaudzes visi stāvi kopā.



4.11. attēls. Starpība starp MSI parauglaukumos konstatēto un ar 4.3. formulu prognozēto tekošo vidēji periodisko atmirumu ($Z_{M(-)}^{vp}$) atkarībā no valdošās koku sugas krūšaugsstuma vecuma ($A_{1,3}$) un šķērslaukuma (G) apšu audzēs.

A – kokaudzes I stāvs; B – kokaudzes visi stāvi kopā.



4.12. attēls. Starpība starp MSI parauglaukumos konstatēto un ar 4.3. formulu prognozēto tekošo vidēji periodisko atmirumu ($Z_{M(-)}^{vp}$) atkarībā no valdošās koku sugas krūšaugsstuma vecuma ($A_{1.3}$) un šķērslaukuma (G) baltalkšņu audzēs.

A – kokaudzes I stāvs; B – kokaudzes visi stāvi kopā.

Līdzīgi kā faktiskās audzes krājas pieaugumam tā arī atmiruma modelis nelielā datu apjoma dēļ pagaidām nav īsti piemērojams atmiruma modelēšanā, jo atsevišķos gadījumos tiek prognozētas neloģiskas atmiruma vērtības. Turpmākā pētījuma laikā šīs nepilnības tiks novērstas un modelis būs izmantojams praktiskai lietošanai. Šobrīd atmiruma modelēšanā ieteicams lietot iepriekš izstrādātos uz piecu gadu pārmērījuma datiem balstītos vienādojumus (Donis et al., 2015).

4.3. Krājas differences modelis

Krājas difference aprēķināma atbilstoši 4.5. formulai.

$$Z_{dab} = Z_M - Z_{Matm} - Z_{Mizc} \quad (4.5)$$

kur Z_{dab} – kokaudzes krājas difference, m³ha⁻¹;
 Z_M – faktiskās kokaudzes krājas pieaugums, m³ha⁻¹;
 Z_{Matm} – kokaudzes krājas dabiskais atmirums, m³ha⁻¹;
 Z_{Mizc} – izcirstās kokaudzes krāja, m³ha⁻¹;

Z_{mizc} atbilstošai audžu kopai starpcirtē izcirstā krāja aprēķināms no vēsturiskajiem datiem, vai jāiekļauj prognozētās izcirstās krājas vērtības.

Piem., vēsturiskā (2004.-2009.) g. starpciršu intensitāte aproksimēta ar 4.5. tabulā atspoguļotajām sakarībām.

Tabula 4.5. MSI parauglaukumos konstatētā cirtes intensitātes dažāda vecuma desmitgažu audžu kokiem I MSI cikla laikā aproksimācijas vienādojumi

Suga	Cirtes intensitāte atkarībā no vecuma 10-gades, %	R ²	Izmantošanas diapazons (vecuma 10-gades)
Priede	$y = -0.8489x + 11.445$	0.4254	3...10
Egle	$y = 1.4861x + 2.8042$	0.9778	3...8
Bērzs	$y = 16945x + 0.8540$	0.6508	2...7
Melnalksnis	$y = 1.7846x + 3.5181$	1	2...4
Apse	$y = 17.2970x + 31.2050$	0.5761	2...7
Baltalksnis	$y = 4.2758x + 5.4936$	1	2...4

Atbilstoši 4.5. tabulas vienādojumiem var aproksimēt 5 gadu kopējais izcirstais apjoms. Lai aprēķinātu vidējo periodisko ciršanas apjoms izcirstā apjoma vērtība jādala ar 5.

5. Augšanas gaitas modeļu kvalitātes un ticamības vērtējums

5. darba uzdevums. Augšanas gaitas modeļu novērtēšanai, ar 2. un 4. punktā minētajiem vienādojumiem aprēķināt krājas pieaugumu uz LVM MSI datiem ("pilnajiem" parauglaukumiem) un salīdzināt ar MSI noteikto krājas diferenci (pēc MSI 3. cikla 10 gadu pārmērījumiem) šādās audžu grupās: pa valdošās sugām, mistrotām un tīraudzēm, dažādu biežību audzēm, dažādu vecuma audzēm.

5.1. Materiāls un metodika

Analīzē izmantoti dati par 488 MSI 2014. – 2016. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kas ir ierīkoti LVM valdījumā esošajos mežos, un kuros starpinventarizācijas periodā nav konstatēta koku ciršana.

Analīzē krājas izmaiņas kvalitātes un ticamības vērtējums veikts meža elementa līmenī.

Analīzē izmanto priedes, egles, bērza, melnalkšņa, apses pirmā stāva un egles otrā stāva meža elementu datus, kuriem abās uzmērīšanas reizēs ir zināms krūšaugstuma vecums, un tas pirmajā uzmērīšanas reizē ir vismaz 5 gadi. No analīzes izslēdz baltalksni, jo atbilstoši iepriekš izvirzītajiem kritērijiem atlasās tikai 14 meža elementi, kas ir nepietiekami, lai objektīvi izvērtētu prognozēto krājas novirzi.

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

Meža elementa vidējais augstums prognozēts ar 2.1. vienādojumu, vidējais caurmērs ar – 2.2. vienādojumu, bet šķērslaukuma izmaiņas modelētas ar 2.4., 2.5. un 2.6. vienādojumiem. Vienādojumos izmantotās koeficientu vērtības apkopotas 2. pielikumā.

Meža elementa krāja aprēķināta izmantojot profesora I. Liepas izstrādāto formulu:

$$M_2 = \psi \cdot H_2^\alpha \cdot D_2^{\beta \cdot \lg(H_2) + \phi} \cdot N_2 \quad (5.1)$$

<i>kur</i>	M_2	– meža elementa krāja perioda beigās, $m^3 ha^{-1}$;
	H_2	– meža elementa vidējais augstums perioda beigās, m;
	D_2	– meža elementa vidējais caurmērs perioda beigās, cm;
	N_2	– meža elementa koku skaits perioda beigās, ko aprēķina atkarībā no prognozētā meža elementa šķērslaukuma un vidējā caurmēra, ha^{-1} ;
	$\psi, \alpha, \beta, \phi$	– empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas (Liepa, 1996).

Datu analīze veikta datorprogrammā MS Excel.

5.2. Rezultāti

Analīzē meža elementa prognozētās krājas statistiskie rādītāji analizēti atkarībā no:

- ✓ meža elementa sociālā stāvokļa (valdošais vai piemistrojuma elements),
- ✓ mežaudzes pirmā stāva biežības grupas,
- ✓ meža elementa vecuma grupas.

Visiem datu analīzē iekļautajiem pirmā stāva meža elementiem vidējā procentuālā novirze ir mazāka par 10%, bet egles otrā stāva meža elementiem krājas vidējā procentuālā novirze ir mazāka par 20% (5.1. tabula). Tomēr visiem datu analīzē iekļautajiem meža elementiem krājas novirze ir negatīva, kas nozīmē, ka prognozētais krājas pieaugums ir lielāks nekā uzmērītais.

Krājas novirze atkarībā no biežības

Pamatā visiem meža elementiem absolūtā procentuālā krājas novirze visās biežības grupās ir līdzīga, bet tomēr novērojama tendence, ka visiem pirmā stāva meža elementiem retākās audzēs prognozētais krājas pieaugums ir mazāks nekā uzmērītais, bet vidējas biežības un biežākās audzēs šī tendence ir pretēja.

Tabula 5.1. MSI parauglaukumos meža elementu prognozētās krājas statistiskie rezultāti atkarībā no sugas un kokaudzes pirmā stāva biežības

Suga	Relatīvā biežība	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R ²	N	AIC
Priede	0.1-0.4	104.18	0.93	0.89	12.06	20.29	19.47	403.90	0.05	1.081	0.975	0.951	64	393
	0.5-0.7	190.93	-5.37	-2.81	16.75	24.04	12.59	574.16	0.04	0.995	0.982	0.965	163	1045
	0.8-1.0	237.58	-11.56	-4.87	21.46	37.06	15.60	1349.59	0.05	1.038	0.977	0.955	67	492
	Kopā	182.68	-5.41	-2.96	16.80	25.68	14.06	656.98	0.04	1.040	0.982	0.964	294	1917
Egle	0.1-0.4	74.91	7.38	9.85	17.58	29.97	40.01	884.00	0.23	1.076	0.896	0.802	72	498
	0.5-0.7	126.40	-7.19	-5.69	19.39	35.51	28.10	1250.67	0.10	1.135	0.958	0.918	129	930
	0.8-1.0	179.54	-16.58	-9.24	23.84	46.21	25.74	2095.08	0.08	1.211	0.974	0.949	63	491
	Kopā	125.04	-5.46	-4.36	19.96	35.27	28.20	1238.88	0.09	1.201	0.964	0.930	264	1890
Bērzs	0.1-0.4	56.90	2.70	4.75	13.16	22.92	40.27	515.91	0.17	1.064	0.919	0.844	67	428
	0.5-0.7	95.10	-3.37	-3.54	13.31	21.09	22.18	441.27	0.06	1.076	0.971	0.942	134	826
	0.8-1.0	106.12	-2.53	-2.38	13.08	22.03	20.76	476.65	0.05	1.136	0.980	0.960	66	416
	Kopā	88.24	-1.64	-1.85	13.22	20.81	23.58	431.20	0.07	1.105	0.970	0.941	267	1630
Melnalksnis	0.1-0.4	80.41	2.38	2.95	11.60	59.31	73.76	1758.81	0.07	1.205	0.973	0.946	12	88
	0.5-0.7	108.37	-10.10	-9.32	15.59	31.14	28.74	940.33	0.05	1.216	0.987	0.974	43	303
	0.8-1.0	100.51	-4.41	-4.39	14.64	36.37	36.19	1157.66	0.03	0.928	0.987	0.973	18	132
	Kopā	101.83	-6.65	-6.53	14.70	26.58	26.10	695.40	0.04	1.133	0.984	0.968	73	487
Apse	0.1-0.4	86.14	12.07	14.01	19.51	41.94	48.70	1583.34	0.18	1.117	0.931	0.866	20	153
	0.5-0.7	110.87	-0.43	-0.38	15.24	32.75	29.54	1019.01	0.07	0.968	0.966	0.933	30	216
	0.8-1.0	182.33	-28.30	-15.52	49.94	219.29	120.27	38468.91	0.18	1.213	0.928	0.861	15	162
	Kopā	119.75	-3.01	-2.52	24.56	65.06	54.33	4155.60	0.15	1.202	0.937	0.878	65	551
Egle 2. stāvs	0.1-0.4	25.69	-4.13	-16.06	8.62	13.53	52.66	180.27	0.20	1.251	0.928	0.862	77	409
	0.5-0.7	27.41	-3.58	-13.07	7.94	13.18	48.07	172.86	0.14	1.040	0.936	0.876	221	1148
	0.8-1.0	28.59	-6.59	-23.04	10.30	17.20	60.17	292.47	0.24	1.344	0.925	0.855	95	549
	Kopā	27.36	-4.42	-16.14	8.64	13.86	50.67	191.67	0.17	1.148	0.930	0.864	393	2075

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; R - korelācijas koeficients; R² - determinācijas indekss; N - elementu skaits; AIC - Akaikes indekss.

Krājas novirze atkarībā no sociālā stāvokļa grupas

Datu analizē meža elementi tiek iedalīti divās sociālajās grupās: valdošais meža elements un piemistrojuma meža elements.

Analizējot prognozētās krājas izmaiņas atkarībā no sociālā stāvokļa, izmanto datus tikai par pirmā stāva meža elementiem.

Vidējā prognozētā krājas novirze nevienai analizētajai koku sugai ne valdošajiem, ne piemistrojuma meža elementiem nepārsniedz desmit procentu robežu (5.1. tabula). Pie tam piemistrojuma meža elementiem procentuālā vidējā novirze ir pat mazāka nekā valdošajiem meža elementiem, savukārt variācijas koeficients ir mazāks valdošajiem meža elementiem. Tā kā statistiskie rādītāji valdošajiem un piemistrojuma meža elementiem ir līdzīgi, tad var pieņemt, ka prognozētās krājas novirze nav atkarīga no meža elementa sociālā stāvokļa.

Tabula 5.2. MSI parauglaukumos meža elementu prognozētās krājas statistiskie rezultāti atkarībā no sugas un sociālā stāvokļa grupas

Sociālā grupa	Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R2	N	AIC
Valdošais meža elements	P	222.06	-6.59	-2.97	19.70	28.96	13.04	834.54	0.06	1.030	0.974	0.949	222	1503.1
	E	215.29	-15.16	-7.04	33.99	51.84	24.08	2660.21	0.17	1.247	0.937	0.878	108	861.2
	B	156.78	-5.99	-3.82	20.69	30.00	19.13	889.81	0.13	1.119	0.944	0.891	99	681.8
	M	254.34	-17.95	-7.06	31.71	60.66	23.85	3311.47	0.09	1.070	0.964	0.929	20	168.2
	A	256.05	-13.94	-5.44	55.16	142.13	55.51	18518.49	0.26	1.240	0.892	0.795	22	222.8
Piemistrojuma meža elements	P	61.24	-1.77	-2.88	7.87	12.58	20.55	155.83	0.04	1.050	0.981	0.962	72	372.7
	E	62.56	1.26	2.01	10.24	19.29	30.84	369.70	0.11	0.985	0.946	0.896	156	932.0
	B	47.85	0.93	1.94	8.82	14.19	29.66	200.16	0.10	1.016	0.949	0.901	168	899.9
	M	44.28	-2.38	-5.38	8.28	15.96	36.03	248.73	0.14	1.249	0.946	0.895	53	301.3
	A	50.01	2.58	5.15	8.90	14.07	28.14	192.01	0.10	1.029	0.955	0.912	43	234.7

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; R - korelācijas koeficients; R2 - determinācijas indekss; N - elementu skaits; AIC - Akaikes indekss.

Krājas novirze atkarībā no vecuma

Paamatā visiem datu analīzē iekļautajiem meža elementiem un visās vecuma grupās prognozētā krājas novirze nepārsniedz 10% no aritmētiski vidējās uzmērītās krājas (5.3. tabula). Nav arī novērojama kāda tendence vai likumsakarība starp prognozēto krājas novirzi un vecuma grupu.

Tabula 5.3. MSI parauglaukumos meža elementu prognozētās krājas statistiskie rezultāti atkarībā no sugas un vecuma grupas

Suga	Vecuma grupa	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R2	N	AIC
P	5_40	113.38	5.62	4.96	15.84	24.37	21.49	578.90	0.05	1.098	0.980	0.960	50	327
	41_80	189.37	-11.80	-6.23	18.04	28.79	15.20	823.39	0.05	1.057	0.979	0.959	160	1084
	81_	211.17	0.20	0.10	15.02	23.38	11.07	539.45	0.02	0.960	0.988	0.976	84	538
E	5_40	128.42	-3.95	-3.08	24.19	39.07	30.42	1509.41	0.10	1.301	0.964	0.930	101	749
	41_80	115.19	-8.41	-7.30	17.48	36.09	31.33	1291.43	0.11	1.193	0.959	0.919	131	948
	81_	154.72	1.88	1.22	16.76	31.67	20.47	957.18	0.03	1.055	0.985	0.969	32	228
B	5_40	71.98	-2.88	-4.00	15.81	25.66	35.65	650.80	0.12	1.258	0.953	0.908	94	618
	41_	97.07	-0.96	-0.99	11.81	18.62	19.18	344.48	0.05	1.056	0.977	0.955	173	1020
M	5_40	65.62	-4.21	-6.42	13.90	25.93	39.52	647.61	0.08	1.120	0.966	0.934	37	248
	41_	139.05	-9.15	-6.58	15.52	32.45	23.34	1012.48	0.04	1.137	0.987	0.975	36	257
A	5_40	100.67	-2.41	-2.40	30.32	75.44	74.94	5174.11	0.25	1.859	0.958	0.918	21	186
	41_	128.86	-3.30	-2.56	21.81	72.12	55.97	5048.32	0.13	1.087	0.938	0.879	44	384
E 2.stāvs	5_40	21.82	-6.05	-27.71	8.90	14.18	64.97	200.17	0.21	1.262	0.931	0.866	270	1441
	41_	39.53	-0.84	-2.12	8.08	13.81	34.94	189.09	0.14	1.075	0.931	0.867	123	654

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; R - korelācijas koeficients; R2 - determinācijas indekss; N - elementu skaits; AIC - Akaikes indekss.

6. Metodikas izstrāde individuālu koku augšanas gaitas modeļu izstrādei

6. darba uzdevums. **Metodikas izstrāde individuālu koku augšanas gaita modeļu izstrādei.**

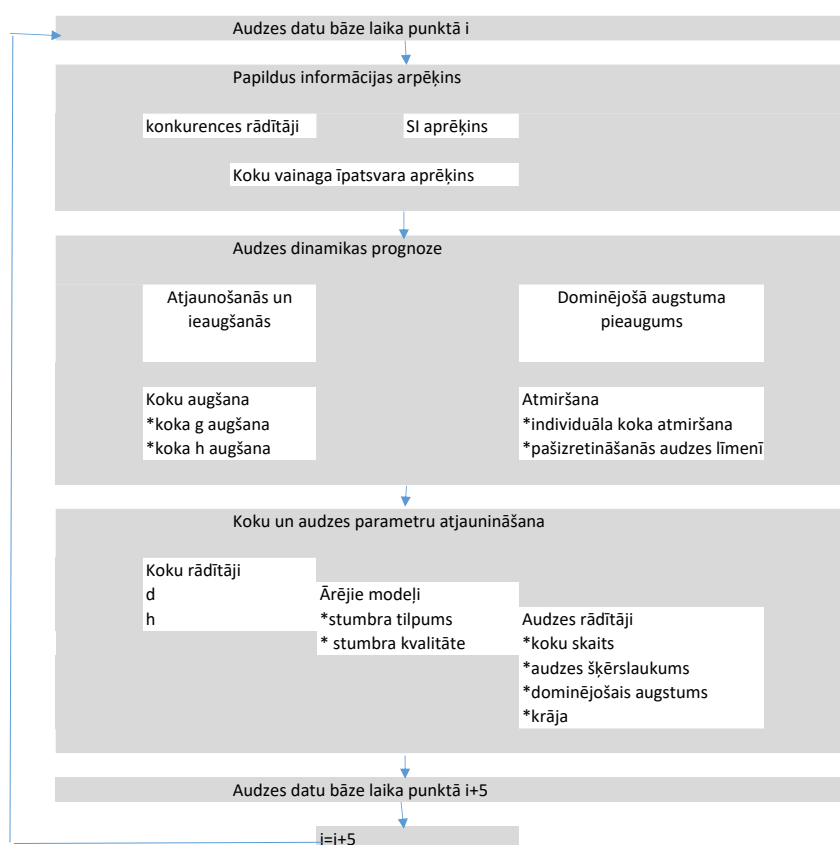
6.1. Konceptuālā pieeja atsevišķu koku augšanas gaitas modeļu izstrādē

Izstrādāta vienādojumu sistēma kokaudzes I stāva, II stāva koku augstuma, caurmēra pieauguma aprēķināšanai, kā arī atmiršanas varbūtības aprēķināšanai.

Par pamatu izvēlēti Somijas atsevišķa koka augšanas gaitas prognožu modeļi (Hynynen et al., 2002), taču tā kā šajos modeļos nav iekļauta mēslošanas ietekme, atzarošanas ietekme, plānots, papildus rādītāji tiks ņemti no Zviedrijas izmantotajiem augšanas gaitas modeļiem.

Atsevišķu koku taksācijas rādītāju modelēšanā atsevišķi tiek izdalītas mežaudzes minerālās augsnes un mežaudzes kūdras augsnes, un katrai grupai ir izstrādāti atsevišķi augšanas gaitas modeļi.

6.1.1. Bioloģisko procesu simulācijas shēma



Principiālā shēma (Hynynen et al., 2002).

Atbilstoši šajā shēmā jāparedz koku skaita izmaiņas (atmiršana) arī mežkopības darbību rezultātā, t.i., kopšana iekļaujot kopšanas ciršu veidu un intensitāti, kā arī vainaga izmaiņas atzarošanas rezultātā. Tāpat augšanas gaitā modeļi jāiekļauj augšanas gaitas izmaiņas meža mēslošanas rezultātā, kā arī koku bojājumu rezultātā radītās augšanas gaitas izmaiņas.

6.1.2. Modelējamo rādītāju atribūti

6.1.2.1. Koka raksturojošie rādītāji (atribūti)

Par galvenajiem koku raksturojošiem rādītājiem pieņemti:

Koku suga

A	koka krūšaugstuma vecums (rēķinot virsaugstuma bonitāti $A=100$ gadi), 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, cm^2 ;
v	koka stumbra tilpums, m^3
cr	vainaga īpatsvars (zaļā vainaga garums attiecībā pret koka garumu);
cw	vainaga platums, m
CI	konkurences indekss
DAMAG	Bojājumu veids un pakāpe (kods)
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;

6.1.2.2. Kokaudzi raksturojošie rādītāji (atribūti)

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} ;
P_{lk}	lapu koku īpatsvars;
RDF	relatīvā biežības faktors (rēķinot virsaugstuma bonitāti $RDF=0.75$);
RDFB	bērza relatīvās biežības faktors;
RDFC	citū 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;

6.1.2.3. *Mežaudzes /vietas raksturojošie rādītāji /atribūti*

Augsnes auglības rādītāji/ meža tipu grupa

HUMUS	fiktīvais mainīgais, kas raksturo kūdras slāņa biezums
Tsum	aktīvās veģetācijas (to >5°C) temperatūru summa;
SC _x	fiktīvais mainīgais, kas raksturo kādai meža tipa auglības grupai pieder mežaudze (6.1. tabula);
SI	mežaudzes virsaugstuma bonitāte (augstums 100 gadu krūšaugstuma vecumā), m;
SI _A	apses virsaugstuma bonitāte (augstums 100 gadu vecumā), m;
SI _B	bērza virsaugstuma bonitāte (augstums 100 gadu vecumā), m;
SI _{BA}	baltalkšņa virsaugstuma bonitāte (augstums 100 gadu vecumā), m;
SI _E	egles virsaugstuma bonitāte (augstums 100 gadu vecumā), m;
SI _{MA}	melnalkšņa virsaugstuma bonitāte (augstums 100 gadu vecumā), m;
SI _P	priedes virsaugstuma bonitāte (augstums 100 gadu vecumā), m;
Y1-4	fiktīvais mainīgais, kas raksturo koku sugai atbilstošo ražības grupu (6.2. tabula);
LAT	ziemeļu platums, km;
PALU	fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai vieta ir pārpurvojusies

6.1.2.4. *Saimnieciskās darbības raksturojošie rādītāji*

SP ₀₋₁₀	fiktīvais mainīgais, kas raksturo augsnes sagatavošana pēdējo 10 gadu laikā
p ₀₋₅	fiktīvais mainīgais, kas raksturo sastāva kopšanas cirte pēdējo 5 gadu laikā
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;
	(Atzarošana pēdējo 5 gadu laikā)
	(Atzarošana pēdējo 10 gadu laikā)
	(Mežaudzes mēslošana pēdējo 5 gadu laikā)
	(Mežaudzes mēslošana pēdējo 10 gadu laikā)
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;

6.1.2.5. *Trūkstošo taksācijas rādītāju aprēķins*

6.1.2.5.1. 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.

Petersena vienādojums

$$h_{ij} = 1.3 + \left(\frac{DBH_{ij}}{b_1 + b_2 DBH_{ij}} \right)^3 + \varepsilon_{ij}$$

6.0.1.

Gafreja vienādojums

Vispārējo augstumliķņu aproksimācijā izmantots Gafreja (*Gaffrey*) (van Laar, Akča 1997) vienādojums:

$$H_i = 1.3 + (H_g - 1.3) e^{\left[a_1 \left(1 - \frac{D_g}{D_i} \right) + a_2 \left(\frac{1}{D_g} - \frac{1}{D_i} \right) \right]} \quad (6.02.)$$

H_i – koka augstums, m;

D_i – koka caurmērs, cm;

H_g – audzes vidējā kvadrātiskā koka augstums, m;

D_g – audzes vidējā kvadrātiskā koka caurmērs, cm;

a_1 un a_2 – koeficienti.

Aproksimētas jaunas Gafreja vispārīgās augstumliķnes (6.01. formula) koeficientu vērtības (6.1. tabula).

Tabula 6.1. Gaffrey vispārīgās augstumliķnes (6.0.2. formula) koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

Suga	Koeficients	Vērtība	Standart- klūda	95% Ticamības intervāls	
				Min	Max
Priede	a1	0.12661	0.00844	0.11007	0.14316
	a2	4.74280	0.20314	4.34460	5.14099
Egle	a1	0.14627	0.01044	0.12580	0.16674
	a2	7.09408	0.20992	6.68259	7.50557
Bērzs	a1	0.17852	0.00823	0.16238	0.19465
	a2	3.81497	0.14938	3.52214	4.10780
Melnalksnis	a1	0.13731	0.02559	0.08712	0.18751
	a2	3.00718	0.52046	1.98634	4.02803
Apse	a1	0.13702	0.01497	0.10765	0.16639
	a2	3.41821	0.30316	2.82346	4.01297
Baltalksnis	a1	0.23010	0.02759	0.17599	0.28420
	a2	1.98172	0.35163	1.29208	2.67137

Nejaušo augstuma noviržu no augstumliķnes komponentes modelēšanas vienādojums

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

$$f(x) = \frac{\lambda}{\beta} \cdot \left[\left(\frac{h-\alpha}{\beta} \right)^{\lambda-1} \cdot \exp \left(- \left(\frac{h-\alpha}{\beta} \right)^{\lambda} \right) \right] \quad (6.0.1.)$$

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

Weibull sadalījuma kumulāta izsakāma ar sakarību:

$$f(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x-\alpha}{\beta} \right)^{\lambda} \right] \quad (6.0.2.)$$

$$CVH = \exp(b_0 + b_1 \cdot H + b_2 \cdot \ln(H) + b_3 \cdot \ln(1 + P_{LK}) + b_4 \cdot Izc) \quad (6.0.2.1)$$

$$\lambda = \exp(b_0 + b_1 \cdot H + b_2 \cdot CVH + b_3 \cdot \ln(CVH)) \quad (6.0.2.2)$$

$$\beta = b_0 + b_1 \cdot H + b_2 \cdot CVH \quad (6.0.2.3)$$

6.1.2.5.2. Koku sadalījums pa caurmēra pakāpēm

Modeļu izstrādes stadijā pieņem, ka visi koki, kurus reprezentē attiecīgais koks ir ar atbilstošām dimensijām, savukārt modeļa pielietošanas laikā atbilstošā elementa koku sadalījumu pa caurmēra pakāpēm un augstuma pakāpēm modelē atbilstoši Veibula (*Weibull*) 3 parametru modelim vai Džonsona SB modelim (*Johnson*).

Koku skaita modelēšanai sadalījumā pa caurmēra grupām izmanto 3-pakāpju *Weibull* sadalījums (6.0.1.), bet *Weibull* sadalījuma λ – formas parametrs; β – mēroga parametrs; α – novietojuma

parametrs nosakāmi izmantojot meža elementa skaitu un caurmēra vidējās vērtības. Vienkāršoti pieņemot, ka α – novietojuma parametrs ir 0.5 no meža elementa D vidējā.

6.1.2.6. 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;

6.2. Atsevišķu koku augšanas gaitas modeļi

6.1. tabula

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

SC ₁	SC ₂	SC ₃	SC ₄	SC ₅	SC ₆	SC ₇	SC ₈
ļoti auglīgs	auglīgs	mēreni auglīgs	mēreni nabadzīgs	nabadzīgs	ļoti nabadzīgs	akmeņainas zemes, smiltāji un palienas	kalni un pakalni
Gr;Grs;Lk;Ap;Kp	Vr;Vrs;Db;As;Ks	Ln;Dm;Dms	Mr;Mrs;Nd;Am;Km	Sl;Gs;Pv;Av;Kv			

6.2. tabula

Somijas caurmēra augšanas gaitas modeļos kūdras augsnes (6.9. vienādojums) izmantotās koku sugu ražības grupas atkarībā no meža augsnes grupas un mežaudzes valdošās koku sugas

Valdošā koku suga	Koka suga	Eitrofās augsnes	Mezotrofās augsnes	Oligo-mezotrofās augsnes	Oligotrofās augsnes	Ombro-oligotrofās augsnes	Ombrotrofās augsnes
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		

6.2.1. Augšanas gaitas modeļiem nepieciešamie papildus rādītāji

6.2.1.1. Audzes relatīvā biezība

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

Relatīvo audzes biezības faktoru aprēķina pēc sekojoša vienādojuma:

$$RDF = \sum_{i=1}^n ga_i \quad (6.1)$$

$$ga_i = b_0^{-1} \cdot d_i^{-b_1} \quad (6.1.1)$$

6.2.1.2. Koku vainaga īpatsvars

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

$$cr = 1 - \exp(-X) \quad (6.2)$$

Priede

$$X = (b_0 + b_1 \cdot c_{0-5} + b_2 \cdot c_{6-10}) \cdot H_{dom}^{-b_3} \cdot d^{b_4} \cdot \exp(-b_5 \cdot RDFL) \cdot T_{sum}^{b_6} \cdot \exp(-b_7 \cdot RDF) \quad (6.2.1)$$

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

Egle

$$X = (b_0 + b_1 \cdot c_{0-5}) \cdot H_{dom}^{-b_2} \cdot d^{b_3} \cdot \exp(-b_4 \cdot RDF) \cdot T_{sum}^{b_5} \cdot SI_e^{b_6} \quad (6.2.2)$$

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

Bērzs (citi lapu koki)

$$X = (b_0 + b_1 \cdot PLANT) \cdot \ln(H_{dom})^{-b_2} \cdot d^{b_3} \cdot \ln(h)^{-b_4} \cdot \exp(-(b_5 + b_6 \cdot PLANT) \cdot RDF) \quad (6.2.3)$$

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

6.2.1.3. Audzes virsaugstuma bonitāte

Modeļos par mežaudzes virsaugstums tiek izmantots dominējošo koku vidējais augstums 100 gadu krūsaugstuma vecumā, kur dominējošie koki ir koki, kuru caurmērs ir lielāks par mežaudzes vidējo kvadrātisko caurmēru.

Mežaudzes virsaugstuma aprēķināšanai izmantojams sekojošs vienādojums:

$$SI = \exp(\beta_0 + \beta_1 \cdot A^c) + 1.3 \quad (6.3)$$

$$\begin{aligned} \beta_0 = & b_0 + b_1 \cdot \frac{T_{sum}}{1000} + b_5 \cdot SC_1 + b_6 \cdot SC_2 + b_7 \cdot SC_3 + b_8 \cdot SC_4 + b_9 \cdot SC_5 + b_{11} \cdot PALU + b_{12} \cdot HUMUS + \\ & b_{13} \cdot RDF^{0.5} + b_{14} \cdot \ln\left(\frac{d}{D_{dom}}\right) + b_{15} \cdot \ln\left(\frac{d}{D_{dom}}\right) \cdot RDF + b_{16} \cdot PLANT \end{aligned} \quad (3.3.1)$$

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

Ar 6.3. vienādojumu iespējams aprēķināt arī mežaudzes dominējošo koku vidējo augstumu jebkurā vecumā un līdz ar to ir iespējams arī prognozēt šī rādītāja pieaugumu:

$$iH_{dom5} = H_{domA+5} - H_{domA} \quad (6.4)$$

6.2.2. Augstuma augšanas gaitas modeļi

6.2.2.1. Mežaudzes minerālās augsnes

Lai prognozētu atsevišķu koku piecu gadu augstuma pieaugumu izmanto sekojošu vienādojumu:

$$\text{Priede; Egle} \quad ih_5 = iH_{dom5} \cdot \left(\frac{d}{D_{dom}}\right)^{b_1 \cdot iH_{dom5}^{b_2} + b_3 \cdot \frac{cr}{CR_{dom}} + b_4 \cdot cr + b_5 \cdot RDFL} \quad (6.5)$$

$$\text{Bērzs (citi lapu koki)} \quad ih_5 = iH_{dom5} \cdot \left(\frac{d}{D_{dom}}\right)^{(b_1 + b_2 \cdot PLANT) \cdot RDFL} \quad (6.6)$$

$iH_{dom5} = f(d/D_{dom}); H_{dom}; cr; cr_{dom}; CI3; PLANT)$

6.2.2.2. Mežaudzes kūdras augsnes

Lai atbilstoši aktualizētajam koka caurmēram (6.9. vienādojums) aprēķinātu atsevišķu koku augstumu izmanto sekojošu sakarību:

$$h = \exp(A_k + B_k \cdot x + e) + 1.3 \quad (6.7)$$

$$x = \frac{d^{-a_1} - 30^{-a_1}}{10^{-a_1} - 30^{-a_1}} \quad (6.7.1)$$

$$A_k = b_0 + b_1 \cdot \ln(DM) + b_2 \cdot \ln(G) + b_3 \cdot \ln\left(\frac{P_b}{100} + 1\right) + b_4 \cdot LAT + b_6 \cdot c_{0-5} + b_7 \cdot SQ_{2-4} \quad (6.7.2)$$

$$B_k = c_0 + c_1 \cdot \ln(DM) + c_2 \cdot \ln(G) \quad (6.7.3)$$

6.2.3. Caurmēra augšanas gaitas modeļi

Caurmēra augšanas gaitas aproksimēšanai izmanto atsevišķu koku šķērslaukuma pieauguma modeli.

6.2.3.1. Mežaudzes minerālās augsnes

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

$$i_{g5} \exp(b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n) \quad (6.8)$$

Priede

$$i_{g5} = \exp \left(b_0 + b_1 \cdot SI_p + b_2 \cdot SC_{1-2} + b_3 \cdot SC_3 + b_4 \cdot SC_{5-8} + b_5 \cdot \frac{1}{H_{dom}} + b_6 \cdot \frac{1}{H_{dom}^2} + b_7 \cdot \ln(d) + b_8 \cdot d^2 + b_9 \cdot \frac{1}{d+0.1} + b_{10} \cdot \ln(cr) + b_{11} \cdot RDFL + b_{12} \cdot \ln(RDF_p + 1) + b_{13} \cdot \ln(RDF_e + 1) + b_{14} \cdot \ln(RDF_b + RDF_{citi} + 1) + b_{15} \cdot \frac{cr \cdot T_{sum}}{1000} + b_{16} \cdot c_{0-5} + b_{17} \cdot c_{6-10} \right) \quad (6.8.1)$$

$$i_{g5} = f(SI, MT \text{ grupa}, H_{dom}, d, cr, CIL, Cl_p, Cl_e, Cl_b, Cl_c, T_{sum}, Kopšana)$$

Egle

$$i_{g5} = \exp \left(b_0 + b_1 \cdot SI_e + b_2 \cdot SC_1 + b_3 \cdot SC_2 + b_4 \cdot SC_{4-8} + b_5 \cdot \frac{1}{H_{dom}} + b_6 \cdot \frac{1}{H_{dom}^2} + b_7 \cdot \ln(d) + b_8 \cdot d^2 + b_9 \cdot (\ln(d))^2 + b_{10} \cdot \ln(cr) + b_{11} \cdot RDFL + b_{12} \cdot \ln(RDF_p + 1) + b_{13} \cdot \ln(RDF_e + 1) + b_{14} \cdot \ln(RDF_b + 1) + b_{15} \cdot \frac{cr \cdot T_{sum}}{1000} + b_{16} \cdot c_{0-5} \right) \quad (6.8.2)$$

$$i_{g5} = f(SI, MT \text{ grupa}, H_{dom}, d, cr, CIL, Cl_p, Cl_e, Cl_b, Cl_c, T_{sum}, Kopšana 0-5)$$

Bērzs (citi lapu koki)

$$i_{g5} = \exp \left(b_0 + b_1 \cdot SI_b + b_2 \cdot \frac{1}{H_{dom}} + b_3 \cdot \frac{1}{H_{dom}^2} + b_4 \cdot \ln(d) + b_5 \cdot d^2 + b_6 \cdot \ln(cr) + b_7 \cdot RDFL + b_8 \cdot \ln(RDF + 1) + b_9 \cdot \frac{T_{sum}}{1000} + b_{10} \cdot PLANT + b_{11} \cdot c_{0-10} + b_{12} \cdot SP \right) \quad (6.8.3)$$

$$i_{g5} = f(SI, H_{dom}, d, cr, CIL, Cl, Cl_p, Cl_e, Cl_b, Cl_c, T_{sum}, PLANT, Kopšana 0-10, SP)$$

3.2.3.2. Mežaudzes kūdras augsnēs

Mežaudzēs kūdras augsnēs tiek prognozēts atsevišķu koku šķērslaukuma pieaugums:

$$i_g = \exp(b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n) - \text{const} \quad (6.9)$$

Priede

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

Egle

$$i_g = \exp(b_0 + b_1 \cdot d^{2.9} + b_2 \cdot BAL + b_3 \cdot P_e + b_4 \cdot Y1 \cdot d^{0.5} + b_5 \cdot Y2 \cdot d^{0.5} + b_6 \cdot DR_{0-5} + b_7 \cdot DR_{25-} + b_8 \cdot PDR + b_9 \cdot c_{0-5}) - 7 \quad (6.9.2)$$

Bērzs (citi lapu koki)

$$i_g = \exp(b_0 + b_1 \cdot d^2 + b_2 \cdot BAL + b_3 \cdot T_{sum} + b_4 \cdot P_e + b_5 \cdot P_b + b_6 \cdot SEA + b_7 \cdot Y1 \cdot \ln(d) + b_8 \cdot Y2 \cdot \ln(d) + b_9 \cdot Y3 \cdot \ln(d) + b_{10} \cdot DR_{0-5} + b_{11} \cdot DR_{11-25} + b_{12} \cdot PDR + b_{14} \cdot c_{0-5}) - 3 \quad (6.9.3)$$

6.2.4. 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:

$$p_5 = 1 - (1 - p_{comp5}) \cdot (1 - p_{old5}) \quad (6.10)$$

6.2.4.1. Konkurences izraisītais atsevišķu koku atmirums

Atsevišķu koku konkurences izraisītā atmiruma varbūtība tiek modelēta sekojoši:

Priede, egļe

$$p_{comp5} = \frac{1}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot G + b_3 \cdot BAL)} \quad (6.11)$$

Lapu koki

$$p_{comp5} = \frac{1}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot d_c + b_2 \cdot RDFL + b_3 \cdot d_c \cdot RDFL)} \quad (6.12)$$

6.2.4.2. Vecuma izraisītais atsevišķu koku atmirums

Atsevišķu koku vecuma izraisītā atmiruma varbūtība tiek modelēta sekojoši:

$$p_{old} = \frac{\exp\left(-10 + 10 \cdot \left(\frac{10 \cdot a_c}{0.82 \cdot A_{max}}\right)\right)}{1 + \exp\left(-10 + 10 \cdot \left(\frac{10 \cdot a_c}{0.82 \cdot A_{max}}\right)\right)} \quad (6.13)$$

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

$$p_{old5} = \frac{p_{old(A+5)} - p_{old(A)}}{1 - p_{old(A)}} \quad (6.14)$$

6.2.4.3. Mežaudzes maksimālais koku skaits

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

$$N_{max} = \exp(b_0 + b_1 \cdot \ln(D_c)) \quad (6.15)$$

$$N_{max} = \exp(b_0 + b_1 \cdot \ln(SI) + b_2 \cdot \ln(D_c)) \quad (6.16)$$

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

- 1) Koku sugas sakārto pēc to gaismas prasības dilstošā secībā. *Piemēram: egļe; priede; bērzs.*
- 2) Aprēķina ģenētiskākās sugas maksimālo koku skaitu.

$$N_{maxE} = N'_{maxE} \quad (6.17)$$

- 3) Aprēķina nākošās ģenētiskākās sugas maksimālo koku skaitu.

$$N_{maxP} = \frac{RDF_p + RDF_b}{RDF} \cdot N'_{maxp} + \frac{RDF_e}{RDF} \cdot N'_{maxE} \quad (6.18)$$

- 4) Aprēķina nākošās ģenētiskākās sugas maksimālo koku skaitu.

$$N_{maxB} = \frac{RDF_b}{RDF} \cdot N'_{maxb} + \frac{RDF_p}{RDF} \cdot N'_{maxp} + \frac{RDF_e}{RDF} \cdot N'_{maxE} \quad (6.19)$$

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

6.2.4.4. Atmiruma korekcija

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

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

$$c_{kor} = \frac{N_{max}}{N^*} \quad (6.20)$$

Ar 6.20. 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:

$$c_{kor} = \frac{G_{max}}{G^*} \quad (6.21)$$

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

$$c_{kor} = \varphi \cdot \frac{G_{max}}{G^*} + (1 - \varphi) \cdot \frac{N_{max}}{N^*} \quad (6.22)$$

$$\varphi = \frac{1}{3} \cdot \frac{N^*}{1000} - \frac{2}{3} \quad (6.22.1)$$

Nākamā perioda korigēto koku skaitu aprēķina sekojoši:

$$N_{kor} = c_{kor} \cdot N^* \quad (6.23)$$

7. Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrādei nepieciešamo iepriekš ierīkoto parauglaukumu pārmērīšana

7. darba uzdevums. **Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrādei nepieciešamo iepriekš ierīkoto parauglaukumu pārmērīšana (10 objekti).**

7.1. Lauku darbu metodika

Iepriekšējās kokaudzēs (mātes audzes) struktūras novērtēšana

Audzēs telpiskās struktūras raksturošanai pārmērīti 2006.-2012. gadā iekārtotie objekti, kuros izlases vai pakāpeniskās cirtes pirmais paņēmieni veikts laika periodā no 2001. līdz 2007. gadam (7.1.tabula). Lielākajā daļā audžu veikta vienlaidus cirte, izņemot KNP-137-2 un Abava220, kur veikta grupu cirte. Kopumā iepriekšējā kokaudzē atkārtoti novērtēta 9 objektos – 5 objektos damaksnī un 4 objektos lānā. Konstatēts, ka vēl vienā objektā (Abava220) veikts pakāpeniskās cirtes trešais noslēdzošais paņēmieni, nocērtot praktiski visus mātes audzes kokus.

Objektos iepriekšējās kokaudzēs struktūra novērtēta kopā 54 parauglaukumos (500 m^2 ; $R=12.62\text{ m}$). Katram kokam fiksēta – suga, pašreizējā stāvokļa klase (dzīvs, sausoknis, stumbe, kritāls, celms), caurmērs krūšaugstumā ($D_{1.3}$). Audzēs, kur pirmais uzmērījums veikts 2012. gadā, visā PL (500 m^2) uzmērīti koki, kuru caurmērs krūšaugstumā pārsniedz 14.0 cm . Kokus, kuru caurmērs nepārsniedza 14.0 cm , bet bija lielāks par 6.0 cm , uzmērīti 5.64 m (100 m^2). Koki, kuru caurmērs 2.1 līdz 6.0 cm , uzmērīti 3.99 m lielā rādiusā (50 m^2). Pārējās audzēs visā PL uzmērīti koki, kuru caurmērs krūšaugstumā pārsniedza 6.0 cm . Koki, kuru caurmērs no 2.1 cm līdz 6.0 cm , uzmērīti 3.99 m lielā rādiusā (50 m^2). Koku augstumi uzmērīti izlases veidā, katram meža elementam atsevišķi, vismaz 9 kokiem katrā objektā.

7.1. tabula

2017. gadā atkārtoti pārmērīto objektu uzmērīšanas gadi un kokaudzēs struktūras novērtēšanas parauglaukumu un dabiskās atjaunošanas uzskaites laukumu skaits

Objekts	PL skaits	UL skaits	Meža tips	Cirtes gads	Agrotehniskā vai sastāva kopšana	Pirmās uzmērīšanas gads	Otrās uzmērīšanas gads	Trešās uzmērīšanas gads
102-441-10	9	27	Dm	2007	Nav veikta	2012	2017	
714-56-1	9	27	Dm	2002	Veikta vairākas reizes	2012	2017	
KNP-111-11	4	12	Dm	2001	Nav veikta	2006	2011	2017
KNP-111-17	4	12	Dm	2001	Nav veikta	2006	2011	2017
KNP-137-2	12	39	Ln	2002	Nav veikta	2006	2011	2017
KNP-137-7;8	4	12	Dm	2002	Tikai sastāva kopšana	2006	2011	2017
KNP-137-7-2g	4	12	Ln	2002	Tikai sastāva kopšana	2006	2011	2017
KNP-137-7-2n	4	12	Ln	2002	Tikai sastāva kopšana	2006	2011	2017
Taurkalne23-5	4	12	Ln	2005	Nav veikta	2008	2012	2017
Kopā	54	165						

(Dabiskās) atjaunošanās uzskaitē

Uzskaitē veikta 25 m^2 ($R=1.82\text{ m}$) lielos aplveida uzskaites laukumus. Dabiski atjaunojošos skujkoku koki uzskaitīti visi, neatkarīgi no to savstarpējā attāluma, bet lapu kokiem katrā sugai uzskaitīts atbilstošs viens augstākais kokš 0.25 m^2 . Uzskaitīti koki, kas sasnieguši 5 cm augstumu. Uzskaitītie koki grupēti pa sugām un 0.1 m augstumu grupām, atsevišķi izdalot bojātos kokus. Audzēs, kur veikta vienlaidus cirte, katrā parauglaukumā ierīkoti 3 uzskaites laukumi – viens parauglaukuma centrā un divi 6 m attālumā uz Z un D no parauglaukuma centra. Audzēs, kur veikta grupu cirte, uzskaites laukumi izvietoti atvērums centrā un $6, 12$ un 18 m attālumā no atvērums centra četros

debespušu virzienos (Z, D, A, R). Kopumā atjaunošanās uzskaitē veikta 165 atjaunošanās uzskaites laukumos.

7.2. Rezultāti

Audzes struktūra

Pētījuma objektos 10—līdz 16 gadus pēc cirtes veikšanas I stāva šķērslaukums konstatēts no 14.2 m²ha⁻¹ līdz 38.7 m²ha⁻¹, bet koku skaits I stāvā no 69 kokiem ha⁻¹ līdz 280 kokiem ha⁻¹ (7.2.tabula). Salīdzinot ar laika periodu 4-5 gadus pēc cirtes, 15-16 gadus pēc cirtes koku skaits I stāvā samazinājies par 3% līdz 19%, bet šķērslaukums palielinājies par 4% līdz 10%, izņemot objektu KNP-137-7;8, kur šķērslaukums samazinājies par 3%. Visās audzēs 10-15 gadus pēc cirtes konstatēts III stāvs ar biezumu 205 - 4785 koki ha⁻¹. Mazākais III stāva koku skaits konstatēts objektā Taurkalne23-5 ar lielāko I stāva koku skaitu 280 koki ha⁻¹. Otrs lielākais III stāva koku skaits 2738 koki ha⁻¹ konstatēts objektā 714-56-1, kur konstatēts mazākais I stāva šķērslaukums un koku skaits. Objekts 714-56-1 ir arī vienīgais, kur III stāva valdošā koku suga ir priele, 15 gadus pēc cirtes sasniedzot 4.2 m vidējo augstumu un 4.9 cm caurmēru. Pārējos objektos III stāvā kā valdošās koku sugas konstatētas bērzi vai egles.

7.2. tabula

Pētījuma objektu audzes struktūra dažādos laika periodos pēc cirtes veikšanas

Objekts	Gadi pēc cirtes	I stāvs					II stāvs					III stāvs				
		D	H	G	M	N	D	H	G	M	N	D	H	G	M	N
		cm	m	m ² ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	ha ⁻¹	cm	m	m ² ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	ha ⁻¹	cm	m	m ² ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	ha ⁻¹
KNP-111-11	5	48.1	30.7	27.3	373.1	150						11.0	13.8	0.0	0.3	5
	10	50.3	31.0	28.9	399.0	145						2.6	1.7	1.3	1.9	2400
	16	51.4	32.4	30.1	433.7	145						3.3	6.7	4.1	17.1	4785
KNP-111-17	5	43.9	31.0	31.9	445.0	200	15.9	20.2	0.1	1.0	5	6.6	8.2	0.0	0.1	5
	10	45.6	31.2	31.3	440.9	180						3.7	4.5	0.8	2.0	725
	16	46.7	32.5	33.1	473.0	180						3.2	4.4	1.9	9.7	1005
KNP-137-2g	4	36.0	29.9	25.4	352.7	185										
	9	44.2	30.2	26.5	358.3	175						2.5	1.7	0.6	0.8	1100
	15	45.6	32.1	26.6	380.8	165						4.5	7.4	2.8	12.0	2045
KNP-137-2n	4	42.1	29.7	21.4	287.7	145										
	9	46.2	30.1	21.8	293.5	130						3.7	4.0	0.4	0.9	360
	15	48.2	31.3	22.6	315.2	125						4.9	8.1	2.0	9.1	1345
KNP-137-7;8	4	43.4	27.2	15.7	180.3	185	15.5	17.6	0.1	0.8	5					
	9	37.3	27.7	13.7	166.6	155						3.7	3.6	1.2	3.2	1050
	15	39.8	30.0	15.2	202.1	150						4.2	4.7	2.2	10.7	955
KNP-137	4	36.4	28.9				11.1	16.0				5.8	10.1			
	9	37.7	29.2				11.4	16.2				4.7	8.8			
	15	39.2	29.8				18.9	18.2				7.6	7.9			
Taurkalne23-5	3	40.8	31.8	36.2	516.0	290	14.1	11.8	0.1	0.9	5					
	7	41.4	31.9	36.9	527.7	285	14.3	11.1	0.1	0.9	5					
	12	42.9	33.3	38.7	570.8	280	14.5	11.9	0.1	0.5	5	2.7	3.1	0.1	0.5	205
102-441-10	5	37.2	32.4	25.8	375.9	230	16.7	17.1	0.3	2.6	15	2.3	2.3	0.0	0.0	50
	10	38.3	32.6	26.9	394.0	225	21.6	18.2	0.6	4.6	15	3.3	4.8	1.9	5.9	2350
714-56-1	10	49.6	31.9	13.3	196.3	69						2.5	2.3	0.1	0.3	222
	15	51.3	31.5	14.2	204.2	69						4.9	4.2	3.9	13.0	2738

Dabiskās atjaunošanās uzskaitē

Vienlaidus pakāpeniskās cirtes

Damaksnī sākotnēji (4-5 gadus pēc cirtes) trijos no četriem objektiem tika novērots normatīvajos aktos noteiktais minimālais nepieciešamais atjaunojušos priežu skaits (3000 priežu ha⁻¹), lai platību atzītu par atjaunotu (7.3.tabula). Pēc 15 vai 16 gadiem nevienā no objektiem netika novērots pietiekošs atjaunojušos priežu skaits. Lielākais atjaunojušos priežu augstums (3.09±0.86m) 15 vai 16 gadus pēc cirtes novērots vienīgajā objektā (714-56-1), kur agrotehniskā un sastāva kopšana veikta vairākas reizes (7.1.un 7.4. tabula).

7.3. tabula

Priedes dabiskās atjaunošanās skaits uzmērītajos objektos damaksnī un lānā pa pēccirces periodiem

		4 vai 5 gadi		9 vai 10 gadi		15 vai 16 gadi	
Meža tips	Objekts	N, gab ha ⁻¹	+/- *	N, gab ha ⁻¹	+/-	N, gab ha ⁻¹	+/-
Dm	102-441-10	400	375	0			
	714-56-1			2400	1877	2044	1344
	KNP-111-11	12867	3895	4967	2060	2867	1883
	KNP-111-17	5933	4006	2733	2078	2000	1417
	KNP-137-7;8	7200	2661	3200	2113	2633	1772
Ln	KNP-137-7-2g	6633	3371	6567	2781	5633	3125
	KNP-137-7-2n	4900	2812	5700	2720	4067	2078

+/-* – robežklūda ar 95% ticamību

7.4. tabula

Priedes dabiskās atjaunošanās augstums uzmērītajos objektos damaksnī un lānā pa pēccirces periodiem

		4 vai 5 gadi		9 vai 10 gadi		15 vai 16 gadi	
Meža tips	Objekts	H ₂₀₀₀ *	+/- **	H ₂₀₀₀	+/-	H ₂₀₀₀	+/-
Dm	102-441-10	0.46	0.45				
	714-56-1			0.95	0.36	3.09	0.86
	KNP-111-11	0.70	0.18	1.37	0.39	1.72	0.90
	KNP-111-17	0.30	0.09	0.54	0.17	0.91	0.40
	KNP-137-7;8	0.41	0.11	0.70	0.22	1.18	0.34
Ln	KNP-137-7-2g	0.37	0.10	1.23	0.24	2.15	0.48
	KNP-137-7-2n	0.36	0.11	1.28	0.23	2.16	0.81

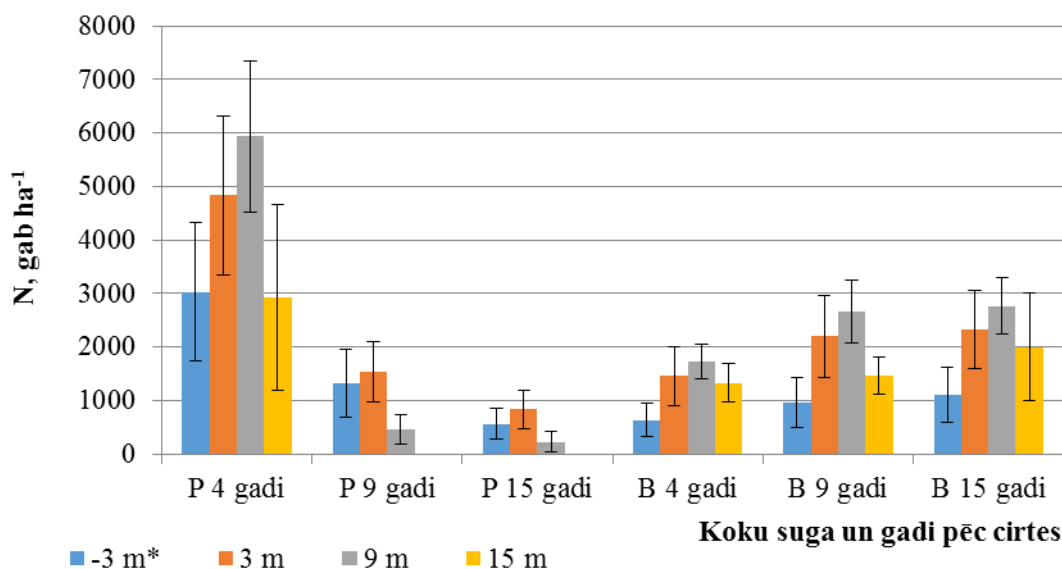
H₂₀₀₀ * – 2000 priežu uz ha (5 koku 25 m² uzskaites laukumā) vidējais augstums; +/- ** – robežklūda ar 95% ticamību

Lānā 15 vai 16 gadus pēc circes divos objektos novērots pietiekošs atjaunojušos priežu skaits, attiecīgi 5633±3125 priežu ha⁻¹ un 4067±2078 priežu ha⁻¹, tomēr vienmērīgs (vismaz 70% no uzskaites laukumiem ir minimāli nepieciešamais priežu skaits) priežu izvietojums novērots tikai objektā ar lielāko atjaunojušos priežu skaitu. Objektos lānā (KNP-137-7-2g; KNP-137-7-2n) 15 vai 16 gadus pēc circes vidējais priežu augstums (lielāks par 2 m) novērots lielāks nekā objektos damaksnī (mazāks par 2 m izņemot 714-56-1 objektu), kas varētu būt saistīts ar to, ka šajos objektos ir veikta sastāva kopšana (7.1.tabula). Trijos no pieciem damakšņa objektiem kopšanas circes nav veiktas.

Vēl vienā objektā lānā (Taurkalne23-5) trīs gadus pēc circes tika novērotas 9400±16500 priežu ha⁻¹, bet 12 gadus pēc circes tikai 1400±2018 priežu ha⁻¹ ar augstumu 0.86±0.47 m. Šajā audzē konstatēts lielākais I stāva koku skaits un šķērslaukums (7.2.tabula).

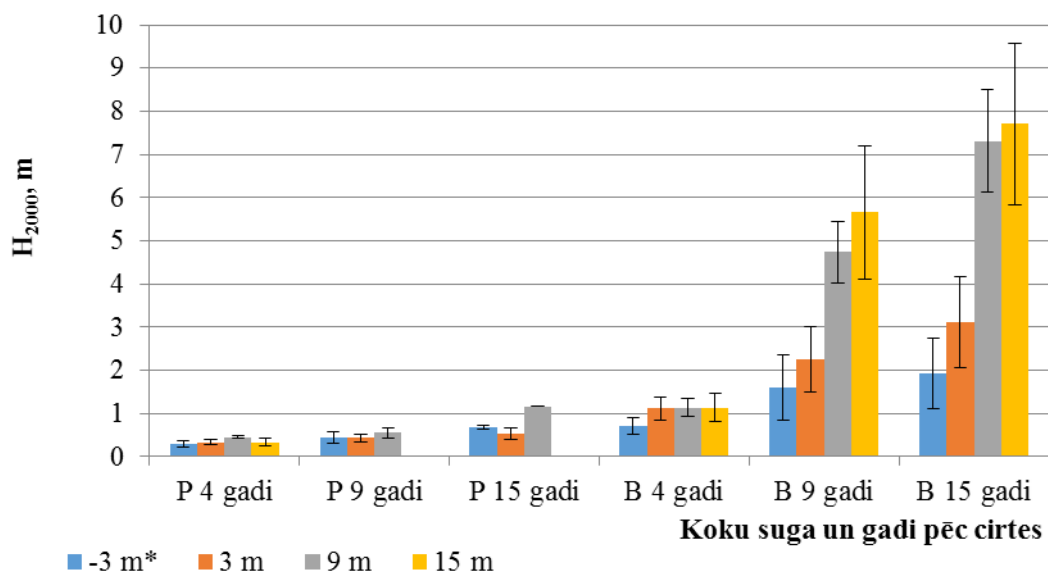
Grupu pakāpeniskās circes

Četrus gadus pēc grupu izciršanas objektā KNP-137-2 lielākais atjaunojušos priežu un bērzu skaits novērots 9 m no atvēruma malas attiecīgi 5933±1401 ha⁻¹ un 1733±324 ha⁻¹ (7.1.attēls). Mazākais atjaunojušos priežu skaits novērots 15 m no atvēruma malas jeb atvēruma vidū, bet mazākais bērzu skaits necirstajā audzes daļā 3 m no atvēruma malas 633±313 ha⁻¹. Lielākais priežu un bērzu augstums arī novērots 9 m no atvēruma malas attiecīgi 0.45±0.03m un 1.13±0.21m (7.2.attēls).



7.1. attēls. Priedes un bērza skaita (\pm standartklūda) salīdzinājums četrus, deviņus un piecpadsmit gadus pēc grupu cirtes dažādos attālos no atvēruma malas objektā KNP-137-7 (* šeit un turpmāk – negatīvs attāls no atvēruma malas apzīmē to, ka uzskaites laukums atrodas necirstajā audzes daļā)

15 gadus pēc cirtes pēc grupu izciršanas atjaunojušos priežu skaits samazinājies visos uzmērītajos attālos no atvēruma malas un lielākais priežu skaits 833 ± 367 novērots 3 m no atvēruma malas, bet atvērumu vidū (15 m no atvēruma malas) priedes nav konstatētas (7.1.attēls). Bērzu skaits palielinājies visos uzmērītajos attālos no atvēruma malas un lielākais atjaunojušos bērzu skaits $2767 \pm 524 \text{ ha}^{-1}$ joprojām novērots 9 m no atvēruma malas. Lielākais priežu augstums (1.16 m) novērots 9 m no atvēruma malas, tomēr šajā attālumā priedes konstatētas tikai vienā no divpadsmit uzskaites laukumiem. Augstāki bērzi konstatēti tuvāk atvēruma vidum un atvērumu vidusdaļā – 9 m un 15 m attālumā no atvēruma malas - bērzu augstums pārsniedz 7 m (7.2.attēls).



7.2. attēls. Priedes un bērza 2000 koku uz ha (H_{2000}) vidējais augstums (\pm standartklūda) salīdzinājums četrus, desmit un piecpadsmit gadus pēc grupu cirtes dažādos attālos no atvēruma malas objektā KNP-137-7

Var konstatēt, ka sākotnēji (4 gadus pēc cirtes) priežu skaits visos uzmērītajos attālos no atvēruma malas bija lielāks nekā bērzu skaits. Savukārt 15 gadus pēc cirtes priežu skaits visos uzmērītajos attālos no atvēruma malas konstatēts mazāks nekā bērzu skaits. Atvērumu vidū priedes nav saglabājušās. Tuvāk atvēruma malai daļa priežu ir saglabājušās, tomēr nīkuļo. Savukārt lielāks

bērzu augstums konstatēts tuvāk atvērumu vidusdaļai. Ņemot vērā, ka KNP-137-2 objektā nav veikta ne agrotehniskā, ne sastāva kopšana, var pieņemt, ka bērzu negatīvā ietekme izskaidro priežu nīkuļošanu.

Kopumā var secināt, ka agrotehniskā un sastāva kopšana veicina priežu dabiskās atjaunošanās saglabāšanos un augšanu.

8. Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrāde

8. darba uzdevums. **Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrāde, izmantojot 2017.gadā un iepriekšējos gados ievāktos datus.**

8.1. Augošu koku krājas sadalījums atbilstoši caurmēra un augstuma grupām

Plānojot meža apsaimniekošanu ar nekailciršu metodēm (izlases cirtes), būtiski ir nodalīt vai konkrētajā nogabalā tiks saimniekots uz atsevišķu koku vai visu nogabalu. Attiecīgi izvēloties klasiskajā izpratnē – izlases ciršu metodes vai pakāpenisko ciršu metodes. Pirmajā gadījumā (klasiskās izlases cirtes) nogabals vai to grupa tiek apsaimniekoti „uz individuālu” koku vai nelielu to grupu (regulētās izlases cirtes egļu mežos) vai lielākām grupām (grupu izlases cirtes priežu, bērzu u.c. gaismas prasīgu koku sugu dominējošās audzēs), mežaudzē veidojot saliktu kokaudzi. Klasisko izlases ciršu gadījumā ir svarīgs koku sadalījums pa caurmēra pakāpēm, un praktiski nenozīmīgs kļūst audzes vecuma jēdziens. Savukārt saimniekojot ar pakāpeniskajām cirtēm savu nozīmi saglabā audžu sadalījums pa vecumklasēm īpašumā vai plānošanas vienībā (iecirknis, konkrēta izvēlēta teritorija, mežsaimniecība utt.).

Modelēšanā pieņem, ka meža tips nemainās, audzes vecumu nosaka atbilstoši I stāva valdošās koku sugas vecumam. Audzes, kuras apsaimnieko ar izlases cirtēm, tiek uzskatītas par dažādvecuma audzēm.

1. Augstuma pieaugumu modelē atbilstoši mūsu izstrādāto virsaugstuma bonitāšu aproksimācijai, pieņemot, ka atbilstošā caurmēra koki ir nosacīti piederīgi “vecuma grupai”
2. Diametra pieaugumu modelē atbilstoši vidējo D pieaugumu vērtībām (izstrādāts šī projekta ietvarā).
3. Koku atmiršanu modelē atbilstoši izstrādātajiem atmiršanas modeļiem (izstrādāts šī projekta ietvarā).
4. Koku tilpumu aprēķina atbilstoši R. Ozoliņa (Ozoliņš, 2002) tilpuma formulām.
5. Sākotnējais koku sadalījums pa caurmēra pakāpēm atbilstoši aproksimētam Veibula sadalījumam.
6. Koku šķērslaukumu aprēķina atbilstošu dzīvo koku krājai un šķērslaukumam.

Augošu koku krāja

Augošu koku krāja parauglaukumos svārstās no $200\text{m}^3\text{ha}^{-1}$ līdz pat $500\text{m}^3\text{ha}^{-1}$. Pēdējais skaitlis gan atspoguļo grupu pakāpeniskajā necirstās daļas krāju. 10 gadu laikā šķērslaukums vidēji ir palielinājies par $1\text{--}3\text{m}^2\text{ha}^{-1}$.

Koku sadalījums pa caurmēra grupām

Klasiskā izlases ciršu saimniecībā tiek uzskatīts, ka ilgtspējīgi iespējams apsaimniekot mežus, ja koku sadalījums par caurmēra pakāpēm atbilst negatīvam eksponenciālajam sadalījumam (apgāzts J veida sadalījums) (Peng, 2000), kas nodrošina pietiekamu jaunāko / mazāko koku esamību audzē. Tomēr pēdējos gados koku sadalījuma atbilstība negatīvajam eksponenciālajam sadalījumam vairs netiek uzskatīta par vienīgo sadalījumu, kas norāda uz ilgtspējību, jo pierādīts, ka ilgtspējīgs var būt arī citi sadalījumi, piem., apgāzts sigmoidāls sadalījums, kā arī bimodāli, vai pat multimodāli sadalījumi (Cancino, von Gadow, 2002).

Koku gatavums ciršanai lielā mērā ir atkarīga no to dimensijām, sugas, kvalitātes, paredzamās dzīvotspējas.

Tādēļ paliekošās krājas regulācijai tiek izmantoti tādi rādītāji kā:

- Optimālā saglabājamā krāja (šķērslaukums);
- Ciršanas gatavuma sliekšnis;
- Cirtes intervāls;
- Ikgadējā pieļaujamā cirte;

- Izcērtamo koku izvēles kritēriji.
- Augstāk minēto faktoru lielumi, ietekmē arī audzes atjaunošanas / atjaunošanās stratēģiju.

Vecuma/diametru sadalījums

Analizēts koku tikai dimensiju sadalījums, jo dimensijas it īpaši ēncietīgām sugām daudz lielākā mērā nosaka koka tālākās attīstības iespējas nekā tā fiziskais vecums.

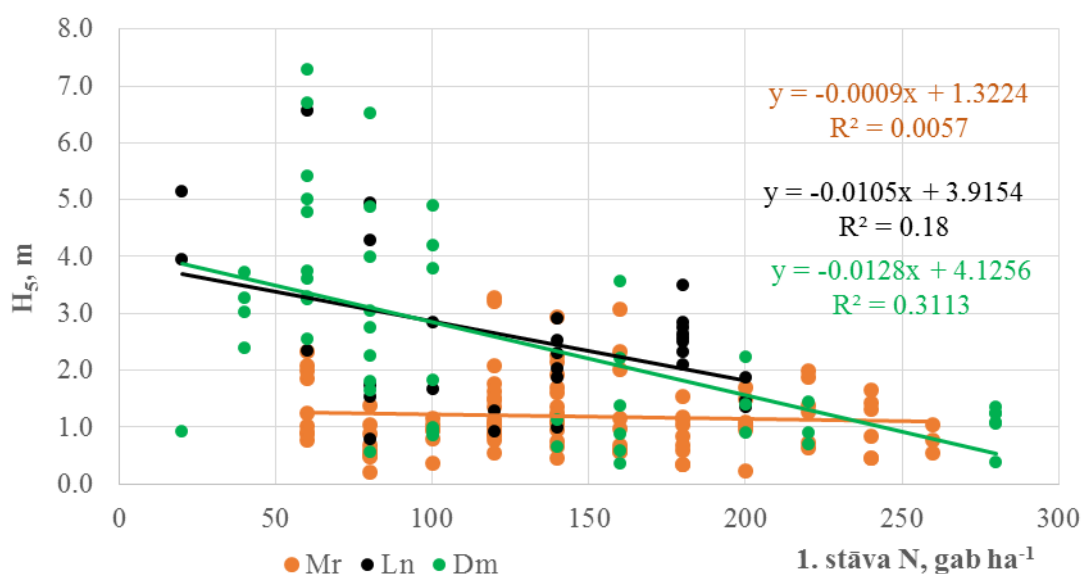
Modelēšanā pieņem, ka koku krūšaugstuma caurmēru sadalījums aprakstāms ar Veibula sadalījumu. Veibula sadalījuma parametri tiek modelēti izmantojot lauku datus uzmērīto koku sadalījumu rezultātus. Tā kā lielākajā daļā gadījumu audzes apsaimniekošanā audzes attīstība notiek viļņveidīgi, tad sadalījums tiek aprēķināts atsevišķi katram meža elementam, bet kopējas sadalījums ir kā atsevišķu meža elementu koku caurmēru sadalījumu summa.

8.2. Atjaunošanas / atjaunošanās sekmīgums

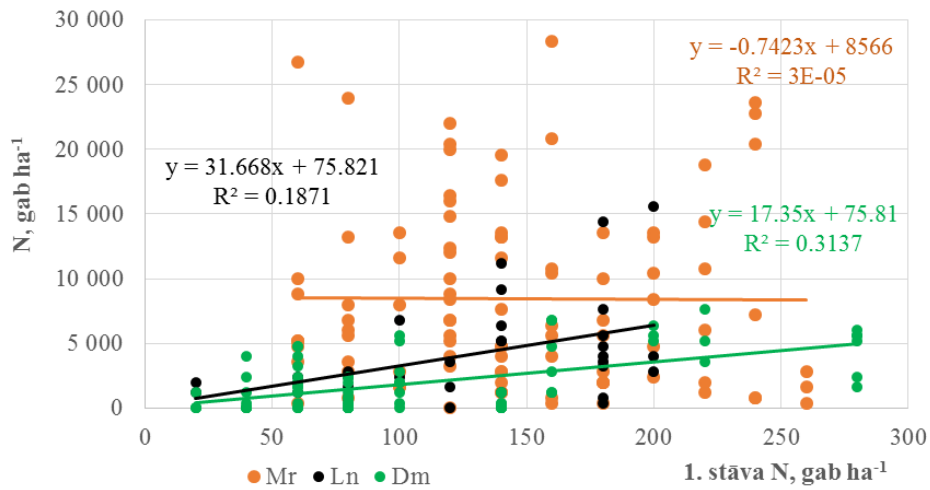
Arī izlases ciršu saimniecība var būt ilgtspējīga tikai tad, ja tiek nodrošināta koku atjaunošanās.

Visbiežāk tiek pieņemts, ka izlases ciršu saimniecība atjaunošanās notiek dabiski un tā arī tiek minēta kā viena no izlases ciršu saimniecības priekšrocībām attiecībā pret kailciršu saimniecību. Tomēr ne vienmēr atjaunošanās notiek pietiekamā apjomā vai ar vēlamo koku sugu, tādēļ nereti nepieciešams arī mežu, kas tiek apsaimniekots izlases ciršu saimniecībā, atjaunot mākslīgi stādot vai sējot.

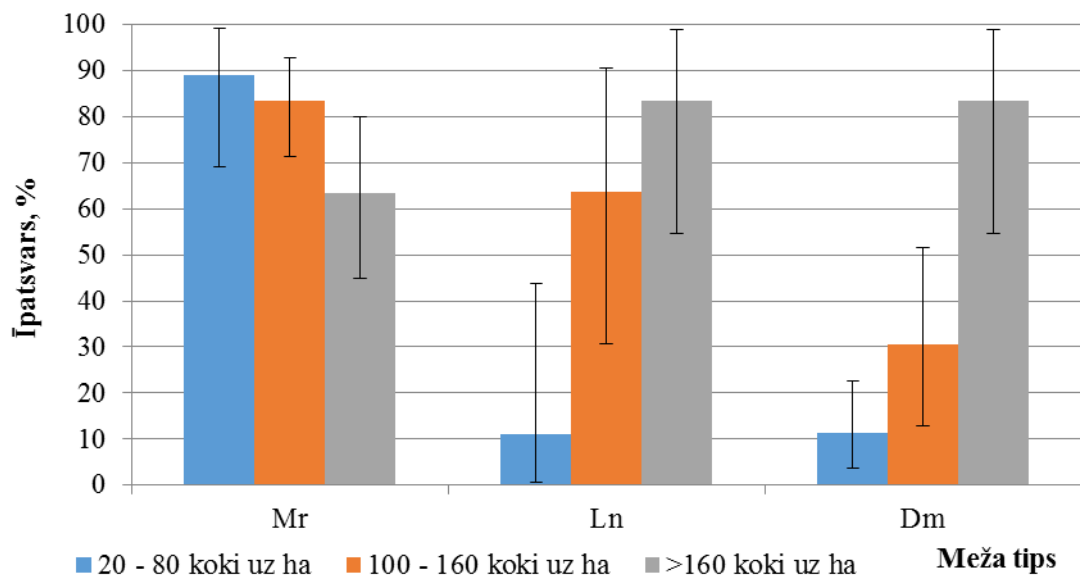
Atjaunošanās sekmīgumam nozīmīgs ir gan sēklu avota tuvums gan audzē, gan ainavā, kā arī koku spēja atjaunoties ar atvasēm.



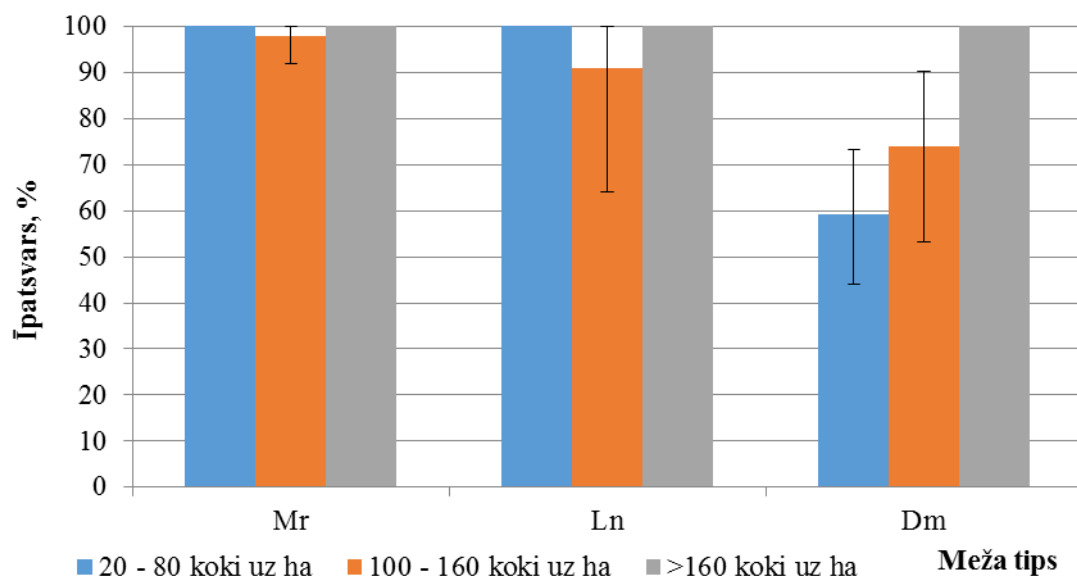
8.1. attēls. Piecu augstāko paaugas priežu uzskaites laukumā jeb 2000 priežu uz ha vidējais augstums (H_{2000}) Mr, Ln un Dm 15 gadus pēc cirtes atkarībā no audzes 1. stāva koku skaita.



8.2. attēls. Atjaunojušos paaugas priežu skaits Mr, Ln un Dm 15 gadus pēc cirtes atkarībā no audzes 1. stāva koku skaita.



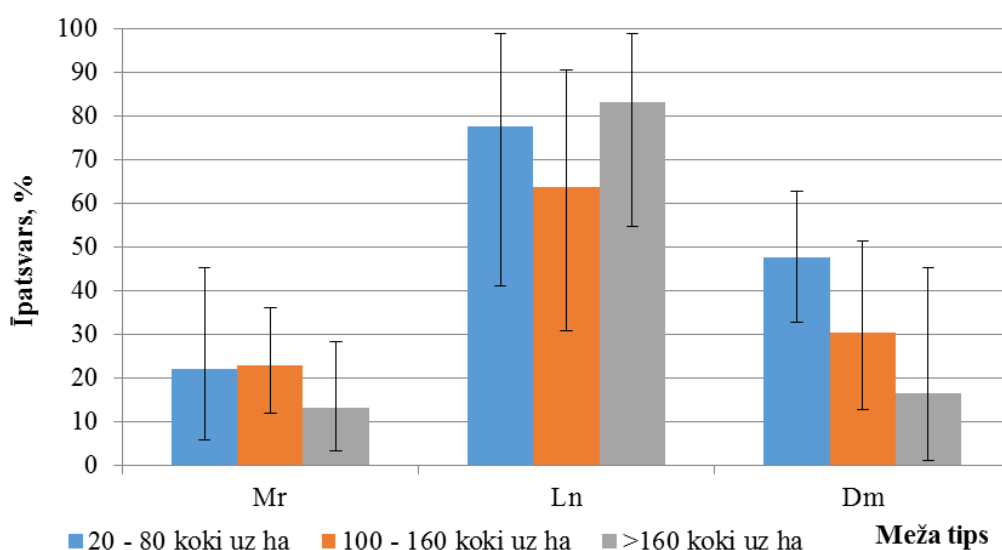
8.3.attēls. Uzskaites laukumu īpatsvars (\pm īpatsvara reprezentācijas intervāls), kuros uzskaitīti vismaz 2800 paaugas priedes ha⁻¹ 15 gadus pēc cirtes pirmā paņēmiena Mr, Ln un Dm atkarībā no 1. stāva biežuma.



8.4.attēls. Uzskaites laukumu Īpatsvars (\pm Īpatsvara reprezentācijas intervāls), kuros uzskaitīti vismaz 400 dabiski atjaunojušās priedes ha⁻¹ 15 gadus pēc cirtes pirmā paņēmiena Mr, Ln un Dm atkarībā no 1. stāva biezuma.

Tabula 8.1. Uzskaites laukumu Īpatsvars (\pm Īpatsvara reprezentācijas intervāls), kuros uzskaitītas vismaz 400 dabiski atjaunojušās priedes ha⁻¹ ar augstumu vismaz 2.0 m 15 gadus pēc cirtes pirmā paņēmiena Mr, Ln un Dm atkarībā no 1. stāva biezuma.

	Mr			Ln			Dm		
I stāva koku skaits	%	zemākā robeža	augstākā robeža	%	zemākā robeža	augstākā robeža	%	zemākā robeža	augstākā robeža
20 - 80 koki uz ha	22.2	5.8	45.4	77.8	41.1	98.9	47.7	32.9	62.8
100 - 160 koki uz ha	22.9	12.0	36.1	63.6	30.7	90.6	30.4	13.0	51.5
>160 koki uz ha	13.3	3.5	28.3	83.3	54.7	98.9	16.7	1.1	45.3

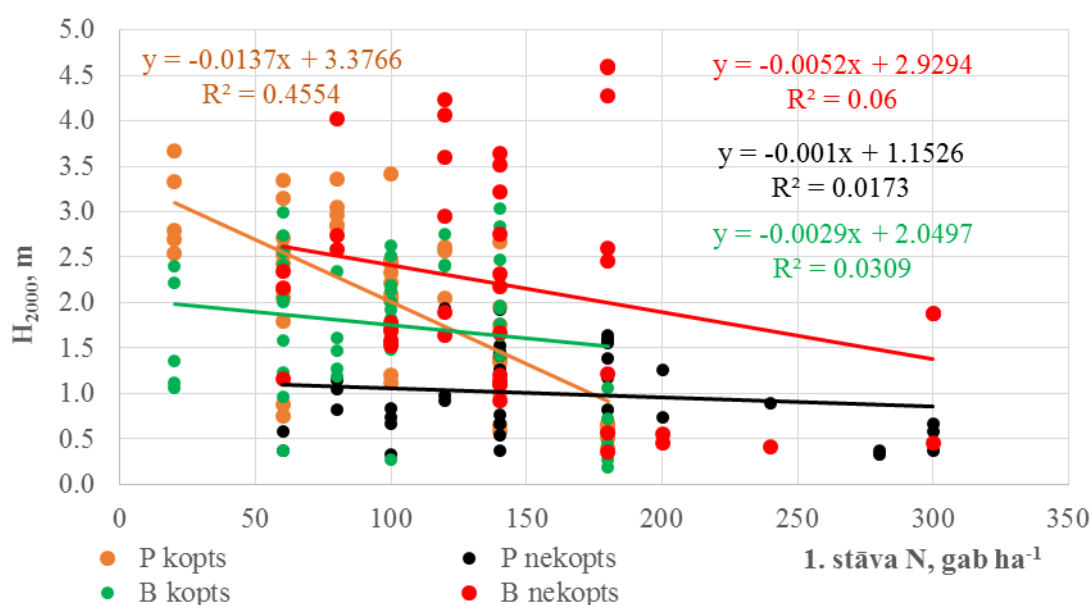


8.5.attēls. Uzskaites laukumu Īpatsvars (\pm Īpatsvara reprezentācijas intervāls), kuros uzskaitīti vismaz 400 paaugas priedes ha⁻¹ ar augstumu vismaz 2.0 m 15 gadus pēc cirtes pirmā paņēmiena Mr, Ln un Dm atkarībā no 1. stāva biezuma.

Tabula 8.2. Dabiskās atjaunošanās sekmīgums vismaz 400 koki ha⁻¹ dažādos meža tipos 9-12 gadi pēc izlases cirtes 1. paņēmiena

Meža tips	P		E		Lapu koki	
	% gadījumu	H, m	% gadījumu	H, m	% gadījumu	H, m
Sl, Mr	90	0.7				
Ln	90	1.6				
Dm	60	1.2	70	1.1	90	1.8
Dms, As, Ks	50	1.0	40 (P audzēs) 90 (E audzēs)	1.0 (P audzēs) 0.4 (E audzēs)	70	2.0
Mrs, Nd, Av, Am, Km	80	0.5				

Aprēķinos var pieņemt, ka priede 9-12 gadus pēc cirtes veikšanas vismaz 400 koki ha⁻¹ būs atbilstoši 8.2.tabulā atspoguļotajiem apjomiem.



8.6. attēls. Piecu augstāko priežu vai bērzu uzskaites laukumā jeb 2000 kociņu uz ha vidējais augstums (H_{2000}) Ln 10 gadus pēc cirtes atkarībā no audzes 1. stāva koku skaita koptās un nekoptās jaunaudzēs

Parauglaukumos, kuros veikta paaugas sastāva kopšana, konstatēts ievērojami lielāks priežu paaugas augstums pie līdzīgā 1.stāva koku skaita uz ha (skat. 8.6.attēls). Turklāt parauglaukumos, kuros nav veikta kopšana, bērzu paaugas augstums ir ievērojami lielāks nekā priežu paaugas augstums (8.6.attēls). Līdzīga tendence parādās audzes atvērumos (7.2.attēls).

8.3. Koksnes pieauguma un ciršanas apjoma attiecība ilgtermiņā

Formāli pieņem, ka apsaimniekošana var tikt uzskatīta par ilgtspējīgu, ja ilgtermiņā tiek nodrošināts līdzsvars starp pieaugumu un izcirsto apjomu. Taču šādu līdzsvaru var iegūt pie dažādiem ciršanas / pieauguma apjomiem. Piem., līdzsvarā stāvoklī var nodrošināt audzes cērtot, kad audzē iespējami lielu īpatsvaru aizņem vidēja vecuma koki. Šādā gadījumā tiek iegūta iespējami liela krāja. Taču līdzsvars stāvoklis var būt situācijā, kad audzē dominē pārauguši koki, kuru pieaugums ir neliels. Šajā gadījumā audzē ir liela krāja, taču mazs pieaugums.

Pieauguma aprēķināšanai izmantotas sekojošas sakarības:
Caurmēra pieaugums 5 gadu (modificēts pēc Pukkala et al., 2012)

$$I_d = a_1 \cdot \exp(a_2 + a_3 \cdot \text{BAL}_{\text{citi}} + a_4 \cdot \text{BAL}_E + a_5 \cdot \ln(G) + a_6 \cdot \sqrt{d} + a_7 \cdot d^2 + a_8 \cdot I_{\text{bon}} + a_9 \cdot II_{\text{bon}} + a_{10} \cdot III_{\text{bon}}) \quad (8.1)$$

BAL_{citi} – šķērslaukums citu sugu (izņemot egli) kokiem, kas lielākā konkrēto caurmēra pakāpi, m^2ha^{-1} ;

BAL_E – šķērslaukums eglēm, kuras lielākas par konkrēto caurmēra pakāpi, m^2ha^{-1} ;

G – audzes šķērslaukums, m^2ha^{-1} ;

d – caurmēra pakāpes, cm;

I bonitē, tad kods 1, II bonitē, tad kods 1, bonitē III un <, tad kods 1, pretējā gadījumā 0.

Tabula 8.3. Koeficienti diametra pieauguma aprēķinam

deltaD		P	E	B
a1		1.11	1.124	1.127
a2		1.14516	0.645	0.0867
a3		-0.053	-0.0106	-0.0304
a4		-0.0335	-0.043	-0.0474
a5		-0.266	-0.486	-0.173
a6		0.237	0.4557	0.446
a7		-0.000901	-0.000927	-0.00123
a8	Dm (I bonitāte)	-0.238	-0.18	-0.12
a9	Ln (II bonitāte)	-0.333	-0.45	-0.28
a10	Mr/SI (III < bonitāte)	-0.612	-0.929	-0.52

Koku atmiršanas modelis (modificēts pēc Pukkala et al., 2012)

Atmiršanas varbūtība p :

Eglei

$$p = 1 - 1 / (1 + \exp(-(b_1 + b_2 \cdot \sqrt{d} + b_3 \cdot \ln(G) + b_4 \cdot \text{BAL}_E)))^5 \quad (8.2)$$

Priedei, bērzam

$$p = 1 - 1 / (1 + \exp(-(b_1 + b_2 \cdot \sqrt{d} + b_3 \cdot (\text{BAL}_{\text{citi}} + \text{BAL}_E)))^5 \quad (8.3)$$

Tabula 8.4. Koeficienti atmiršanas varbūtības aprēķinam

	P	E	B
b1	0.496	4.418	0.496
b2	1.649	1.423	1.649
b3	-0.06	-1.046	-0.06
b4		-0.0954	

Pieauguma un ciršanas apjoma modelēšanai izmantots matricu modelis.

- 1) Kokus sagrupē pa sugām (P,E,B) un caurmēra pakāpēm.
- 2) Aprēķina katras caurmēra pakāpes šķērslaukumu.
- 3) Aprēķina lielākās caurmēra pakāpēs par konkrēto caurmēra pakāpi konstatēto koku šķērslaukumu (BAL);
- 4) Aprēķina koku atmiršanas varbūtību un atmirumu m^3ha^{-1} .
- 5) Simulē koku izciršanu, ja audzes šķērslaukums par $7\text{m}^2\text{ha}^{-1}$ pārsniedz biezībai 0.4 atbilstošu šķērslaukumu.
- 6) Aprēķina katras caurmēra pakāpes caurmēra pieaugumu.
- 7) Aprēķina varbūtību, ka nākošajā periodā koki pieaugs par vairāk nekā 1 caurmēra pakāpi, 1 caurmēra pakāpi un paliks tajā pašā caurmēra pakāpē.
- 8) Aprēķina atbilstošo koku sadalījumu pa caurmēra pakāpēm nākamā perioda sākumā, tai skaitā pieskaita ieaugumu 2cm caurmēra pakāpē.

Apalkoksnes apjomu sadalījumā pa sortimentu grupām modelē izmantojot prof. R.Ozoliņa izstrādāto stumbra veiduli un sortimentācijas algoritmu (Ozoliņš, 2002). Koku sadalījums pa caurmēra pakāpēm

atsevišķos objektu grupās modelē balstoties uz reālo koku sadalījumu pa caurmēra pakāpēm parauglaukumos.

9. Mākslīgās atjaunošanas ietekmes (selekcijas efekta) noteikšana parastai priedei un parastajai eglei

9. darba uzdevums. **Mākslīgās atjaunošanas ietekmes (selekcijas efekta) noteikšana parastai priedei un parastai eglei, balstoties uz katras sugas 5 selekcijas izmēģinājumu objektu pārmērījumu datiem (pārmērīšana notiek citā projektā).**

9.1. Parastās priedes selekcijas efekta novērtējums balstot uz selekcijas izmēģinājumu objektu pārmērījumu datiem

9.1.1. Materiāls un metodika

Lauku darbi veikti projekta **“Meža koku selekcijas pētījumi ģenētiski augstvērtīga meža reproduktīvā materiāla atlasei”** ietvaros (projekta vadītājs A. Gailis).

Šajā gadā pētījumiem izmantoti sekojošu izmēģinājumu stādījumu pārmērījumu dati:

- MPS Kalsnava, Latvijas priežu pluskoku kontrolēto krustojumu pēcnācēji (Nr.22), ierīkots 1975.g., 1x2m, 15 koki parcelā. Pārmērīts 2017.g. rudenī.
- MPS Kalsnava, priedes ģeogrāfiskās kultūras (Nr 3), ierīkots 1975.g., 1x2m, 35 koki parcelā. Pārmērīts 2017.g. rudenī.
- LVM Vecumnieku iecirknis (Zvirgzde) - priedes sēklu plantāciju pēcnācēju un mežaudžu pēcnācēju salīdzinājums (Nr. 18). Ierīkots 1983.g., 1x2m, 40 koki parcelā. Pārmērīts 2016.g. rudenī.
- LVM Vecumnieku iecirknis (Zvirgzde) - priedes populāciju (audžu) atlasīto koku pēcnācēju brīvapputes pārbaudes (Nr. 28), ierīkots 1976.g. 1x2m, 15 koki parcelā. Pārmērīts 2016.g. rudenī.
- LVM Vecumnieku iecirknis (Zvirgzde) - priedes sēklu plantāciju pēcnācēju un mežaudžu pēcnācēju salīdzinājums (Nr. 19). Ierīkots 1986.g., 1x2m, 100 koki parcelā. Pārmērīts 2016.g. rudenī.

Analīze veikta salīdzinot pārbaudes izmēģinājuma vidējo selekcionēto (pluskoku kontrolēto krustojumu pēcnācēju) dominējošo koku augstumu un provenienci (mežaudžu) pēcnācēju dominējošo koku augstumu.

9.1.2. Rezultāti

Parastās priedes selekcijas ietekmes uz koku augšanas gaitu novērtējuma kopsavilkums atspoguļots 9.1.tabulā.

Tabula 9.1. Parastās priedes selekcijas ietekmes uz koku augšanas gaitu kopsavilkums

Vieta	Proveniences	Veids	A	Dg		Hg		Skaitis*
				vid	stdev	vid	stdev	
Kalsnava Abi objekti	Visas	Fons (kontrolē)	36	15.61	0.99	14.83	0.61	18
			43	18.93	0.81	18.52	0.63	18
		Selekcionēts	30	13.25	1.99	12.27	1.36	88
			43	19.76	3.75	17.94	2.16	83
	10 labākās	Fons (kontrolē)	36	16.31	0.52	15.23	0.39	10
			43	19.54	0.51	18.97	0.43	10
		Selekcionēts	30	16.80	0.88	14.75	0.39	10
			43	27.06	2.54	21.24	0.44	10

Vieta	Proveniences	Veids	A	Dg		Hg		Skaits
				vid	stdev	vid	stdev	
Zvirgzde eksperiments Nr.18	Visas	Fons (kontrolē)	26	9.56	0.34	10.10	0.62	9
			34	14.33	0.70	14.61	0.67	9
		Selekcione	26	10.20	0.40	10.76	0.23	24
			34	15.16	0.54	15.37	0.31	24
	10 labākās	Fons (kontrolē)	26	9.56	0.34	10.10	0.62	9
			34	14.33	0.70	14.61	0.67	9
		Selekcione	26	10.56	0.18	10.95	0.16	10
			34	15.62	0.28	15.67	0.14	10
Zvirgzde eksperiments Nr.19	Fons (kontrolē)	Visas	23	9.80		9.41		1
			31	13.82		12.76		1
	Selekcione	Visas	23	9.76	0.34	9.68	0.37	23
			31	14.60	0.50	13.49	0.66	23
		10 labākās	23	10.06	0.18	10.03	0.25	10
			31	15.13	0.38	13.82	0.41	10
		Ražošanā	23	10.09	0.23	10.11	0.38	5
			31	15.14	0.43	13.82	0.40	5
Zvirgzde eksperiments Nr.28	Visas	Fons (kontrolē)	31	14.25	1.23	13.21	0.89	280
			41	18.90	1.66			280
		Selekcione	31	15.91	1.52	13.69	0.89	32
			41	22.74	1.13			32
	10 labākās	Fons (kontrolē)	31	17.11	0.73	15.33	0.37	10
			41	21.68	0.18			10
		Selekcione	31	17.62	0.90	14.69	0.20	10
			41	24.04	0.83			10

*Skaits nozīmē salīdzināšanā izmantoto ģimeņu daudzumu.

Kalsnavas eksperimentos selekcione koku pēcnācēju vidējais caurmērs un vidējais augstums salīdzinājumā ar kontroles (mežaudžu) pēcnācēju vidējo caurmēru un augstumu 43 gadu vecumā ir par 4% lielāks, bet šī atšķirība nav statistiski būtiska. Ja salīdzina 10 ražīgāko selekcione koku pēcnācēju H un D vērtības, tad konstatējams, ka tie 10 ražīgākos kontroles audžu pēcnācējus pārspēj augstumā par 12 %: attiecīgi 21.2m un 19.0 metru, bet kontroles audžu pēcnācēju vidējo augstumu (18.5m) – par 15% . Caurmēru atšķirības ir vēl nozīmīgākas – 10 ražīgāko selekcione koku pēcnācēju caurmērs ir par 38% lielāks nekā 10 ražīgāko kontroles audžu pēcnācēju caurmērs.

Zvirgzdes eksperimentā Nr. 18. sēklu plantāciju pēcnācēju un mežaudžu pēcnācēju salīdzinājumā konstatēts, ka selekcione koku D un H ir attiecīgi par 6% un 5% lielāks: attiecīgi 15.2 pret 14.3 cm un 15.4 pret 14.6m. Abas atšķirības ir statistiski būtiskas. 10 ražīgāko selekcione koku pēcnācēju D un H ir attiecīgi par 9% un 7% lielāks.

Zvirgzde eksperimentā Nr. 19. pirmās kārtas sēklas plantāciju pēcnācēju virsaugstums ir par 5.6% un 5.7% lielāki nekā kontroles kokiem 31 gada vecumā, bet 10 augstākajiem kokiem caurmērs ir par 9.6% un augstums par 8.3% lielāks nekā kontrolei: attiecīgi 15.4 pret 13.8cm un 13.8 pret 12.7m.

Zvirgzde eksperimentā N.28. salīdzinot 10 labāko atlasīto audžu pēcnācēju ar kontroles audžu pēcnācējiem 31 gada vecumā augstuma atšķirība ir 11%, bet caurmērā – 23%.

Šajos aprēķinos nav iekļauti citi ar selekcijas metodēm iegūstamie labumi – taisnāki un mazzaraināki stumbri, augstāka izturība pret slimību (piem., sakņu trapes) izraisītājiem.

Modelējot selekcijas ietekmi uz augstuma pieaugumu var pieņemt, ka tā atbilst par vienu vienību augstākai bonitātei.

9.2. Parastās egles selekcijas efekta novērtējums balstot uz selekcijas izmēģinājumu objektu pārmērījumu datiem

9.2.1. Materiāls un metodika

Izmantoti dati no pētījuma “Meža koku selekcijas pētījumi ģenētiski augstvērtīga meža reproduktīvā materiāla atlasei” ietvaros pārmērītu selekcijas stādījumu datiem:

- Jelgavas brīvapputes pēcnācēju pārbaudes;
- Andrupenes brīvapputes pēcnācēju pārbaudes;
- Kuldīgas klonu pārbaudes;
- Kuldīgas brīvapputes pēcnācēju pārbaudes pārbaudes;
- Rembates brīvapputes pēcnācēju pārbaudes pārbaudes.

Andrupenes stādījums uzmērīta 15 un 19 g.v.

Jelgavas stādījums 7 un 12 g.v.

Kuldīga klonu un Kuldīga ģimeņu stādījumi 10 un 13 g.v.

Rembate uzmērīts 10 un 13 g.v.

Dažādu grupu (ģimeņu, klonu maisījumu) salīdzināšanai izmantoti jaunākie pieejamie augstuma mērījumi. Kā plantācijai rekomendēto grupu atlasa 10% ātrāk augošā materiāla no katra stādījuma, jo eglei pēc būtības lielākā daļa selekcijas materiāla šobrīd ir pēcnācēju pārbaužu stadijā. Tā kā dažādām materiālam ir atšķirīgs saglabājušos īpatņu skaits, kā salīdzināšanas rādītājs katrai ģimenei vai klonu maisījumam izvēlēts 10 augstāko koku vidējais augstums (virsaugstums).

9.2.2. Rezultāti

Tabula 9.2. Parastās egles selekcijas ietekmes uz koku augšanas gaitu kopsavilkums

Vieta	Proveniences	Veids	A	D10, mm		H10,m		Skaits*
				vid	stdev	vid	stdev	
Jelgava	Brīvapputes pēcnācēji	pārējās	7	-	-	1.3	0.2	54
			12	56.20	7.23	4.9	0.5	54
		10% labākās	7	-	-	1.6	0.1	6
			12	70.60	2.23	5.8	0.2	6
Andrupene	Brīvapputes pēcnācēji	pārējās	15	87.3	9.8	6.5	0.6	102
			19			10.4	0.7	102
		10% labākās	15	99.4	11.3	7.6	0.5	12
			19			11.9	0.4	12
Kuldīga	Klonu pārbaude	pārējās	10	-	-	2.4	0.5	141
			13	-	-	3.9	0.8	141
		10% labākās	10	-	-	3.8	0.3	16
			13	-	-	5.8	0.4	16
Kuldīga	Ģimeņu pārbaudes	pārējās	10	-	-	2.7	0.6	118
			13	-	-	4.4	0.8	118
		10% labākās	10	-	-	3.9	0.4	12
			13	-	-	6.0	0.2	12
Rembate	Ģimeņu pārbaudes	pārējās	10	-	-	2.1	0.4	86
			13	-	-	4.2	0.7	86
		10% labākās	10	-	-	3.0	0.2	10
			13	-	-	5.7	0.2	10

*Skaits nozīmē salīdzināšanā izmantoto ģimeņu daudzumu.

Jelgavas izmēģinājuma stādījumā 10% ražīgāko ģimeņu (novērtējot pēc 10 augstāko koku vidējā augstuma) vidējais augstums 12 gadu vecumā ir par 17% jeb 0.9m lielāks nekā pārējo izmēģinājumā pārbaudīto ģimeņu augstums, caurmērs par 25% lielāks.

Andrupenes izmēģinājuma stādījumā 19 gadu vecumā 10% ražīgākās ģimenes ir par 15% augstākas nekā pārējās, savukārt to caurmērs ir par 14% lielāks.

Kuldīgas klonu izmēģinājumu stādījumā 13 gadu vecumā 10% ražīgākie ir pat par 46% augstāki nekā pārējie izmēģinājumā ietvertie.

Kuldīgas ģimeņu izmēģinājuma stādījumā 10% ražīgāko ģimeņu lielāko koku vidējais augstums ir 37% jeb 1.6m lielāks, Rembatē starpība ir līdzīga: 1.5m jeb arī 37%. Visas augstāk minētās atšķirības ir statistiski būtiskas.

Lai arī palielinoties vecumam atšķirības procentu izteiksmē samazinās, tomēr absolūtās vienībās m tās palielinās.

Šajos aprēķinos nav iekļauti citi ar selekcijas metodēm iegūstamie labumi – taisnāki un mazzaraināki stumbri, augstāka izturība pret slimību (piem., sakņu trupe) izraisītājiem.

Tā kā caurmēra pieaugumu vēlākajās audzes attīstības stadijās būtiski ietekmē kopšanas cirtes, modelēšanas vajadzībām vienkāršākais veids kā iekļaut selekcijas efekta ietekmi ir, modelējot nākošās paaudzes kokaudzi, meža antropogēnas (sējot vai stādot) atjaunošanas gadījumā paredzēt, ka kokaudzes bonitāte ir par 1 augstāka nekā iepriekšējai (pašreiz esošajai) mežaudzei.

10. Kopšanas ciršu eksperimentālo parauglaukumu ierīkošana un sākotnējā uzmērīšana (pirms kopšanas)

10. darba uzdevums. Kopšanas ciršu eksperimentālo parauglaukumu ierīkošana un sākotnējā uzmērīšana (pirms kopšanas) bērsa un priedes audzēs (pieļaujams arī egļu audzēs) kopā 62 objektos 4 reģionos – Dienvidkurzemes, Ziemeļkurzemes, Austrumvidzemes un Vidusdaugavas. Objekti ierīkojami trīs vecuma grupās: 20-30, 30 – 50 un 50 – 70 gados, katrā parauglaukumā ierīkojot 3-4 kopšanas ciršu intensitātes, “kopšanu no augšas” un kontroli. (Koku ciršanu parauglaukumos veic Pasūtītājs).

10.1. Objektu izvēle

No 1963 kopšanas ciršu nogabaliem sākotnēji atlasīti 926 nogabali pēc kritērijiem:

- 1) platība vismaz 1,2 ha;
- 2) valdošās sugas sastāva koeficients 8.

Tālāk ortofoto kartē novērtēts audzes viendabīgums un konfigurācija un no 926 nogabaliem atlasīti 231 nogabals (10.1. attēls), kam arī izveidotas kartes ar parauglaukumu izvietojumu nogabalā. Apsekojot dabā, vērtēts augšanas apstākļu viendabīgums, audzes sastāvs, biežība, reljefs, vēja bojājumi. Rezultātā no 231 nogabala kā derīgi atlasīti 60 nogabali.

A-Vidzeme	21-30	31-50	51-70	kopā	V-Daugava	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	2	7		9	P1	5			5
P2	2	8	13	23	P2				0
E	11		2	13	E	29		6	35
B	5	4	4	13	B	6	3	1	10
				58					50

D-Kurzeme	21-30	31-50	51-70	kopā	Z-Kurzeme	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	4	8		12	P1	6	27		33
P2		2	11	13	P2		14		14
E			29	31	E	4		2	6
B		2	4	6	B	1	4	3	8
				62					61

10.1. attēls. Pēc ortofoto kartēm atlasītie nogabali sadalījumā pa reģioniem un vecuma grupām, skaits.

P1 - priede Ia, I, II bonitāte; P2 - priede III, IV bonitāte.

Katrā objektā ierīko 10 vai 12 30x30m lielus parauglaukumus, kur pēc kopšanas cirtes paliekošo koku biežība paredzēta 0.38, 0.53, 0.68, 0.80, 0.53a (kopšana no augšas) un kontrole, kur netiek veikta kopšana. Parauglaukumi ierīkoti divos atkārtojumos. Ja sākotnēji paredzams, ka nevarēs ierīkot parauglaukumu ar atstājamo koku biežību 0.8, kā arī, ja nogabala platība nav pietiekami liela, lai ierīkotu 12 parauglaukumus, tad ierīko 10 parauglaukumus.

10.2. Lauku darbu metodika

Parauglaukumu shēmas nospraušana

Parauglaukumu shēmu dabā nosprauž ar 1` un 1 cm precizitāti. Parauglaukumu stūrus (30x30m) dabā atzīmē ar koka mietiem. Pēc izstrādes stūrus paredzēts atzīmēt ar armatūras stieni un plastmasas cauruli vai koka mietu. Parauglaukumu ārējā robeža, skatoties no parauglaukuma iekšpuses, atzīmēta kā līnija ar zaļu krāsu krūšaugstumā uz tuvākajiem kokiem ārpus parauglaukuma. Robeža starp parauglaukumiem atzīmēta kā līnija ar zaļu krāsu uz kokiem līdz 30 cm augstumam virs sakņu kakla.

Parauglaukumus numurē sākot ar ZR (līdzīgi kā klasiski nogabalus).

Ģeogrāfiskās platuma un garuma koordinātes tiek fiksētas katra parauglaukuma ZR stūrim.

Kokaudzes uzmērīšana

Minimālais krūšaugstuma caurmērs, no kā sāk mērīt kokus, tiek noteikts vizuāli tā, lai uzmērītie koki raksturotu audzes 1. un 2. stāvu, bet ne lielāks par 6.1 cm.

Parauglaukumā tiek uzmērīti visi dzīvie koki un tiem fiksē:

- ✓ koka numuru;
- ✓ koka sugu;
- ✓ stāvu;
- ✓ krafta klasi;
- ✓ krūšaugstuma caurmēru ar 0,1 cm precizitāti;
- ✓ bojājumus (10.1. un 10.2. tabula).

Katrā parauglaukumā sešiem dažādas dimensijas I stāva valdošās koku sugas kokiem uzmēra augstumu (ar 0.1 m precizitāti), bet pārējiem meža elementiem katram pa diviem kokiem. Kokiem, kuriem uzmēra augstumu, fiksē arī krūšaugstuma un celma augstuma caurmēru (ar 0.1 cm precizitāti), kā arī iespēju robežās zaļā vainaga sākuma augstumu (ar 0.1 m precizitāti).

Kokiem, kuriem tiek uzmērīts augstums, iespēju robežās jābūt bez augstuma vai caurmēra ietekmējošiem bojājumiem, kā arī vajadzētu izvairīties no netipiski īsiem vai gariem kokiem (kokiem ar audzei neraksturīgu h/d attiecību).

10.1. tabula

Bojājumu lokalizācija

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

10.2. tabula

BOJĀJUMU VEIDS

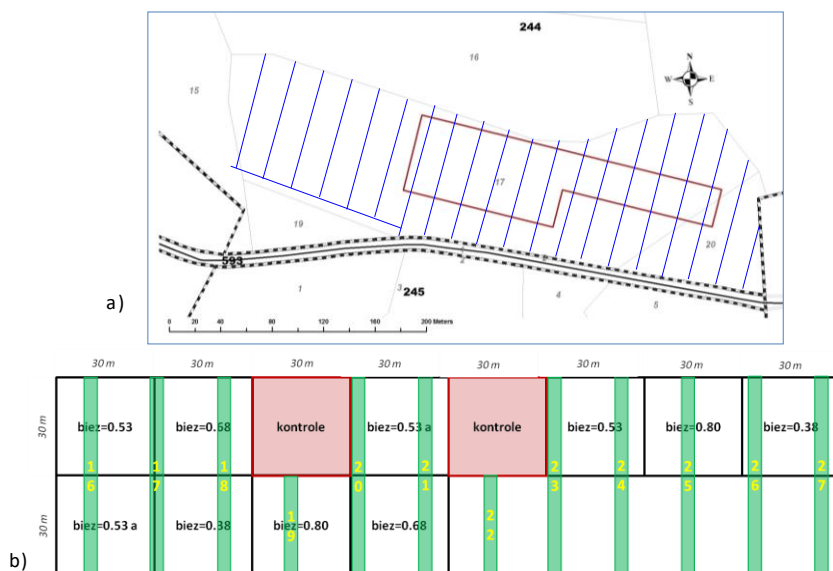
Kods	Skaidrojums
01	Vēzis
02X	Puni, auglķermeņi (021) un citi progresējušas sabrukšanas indikatori: mīksta koksne (022), plaisas (023), dobumi (024), vaļējas brūces, kas saskaras ar zemi (025)
03	Vaļējas brūces (bez mizas, bet bez redzamām trupes pazīmēm)
04	Sasveķojumi
11	Nolūzis stumbrs vai saknes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

Koku izzīmēšana

Pirms koku izzīmēšanas izvēlas parauglaukumu ciršanas intensitātes shēmu, ņemot vērā:

- ✓ sākotnējo audzes biežību,
- ✓ nogabala konfigurāciju,
- ✓ ciršanas shēmu (treilēšanas ceļus, krautuves vietu).

Izvēloties parauglaukumu ciršanas intensitātes shēmu, jāievēro princips, ka vienādas ciršanas intensitātes parauglaukumi nedrīkst atrasties blakus, kā arī vēlams, ka zemākas ciršanas intensitātes parauglaukumi atrodas tieši blakus kontroles parauglaukiem (10.2. attēls).



10.2. attēls. Parauglaukumu konfigurācijas un ciršanas intensitātes shēmas paraugs.

a) - parauglaukumu konfigurācija ciršanas skicē; b) - parauglaukumu ciršanas intensitātes shēma.

Ar krāsu tiek atzīmēti atstājamie koki, apvelkot līniju ap stumbru 1.3 m augstumā. Kokus zīmēšanai izvēlas pēc principa, ka paliekošo audzes daļu pēc ciršanas veido:

- ✓ mērķa sugas koki;
- ✓ vienmērīgi izvietoti koki;
- ✓ I, II un III Krafta klases koki atbilstoši modeļos noteiktajām šķērslaukuma vērtībām pēc kopšanas;
- ✓ veseli koki ar labu pieaugumu;
- ✓ viengalotnes, mazzaraini, taisni koki bez padēliem;
- ✓ koki ar veselīgu vainaga skujojumu vai lapojumu;
- ✓ iepriekš atzaroti koki (atzarošanas augstums vairāk nekā 3 m);
- ✓ vismaz 5% lapu koku piemistrojums skuju koku audzēs;
- ✓ vismaz 15 nākotnes saglabājamie (ekoloģiskie) koki, pirmkārt, ozoli, priedes, liepas, oši, bērzi, apses, melnalkšņi, baltalkšņi. Tos izvēlas ne tuvāk par 50 m no krautuves vietas un, kur vien iespējams, koncentrē ap citām saglabājamām dabas vērtībām.

Parauglaukumā ar kopšanas ciršanas paņēmieni "kopšana no augšas" ievēro iepriekš minētos principus, papildus izcērtot I krafta klases kokus.

10.3. Ierīkoto objektu raksturojums

Kopā 2017. gadā ir ierīkoti 26 objekti, kam aprēķināti taksācijas rādītāji pirms kopšanas ciršanas (10.3. tabula). Vidusdaugavā ierīkoti 8 objekti, Ziemeļkurzemē ierīkoti 7 objekti un Dienvidkurzemē 5 objekti. Austrumvidzemē ierīkoti 5 objekti, no kuriem vienā objektā (109-45-5) ir tikai nosprausta parauglaukuma shēma un vēl nav uzsākta parauglaukumu uzmērīšana, tādēļ šis objekts nav iekļauts

10.3.tabulā. Pavisam kopā uzmērīti 262 parauglaukumi ar kopējo platību 23.58 hektāri, nodastoti 38242 koki, augstumi mērīti 2928 kokiem.

Vismazāk objektu ir pārstāvēti priežu audzēs zemajās bonitātēs vecuma grupās 21-30 gadi un 31-50 gadi (10.3. attēls), jo šajā grupā Vidusdaugavā jau sākotnēji pēc pirmās atlases netika atlasīta neviena priežu audze (10.1. attēls). Savukārt apsekojot dabā zemo bonitāšu priežu audzēs citās mežsaimniecībās, lielākā daļa audžu tika konstatētas ar augstāku bonitāti. Tajās zemo bonitāšu priežu audzēs, kur tika ierīkoti parauglaukumi, uzmērot parauglaukumus konstatēts, ka lielākajā daļā parauglaukumu bonitāte ir augstāka, līdz ar to arī visa objekta bonitāte ir augstāka, piemēram, Ziemeļkurzemē 703-407-7 un 703-412-7.

Pilnībā pabeigta ir parauglaukumu uzmērīšana visās mežsaimniecībās E audzēs vecuma grupā 31-50 gadi un priežu augsto bonitāšu audzēs vecuma grupās 31-50 gadi un 51-70 gadi.

Ierīkotajos objektos vidējā audzes biezība pirms ciršanas ir robežās no 0,66 līdz 1,22.

A-Vidzeme	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	1	3	4	8
P2			1	1
E	1	3		4
B			3	3
				16

V-Daugava	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	3	3	3	9
P2				0
E	3	3	2	8
B	2		1	3
				20

D-Kurzeme	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	2	2	6	10
P2				0
E	3	3		6
B			1	1
				17

Z-Kurzeme	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	1	5	2	8
P2			4	4
E	1	3		4
B		2	1	3
				19

Kopā	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	7	13	15	35
P2	0	0	5	5
E	8	12	2	22
B	2	2	6	10
				72

10.3. attēls. Ierīkotie objekti sadalījumā pa reģioniem un vecuma grupām.

P1 - priede I, II bonitāte; P2 - priede III, IV bonitāte.

Ierīkoto objektu taksācijas rādītāji

Nrpk	Gads	Mež-saimn.	Objekts	PL skaits	D min	MT	Bon	1. stāvs						2. stāvs							
								Biez	A	Sastāvs	D cm	H m	G m ^{ha} ⁻¹	M m ^{ha} ⁻¹	N ha ⁻¹	Sastāvs	D cm	H m	G m ^{ha} ⁻¹	M m ^{ha} ⁻¹	N ha ⁻¹
1	2016	AV	101-425-13	10	6.1	Mr	I	0.76	67	10P	23.1	23.0	27.2	290.7	649	5E4B1P	9.4	8.5	0.1	0.4	11
2	2016	AV	104-391-15	12	6.1	As	Ia	0.90	45	10E+B	21.2	21.0	30.7	324.8	888	8E1B1L	7.8	9.4	0.1	0.9	31
3	2016	AV	106-446-7	10	6.1	Mr	I	0.69	54	10P ats.E	19.9	19.9	23.8	226.0	764	8E2P ats.B	7.9	8.0	0.8	4.4	143
4	2016	AV	106-526-6	10	6.1	Mr	II	0.68	49	10P ats.E,B	16.2	17.6	22.6	195.9	1090	8E2P	9.7	10.8	0.2	1.2	26
5	2016	AV	108-191-10	10	4.1	Dms	II	0.76	45	10E	14.0	14.9	21.1	173.5	1378	10E+B	6.5	7.1	1.9	9.7	568
6	2016	AV	108-404-3	12	6.1	Ln	Ia	0.84	66	9P1E	24.6	26.1	30.9	371.9	647	8E2B	11.4	11.5	1.7	11.8	203
7	2016	AV	108-408-12	11	4.1	Vr	Ia	0.98	31	10E ats.B	13.6	15.0	27.5	228.0	2083	7E3B+B1	6.2	7.6	1.7	9.4	620
8	2016	AV	108-470-3	12	6.1	Vrs	I	1.02	61	7B3M ats.A	18.3	23.9	29.7	326.5	1109	8E2B+M ats.Os,Ba	11.7	12.2	3.8	27.1	406
9	2016	AV	109-212-9	12	4.1	Km	IV	0.88	65	10P	12.8	14.8	27.4	207.3	2117	8P2B	6.7	7.8	0.1	0.5	31
10	2016	AV	109-402-7	12	6.1	Ln	Ia	0.86	57	10P	24.5	24.6	31.1	351.7	659	10E	11.1	11.2	2.1	14.6	219
11	2016	DK	201-399-14	12	4.1	Dm	Ia	1.11	27	9E1B ats.P,Oz	15.9	15.8	32.0	262.9	1745	7E2Oz1P+B,K,Pl ats.Bl	6.9	7.8	0.8	4.4	223
12	2016	DK	202-415-13	12	4.1	Am	Ia	0.78	25	9P1E	14.5	13.7	23.8	167.3	1420	10E+P,B	5.2	5.3	0.0	0.2	22
13	2016	DK	202-583-22	10	4.1	As	I	0.86	40	7P3E	15.3	15.3	27.1	213.5	1510	9E1P	7.0	7.8	0.5	2.5	123
14	2016	DK	202-591-14	12	6.1	Am	II	0.73	68	10P ats.E	22.8	20.8	25.2	246.1	621	9E1B ats.P	9.7	10.2	1.8	11.7	259
15	2016	DK	205-24-33	12	4.1	Vr	Ia	1.21	27	9E1B ats.P,Oz	15.3	15.1	34.2	272.7	1813	9E1Pl ats.Oz,B,Bl	7.1	7.9	0.9	5.0	230
16	2016	DK	205-92-61	12	4.1	Vr	Ia	1.14	27	9E1Oz ats.P	17.0	16.4	33.6	283.2	1517	8E1Oz1Pl	6.7	8.1	0.2	1.1	52
17	2016	DK	206-12-9	12	6.1	Dm	I	0.84	67	9P1E	26.5	23.9	30.3	332.6	577	10E ats.B	11.7	12.7	3.4	24.9	327
18	2016	DK	206-369-10	12	6.1	Dm	I	0.86	69	8P2E	24.1	23.9	31.1	345.9	700	10E ats.B	10.6	11.2	2.5	17.8	288
19	2016	DK	206-369-12	12	6.1	Mrs	II	0.85	62	10P ats.E	23.3	21.1	29.5	290.9	693	9E1B	10.7	10.4	1.8	11.0	205
20	2016	DK	206-62-10	10	4.1	Dm	I	1.02	46	10E ats.P	15.9	17.6	31.2	295.9	1581	10E+B ats.M,Bl,La	6.9	9.0	1.6	10.5	436
21	2016	DK	206-74-9	10	6.1	Dms	I	0.91	50	9P1E	18.9	19.1	30.8	282.6	1142	10E ats.P,B	9.0	9.9	1.7	11.4	274
22	2016	DK	206-95-4	12	6.1	Am	Ia	0.90	68	10P+B ats.E	22.5	23.2	32.2	347.2	833	10E ats.B	10.6	11.4	3.8	27.1	439
23	2016	VD	501-161-1	12	4.1	Ap	Ia	1.14	30	10E	18.5	17.3	34.7	303.1	1310	3E2B2M2Ba1Bl	7.3	9.1	0.1	0.6	38
24	2016	VD	502-381-4	12	6.1	Vr	Ia	0.90	50	10E ats.A	27.3	26.4	35.4	457.1	606	6E4L	12.7	14.6	0.1	0.8	7
25	2016	VD	503-148-17	12	6.1	Vr	Ia	0.80	47	10E	24.7	23.0	28.9	323.3	608	5Oz3E2Bl	13.9	14.8	0.0	0.2	4
26	2016	VD	503-244-17	12	6.1	Ks	Ia	0.93	69	9P1E+B	25.1	26.2	34.2	411.7	707	9E1B	13.9	13.7	4.2	30.8	306
27	2016	VD	503-289-25	12	4.1	Km	II	0.85	44	8P2E	15.1	16.4	27.4	228.3	1560	10E	6.1	7.1	0.6	3.2	198
28	2016	VD	503-302-8	12	4.1	As	I	1.06	47	10E ats.B,A	17.4	19.7	34.8	365.1	1482	8E2B ats.Oz,L,Ba	8.3	10.0	0.8	5.3	168
29	2016	VD	503-307-10	12	6.1	As	Ia	0.85	55	10E	22.9	22.7	30.3	342.2	739	10E+B	10.4	11.4	0.1	0.5	9
30	2016	VD	505-107-18	12	6.1	Mr	I	0.76	66	10P	22.6	22.6	26.9	282.2	671	10E+P	14.6	16.0	0.1	0.7	6
31	2016	VD	505-108-8	12	4.1	Mr	I	0.67	28	10P	14.3	12.9	20.0	132.7	1254	8P2B ats.E	5.6	7.5	0.1	0.6	49
32	2016	VD	505-92-1	10	4.1	Mrs	II	0.70	39	10P ats.E	14.6	13.7	21.2	147.8	1277	6P3E1B	5.4	7.2	0.1	0.5	43
33	2016	VD	505-93-11	10	6.1	Mr	I	0.77	51	10P	18.3	19.7	26.4	249.0	997	10E	9.6	8.4	0.0	0.0	1
34	2016	VD	505-93-9	10	4.1	Mr	I	0.69	39	10P ats.E	15.1	15.5	21.8	169.3	1219	8P2B+E	6.1	8.7	0.1	0.7	50
35	2016	ZK	702-152-5	12	4.1	Sl	III	0.84	57	10P	13.5	13.7	25.5	179.8	1788	10P	6.9	7.8	0.3	1.5	83
36	2016	ZK	702-154-42	12	6.1	Dms	II	1.06	56	9P1B	19.2	19.6	36.4	342.3	1319	7E3B ats.P	9.9	10.0	2.7	16.7	408
37	2016	ZK	702-183-27	12	6.1	As	I	1.13	45	8P2E	20.0	19.4	38.5	360.7	1362	10E+M ats.P	8.8	10.9	3.3	22.9	549
38	2016	ZK	703-113-22	10	6.1	Ap	I	0.87	54	7B1E1M+Os ats.A	21.3	23.2	24.7	262.9	660	10E+B,M ats.Os	15.7	13.8	8.1	57.7	436
39	2016	ZK	703-126-1	10	4.1	Dms	I	0.86	41	8E2P ats.B	17.1	16.8	25.7	222.7	1081	10E ats.Oz	7.4	7.6	1.1	5.6	247
40	2016	ZK	703-315-11	10	4.1	Vr	I	0.87	33	9E1Oz+B	12.9	13.3	22.8	166.2	1887	7E3Oz+M ats.B,Bl	5.6	6.9	0.3	1.7	140
41	2016	ZK	703-395-13	12	6.1	Vr	II	1.06	48	10E+A ats.B,Oz,Bl	15.2	17.1	31.9	295.4	1805	9E1B+Oz ats.M,A,Ba	7.5	9.0	0.8	5.0	183
42	2016	ZK	706-76-19	10	4.1	Mrs	IV	0.81	63	10P+B	15.3	14.5	25.2	185.7	1412	4E4B2P	7.2	7.0	0.6	2.9	173
43	2016	ZK	710-291-22	12	4.1	Mr	III	0.82	55	9P1B	14.2	15.2	25.8	200.7	1612	4P4E2B	6.7	8.5	0.2	1.1	60
44	2016	ZK	710-291-26	12	4.6	Ln	II	0.94	56	9P1E+B	18.4	19.5	32.1	299.9	1241	5E4B1P ats.A,Pl	8.6	7.8	0.5	2.6	106
45	2016	ZK	713-209-2	10	4.1	Ln	II	0.69	37	10P+E	14.5	12.6	20.6	134.5	1236	7P3E ats.Oz	6.4	7.3	0.2	0.9	52
46	2016	ZK	713-306-18	12	4.1	Am	III	0.84	63	10P ats.E	18.2	17.8	27.9	241.8	1071	9E1B ats.P	8.9	8.7	1.0	5.7	173
47	2017	AV	106-497-9	12	4.1	Mr	II	0.79	37	10P ats.B	13.0	14.0	24.3	175.5	1864	7P3E	5.2	7.1	0.1	0.6	56
48	2017	AV	109-84-7	8	2.1	Sl	I	0.66	28	10P+B	10.5	11.3	18.8	116.2	2196	5B4P1E	2.5	5.4	0.1	0.4	142
49	2017	AV	110-74-1	10	6.1	Ks	I	0.77	48	10P ats.E	17.0	19.5	26.4	248.4	1164	8E2B	9.7	9.9	0.0	0.3	7
50	2017	AV	111-29-3	10	6.1	Kp	Ia	0.66	56	9B1A	22.7	28.0	21.5	275.9	520	9E1B ats.M	13.3	13.1	12.2	97.6	917
51	2017	AV	111-86-5	10	4.1	Dm	Ia	0.91	22	10E ats.B	15.4	13.9	24.3	175.3	1336	10E ats.Bl,Pl	5.8	7.8	0.2	1.0	59
52	2017	DK	201-473-25	10	4.1	Ln	Ia	0.81	26	10P ats.E	15.1	12.4	24.0	152.5	1358	4E3P3B+Oz	5.2	5.4	0.1	0.4	34
53	2017	DK	202-298-10	10	6.1	Mrs	II	0.77	67	10P	22.7	21.7	26.9	273.1	670	10E+B ats.P	10.4	10.0	0.9	5.9	108
54	2017	DK	207-15-6	12	6.1	Vr	Ia	1.22	36	10E	18.0	19.4	39.7	400.6	1569	10E ats.Oz	8.1	11.0	0.9	6.5	167
55	2017	DK	208-111-35	10	6.1	As	Ia	1.02	40	10E ats.P	20.1	19.9	33.6	338.4	1062	9E1Ba	8.9	10.3	0.4	2.4	60
56	2017	DK	213-479-6	10	6.1	Dm	II	0.87	54	8B2E+M ats.A	16.8										

11. 2016. gadā ierīkoto kopšanas ciršu parauglaukumu pārmērīšana pēc mežizstrādes un parauglaukumu shēmu, raksturojošās informācijas sagatavošana

11. darba uzdevums. 2016. gadā ierīkoto kopšanas ciršu parauglaukumu pārmērīšana pēc mežizstrādes un parauglaukumu shēmu, raksturojošās informācijas sagatavošana.

No 2016. gadā ierīkotajiem 46 objektiem, uz 31.12.2017. nav nocirsti 8 objekti (3 objekti Vidusdaugavā, 2 objekti Austrumvidzemē, 2 objekti Ziemeļkurzemē un 1 objekts Dienvidkurzemē). Pārējo objektu shēmas un raksturojošā informācija sagatavota. Dati atsevišķā pielikumā.

MezSaimn	ApgKvNog	Sastāvs	MT	A	s10	Bon	Hs10	Ds10	G	Bon grupa	A grupa
Austrumvidzeme	104-391-15	10E45 +M44 ats B44	As	45	3	Ia	19	17	38	1	2
Austrumvidzeme	106-446-7	10P54	Mr	54	1	I	21	20	24	1	3
Austrumvidzeme	106-526-6	10P49 +E43	Mr	49	1	II	18	18	26	1	2
Austrumvidzeme	108-191-10	8E45 2B24 +B39	Vrs	45	3	III	13	11	17	1	2
Austrumvidzeme	108-404-3	10P66 +E66	Ln	66	1	II	23	23	29	1	3
Austrumvidzeme	108-408-12	9E31 1B21 +M21	Dm	31	3	II	11	13		1	2
Austrumvidzeme	108-470-3	8B1E1M61 +BI58 A58	Vrs	61	4	III	19	21	19	1	3
Austrumvidzeme	109-402-7	10P57 +E54 B54	Ln	57	1	II	20	18	30	1	3
Dienvidkurzeme	202-415-13	10P25	As	25	1	Ia	13	15	22	1	1
Dienvidkurzeme	202-583-22	8P2E40	Km	40	1	II	15	17	18	1	2
Dienvidkurzeme	202-591-14	10P68 +B68 E68	Am	68	1	III	18	19	26	2	3
Dienvidkurzeme	205-24-33	10E27 +P27 B22	Vr	27	3	Ia	16	18	28	1	1
Dienvidkurzeme	205-92-61	9E1Oz27 +P27 B27 ats E37	Vr	27	3	I	10	13		1	1
Dienvidkurzeme	206-12-9	10P67 +B67	Dm	67	1	I	23	24	29	1	3
Dienvidkurzeme	206-62-10	8E1P46 1E57 +B20 M30 ats E51	Dms	46	3	III	13	16	27	1	2
Dienvidkurzeme	206-74-9	10P50 +E45 B37	Mrs	50	1	III	15	14		2	2
Dienvidkurzeme	206-95-4	10P68 +E63 B63	Mrs	68	1	III	18	20	29	2	3
Dienvidkurzeme	206-369-10	9P1E69 +B64	Dm	69	1	I	26	28	26	1	3
Dienvidkurzeme	206-369-12	10P62 +B62 E62	Mrs	62	1	II	21	23	29	1	3
Vidusdaugava	503-148-17	10E47	Vr	47	3	Ia	23	26	33	1	2
Vidusdaugava	503-244-17	8P1E1B69	Ks	69	1	Ia	26	26	22	1	3
Vidusdaugava	503-289-25	8P2E44	Am	44	1	II	15	15	21	1	2
Vidusdaugava	503-302-8	9E47 1B41 +Ba41	As	47	3	Ia	20	18	30	1	2
Vidusdaugava	503-307-10	10E55 +B50	Ap	55	3	I	22	20	31	1	3
Vidusdaugava	505-93-9	10P39 ats B39	Mr	39	1	II	14	14	26	1	2
Vidusdaugava	505-93-11	10P51 +B30	Mr	51	1	I	20	19	26	1	3
Vidusdaugava	505-107-18	10P66	Ln	66	1	Ia	25	26	22	1	3
Vidusdaugava	505-108-8	10P28	Ln	28	1	Ia	13	15	20	1	1
Ziemeļkurzeme	702-152-5	10P57 +B54	Sl	57	1	IV	13	13	34	2	3
Ziemeļkurzeme	702-154-42	10P56 +E56 B56	Dms	56	1	II	19	18	36	1	3
Ziemeļkurzeme	702-183-27	9P1E45 +P53 E53	As	45	1	I	20	17	32	1	2
Ziemeļkurzeme	703-113-22	8B1M54 1E64 +Os54	Grs	54	4	II	19	21	18	1	3
Ziemeļkurzeme	703-126-1	7E1P41 2E51 +B51	As	41	3	III	10	11		1	2
Ziemeļkurzeme	703-315-11	9E33 1B28 +A33 M28	Gr	33	3	I	12	14	26	1	2
Ziemeļkurzeme	703-395-13	10E48 +Oz48 B38 ats A38	Vr	48	3	I	18	17	33	1	2
Ziemeļkurzeme	706-76-19	9P1B63	Mrs	63	1	III	18	18	27	2	3
Ziemeļkurzeme	713-209-2	10P37 +E37	Ln	37	1	III	10	12		2	2
Ziemeļkurzeme	713-306-18	10P63	Mrs	63	1	II	19	19	27	1	3

Secinājumi un rekomendācijas

1. Vairumā gadījumu no jauna aprēķinātie augšanas gaitu aprakstošo vienādojumu koeficienti sniedz precīzāku vērtējumu. Tomēr daļā gadījumu lietderīgāk izmantot iepriekš (uz lielāku parauglūkumu skaitu, lai arī īsāku periodu) aprēķinātus vienādojumu koeficientus. Atbilstošie rekomendētie koeficienti norādīti pielikumā.
2. Relatīvi ilgi neapsaimniekotu audžu (vairāk nekā 15 gadi) šķērslaukuma modālo vērtību aprēķinā konstatēts, ka vienas vecuma grupas un augstuma grupas ietvaros šķērslaukuma sadalījumam ir vairākas modas, tādēļ aprēķinātas atbilstošās mediānās vērtības (sadalījumu daļa uz pusēm) un aproksimētas to izmaiņas laika gaitā. Atbilstošo vienādojumu rekomendē iekļaut LVM resursu attīstības modelēšanas sistēmā.
3. Parauglaukumos, kas iekārtoti audzēs, kuras cirstas izlases cirtēs, 15 gadus pēc pirmā cirtes paņēmiena veikšanas priežu paauga nekoptās audzēs Dm vai nu nav vai nīkuļo. Augšana ir būtiski lēnāka nekā atbilstošā vecuma jaunaudzēs pēc kailcirtes. Gadījumā, ja modelē apsaimniekošanu izlases ciršu saimniecībā, lai “saglabātu” priedi, nepieciešams paredzēt paaugas kopšanu (bērzu izciršana) un mātes audzes retināšanu.
4. Selekcionētās priedes 30 – 40 gadu vecumā ir ar 4-12 % lielāku vidējo caurmēru un 12-15 % lielāku augstumu nekā vidēji eksperimentu rādītāji. Savukārt egles ir par ~15% lielāku vidējo caurmēru un augstumu. Modelējot nākamās aprites audzes, alternatīvās, kurās paredz meža atjaunošanu stādot, jaunaudžu augšanas stadijā (piem., līdz 20 gadu vecumam vai 5 metru augstumam) attiecīgi paredz par 1 bonitāti augstāku augstuma un caurmēra pieaugumu nekā tas ir normatīvi meža tipam atbilstošajai bonitātei.
5. Kopumā iekārtoti 72 eksperimentālie objekti dažādu kopšanas ciršu alternatīvu pārbaudei dažāda vecuma P, E un B audzēs. No ražošanas objektiem vissekmīgāk izdevies atlasīt kā derīgus 31-50 gadu egļu un par 31 gadu vecāku priežu augstāko bonitāšu audzes. Izvēloties objektus, lai iekārtotu kopšanas ciršu parauglaukumus, konstatēts, ka jaunaudzēs normatīvos meža tipiem pieņemtie augstumi ir mazāki (norādītās bonitātes ir zemākas) nekā tas konstatēts atbilstošajos nogabalos pēc mērījumiem dabā.

Literatūra

- Donis J. (projekta vad.), (2015) Mežaudžu augšanas gaitas un pieauguma noteikšana, izmantojot pārmērītos meža statistiskās inventarizācijas datus. Pārskats. 75 lpp: Pieejams http://www.lvm.lv/images/lvm/Petijumi_un_publicācijas/Petijumi/AGM_gala_atskaite.pdf
- Donis J. (projekta vad.), (2016) Augšanas gaitas modeļu pilnveidošana. Pārskats. 113 lpp: Pieejams https://www.lvm.lv/images/lvm/Augšanas_gaitas_modei_starpatskaite_2016.pdf
- Donis, J., Šņepsts, G., Šēnhofs, R., Treimane, A., un Zdors, L., 2015. Audzes krājas tekošā pieauguma un dabiskā atmiruma prognožu modeļi. *Mežzinātne* 29, 99–118.
- Krumland, B., Eng, H., 2005. Site index systems for major young-growth forest woodland species in northern California. California Forestry Report 4. Department of Forestry and Fire Protection, State of California Resources Agency, Sacramento, CA
- Liepa, I. (1996) Pieauguma mācība. Jelgava. 123 lpp.
- Кивисте, А.К. (1988) Функции роста леса учебно-справочное пособие (приложении). Тарту. ст. 172.

Pielikumi

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

Pielikums 2. Augšanas gaitas modeļos izmantojamie koeficienti

Meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošais augstums (2.1. formula)

Suga	α_1	α_2	α_3
Priede	1.160	-67.287	41.218
Egle	1.173	-68.650	38.279
Bērzs	1.334	-35.785	16.116
Melnalksnis	1.139	-32.096	15.977
Apse	1.324	-26.078	15.645
Baltalksnis	1.264	-54.650	17.998
Egle 2. stāvs	1.027	-50.039	25.097

Meža elementa virsaugstums (2.1. formula)

Suga	α_1	α_2	α_3
Priede	1.186	-49.997	25.761
Egle	1.258	-50.618	24.597
Bērzs	1.320	-51.587	23.520
Melnalksnis	1.464	-53.962	19.700
Apse	1.281	-49.961	26.031
Baltalksnis	1.370	-56.118	17.848

Meža elementa vidējais kvadrātiskais caurmērs (2.2. formula)

Suga	α_1	α_2	α_3	β_1	β_2	β_3
Priede	1.067	-9.985	5.035	83570	-1.366	-0.069
Egle	0.775	-32.599	37.898	103106	-1.381	-0.103
Bērzs	0.667	-31.730	38.329	144400	-1.357	-0.302
Melnalksnis	0.759	-45.654	22.657	197511	-1.314	-0.339
Apse	1.049	-33.057	32.437	197511	-1.314	-0.339
Baltalksnis	0.924	-8.152	2.781	197511	-1.314	-0.339
Egle 2. stāvs	0.530	-33.844	36.257			

Meža elementa šķērslaukums (2.4. – 2.6. formulas)

Suga	2.4. formula						2.5. formula			2.6. formula		
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_1	α_2	α_3	α_1	α_2	α_3
Priede	0.189	-0.079	-9.315	0.925	-0.375	0.143	0.018	-0.011	12.015	63.459	13.466	-1.514
Egle	0.212	-0.121	13.621	1.069	-0.173	0.024	0.028	-0.021	12.574	56.984	9.337	-1.703
Bērzs	0.342	-0.456	-2.064	1.002	-0.253	0.049	0.051	-0.069	8.817	44.214	6.020	-1.377
Melnalksnis	0.236	-0.249	5.364	1.053	-0.210	0.021	0.059	-0.085	3.363	50.016	9.270	-1.872
Apse	0.499	-0.675	7.761	1.418	-0.187	-0.025	0.057	-0.067	12.136	55.631	5.971	-1.495
Baltalksnis	0.510	-0.961	9.248	1.170	-0.290	-0.067	0.069	-0.165	6.292	39.013	3.965	-2.042