



AS „LATVIJAS VALSTS MEŽI” pasūtītā pētījuma

AUGŠANAS GAITAS MODEĻU PILNVEIDOŠANA

2. etapa STARPATSKAITE

LĪGUMA NR.: 5-5.9_00uy_101_15_284

IZPILDES LAIKS: 01.02.2016. - 20.12.2016.

IZPILDĪTĀJS: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”

Projekta vadītājs: _____
Jānis Donis

Salaspils, 2016

Kopsavilkums

AS „LATVIJAS VALSTS MEŽI” pasūtītā pētījuma Augšanas gaitas modeļu pilnveidošana 2. etapa starpatskaite

Līguma Nr.: 5-5.9_00uy_101_15_284

Izpildes laiks: 01.02.2016. - 20.12.2016.

Izpildītājs: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”

Projekta vadītājs: J. Donis

Pārējie galvenie izpildītāji: G. Šņepsts, R. Šēnhofs, L. Zdors, A. Treimane.

Atbilstoši metodikai 2.etapā paredzēti sekojoši darba uzdevumi:

1.darba uzdevums **Augšanas gaitas modeļiem nepieciešamo datu sagatavošana no 2015.g. MSI mērījumiem**

Meža statistiskās inventarizācijas (MSI) parauglaukumu datu bāzē atlasīti un MS Excel datorprogrammā ievadīti dati par 1628 atkārtoti 2014. (814) un 2015. (829) gadā pārmērītajiem parauglaukumiem, kas tālāk izmantojami augšanas gaitas prognožu modeļu izstrādē.

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

Pārbaudīti 2015. 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 **Pieauguma, atmiruma un krājas difference prognožu modeļu pilnveidošana un statistisko rādītāju izvērtēšana, aprēķinus balstot uz 3. MSI cikla 2 gadu datiem.**

Iepriekš 2015. gadā izstrādātajiem vienādojumiem, balstoties uz 10 gadu pārmērījuma datiem, aproksimētas jaunas koeficientu vērtības kokaudzes I stāva un kokaudzes tekošā vidēji periodiskā krājas pieauguma aprēķināšanai. Atšķirībā no iepriekšējiem gadiem tekošais vidēji periodiskais krājas pieaugums ir atkarīgs no I stāva valdošās koku sugas krūšaugstuma vecuma, Orlova bonitātes un mežaudzes attiecīgā šķērslaukuma visām koku sugām.

Iepriekš 2015. gadā izstrādātajiem vienādojumiem, balstoties uz 10 gadu pārmērījuma datiem, aproksimētas jaunas koeficientu vērtības kokaudzes I stāva un kokaudzes tekošā vidēji periodiskā krājas atmiruma aprēķināšanai.

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

4.darba uzdevums **Izmantojot 3. MSI cikla 2 gadu datus un Zviedrijas, Somijas augšanas gaitas modeļus aprēķināt augšanas gaitas un tās salīdzināt ar 2.punktā minētajiem rezultātiem.**

Veikta pieaugumu aprēķināšana balstot uz Somijas augšanas gaitas modeļu noklusētajiem parametriem. Konstatēts, ka virkne parametru nav tieši attiecināmi uz Latvijas apstākļiem, un to piemērošana balstīta uz pieņēmumiem par atbilstību meža tipiem, piemēram, tādi rādītāji kā rohumusa slāņa biezums, akmeņainība, pārpurvošanās. Savukārt citi rādītāji tiek ekstrapolēti salīdzinājumā ar šo rādītāju diapazonu Somijā. Piemēram, gada aktīvās veģetācijas temperatūru summa (diennakts vidējā temperatūra virs 5°C) modeļos ir no 800 līdz 1300 grādiem, bet Latvijā tā pārsniedz pat 2100 grādiem. Secināts, ka oriģinālās vienādojumu koeficientu vērtības nav

izmantojamas Latvijas mežaudžu augšanas gaitas modelēšanai. Pārbaudot Zviedrijas augšanas gaitas modeļu atbilstību, konstatēts, ka līdzīgi nepieciešama oriģinālo (Zviedrijā lietoto meža tipu raksturojošo parametru sasaiste ar Latvijas meža tipoloģiju. Īsā termiņā oriģinālās formulas dod labu vērtējumu, taču ilgākā termiņa nepieciešama koeficientu vērtību adaptācija Latvijas apstākļiem.

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

Audzēs telpiskās struktūras raksturošanai pārmērīti 2006.-2012. gadā iekārtotie 6 objekti priežu audzēs, kuros izlases vai pakāpeniskās cirtes pirmais paņēmieni veikts laika periodā no 2000. līdz 2006. gadam. Bez tam arī uzmērīti 4 objekti priežu audzēs, kuros izlases vai pakāpeniskās cirtes pirmais paņēmieni veikts 2011. gadā, pēc kuras veikta sanitārā cirte 2014. gadā. Šie 4 objekti uzmērīti ar mērķi iegūt papildus informāciju par sākotnējo dabiskās atjaunošanās norisi un paredzēti pārmērīt 2020. gadā. Šajos objektos iepriekšējās kokaudzes struktūra atkārtoti novērtēta 55 parauglaukumos (500 m²; R=12,62 m) un veikta atjaunošanās uzskaitē 165 uzskaites laukumos (25 m²; R=1,82 m).

Ņemot vērā to, ka pētījuma sākuma posmā ir neliels datu apjoms, tad iegūtie rezultāti lielākoties ir tikai indikatīvi (uz ko norāda arī statistiskie rādītāji (robežklūda ar 95% ticamību) nav būtiska), un pagaidām nav izmantojami vispārīnājumu veikšanai.

6.darba uzdevums ***Mākslīgās atjaunošanas ietekmes (selekcijas efekta) noteikšana - izstrādāt selekcijas efekta modeli parastai priedei.***

Selekcijas efekts kvantitatīvi novērtēts izmantojot datus no 1975.g. stādījumiem, kuros līdzīgos apstākļos audzētas selekcionēta (kontrolēti krustotu pluskoku pēcnācēji) un vietējo provenienču priedes pēcnācēji, kā arī no 1975. un 1982.g. stādījumiem, kuros līdzīgos apstākļos audzēti, plantāciju pēcnācēji un mežaudžu pēcnācēji.

Konstatēts, ka selekcionētam materiālam augstuma pārsvars ir 6-13% (statistiski būtisks), salīdzinot var vietējām proveniencēm, savukārt caurmēra pieauguma pārsvars vidēji ir 5-18%, ne visos gadījumos ir statistiski būtiski. Aprēķināti vienādojumu koeficienti selekcijas efekta iekļaušanai augšanas gaitas modeļos.

7.darba uzdevums ***Kopšanas ciršu eksperimentālo parauglaukumu ierīkošana un sākotnējā uzmērīšana (pēc kopšanas) priedes (pieļaujams arī egles un bērza) I-II bonitātes un III-IV bonitātes audzēs, kopā 72 objekti, 4 reģionos – DK, ZK, AV, VD mežsaimniecībās, 3 vecuma grupās 20 – 30, 30 – 50, 50 – 70 gados, katrā parauglaukumā ierīkojot 3-4 kopšanas intensitātes, “kopšanu no augšas” un kontroli.***

Kopā 2016. gadā ir ierīkoti 46 kopšanas ciršu objekti. Austrumvidzemē ierīkoti 10 objekti, Vidusdaugavā, Dienvidkurzemē un Ziemeļkurzemē – 12 objekti. Pavisam kopā uzmērīti 516 parauglaukumi ar kopējo platību 46.44 hektāri, nodastoti 64675 koki, augstumi uzmērīti 5668 koki.

Summary

Study commissioned by JSC "LATVIAN STATE FORESTS".

Title "Improvement of the growth models".

Phase 2 report.

Article NO.: 5-5.9_00uy_101_15_284

Lead Time: 31/03/2016 - 30.08.2016.

Performer: Latvian State Forest Research Institute "Silava".

Research project leader: J. Donis.

The other main performers: G. Šnepsts, R. Šēnhofs, L. Zdors, A. Treimane.

Tasks according to the methodology of the 2nd phase:

Task 1. Preparation of NFI 2015 data for growth and yield model improvement.

From NFI database were selected 829 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 2 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 carried out of the equations.

Task 3. Development of the forecasting model of growth, mortality and net change based on NFI 3rd cycle 2 years' data.

The new approximation of previously (2015) developed equations, was carried out based on 10 years of 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 a forest stand all tree species.

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

Task 4. Using 2 years' data of 3rd NFI cycle test Swedish, Finnish growth models and compare results with the results referred to in Task 2.

We performed calculation of the Finnish growth models with default parameters. We concluded that they are not directly applicable to Latvia's conditions, because it is based on assumptions regarding the compliance of forest types, for example, indicators such as rohumus thickness, paludification. Other indicators are extrapolated compared with that range in Finland. For example, the amount of the active temperature sums (the average daily temperature over 5°C) in the models are from 800 to 1300 degrees, but in Latvia it exceeded even 2100 degrees. It was concluded that the original equation coefficient values are not to be used for growing simulations. Checking the conformity of Swedish growth models, it was found that the original height formula gives a good in the short term, but long term assessment of the factor value required adaptation to the conditions of Latvia. There is need for adaptation of Swedish forest typology and Latvian forest typology.

Task 5. 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).

Because of a small amounts of data, the results are merely indicative (which shall also indicate the statistical indicators (the maximum random error with 95% reliability)), and cannot be used for generalisation purposes at the moment.

Task 6. Determination of impact of artificial regeneration (selection effect) - to develop breeding effect model of a Scots pine.

The estimated effect tree breeding using data from experimental plantations of 1975, in which under similar circumstances were grown descendants of controlled interbreeding of plus trees and offsprings of local proveniences of scots pine. Other data source was from experimental plantations of 1975 and 1982, where in similar circumstances, offsprings of local proveniences and descendants of the tree orchards were grown.

We found that breeding material gives height by 6-13% more if compared to the local provenances, while mean diameter was exceeded by 5-18%. Equation coefficients for calculation of effect tree breeding for growth path was elaborated.

Task 7. 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 46 experiments were installed and thinning was carried out. Plot size 900m² 10 to 12 plots per experiment. In Austrumvidzeme were installed 10 objects, in Dienvidkurzeme, Vidusdaugava and Ziemeļkurzemē – 12 objects. A total of 516 plots points with a total surface area of 46.44 hectares, DBH measured for 64675 trees – height measurements for 5668 trees.

Saturs

KOPSAVILKUMS	2
SUMMARY	4
IEVADS.....	8
1. MSI DATU ATLASE, IEVADE UN PRIMĀRO DATU APRĒKINS	9
2. ATSEVIŠĶU MEŽA ELEMENTU AUGŠANAS GAITAS PROGNOŽU MODEĻU PILNVEIDOŠANA	10
2.1. AUGSTUMA AUGŠANAS GAITAS MODELIS	10
2.1.1. <i>Materiāls un metodika</i>	10
2.2.2. <i>Rezultāti</i>	11
2.2. CAURMĒRA AUGŠANAS GAITAS MODELIS.....	20
2.2.1. <i>Materiāls un metodika</i>	20
2.2.2. <i>Rezultāti</i>	21
2.3. ŠĶĒRSLAUKUMA IZMAIŅU MODELIS.....	30
2.3.1. <i>Materiāls un metodika</i>	30
2.3.2. <i>Rezultāti</i>	31
2.4. KRĀJAS IZMAIŅAS	48
2.5. KOPŠANAS CIRŠU IETEKMES VĒRTĒJUMS UZ PIEAUGUMU IZMAIŅĀM.....	52
2.5.1. <i>Materiāls un metodika</i>	52
2.5.2. <i>Rezultāti</i>	53
3. PIEAUGUMA, ATMIRUMA UN KRĀJAS DIFERENCES PROGNOŽU MODEĻU PILNVEIDOŠANA	54
3.1. FAKTISKĀS AUDZES TEKOŠĀ PIEAUGUMA MODELIS.....	54
3.1.1. <i>Materiāls un metodika</i>	54
3.1.2. <i>Rezultāti</i>	55
3.2. ATMIRUMA MODELIS	57
3.2.1. <i>Materiāls un metodika</i>	57
3.2.2. <i>Rezultāti</i>	58
3.3. KRĀJAS DIFERENCES MODELIS	61
4. ATSEVIŠĶU KOKU AUGŠANAS GAITAS PROGNOŽU MODEĻU IZSTRĀDE BALSTOT UZ SOMIJĀ UN ZVIEDRIJĀ LIETOTAJIEM MODEĻIEM	62
4.1. SOMIJAS AUGŠANAS GAITAS MODEĻI	62
4.1.1. <i>Materiāls un metodika</i>	62
4.1.2. <i>Rezultāti</i>	70
4.2. ZVIEDRIJAS AUGŠANAS GAITAS MODEĻI	72
4.2.1. <i>Materiāls un metodika</i>	72
4.2.2. <i>Rezultāti</i>	79
4.3. SOMIJAS UN ZVIEDRIJAS AUGŠANAS MODEĻU LIETOŠANAS PIEMĒROTĪBAS IZVĒRTĒJUMS LATVIJĀ	82
5. DAŽĀDVECUMA AUDŽU AUGŠANAS GAITAS MODEĻU IZSTRĀDEI NEPIECIEŠAMO IEPRIEKŠ IERĪKOTO PARAUGLAUKUMU PĀRMĒRĪŠANA.	83
5.1. <i>Lauku darbu metodika</i>	83
5.2. <i>Rezultāti</i>	84
6. MĀKSLĪGĀS ATJAUNOŠANAS IETEKMES (SELEKCIJAS EFEKTA) NOTEIKŠANA (SELEKCIJAS EFEKTA MODELIS PARASTAI PRIEDEI)	87
6.1. MATERIĀLS UN METODIKA	87
<i>Datu matemātiska apstrāde</i>	87
6.2. REZULTĀTI	87
6.3. SELEKCIJAS EFEKTA IEKĻAUSĀNA AUGŠANAS GAITAS MODELĪ.....	90
7. KOPŠANAS CIRŠU EKSPERIMENTĀLO PARAUGLAUKUMU IERĪKOŠANA UN SĀKOTNĒJĀ UZMĒRĪŠANA (PĒC KOPŠANAS).....	92
7.1. <i>Objektu izvēle</i>	92
7.2. <i>Lauku darbu metodika</i>	92

7.3. Ierīkoto objektu raksturojums.....	94
SECINĀJUMI UN REKOMENDĀCIJAS	96
LITERATŪRA.....	97
PIELIKUMI	98
PIELIKUMS 1. VIENĀDOJUMU ATBILSTĪBAS IZVĒRTĒŠANAS STATISTISKE RĀDĪTĀJI	98
PIELIKUMS 2. MEŽA ELEMENTA VIDĒJĀ AUGSTUMA AKTUALIZĀCIJAS MODEĻA KOEFICIENTI 2015. GADĀ.....	98
PIELIKUMS 3. MEŽA ELEMENTA VIDĒJĀ CAURMĒRA AKTUALIZĀCIJAS MODEĻA KOEFICIENTI 2015. GADĀ	98
PIELIKUMS 4. UZMĒRĪTĀS VIDĒJĀ AUGSTUMA IZMAIŅAS UN MEŽA ELEMENTA VIDĒJĀ AUGSTUMA AKTUALIZĀCIJAS MODEĻA (2.1. FORMULA) AUGŠANAS GAITA	99
PIELIKUMS 5. UZMĒRĪTĀS VIDĒJĀ CAURMĒRA IZMAIŅAS UN MEŽA ELEMENTA VIDĒJĀ CAURMĒRA AKTUALIZĀCIJAS MODEĻA (2.2. FORMULA) AUGŠANAS GAITA	101
PIELIKUMS 6. UZMĒRĪTĀS MEŽA ELEMENTA ŠĶĒRSĻAUKUMA IZMAIŅAS ATKARĪBĀ NO MEŽA ELEMENTA KRŪŠAUGSTUMA VECUMA	103
PIELIKUMS 7. UZMĒRĪTĀS MEŽA ELEMENTA ŠĶĒRSĻAUKUMA IZMAIŅAS ATKARĪBĀ NO MEŽA ELEMENTA VIDĒJĀ AUGSTUMA	106
PIELIKUMS 8. PROGNOZĒTAIS MEŽA ELEMENTA TEKOŠAIS VIDĒJI PERIODISKAIS KRĀJAS PIEAUGUMS (m^3ha^{-1} GADĀ) ATKARĪBĀ NO MEŽA ELEMENTA SUGAS, VECUMA UN ĪPATSVARA, UN MEŽAUDZES PIRMĀ STĀVA RELATĪVĀS BIEZĪBAS	110
PIELIKUMS 9. PROGNOZĒTĀ MEŽA ELEMENTA TEKOŠĀ VIDĒJI PERIODISKĀ KRĀJAS PIEAUGUMA NOVIRZE (m^3ha^{-1} GADĀ) ATKARĪBĀ NO MEŽA ELEMENTA SUGAS, VECUMA UN ĪPATSVARA, UN MEŽAUDZES PIRMĀ STĀVA RELATĪVĀS BIEZĪBAS	111
PIELIKUMS 10. MEŽA ELEMENTU TAKSĀCIJAS RĀDĪTĀJU AUGŠANAS GAITAS ALGORITMS PĒC 5 GADU KRŪŠAUGSTUMA VECUMA SASNIEGŠANAS.....	112

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. - 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 meža elementu augšanas gaitas modeļus, kas balstīti uz Meža statistiskās inventarizācijas datiem, 2) precizēt modeļus, balstot tos uz eksperimentāliem ilglaicīgo parauglaukumu mērījumiem (selekcijas efekta un kopšanas ciršu efekta novērtēšanai), 3) precizēt modeļus arī dažādvecuma audžu augšanai, kā arī 4) pārbaudīt atsevišķu koku augšanas gaitas modeļus.

Atbilstoši plānam 2.etapā paredzēti sekojoši darba uzdevumi:

1. *Augšanas gaitas modeļiem nepieciešamo datu sagatavošana no 2015.g. MSI mērījumiem;*
2. *Augšanas gaitas vienādojumu koeficientu aprēķini balstot uz 3. MSI cikla 2 gadu datiem (meža elementu), t.sk. arī kopšanas ciršu efekta atspoguļojošo modeļu pilnveidošana;*
3. *Pieauguma, atmiruma un krājas differences prognožu modeļu pilnveidošana un statistisko rādītāju izvērtēšana, aprēķinus balstot uz 3. MSI cikla 2 gadu datiem;*
4. *Izmantojot 3. MSI cikla 2 gadu datus un Zviedrijas, Somijas augšanas gaitas modeļus aprēķināt augšanas gaitas un tās salīdzināt ar 2.punktā minētajiem rezultātiem;*
5. *Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrādei nepieciešamo iepriekš ierīkoto parauglaukumu pārmērīšana (10 objekti);*
6. *Mākslīgās atjaunošanas ietekmes (selekcijas efekta) noteikšana - izstrādāt selekcijas efekta modeli parastai priedei;*
7. *Kopšanas ciršu eksperimentālo parauglaukumu ierīkošana un sākotnējā uzmērīšana (pēc kopšanas) priedes (pieļaujams arī egles un bērza) I-II bonitātes un III-IV bonitātes audzēs, kopā 72 objekti, 4 reģionos – DK, ZK, AV, VD mežsaimniecībā, 3 vecuma grupās 20 – 30, 30 – 50, 50 – 70 gados, katrā parauglaukumā ierīkojot 3-4 kopšanas intensitātes, "kopšanu no augšas" un kontrole.*

1. MSI datu atlase, ievade un primāro datu aprēķins

Darba uzdevums: Augšanas gaitas modeļiem nepieciešamo datu sagatavošana no 2015.g. MSI mērījumiem.

Meža statistiskās inventarizācijas (MSI) parauglaukumu datu bāzē atlasīti un MS Excel datorprogrammā ievadīti dati par 1628 atkārtoti 2014. (814) un 2015. (829) gadā pārmērītajiem parauglaukumiem, kas tālāk izmantojami augšanas gaitas prognožu modeļu izstrādē.

Galvenie sākotnējie atlases kritēriji ir:

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

Katrā parauglaukumā aprēķināti visu trīs ciklu mežaudzes, katra atsevišķa mežaudzes stāva un katra atsevišķa mežaudzes elementa galvenie taksācijas rādītāji (vecums, vidējais kvadrātiskais caurmērs un tam atbilstošais augstums, šķērslaukums, krāja un koku skaits) kā arī izcirtās un atmirušās koksnes apjoms (krāja). Atlasīto un ievadīto MSI parauglaukumu sadalījums pa 1. un 3. ciklā konstatētajām valdošajām koku sugām un meža tiptiem atspoguļots 1.1. tabulā.

1.1. tabula

Parauglaukumu sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām un meža tiptiem

Cikls	Gads	Suga	Meža tips																								Kopā
			Sl	Mr	Ln	Dm	Vr	Gr	Gs	Mrs	Dms	Vrs	Grs	Pv	Nd	Db	Lk	Av	Am	As	Ap	Kv	Km	Ks	Kp		
1	2004	P	14	33	28	75	2			16	17			28	18				13	21		2	16	20		303	
		E			1	18	46	4		3	12	7			2	1			1	30	5			13	3	146	
		B		2	1	18	38	11	1	5	4	12	2	1	7	14				28	7		6	34	5	196	
		M					5	1					1		1	9	2			2	5			3	10	39	
		A				5	24	3				4			1					6	6			1		50	
		Ba				3	26	9				1					3			1	5			1	1	50	
		Citi					4	6									1				3					14	
		Izcirt.			1	6	1	1			2	1					1			1	1			1		16	
	Kopā	14	35	31	125	146	35	1	24	35	25	3	29	29	29	2	0	14	89	32	2	22	73	19	814		
	2005	P	3	33	34	37	2			19	14			25	12			12	20		7	11	24			253	
		E		1		24	34	2		2	11	3			2	2		1	30	4			13	2		131	
		B				30	40	2		4	9	16	1	4	9	20		1	29	13		3	26	15		222	
		M					1	2			1	3	1			9	1			2	7		2	6		35	
		A				5	23	3			2	3							6	6						48	
		Ba				5	24	6				3	2			3			9	4						56	
		Citi				1	6	5			1					1			1	3						18	
		Izcirt.				12	20	2			2	1		2	3	3		1	6	3		4	5	1	1	66	
	Kopā	3	34	34	114	150	22	0	25	40	29	4	31	26	38	1	15	103	40	7	18	70	24	1	829		
2	2014	P	14	32	27	65	2	1		16	15			27	18				13	16		2	16	20		284	
		E			2	19	42	3		2	13	6			2	2			28	6				13	2	140	
		B		2	2	30	35	10	1	5	5	14	2	2	7	14			27	7		5	33	6		207	
		M					3	1					1		1	10	2			5	5			3	9	40	
		A				5	32	7				3			1				1	8	7			2	1	67	
		Ba				2	24	10			1	2				2				1	4			1	1	48	
		Citi					4	3								1				1	2					11	
		Izcirt.		1		4	4			1	1									3	1		1	1		17	
	Kopā	14	35	31	125	146	35	1	24	35	25	3	29	29	29	2	0	14	89	32	2	22	73	19	814		
	2015	P	3	33	33	35	2			19	13			27	12			12	20		7	16	23			255	
		E		1		28	36	2		2	12	5			3	1		2	36	5			18	2		153	
		B				33	46	2		3	10	14	1	4	9	19		1	29	12		2	23	15		223	
M						1	2			1	4	1		2	13	1		3	8			2	7		45		
A					9	34	3			2	4				1			7	8						68		
Ba					4	21	6				1	2			3			7	5						49		
Citi					2	9	7			1					1				2						22		
Izcirt.				1	3	1			1	1	1							1				4	1		14		
Kopā	3	34	34	114	150	22	0	25	40	29	4	31	26	38	1	15	103	40	7	18	70	24	1	829			

2. Atsevišķu meža elementu augšanas gaitas prognožu modeļu pilnveidošana

Darba uzdevums: Augšanas gaitas vienādojumu koeficientu aprēķini balstot uz 3. MSI cikla 2 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. Augstuma augšanas gaitas modelis

2.1.1. Materiāls un metodika

Datu analīzē izmantoja datus par 1797 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paaudzes vienā stāvā esošus kokus) no 1031 MSI 2014. - 2015. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- ✓ meža elementi ir P1st (442 meža elementi), E1st (336), B1st (435), A1st (85), M1st (102), Ba1st (83), E2st (314);
- ✓ katrā uzmērīšanas ciklā augstums uzmērīts vismaz 3 dzīvajiem kokiem no viena meža elementa;
- ✓ visās trīs uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums un vecuma starpība starp cikliem ir 5 gadi;
- ✓ meža elementa vidējais augstums otrajā ciklā ir lielāks nekā pirmajā ciklā;
- ✓ prognozētais augstums bāzes vecumā (P, E 100 gadi; B, M, A 50 gadi; Ba 20 gadi) starp uzmērīšanas cikliem neatšķiras vairāk kā 5 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.

Augstuma 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 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 differences pieejas modelis (Krumland & Eng, 2005):

$$H_2 = 1.3 + \frac{A_2^{b_1}}{b_2 + 100b_3X_0 + X_0A_2^{b_1}} \quad (2.1)$$

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

kur A_1 – krūšaugstuma vecums pirmajā uzmērīšanas reizē, gadi;
 A_2 – krūšaugstuma vecums otrajā uzmērīšanas reizē, gadi;
 H_1 - augstums pirmajā uzmērīšanas reizē, metri;
 H_2 - augstums otrajā uzmērīšanas reizē, metri;
 b_1, b_2, b_3 – empīriskie koeficienti.

Iepriekšējos gados izstrādātais vienādojums (2.1. formula) meža elementa vidējā augstuma prognozēšanai pārbaudīts četros variantos:

- ✓ augstuma augšanas gaitas prognoze starp pirmo un otro ciklu (5 gadu periods);
- ✓ augstuma augšanas gaitas prognoze starp otro un trešo ciklu (5 gadu periods);

- ✓ augstuma augšanas gaitas prognoze starp pirmo un trešo ciklu (10 gadu periods);
- ✓ augstuma augšanas gaitas prognoze starp pirmo, otro un trešo ciklu (5 un 10 gadu periods).

Jāatzīmē, ka kombinētajā 5 un 10 gadu cikla variantā netika ņemta vērā auto korelācija.

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

Vienādojumu atbilstība izvērtēta izmantojot sekojošus statistiskos rādītājus: 1) vidējā novirze (MRES), 2) procentuālā vidējā novirze (MRES%); 3) vidējā absolūtā novirze (AMRES); 4) standartnovirze (RMSE) 5) variācijas koeficients (RMSE%) 6) vidējā kvadrātiskā kļūda (MSE); 7) modeļa efektivitāte (MEF); un 8) dispersijas attiecība (VR). Rādītāju aprēķināšanas formulas dotas 1. pielikumā.

2.2.2. Rezultāti

Iepriekš izstrādātajam vienādojumam augstuma augšanas prognozēšanai salīdzinātas gan prognozētās augstuma vērtības, gan vidējā periodiskā augstuma pieauguma vērtības. Vidējā prognozēto augstumu starpība ar uzmērītajiem augstumiem 5 gadu periodā ir robežās no 0,05 m līdz 0,50 m, bet 10 gadu periodā no 0,27 m līdz 0,90 m, savukārt procentuālā vidējā novirze attiecīgi 0,42 %-2,69 % un 1,79 %-3,32 % (2.1. tabula). Vidējā periodiskā pieauguma starpībām nav novērotas nozīmīgas atšķirības starp cikla garumiem, un vidējā periodiskā augstuma pieauguma novirze ir robežās no 0,01-0,10 m (2.2. tabula).

Jāatzīmē, ka visiem meža elementiem vidējā novirze ir pozitīva, kas nozīmē, ka prognozētās vērtības ir sistemātiski mazākas. Sistemātiskās novirzes izskaidrojams ar to, ka izstrādātais modelis tika balstīts uz atsevišķu koku datu bāzēs, kas nespēj adekvāti prognozēt straujās augstuma pieauguma izmaiņas, kas radušās atsevišķu mazāko koku atmiršanas dēļ. Tomēr autori vēl joprojām uzskata, ka būtu jāpaliek pie izstrādātā modeļa, kas balstīts uz atsevišķu koku datu bāzes nevis uz pārmērīto elementu datu bāzes, jo:

- ✓ aprēķini liecināja, ka prognozētās augstuma izmaiņas ir konservatīvākas un zemākās bonitāšu audzēs arī precīzākas (Donis *et al.*, 2014);
- ✓ MSI parauglaukumos uzmērīšanas metodikas un platības dēļ ir pārspīlēti liela nozīme uz vidējā augstuma izmaiņām atsevišķu koku atmiršanai, visiem meža elementiem šī iemesla dēļ pieaugušās un pāraugušās audzēs vidējais periodiskais pieaugums atsevišķos gadījumos sasniedz pat 40 cm (2.1. – 2.7. attēls);
- ✓ garākā laika periodā meža elementa vidējā augstuma izmaiņas tuvojās atsevišķu koku augstuma pieauguma izmaiņām.

2.1. tabula

Iepriekš izstrādātā meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) prognozētā augstuma statistiskie rādītāji

Cikli	Suga	Aritm. vid.	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
1.cikl.vs 2. cikl. (5g)	P	20.66	0.22	1.05	0.49	0.62	3.02	0.39	0.01	1.002	0.995	0.990	291
	E	20.33	0.23	1.13	0.54	0.67	3.30	0.45	0.01	1.005	0.994	0.988	224
	B	20.10	0.27	1.33	0.76	0.95	4.74	0.90	0.03	0.973	0.985	0.971	289
	M	18.39	0.08	0.42	0.66	0.87	4.72	0.74	0.04	1.044	0.980	0.961	72
	A	24.87	0.50	2.02	0.93	1.18	4.76	1.38	0.03	1.089	0.988	0.977	59
	Ba	15.78	0.43	2.69	0.86	1.10	6.99	1.20	0.07	0.879	0.972	0.945	62
	E 2st	12.70	0.23	1.84	0.61	0.79	6.23	0.62	0.04	0.978	0.983	0.965	154
2.cikl.vs 3. cikl. (5g)	P	22.05	0.21	0.94	0.45	0.58	2.61	0.33	0.01	0.969	0.996	0.992	311
	E	21.37	0.14	0.64	0.50	0.65	3.04	0.42	0.02	1.011	0.992	0.985	250
	B	21.10	0.13	0.62	0.65	0.84	4.00	0.71	0.03	0.973	0.988	0.976	301
	M	20.50	0.10	0.49	0.57	0.74	3.61	0.54	0.03	1.062	0.986	0.973	80
	A	25.33	0.35	1.37	0.95	1.26	4.98	1.56	0.04	0.935	0.984	0.967	64
	Ba	16.89	0.30	1.76	0.63	0.81	4.79	0.64	0.05	0.966	0.980	0.961	56
	E 2st	13.19	0.05	0.34	0.57	0.72	5.49	0.52	0.03	0.923	0.986	0.972	222
1.cikl.vs 3. cikl. (10 g)	P	22.31	0.50	2.24	0.81	1.07	4.79	1.14	0.04	0.981	0.986	0.972	338
	E	21.79	0.39	1.79	0.92	1.19	5.45	1.40	0.05	1.010	0.976	0.952	239
	B	21.93	0.46	2.10	1.08	1.41	6.42	1.97	0.08	0.971	0.964	0.930	303

2.1. tabula

Iepriekš izstrādātā meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula)
prognozētā augstuma statistiskie rādītāji

Cikli	Suga	Aritm. vid.	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
	M	20.37	0.27	1.34	0.92	1.24	6.07	1.51	0.10	1.183	0.959	0.919	73
	A	27.50	0.90	3.27	1.33	1.70	6.19	2.84	0.09	1.043	0.968	0.938	59
	Ba	17.09	0.44	2.56	1.06	1.42	8.34	1.99	0.13	0.814	0.938	0.881	54
	E 2st	14.03	0.47	3.32	1.02	1.31	9.31	1.70	0.10	0.915	0.954	0.911	160
kopā (5 un 10 g)	P	21.71	0.32	1.46	0.59	0.80	3.67	0.64	0.02	0.980	0.992	0.984	940
	E	21.18	0.25	1.19	0.65	0.87	4.10	0.75	0.03	1.007	0.988	0.976	713
	B	21.06	0.29	1.36	0.83	1.09	5.19	1.19	0.04	0.970	0.980	0.960	893
	M	19.78	0.15	0.75	0.71	0.95	4.79	0.89	0.05	1.081	0.977	0.954	225
	A	25.89	0.58	2.23	1.07	1.37	5.27	1.85	0.05	1.005	0.981	0.962	182
	Ba	16.56	0.39	2.34	0.85	1.11	6.69	1.22	0.08	0.889	0.965	0.932	172
	E 2st	13.30	0.22	1.69	0.72	0.94	7.10	0.89	0.05	0.932	0.975	0.951	536

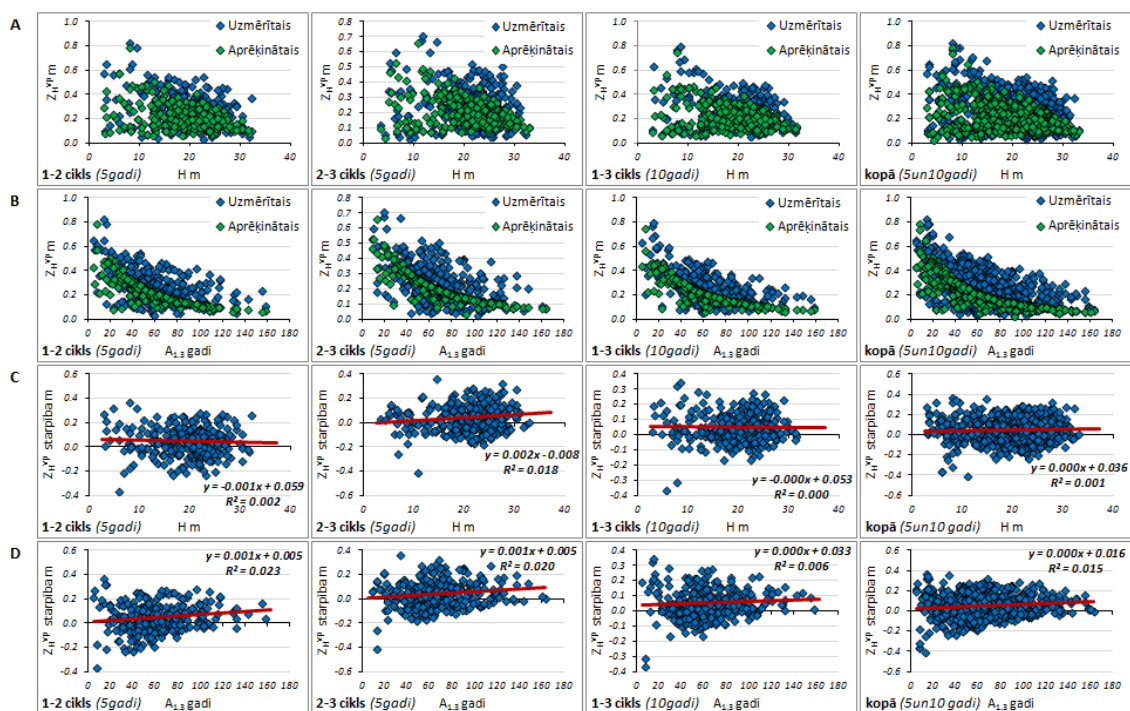
MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R² - determinācijas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

2.2. tabula

Iepriekš izstrādātā meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula)
prognozētā ikgadējā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji

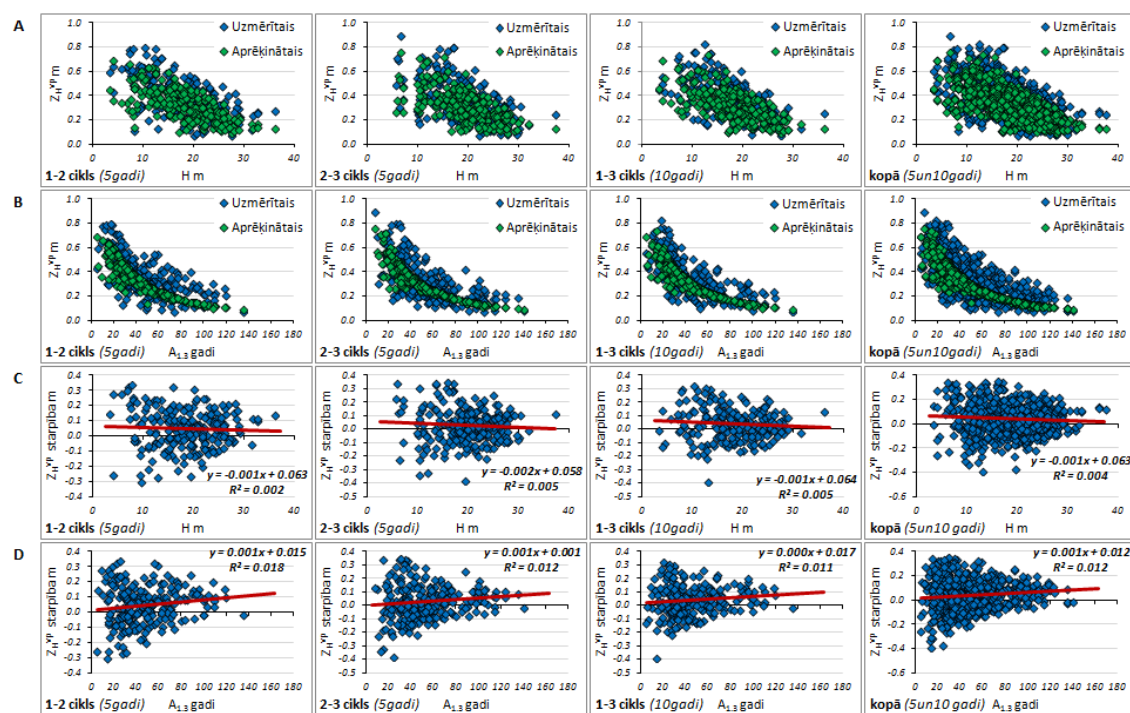
Cikli	Suga	Aritm. vid.	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
1.cikl.vs 2. cikl. (5g)	P	0.27	0.04	16.11	0.10	0.12	46.31	0.02	0.83	0.502	0.544	0.296	291
	E	0.37	0.05	12.34	0.11	0.13	36.08	0.02	0.71	0.698	0.640	0.410	224
	B	0.39	0.05	13.63	0.15	0.19	48.41	0.04	0.72	0.457	0.588	0.346	289
	M	0.37	0.02	4.17	0.13	0.17	46.91	0.03	0.92	0.509	0.415	0.172	72
	A	0.53	0.10	18.96	0.19	0.24	44.69	0.06	0.71	0.340	0.660	0.436	59
	Ba	0.50	0.09	17.05	0.17	0.22	44.23	0.05	1.50	1.409	0.482	0.232	62
	E 2st	0.27	0.05	17.62	0.12	0.16	59.52	0.02	1.38	0.369	0.090	0.008	154
2.cikl.vs 3. cikl. (5g)	P	0.25	0.04	16.70	0.09	0.12	46.15	0.01	0.80	0.471	0.564	0.318	311
	E	0.34	0.03	8.13	0.10	0.13	38.43	0.02	0.64	0.667	0.645	0.417	250
	B	0.36	0.03	7.16	0.13	0.17	46.42	0.03	0.57	0.591	0.673	0.453	301
	M	0.35	0.02	5.81	0.11	0.15	42.82	0.02	0.61	0.354	0.635	0.404	80
	A	0.53	0.07	13.00	0.19	0.25	47.26	0.06	0.83	0.630	0.546	0.298	64
	Ba	0.41	0.06	14.61	0.13	0.16	39.65	0.03	0.81	0.686	0.601	0.361	56
	E 2st	0.22	0.01	4.12	0.11	0.14	66.12	0.02	1.18	0.356	0.150	0.022	222
1.cikl.vs 3. cikl. (10 g)	P	0.27	0.05	18.89	0.08	0.11	40.34	0.01	0.73	0.539	0.660	0.435	338
	E	0.36	0.04	10.85	0.09	0.12	32.95	0.01	0.60	0.703	0.699	0.488	239
	B	0.37	0.05	12.58	0.11	0.14	38.42	0.02	0.54	0.534	0.723	0.523	303
	M	0.36	0.03	7.66	0.09	0.12	34.78	0.02	0.66	0.401	0.615	0.378	73
	A	0.50	0.09	18.03	0.13	0.17	34.07	0.03	0.59	0.483	0.772	0.597	59
	Ba	0.41	0.04	10.62	0.11	0.14	34.53	0.02	0.79	1.146	0.672	0.451	54
	E 2st	0.25	0.05	18.82	0.10	0.13	52.82	0.02	1.27	0.396	0.232	0.054	160
kopā (5 un 10 g)	P	0.26	0.05	17.31	0.09	0.11	43.98	0.01	0.79	0.505	0.592	0.350	940
	E	0.36	0.04	10.43	0.10	0.13	35.64	0.02	0.65	0.684	0.662	0.438	713
	B	0.37	0.04	11.16	0.13	0.17	44.57	0.03	0.61	0.527	0.657	0.432	893
	M	0.36	0.02	5.87	0.11	0.15	41.18	0.02	0.72	0.422	0.548	0.300	225
	A	0.52	0.09	16.53	0.17	0.22	41.90	0.05	0.72	0.493	0.629	0.396	182
	Ba	0.44	0.06	14.43	0.14	0.18	39.78	0.03	1.01	1.048	0.574	0.330	172
	E 2st	0.24	0.03	12.91	0.11	0.14	59.66	0.02	1.24	0.364	0.154	0.024	536

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.



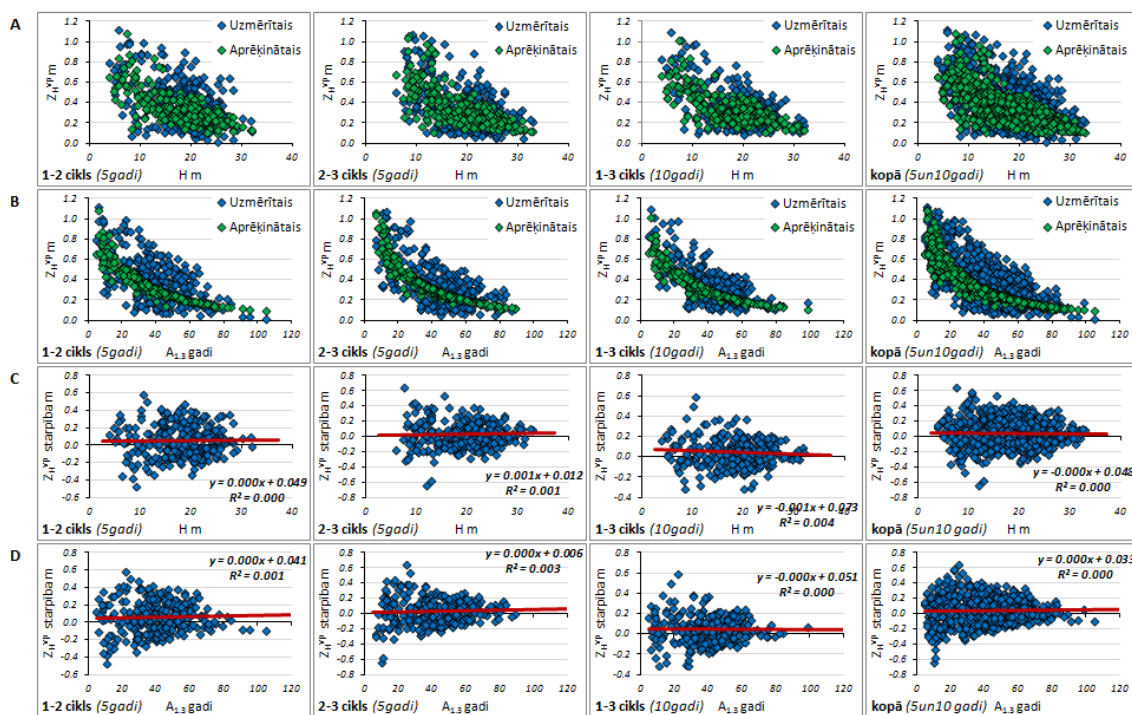
2.1. attēls. Priedes I stāva uzmērītais un aprēķinātais vidējais periodiskais augstuma pieaugums un šo rādītāju starpība atkarībā no periodu garuma, sākotnējā augstuma un krūšaugstuma vecuma

A – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais augstuma pieaugums atkarībā no sākotnējā augstuma; B – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais augstuma pieaugums atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma; C – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko augstuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā augstuma; D – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko augstuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma.



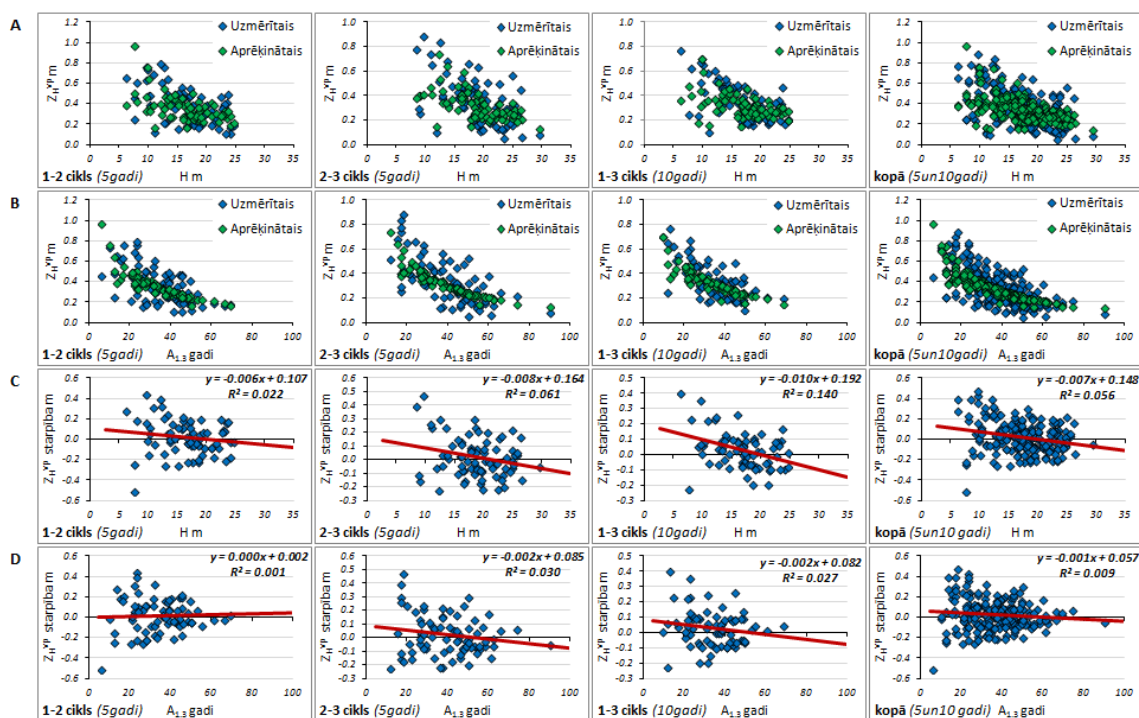
2.2. attēls. Egles I stāva uzmērītais un aprēķinātais vidējais periodiskais augstuma pieaugums un šo rādītāju starpība atkarībā no periodu garuma, sākotnējā augstuma un krūšaugstuma vecuma

A – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais augstuma pieaugums atkarībā no sākotnējā augstuma; B – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais augstuma pieaugums atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma; C – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko augstuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā augstuma; D – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko augstuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma.



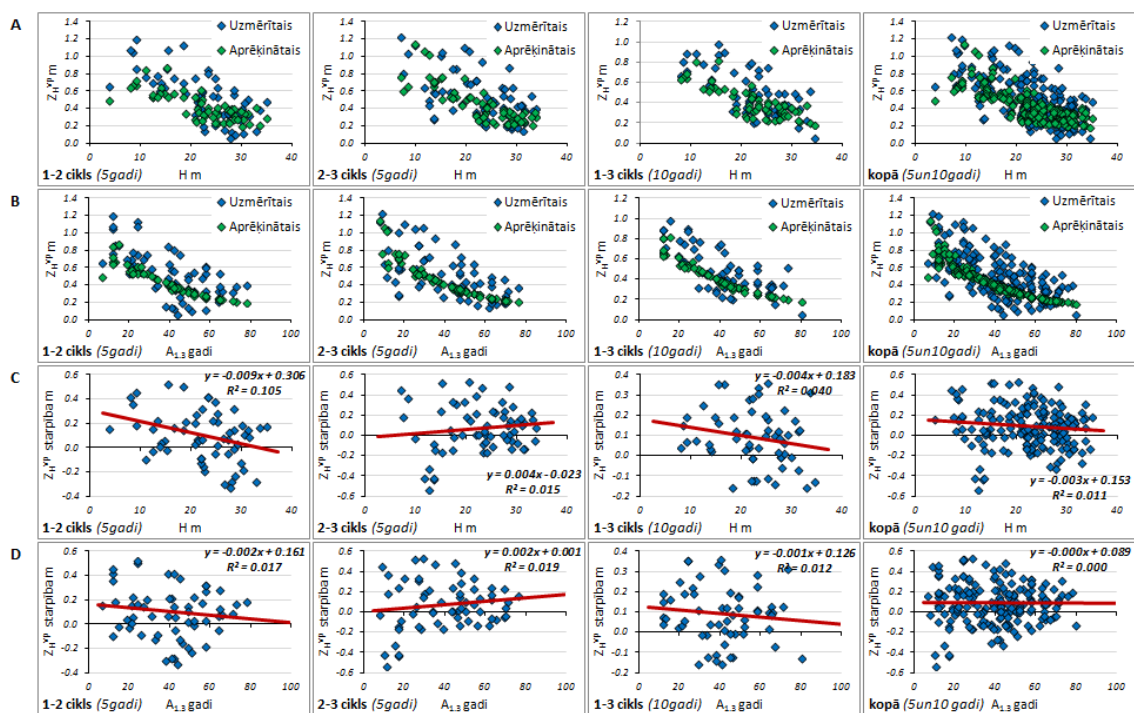
2.3. attēls. Bērza I stāva uzmērītais un aprēķinātais vidējais periodiskais augstuma pieaugums un šo rādītāju starpība atkarībā no periodu garuma, sākotnējā augstuma un krūšaugstuma vecuma

A – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais augstuma pieaugums atkarībā no sākotnējā augstuma; B – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais augstuma pieaugums atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma; C – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko augstuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā augstuma; D – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko augstuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma.

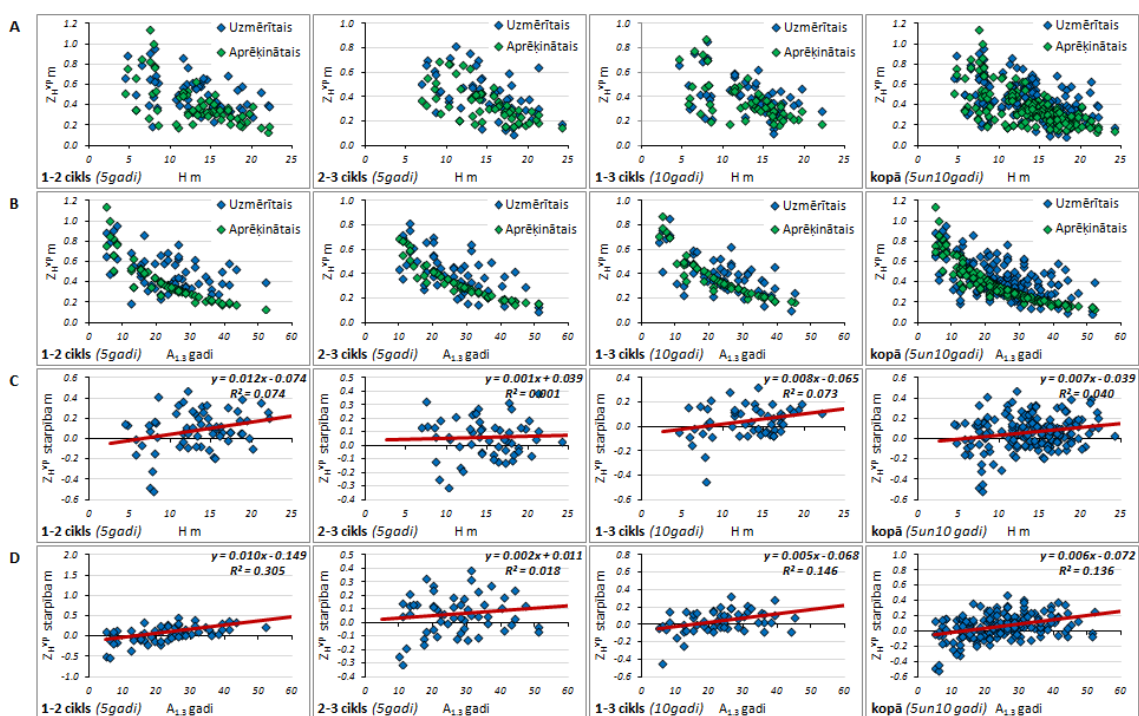


2.4. attēls. Melnalkšņa I stāva uzmērītais un aprēķinātais vidējais periodiskais augstuma pieaugums un šo rādītāju starpība atkarībā no periodu garuma, sākotnējā augstuma un krūšaugstuma vecuma

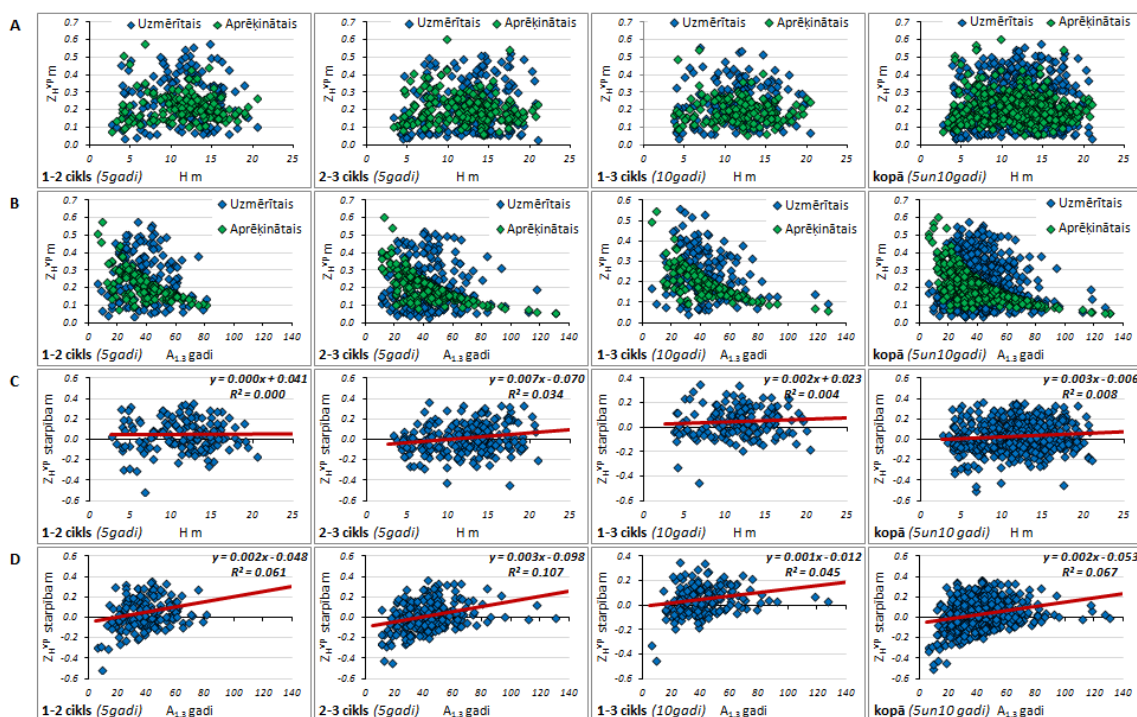
A – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais augstuma pieaugums atkarībā no sākotnējā augstuma; B – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais augstuma pieaugums atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma; C – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko augstuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā augstuma; D – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko augstuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma.



2.5. attēls. Apses I stāva uzmērītais un aprēķinātais vidējais periodiskais augstuma pieaugums un šo rādītāju starpība atkarībā no periodu garuma, sākotnējā augstuma un krūšaugstuma vecuma
 A – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais augstuma pieaugums atkarībā no sākotnējā augstuma; B – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais augstuma pieaugums atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma; C – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko augstuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā augstuma; D – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko augstuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma.



2.6. attēls. Baltalkšņa I stāva uzmērītais un aprēķinātais vidējais periodiskais augstuma pieaugums un šo rādītāju starpība atkarībā no periodu garuma, sākotnējā augstuma un krūšaugstuma vecuma
 A – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais augstuma pieaugums atkarībā no sākotnējā augstuma; B – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais augstuma pieaugums atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma; C – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko augstuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā augstuma; D – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko augstuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma.



2.7. attēls. Egles II stāva uzmērītais un aprēķinātais vidējais periodiskais augstuma pieaugums un šo rādītāju starpība atkarībā no periodu garuma, sākotnējā augstuma un krūšaugstuma vecuma

A – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais augstuma pieaugums atkarībā no sākotnējā augstuma; B – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais augstuma pieaugums atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma; C – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko augstuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā augstuma; D – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko augstuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma.

Balstoties uz MSI 1., 2. un 3. cikla datiem aproksimētas jaunas koeficientu vērtības 2.1. vienādojumam. Jaunās koeficientu vērtības aprēķinātas kombinētajā 5 un 10 gadu cikla variantā vienlaicīgi izmantojot visu trīs ciklu datus, bet ignorējot auto korelāciju, kā arī atsevišķi 10 gadu cikla variantā (2.3. tabula).

2.3. tabula

Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) 2016. gadā aproksimētās koeficientu vērtības

Suga	Koeficients	10 gadu cikls				kombinētais 5 un 10 gadu cikls			
		Vērtība	Standartklūda	95% ticamības min.	95% ticamības max.	Vērtība	Standartklūda	95% ticamības min.	95% ticamības max.
Priede	b1	0.982	0.053	0.878	1.087	1.208	0.032	1.144	1.272
	b2	-28.868	141.267	-306.751	249.015	-57.677	63.001	-181.317	65.963
	b3	34.118	156.131	-273.004	341.239	34.628	35.298	-34.645	103.900
Egle	b1	1.317	0.053	1.213	1.421	1.312	0.032	1.248	1.375
	b2	-43.979	58.239	-158.714	70.756	-48.257	42.158	-131.026	34.512
	b3	25.381	29.980	-33.682	84.445	27.713	21.817	-15.120	70.547
Bērzs	b1	1.360	0.045	1.270	1.449	1.354	0.029	1.296	1.411
	b2	-34.421	34.562	-102.436	33.594	-40.573	29.742	-98.946	17.800
	b3	18.055	15.890	-13.216	49.326	20.869	13.696	-6.010	47.749
Melnalksnis	b1	1.413	0.116	1.183	1.644	1.268	0.069	1.131	1.405
	b2	-35.598	57.303	-149.886	78.690	-34.785	61.933	-156.837	87.266
	b3	14.824	21.068	-27.196	56.843	16.068	26.294	-35.750	67.885
Apse	b1	1.477	0.105	1.266	1.687	0.946	0.077	0.794	1.098
	b2	-42.371	85.403	-213.455	128.713	-7.576	321.373	-641.743	626.591
	b3	28.302	49.252	-70.362	126.965	88.663	3127.815	-6083.472	6260.798
Baltalksnis	b1	1.108	0.097	0.913	1.303	1.098	0.060	0.979	1.217
	b2	-34.895	237.203	-511.099	441.310	-34.694	160.985	-352.495	283.108
	b3	15.337	99.758	-184.936	215.610	16.070	71.363	-124.808	156.947
Egle 2.stāvs	b1	1.125	0.116	0.896	1.354	1.080	0.067	0.948	1.212
	b2	-33.812	122.046	-274.875	207.252	-33.530	91.483	-213.241	146.181
	b3	19.052	63.393	-106.161	144.264	19.714	50.230	-78.958	118.386

Augstuma augšanas gaitas vienādojumam statistiskie rādītāji ar 2016. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām ir augsti un savstarpēji ļoti līdzīgi gan vienādojumiem ar koeficientu vērtībām, kas aprēķinātas uz 10 gadu cikla pārmērījuma datiem, gan vienādojumiem ar koeficientu vērtībām, kas aprēķinātas uz kombinētajiem 5 un 10 gadu cikla datiem (2.4. tabula).

2.4. tabula

Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) statistiskie rādītāji ar 2016. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām

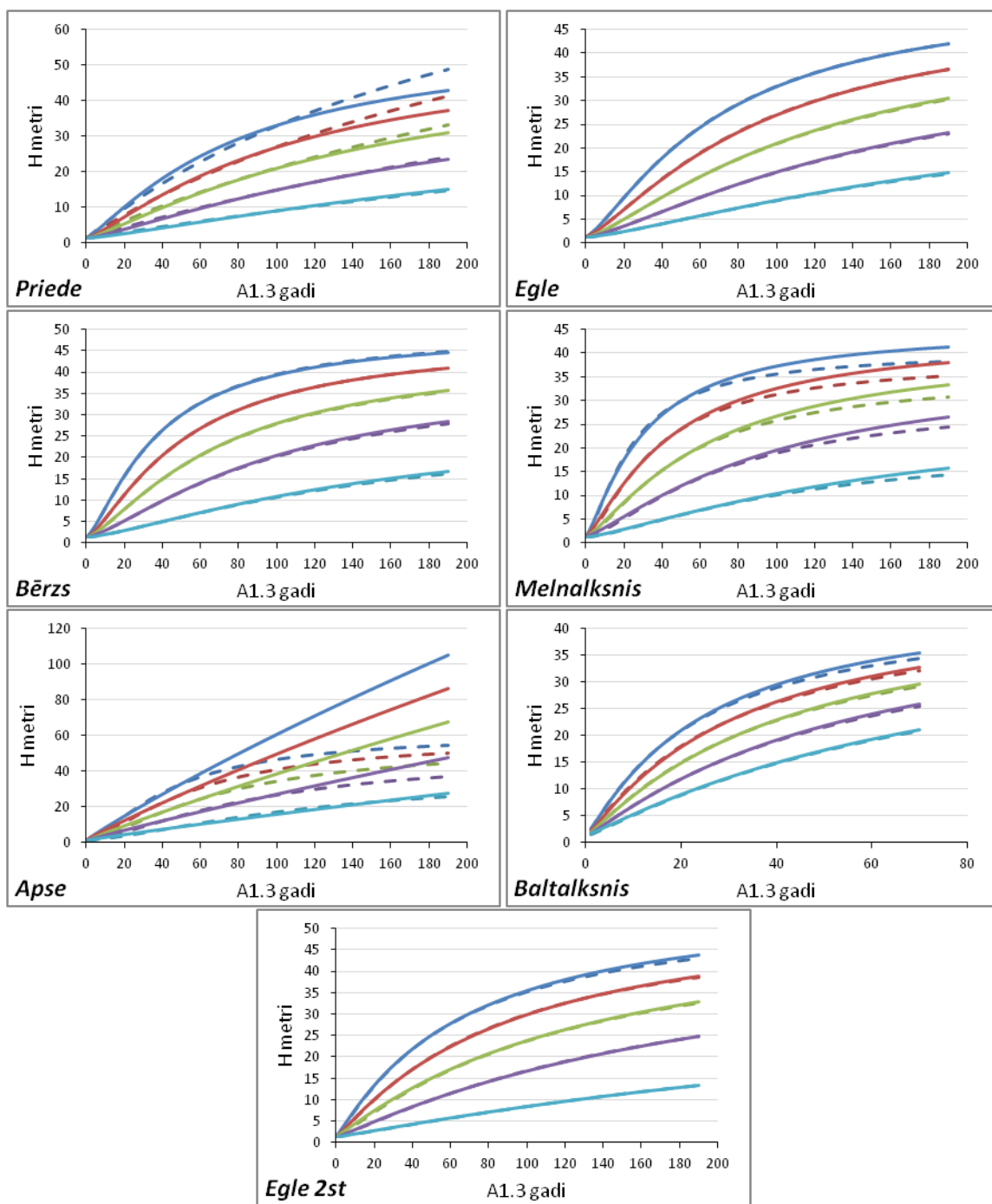
Rādītājs	Suga	Koeficienti	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R2	N
H (m)	Priede	10 gadi	21.71	0.07	0.34	0.56	0.74	3.42	0.55	0.02	1.001	0.992	0.984	940
		5-10 gadi	21.71	0.02	0.08	0.58	0.77	3.55	0.59	0.02	1.055	0.992	0.983	940
	Egle	10 gadi	21.18	0.09	0.42	0.64	0.85	4.00	0.72	0.03	1.013	0.988	0.976	713
		5-10 gadi	21.18	0.09	0.42	0.64	0.85	4.01	0.72	0.03	1.011	0.988	0.975	713
	Bērzs	10 gadi	21.06	0.03	0.13	0.81	1.06	5.04	1.12	0.04	0.986	0.980	0.960	893
		5-10 gadi	21.06	0.02	0.09	0.81	1.06	5.05	1.13	0.04	0.985	0.980	0.959	893
	Melnalksnis	10 gadi	19.78	0.04	0.20	0.70	0.93	4.70	0.86	0.05	1.045	0.976	0.953	225
		5-10 gadi	19.78	0.04	0.20	0.70	0.93	4.71	0.86	0.05	0.995	0.975	0.951	225
	Apse	10 gadi	25.89	-0.01	-0.05	1.14	1.46	5.65	2.13	0.05	1.220	0.980	0.961	182
		5-10 gadi	25.89	0.02	0.09	0.98	1.24	4.80	1.54	0.04	0.983	0.980	0.961	182
	Baltalksnis	10 gadi	16.56	0.17	1.01	0.78	1.02	6.14	1.03	0.07	1.027	0.968	0.938	172
		5-10 gadi	16.56	0.21	1.28	0.79	1.02	6.15	1.03	0.07	1.015	0.969	0.938	172
	Egle 2.st.	10 gadi	13.30	0.12	0.94	0.70	0.92	6.93	0.85	0.05	0.984	0.975	0.952	536
		5-10 gadi	13.30	0.09	0.65	0.70	0.92	6.95	0.85	0.05	0.982	0.975	0.951	536
zhvp (m gadā)	Priede	10 gadi	0.26	0.01	3.74	0.08	0.11	41.53	0.01	0.70	0.591	0.582	0.339	940
		5-10 gadi	0.26	0.00	0.61	0.09	0.11	42.82	0.01	0.75	0.500	0.534	0.285	940
	Egle	10 gadi	0.36	0.01	3.68	0.10	0.12	34.96	0.02	0.62	0.729	0.653	0.426	713
		5-10 gadi	0.36	0.01	3.61	0.10	0.12	35.02	0.02	0.62	0.740	0.653	0.427	713
	Bērzs	10 gadi	0.37	0.00	0.83	0.13	0.16	43.62	0.03	0.59	0.561	0.651	0.424	893
		5-10 gadi	0.37	0.00	0.45	0.13	0.16	43.71	0.03	0.59	0.575	0.651	0.424	893
	Melnalksnis	10 gadi	0.36	0.00	1.20	0.11	0.15	40.92	0.02	0.72	0.539	0.561	0.315	225
		5-10 gadi	0.36	0.00	1.14	0.11	0.15	41.41	0.02	0.73	0.694	0.577	0.333	225
	Apse	10 gadi	0.52	0.00	0.03	0.18	0.23	44.43	0.05	0.81	0.250	0.435	0.190	182
		5-10 gadi	0.52	0.00	0.43	0.16	0.21	39.65	0.04	0.65	0.665	0.623	0.388	182
	Baltalksnis	10 gadi	0.44	0.03	6.85	0.13	0.16	36.69	0.03	0.86	0.733	0.529	0.280	172
		5-10 gadi	0.44	0.04	8.35	0.13	0.16	36.80	0.03	0.86	0.735	0.535	0.286	172
	Egle 2.st.	10 gadi	0.24	0.02	6.56	0.11	0.14	58.61	0.02	1.19	0.384	0.166	0.027	536
		5-10 gadi	0.24	0.01	4.14	0.11	0.14	58.90	0.02	1.21	0.410	0.164	0.027	536

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

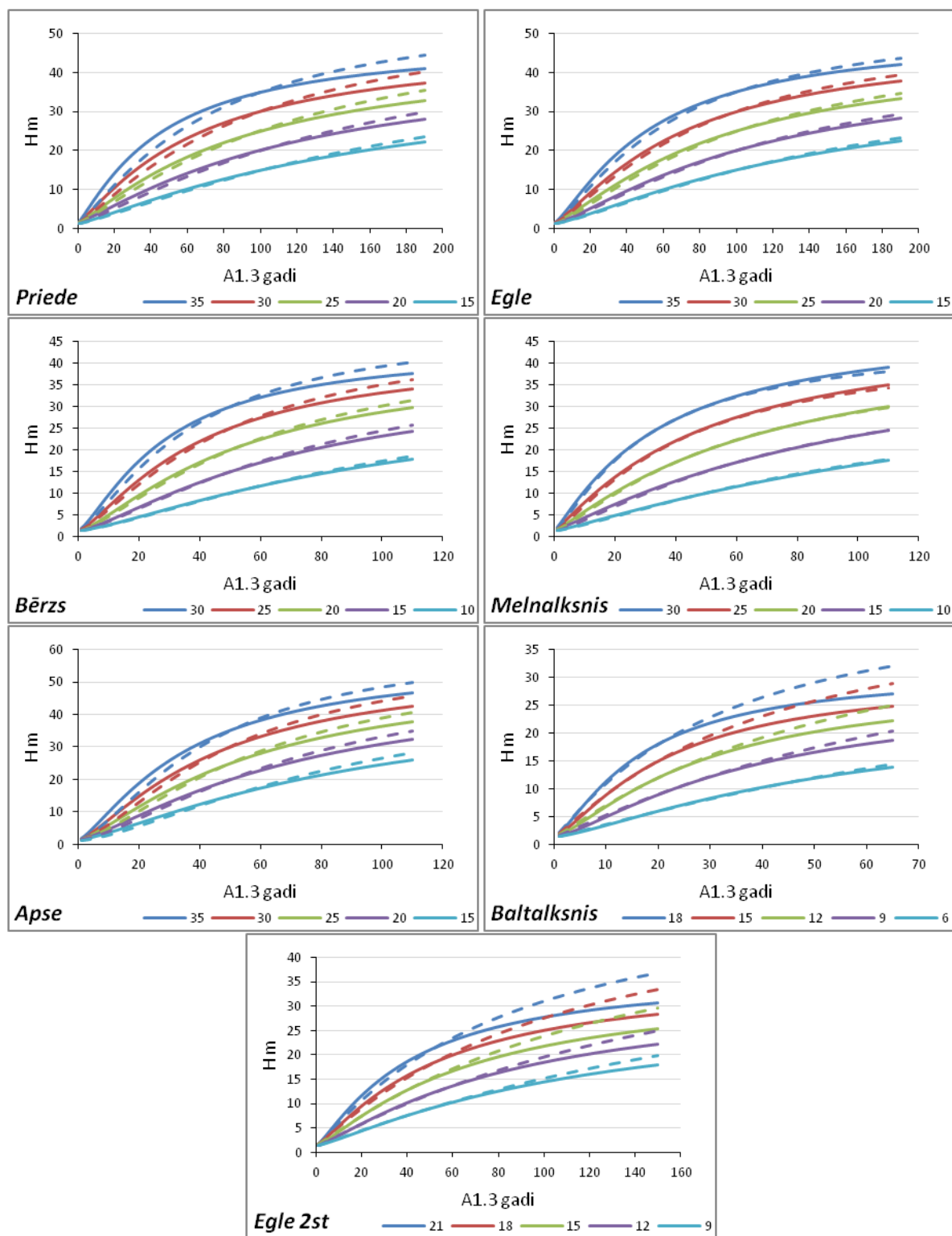
Ekstrapolējot datus ilgākā laika posmā secināts, ka visiem meža elementiem, izņemot apsi, loģiskākas augstuma izmaiņas tiek prognozētas ar koeficientu vērtībām, kas aprēķinātas no kombinētā 5 un 10 gadu cikla datiem, bet apsei loģiskākas augstuma izmaiņas tiek prognozētas ar koeficientu vērtībām, kas aprēķinātas no 10 gadu cikla datiem (2.8. attēls).

Ar jaunajām koeficientu vērtībām eglei un melnalksni prognozētie augstumi ir līdzīgi kā ar 2015. gada koeficientu vērtībām, bet pārējiem meža elementiem novērojama tendence, ka vecākās audzēs ar vecajām koeficientu vērtībām augstuma pieaugumi ir konservatīvāki un piesardzīgāki nekā ar jaunajām koeficientu vērtībām (2.9. attēls).

Šobrīd priedei būtu ieteicams lietot 2016. gadā aproksimētās koeficientu vērtības, bet pārējiem meža elementiem būtu ieteicams lietot 2015. gadā aproksimētās koeficientu vērtības, jo tās pagaidām uzrāda loģiskākas un konservatīvākas augstuma izmaiņas vecākajās audzēs, kā arī šīs koeficientu vērtības ir balstītas uz plašāku datu kopu.



2.8. attēls. Aproximētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. vienādojums) ar 2016. gadā
aproximētajām koeficientu vērtībām atkarībā no augstuma krūšaugstuma bāzes vecumā
 Pārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā aprēķinātajiem koeficientiem, kas aproksimēti no 10 gadu
 pārmērījuma perioda datiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā aprēķinātajiem koeficientiem,
 kas aproksimēti no kombinētajiem 5 un 10 gadu pārmērījuma perioda datiem.
 Krūšaugstuma bāzes vecums – priedei un eglei 100 gadi; bērzam, melnalksnim, apsei un eglei 2. stāvā 50 gadi; baltalksnim
 20 gadi.



2.9. attēls. Aproximētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. vienādojums) atkarībā no augstuma krūšaugstuma bāzes vecumā

Nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2015. gadā aprēķinātajiem koeficientiem, pārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.

Krūšaugstuma bāzes vecums – priedei un eglei 100 gadi; bērzam, melnalksnim, apsei un eglei 2. stāvā 50 gadi; baltalksnim 20 gadi.

2.2. Caurmēra augšanas gaitas modelis

2.2.1. Materiāls un metodika

Datu analīzē izmantoja datus par 2029 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paaudzes vienā stāvā esošus kokus) no 1122 MSI 2014. - 2015. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- ✓ meža elementi ir P1st (470 meža elementi), E1st (360), B1st (494), A1st (95), M1st (127), Ba1st (101), E2st (382);
- ✓ katrā uzmērīšanas ciklā meža elementam uzmērīti vismaz 3 dzīvi koki;
- ✓ visās trīs uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums un vecuma starpība starp cikliem ir 5 gadi;
- ✓ meža elementa vidējais caurmērs otrajā ciklā ir lielāks nekā pirmajā ciklā;
- ✓ starp inventarizācijas periodā parauglaukumā nav konstatēti vairāk nekā divi celmi;
- ✓ meža elementa pēdējo piecu gadu caurmēra tekošais periodiskais pieaugums neatšķiras vairāk kā trīs reizes no ar iepriekšējā gadā izstrādāto vienādojumu aproksimētajām vērtībām.

Meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņu aproksimācijai pārbaudīts iepriekš izstrādātais vienādojums, kas balstīts uz vispārinātās algebriskās differences pieeju, tādējādi caurmēra pieaugumu var prognozēt zinot tikai meža elementa vidējo caurmēru un krūšaugstuma vecumu, bet nav nepieciešama informācija par bonitāti. Algebriskās differences 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 differences pieejas modelis (Krumland & Eng, 2005), kurš modificēts iekļaujot papildus audzes relatīvo biežību:

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

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

$$N_{max} = \frac{(k_{10}n_{max10} + k_{11}n_{max11} + k_{12}n_{max12} + k_{13}n_{max13} + k_{14}n_{max14})}{10} \quad (2.2.2)$$

$$n_{max} = c_1 D_1^{c_2} H_1^{c_3} \quad (2.2.3)$$

kur A_1 – krūšaugstuma vecums pirmajā uzmērīšanas reizē, gadi;
 A_2 – krūšaugstuma vecums otrajā uzmērīšanas reizē, gadi;
 D_1 – caurmērs pirmajā uzmērīšanas reizē, cm;
 D_2 – caurmērs otrajā uzmērīšanas reizē, cm;
 H_1 – meža elementa augstums pirmajā uzmērīšanas reizē, m;
 N_1 – mežaudzes 1. stāva koku skaits pirmajā uzmērīšanas reizē, ha^{-1} ;
 N_{max} – mežaudzes 1. stāva maksimālais koku skaits pirmajā uzmērīšanas reizē; ha^{-1} ;
 n_{max} – maksimālais atsevišķa meža elementa koku skaits, ha^{-1} ;
 k_{10-14} – atsevišķa meža elementa sastāva koeficients;
 $b_1, b_2, b_3; c_1, c_2, c_3$ – empīriskie koeficienti (3.pielikums).

Iepriekšējos gados izstrādātais vienādojums (2.2. formula) meža elementa vidējā caurmēra prognozēšanai pārbaudīts četros variantos:

- ✓ caurmēra augšanas gaitas prognoze starp pirmo un otro ciklu (5 gadu periods);
- ✓ caurmēra augšanas gaitas prognoze starp otro un trešo ciklu (5 gadu periods);
- ✓ caurmēra augšanas gaitas prognoze starp pirmo un trešo ciklu (10 gadu periods);
- ✓ caurmēra augšanas gaitas prognoze starp pirmo, otro un trešo ciklu (5 un 10 gadu periods).

Jāatzīmē, ka kombinētajā 5 un 10 gadu cikla variantā netiek ņemta vērā autokorelācija.

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: 1) vidējā novirze (MRES), 2) procentuālā vidējā novirze (MRES%); 3) vidējā absolūtā novirze (AMRES); 4) standartnovirze (RMSE) 5) variācijas koeficients (RMSE%) 6) vidējā kvadrātiskā kļūda (MSE); 7) modeļa efektivitāte (MEF); un 8) dispersijas attiecība (VR). Rādītāju aprēķināšanas formulas dotas 1. pielikumā.

2.2.2. Rezultāti

Iepriekš izstrādātajam vienādojumam caurmēra augšanas prognozēšanai salīdzinātas gan prognozētās caurmēra vērtības, gan vidējās periodiskās caurmēra pieauguma vērtības. Vidējā prognozēto caurmēru starpība ar uzmērītajiem caurmēriem 5 gadu periodā ir robežās no -0,40 cm līdz 0,01 cm, bet 10 gadu periodā no -0,93 cm līdz 0,12 cm, savukārt procentuālā vidējā novirze attiecīgi -2,59 % - +0,02 % un -6,22 % - +0,39 % (2.5. tabula). Vidējā periodiskā pieauguma starpībām nav novērotas nozīmīgas atšķirības starp cikla garumiem, un vidējā periodiskā caurmēra pieauguma novirze ir robežās no -0,09 - +0,01 cm, savukārt procentuālā vidējā novirze ir -35,48 % - +2,26 % (2.6. tabula).

Arī caurmēra pieaugumam raksturīgs, ka visiem meža elementiem iepriekš izstrādātais modelis nespēj adekvāti prognozēt salīdzinoši lielo caurmēra pieaugumu vecākajās audzēs, kas rodas koku atmiršanas rezultātā (2.10. – 2.16. attēli). Bet līdzīgi kā augstuma pieaugumam, tā arī caurmēra pieaugumam novērojama tendence, ka meža elementa caurmēra pieaugums garākā laika periodā izlīdzinās ar atsevišķu koku caurmēra pieaugumu.

2.5. tabula

Iepriekš izstrādātā meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) prognozētā augstuma statistiskie rādītāji

Cikli	Suga	Aritm. vid.	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
1.cikl.vs 2. cikl. (5g)	P	25.45	-0.08	-0.30	0.50	0.73	2.86	0.53	0.01	0.971	0.996	0.993	432
	E	23.14	-0.22	-0.95	0.73	0.97	4.21	0.95	0.01	0.987	0.993	0.986	335
	B	19.17	-0.15	-0.76	0.61	0.83	4.31	0.68	0.01	1.002	0.994	0.989	427
	M	18.83	-0.14	-0.73	0.54	0.72	3.85	0.52	0.01	1.005	0.994	0.987	119
	A	26.04	-0.07	-0.25	0.87	1.15	4.42	1.31	0.01	0.974	0.996	0.992	87
	Ba	14.18	-0.25	-1.76	0.67	0.92	6.45	0.83	0.03	1.088	0.987	0.974	83
	E 2st	12.79	-0.17	-1.30	0.55	0.75	5.84	0.56	0.03	0.969	0.988	0.976	359
2.cikl.vs 3. cikl. (5g)	P	27.01	0.01	0.02	0.50	0.70	2.59	0.49	0.01	0.975	0.996	0.993	375
	E	25.66	-0.21	-0.81	0.65	0.85	3.31	0.72	0.01	0.930	0.995	0.990	256
	B	21.24	-0.25	-1.17	0.61	0.78	3.69	0.61	0.01	0.953	0.995	0.991	345
	M	20.64	-0.19	-0.92	0.49	0.63	3.04	0.39	0.01	0.991	0.995	0.991	92
	A	31.90	0.01	0.02	0.84	1.15	3.61	1.31	0.01	0.943	0.996	0.991	62
	Ba	15.34	-0.40	-2.59	0.61	0.76	4.94	0.57	0.02	1.011	0.992	0.984	59
	E 2st	14.25	-0.18	-1.24	0.50	0.66	4.65	0.44	0.02	0.950	0.992	0.985	261
1.cikl.vs 3. cikl. (10 g)	P	26.93	-0.12	-0.45	0.88	1.29	4.79	1.66	0.03	0.946	0.988	0.975	371
	E	25.51	-0.46	-1.79	1.27	1.70	6.68	2.89	0.05	0.950	0.979	0.958	244
	B	21.22	-0.34	-1.62	1.07	1.47	6.92	2.15	0.04	0.963	0.981	0.963	359
	M	20.76	-0.23	-1.10	0.84	1.15	5.53	1.30	0.04	1.014	0.983	0.967	94
	A	31.34	0.12	0.39	1.22	1.83	5.83	3.27	0.02	0.908	0.988	0.977	54
	Ba	15.01	-0.93	-6.22	1.29	1.95	12.98	3.74	0.16	1.111	0.944	0.891	65
	E 2st	14.59	-0.24	-1.62	0.94	1.34	9.16	1.78	0.08	0.968	0.962	0.925	237
kopā (5 un 10 g)	P	26.41	-0.06	-0.24	0.62	0.93	3.53	0.87	0.01	0.964	0.994	0.987	1178
	E	24.60	-0.29	-1.16	0.86	1.20	4.87	1.43	0.02	0.962	0.990	0.979	835
	B	20.45	-0.24	-1.18	0.75	1.06	5.18	1.12	0.02	0.978	0.991	0.982	1131
	M	19.97	-0.18	-0.91	0.62	0.84	4.22	0.71	0.02	1.005	0.991	0.983	305
	A	29.24	0.01	0.02	0.95	1.33	4.56	1.77	0.01	0.950	0.994	0.989	203
	Ba	14.77	-0.51	-3.43	0.85	1.27	8.62	1.62	0.07	1.082	0.974	0.949	207
	E 2st	13.73	-0.19	-1.37	0.64	0.92	6.72	0.85	0.04	0.965	0.983	0.966	857

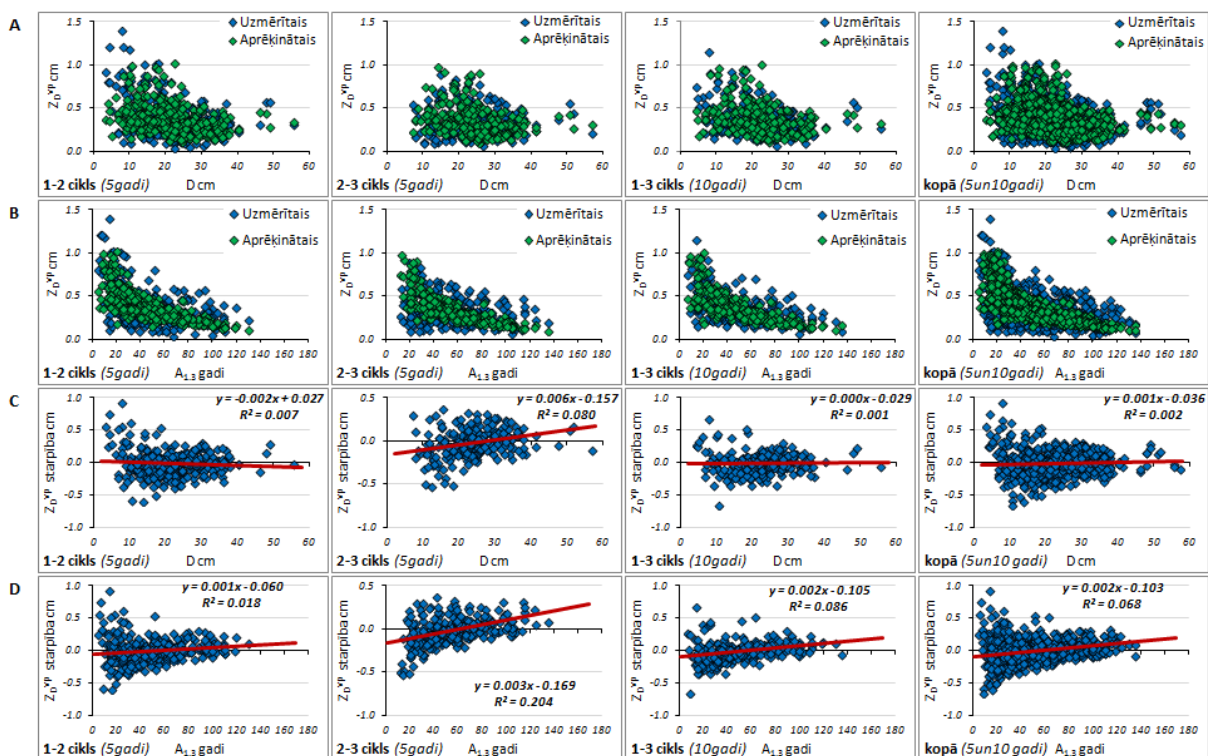
MRES - vidējā novirze, cm; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, cm; RMSE – standartnovirze, cm; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, cm; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R² - determinācijas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

Iepriekš izstrādātā meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula)

prognozētā ikgadējā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji

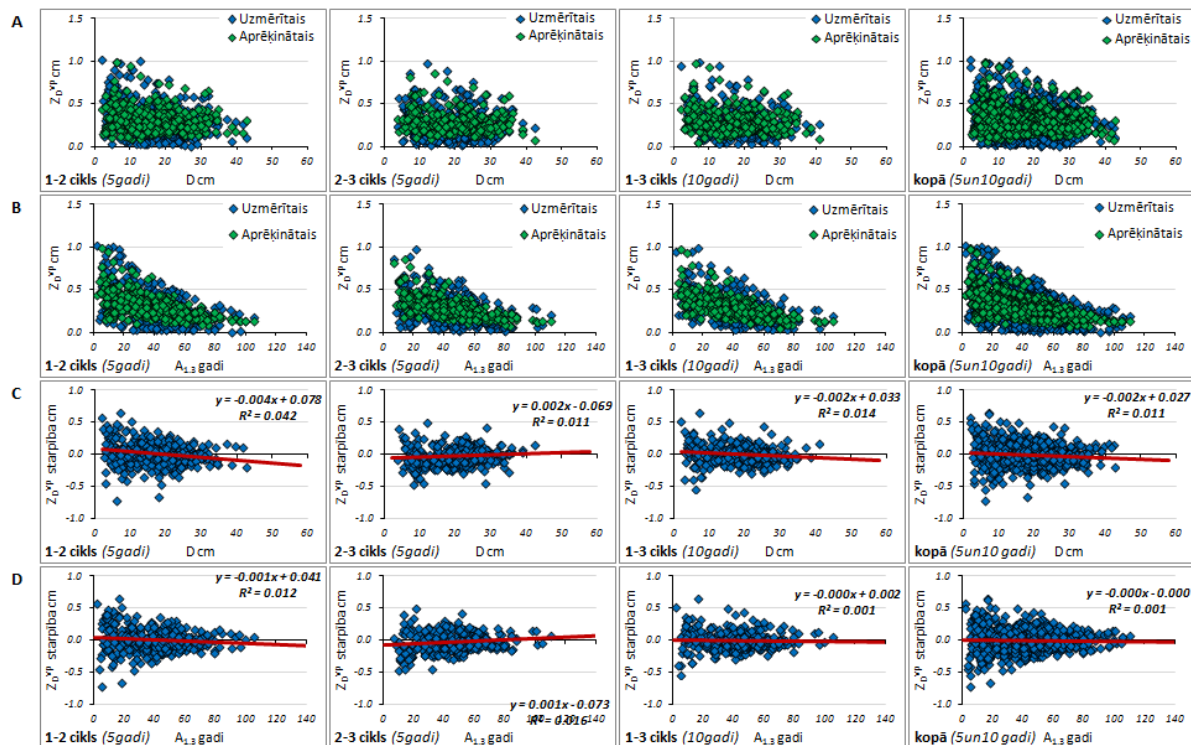
Cikli	Suga	Aritm. vid.	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
1.cikl.vs 2. cikl. (5g)	P	0.26	-0.02	-5.82	0.10	0.15	55.72	0.02	0.95	0.997	0.529	0.279	432
	E	0.38	-0.04	-11.61	0.15	0.19	51.48	0.04	0.81	0.770	0.572	0.327	335
	B	0.30	-0.03	-9.63	0.12	0.17	54.42	0.03	0.77	0.661	0.562	0.316	427
	M	0.32	-0.03	-8.65	0.11	0.14	45.76	0.02	0.65	0.565	0.623	0.388	119
	A	0.56	-0.01	-2.32	0.17	0.23	41.00	0.05	1.04	1.002	0.485	0.235	87
	Ba	0.32	-0.05	-15.51	0.13	0.18	56.94	0.03	1.02	0.494	0.395	0.156	83
	E 2st	0.23	-0.03	-14.51	0.11	0.15	65.15	0.02	1.29	0.957	0.374	0.140	359
2.cikl.vs 3. cikl. (5g)	P	0.25	0.00	0.46	0.10	0.14	56.85	0.02	1.15	0.843	0.380	0.145	375
	E	0.34	-0.04	-12.24	0.13	0.17	50.04	0.03	1.05	1.093	0.529	0.280	256
	B	0.26	-0.05	-19.46	0.12	0.16	61.37	0.02	0.90	0.654	0.525	0.275	345
	M	0.28	-0.04	-13.79	0.10	0.13	45.48	0.02	0.84	0.661	0.553	0.306	92
	A	0.54	0.00	0.24	0.17	0.23	42.88	0.05	0.96	0.795	0.471	0.222	62
	Ba	0.24	-0.08	-33.24	0.12	0.15	63.52	0.02	1.49	0.753	0.404	0.163	59
	E 2st	0.21	-0.04	-16.89	0.10	0.13	63.44	0.02	1.28	0.626	0.276	0.076	261
1.cikl.vs 3. cikl. (10 g)	P	0.25	-0.01	-4.91	0.09	0.13	51.78	0.02	1.44	1.732	0.496	0.246	371
	E	0.36	-0.05	-12.69	0.13	0.17	47.39	0.03	0.97	1.210	0.597	0.357	244
	B	0.28	-0.03	-12.17	0.11	0.15	51.83	0.02	0.85	0.837	0.566	0.320	359
	M	0.30	-0.02	-7.60	0.08	0.11	38.06	0.01	0.63	0.652	0.647	0.419	94
	A	0.54	0.01	2.26	0.12	0.18	33.59	0.03	1.12	1.386	0.541	0.293	54
	Ba	0.26	-0.09	-35.48	0.13	0.19	74.09	0.04	2.29	1.264	0.238	0.057	65
	E 2st	0.22	-0.02	-10.57	0.09	0.13	59.77	0.02	1.38	0.923	0.303	0.092	237
kopā (5 un 10 g)	P	0.25	-0.01	-3.59	0.10	0.14	54.73	0.02	1.11	1.111	0.476	0.226	1178
	E	0.36	-0.04	-12.10	0.13	0.18	49.75	0.03	0.90	0.953	0.568	0.323	835
	B	0.28	-0.04	-13.15	0.12	0.16	55.38	0.02	0.82	0.702	0.556	0.309	1131
	M	0.30	-0.03	-9.75	0.10	0.13	42.94	0.02	0.68	0.609	0.616	0.380	305
	A	0.55	0.00	-0.35	0.16	0.21	39.02	0.05	1.02	0.998	0.491	0.241	203
	Ba	0.28	-0.07	-25.73	0.13	0.18	62.66	0.03	1.32	0.699	0.363	0.132	207
	E 2st	0.22	-0.03	-14.09	0.10	0.14	62.98	0.02	1.30	0.857	0.335	0.112	857

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



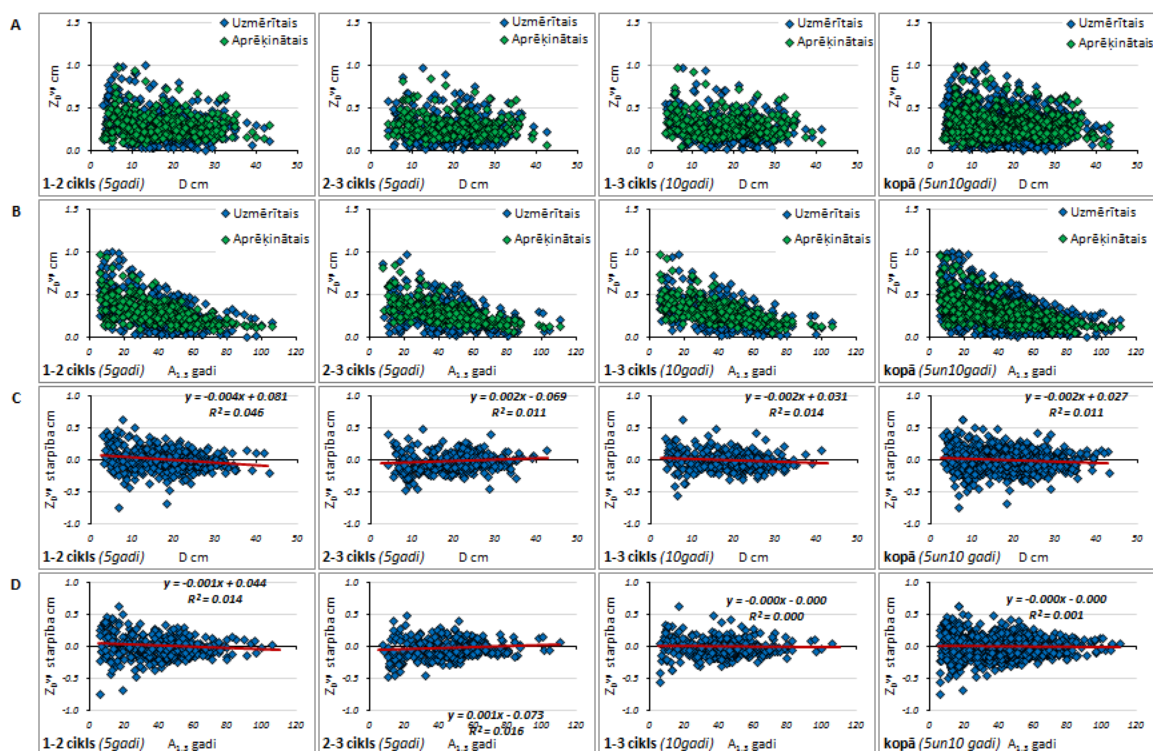
2.10. attēls. Priedes I stāva uzmērītais un aprēķinātais vidējais periodiskais caurmēra pieaugums un šo rādītāju starpība atkarībā no periodu garuma, sākotnējā caurmēra un krūšaugstuma vecuma

A – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais caurmēra pieaugums atkarībā no sākotnējā caurmēra; B – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais caurmēra pieaugums atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma; C – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko caurmēra pieaugumu atkarībā no sākotnējā caurmēra; D – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko caurmēra pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma.



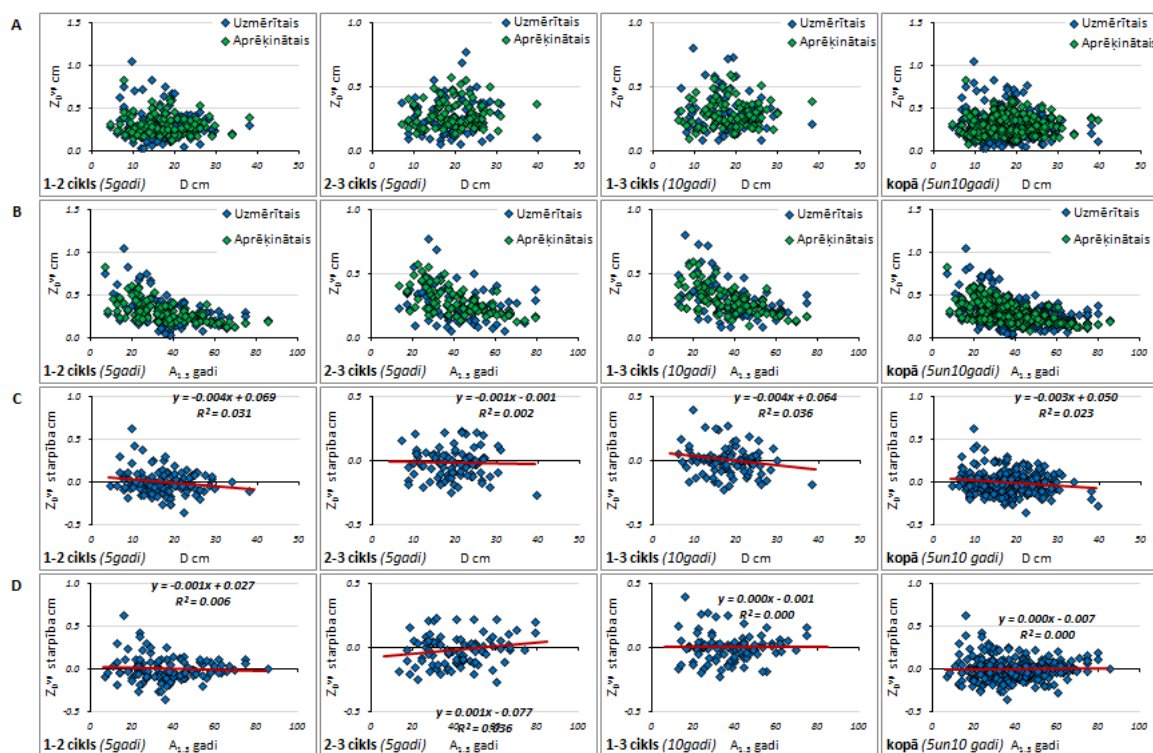
2.11. attēls. Egles I stāva uzmērītais un aprēķinātais vidējais periodiskais caurmēra pieaugums un šo rādītāju starpība atkarībā no periodu garuma, sākotnējā caurmēra un krūšaugstuma vecuma

A – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais caurmēra pieaugums atkarībā no sākotnējā caurmēra; B – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais caurmēra pieaugums atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma; C – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko caurmēra pieaugumu atkarībā no sākotnējā caurmēra; D – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko caurmēra pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma.



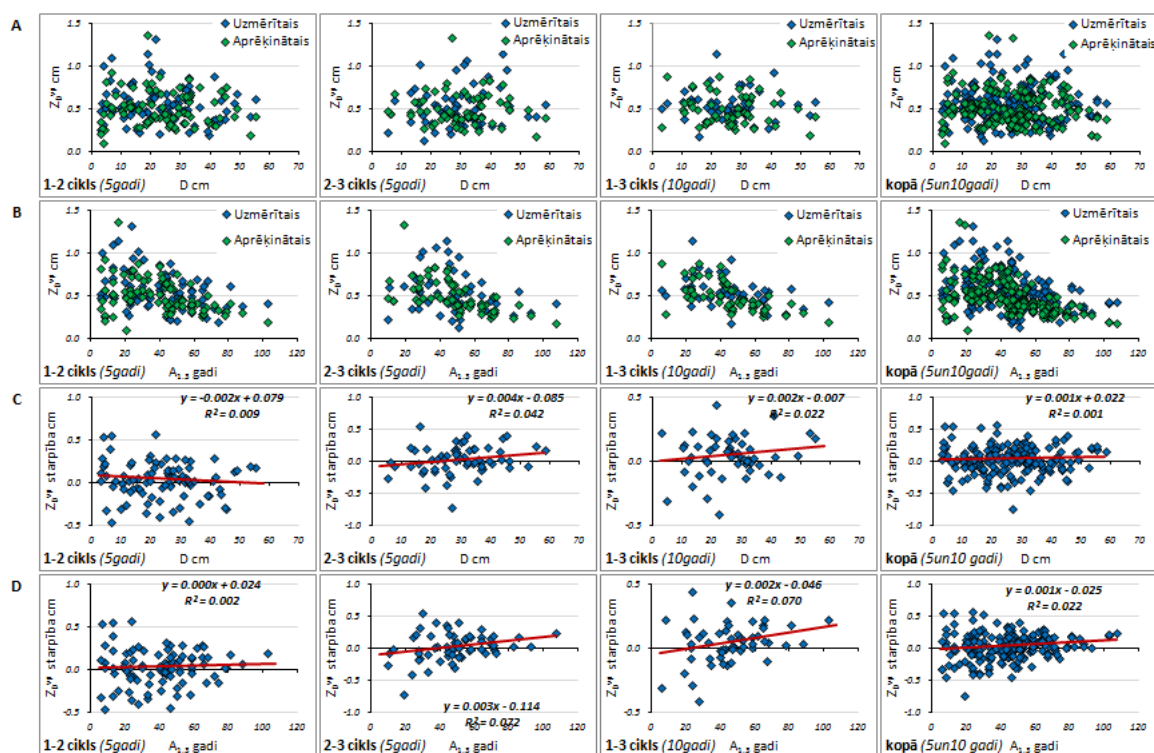
2.12. attēls. Bērza I stāva uzmērītais un aprēķinātais vidējais periodiskais caurmēra pieaugums un šo rādītāju starpība atkarībā no periodu garuma, sākotnējā caurmēra un krūšaugstuma vecuma

A – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais caurmēra pieaugums atkarībā no sākotnējā caurmēra; B – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais caurmēra pieaugums atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma; C – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko caurmēra pieaugumu atkarībā no sākotnējā caurmēra; D – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko caurmēra pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma.



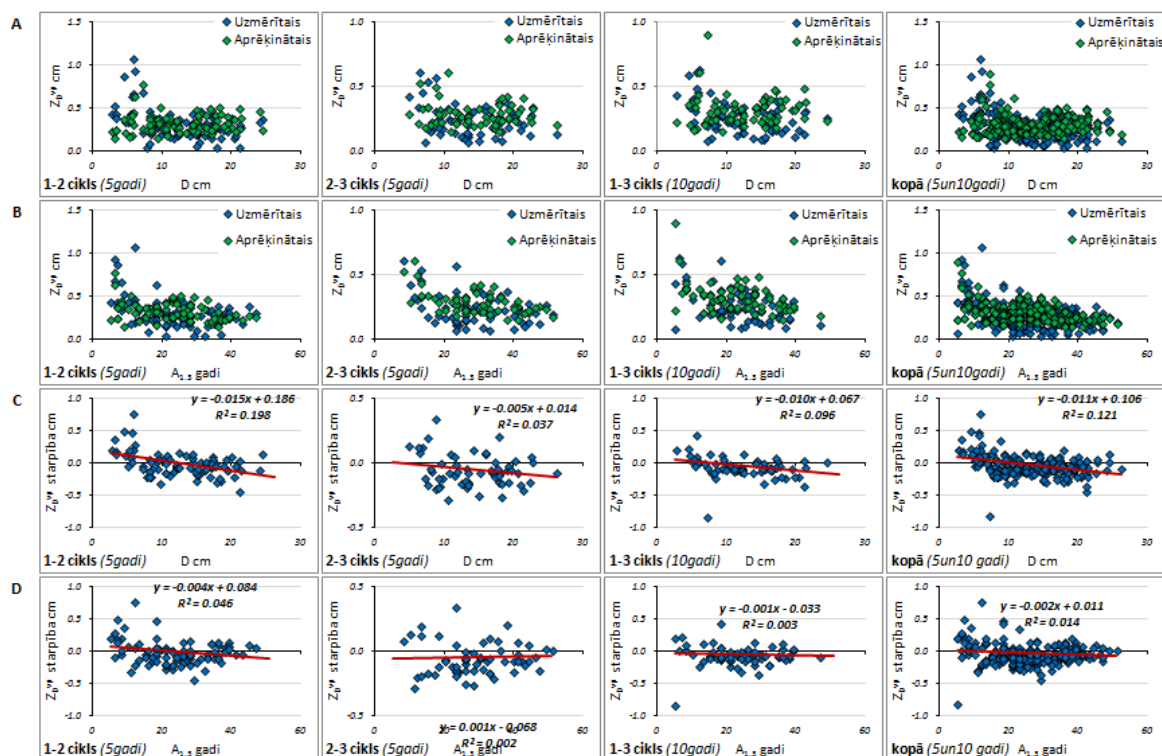
2.13. attēls. Melnalkšņa I stāva uzmērītais un aprēķinātais vidējais periodiskais caurmēra pieaugums un šo rādītāju starpība atkarībā no periodu garuma, sākotnējā caurmēra un krūšaugstuma vecuma

A – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais caurmēra pieaugums atkarībā no sākotnējā caurmēra; B – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais caurmēra pieaugums atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma; C – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko caurmēra pieaugumu atkarībā no sākotnējā caurmēra; D – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko caurmēra pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma.



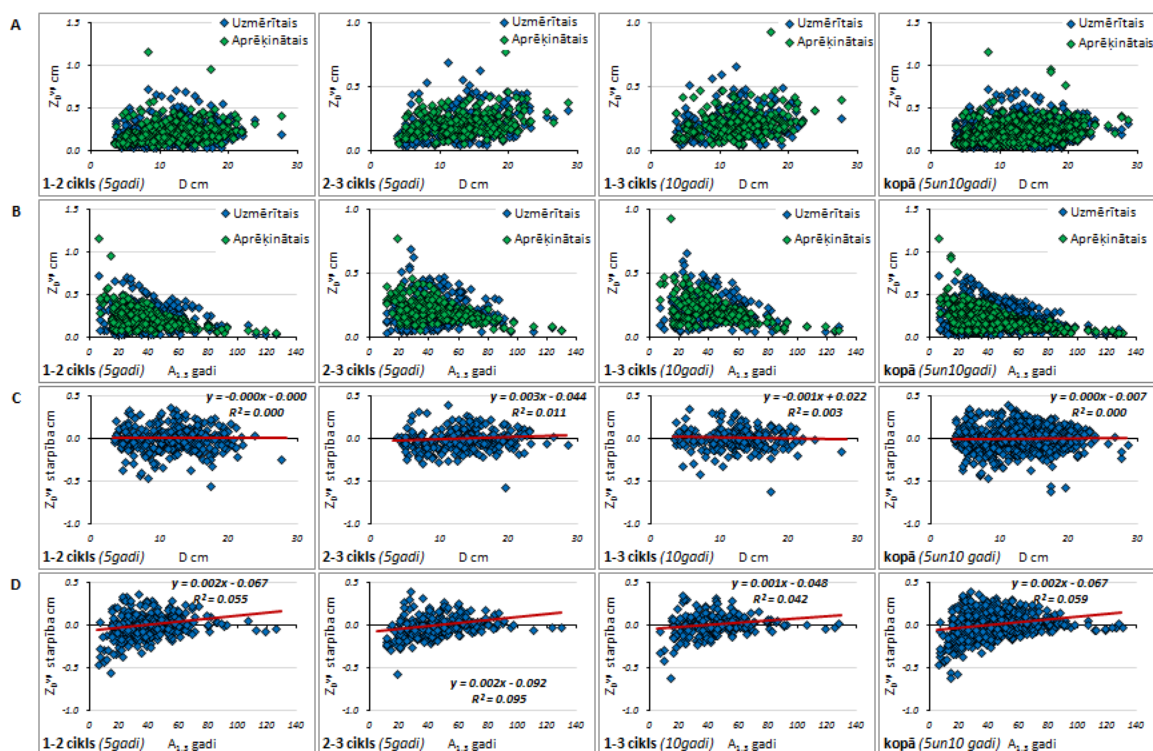
2.14. attēls. Apses I stāva uzmērītais un aprēķinātais vidējais periodiskais caurmēra pieaugums un šo rādītāju starpība atkarībā no periodu garuma, sākotnējā caurmēra un krūšaugstuma vecuma

A – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais caurmēra pieaugums atkarībā no sākotnējā caurmēra; B – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais caurmēra pieaugums atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma; C – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko caurmēra pieaugumu atkarībā no sākotnējā caurmēra; D – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko caurmēra pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma.



2.15. attēls. Baltalkšņa I stāva uzmērītais un aprēķinātais vidējais periodiskais caurmēra pieaugums un šo rādītāju starpība atkarībā no periodu garuma, sākotnējā caurmēra un krūšaugstuma vecuma

A – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais caurmēra pieaugums atkarībā no sākotnējā caurmēra; B – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais caurmēra pieaugums atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma; C – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko caurmēra pieaugumu atkarībā no sākotnējā caurmēra; D – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko caurmēra pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma.



2.16. attēls. Egles II stāva uzmērītais un aprēķinātais vidējais periodiskais caurmēra pieaugums un šo rādītāju starpība atkarībā no periodu garuma, sākotnējā caurmēra un krūšaugstuma vecuma

A – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais caurmēra pieaugums atkarībā no sākotnējā caurmēra; B – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais caurmēra pieaugums atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma; C – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko caurmēra pieaugumu atkarībā no sākotnējā caurmēra; D – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko caurmēra pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma.

Balstoties uz MSI 1., 2. un 3. cikla datiem aproksimētas jaunas koeficientu vērtības 2.2. vienādojumam. Jaunās koeficientu vērtības aprēķinātas kombinētajā 5 un 10 gadu cikla variantā vienlaicīgi izmantojot visu trīs ciklu datus, bet ignorējot auto korelāciju, kā arī atsevišķi 10 gadu cikla variantā (2.7. tabula).

2.7. tabula

Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) 2016. gadā aproksimētās koeficientu vērtības

Suga	Koeficients	10 gadu cikls				kombinētais 5 un 10 gadu cikls			
		Vērtība	Standartklūda	95% ticamības min.	95% ticamības max.	Vērtība	Standartklūda	95% ticamības min.	95% ticamības max.
Priede	b1	0.630	0.041	0.550	0.710	0.644	0.025	0.595	0.694
	b2	-1.172	5.077	-11.156	8.812	-1.827	4.000	-9.675	6.022
	b3	5.274	17.400	-28.941	39.490	5.095	9.297	-13.146	23.335
Egle	b1	0.894	0.046	0.805	0.984	0.893	0.026	0.842	0.944
	b2	-10.126	17.891	-45.369	25.117	-12.504	14.867	-41.685	16.677
	b3	6.744	10.978	-14.882	28.370	7.999	8.921	-9.511	25.508
Bērzs	b1	0.801	0.042	0.720	0.883	0.809	0.025	0.761	0.857
	b2	-11.244	32.112	-74.398	51.910	-11.779	19.140	-49.332	25.774
	b3	6.905	18.623	-29.720	43.531	6.874	10.561	-13.848	27.595
Melnalksnis	b1	0.805	0.095	0.617	0.994	0.800	0.054	0.695	0.906
	b2	-10.104	53.716	-116.804	96.597	-10.628	34.597	-78.709	57.453
	b3	5.708	28.801	-51.502	62.918	5.778	17.878	-29.403	40.960
Apse	b1	0.995	0.075	0.844	1.146	0.993	0.045	0.904	1.081
	b2	-3.472	9.754	-23.054	16.109	-3.564	6.125	-15.641	8.514
	b3	8.148	15.775	-23.522	39.818	8.064	9.639	-10.942	27.071
Baltalksnis	b1	0.544	0.145	0.254	0.835	0.572	0.080	0.414	0.729
	b2	-9.169	449.576	-907.857	889.520	-9.254	200.953	-405.466	386.958
	b3	8.303	399.001	-789.289	805.895	7.673	162.959	-313.626	328.973
Egle 2.stāvs	b1	0.728	0.075	0.580	0.877	0.715	0.039	0.639	0.791

Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) 2016. gadā aproksimētās koeficientu vērtības

Suga	Koeficients	10 gadu cikls				kombinētais 5 un 10 gadu cikls			
		Vērtība	Standartklūda	95% ticamības min.	95% ticamības max.	Vērtība	Standartklūda	95% ticamības min.	95% ticamības max.
	b2	-9.190	50.698	-109.073	90.693	-8.933	29.441	-66.717	48.851
	b3	6.651	35.179	-62.657	75.960	6.829	21.491	-35.352	49.010

Caurmēra augšanas gaitas vienādojumam statistiskie rādītāji ar 2016. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām ir augsti un savstarpēji ļoti līdzīgi gan vienādojumiem ar koeficientu vērtībām, kas aprēķinātas uz 10 gadu cikla pārmērījuma datiem, gan vienādojumiem ar koeficientu vērtībām, kas aprēķinātas uz kombinētajiem 5 un 10 gadu cikla datiem (2.8. tabula).

Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) statistiskie rādītāji ar 2016. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām

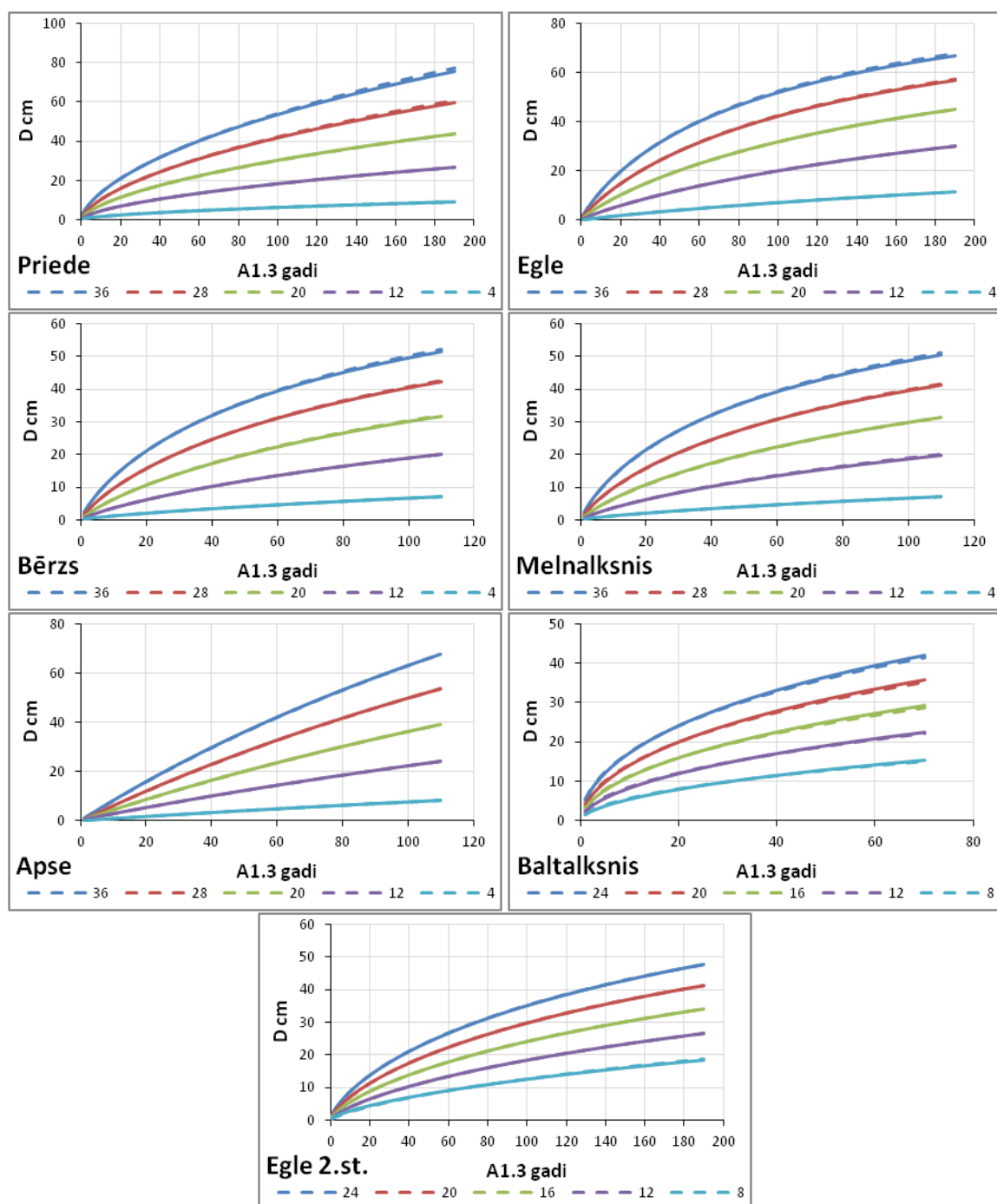
Rādītājs	Suga	Koeficienti	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R2	N
D (cm)	Priede	10 gadi	26.41	0.10	0.37	0.53	0.76	2.87	0.57	0.01	1.023	0.996	0.992	1178
		5-10 gadi	26.41	0.10	0.38	0.53	0.76	2.87	0.57	0.01	1.020	0.996	0.992	1178
	Egle	10 gadi	24.60	0.12	0.49	0.74	1.05	4.29	1.11	0.02	0.982	0.992	0.983	835
		5-10 gadi	24.60	0.13	0.53	0.74	1.05	4.28	1.11	0.02	0.981	0.992	0.983	835
	Bērzs	10 gadi	20.45	-0.01	-0.07	0.71	0.97	4.75	0.94	0.02	1.022	0.992	0.984	1131
		5-10 gadi	20.45	-0.01	-0.05	0.71	0.97	4.75	0.94	0.02	1.019	0.992	0.984	1131
	Melnalksnis	10 gadi	19.97	-0.02	-0.11	0.57	0.80	4.01	0.64	0.02	1.005	0.992	0.984	305
		5-10 gadi	19.97	0.01	0.04	0.57	0.80	4.00	0.64	0.02	1.003	0.992	0.984	305
	Apse	10 gadi	29.24	0.08	0.27	0.87	1.13	3.88	1.28	0.01	1.024	0.996	0.992	203
		5-10 gadi	29.24	0.10	0.34	0.87	1.13	3.88	1.28	0.01	1.024	0.996	0.992	203
	Baltalksnis	10 gadi	14.77	0.17	1.15	0.70	1.04	7.01	1.07	0.04	1.151	0.983	0.966	207
		5-10 gadi	14.77	0.10	0.66	0.70	1.03	6.98	1.06	0.04	1.149	0.983	0.966	207
	Egle 2.st.	10 gadi	13.73	0.13	0.94	0.58	0.82	6.01	0.68	0.03	0.954	0.986	0.973	857
		5-10 gadi	13.73	0.14	1.04	0.58	0.82	6.00	0.68	0.03	0.955	0.986	0.973	857
zdvp (cm gadā)	Priede	10 gadi	0.25	0.02	6.07	0.08	0.12	46.90	0.01	0.82	0.468	0.485	0.236	1178
		5-10 gadi	0.25	0.02	6.21	0.08	0.12	46.86	0.01	0.82	0.474	0.488	0.238	1178
	Egle	10 gadi	0.36	0.02	5.18	0.12	0.16	44.54	0.03	0.72	0.581	0.572	0.327	835
		5-10 gadi	0.36	0.02	5.67	0.12	0.16	44.49	0.03	0.72	0.578	0.574	0.330	835
	Bērzs	10 gadi	0.28	0.00	-1.02	0.11	0.15	51.45	0.02	0.70	0.364	0.547	0.299	1131
		5-10 gadi	0.28	0.00	-0.81	0.11	0.15	51.42	0.02	0.70	0.373	0.548	0.301	1131
	Melnalksnis	10 gadi	0.30	0.00	-1.54	0.09	0.12	40.90	0.01	0.62	0.500	0.623	0.389	305
		5-10 gadi	0.30	0.00	0.02	0.09	0.12	40.80	0.01	0.62	0.494	0.624	0.390	305
	Apse	10 gadi	0.55	0.01	2.02	0.14	0.19	34.52	0.04	0.80	0.616	0.524	0.274	203
		5-10 gadi	0.55	0.01	2.54	0.14	0.19	34.50	0.04	0.80	0.609	0.524	0.275	203
	Baltalksnis	10 gadi	0.28	0.03	10.48	0.11	0.16	55.87	0.02	1.05	0.195	0.209	0.044	207
		5-10 gadi	0.28	0.02	6.61	0.11	0.15	55.32	0.02	1.03	0.217	0.219	0.048	207
	Egle 2.st.	10 gadi	0.22	0.02	8.39	0.09	0.12	56.03	0.02	1.03	0.494	0.346	0.119	857
		5-10 gadi	0.22	0.02	9.43	0.09	0.12	55.95	0.02	1.03	0.479	0.347	0.120	857

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

Ekstrapolējot datus ilgākā laika posmā secināts, ka visiem meža elementiem prognozētās caurmēra izmaiņas ar 2016. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām abos variantos ir ļoti līdzīgas (2.17. attēls). Tālākajā analīzes gaitā izmanto koeficientu vērtības, kas aproksimētas balstoties uz kombinēto 5 un 10 gadu datu bāzi.

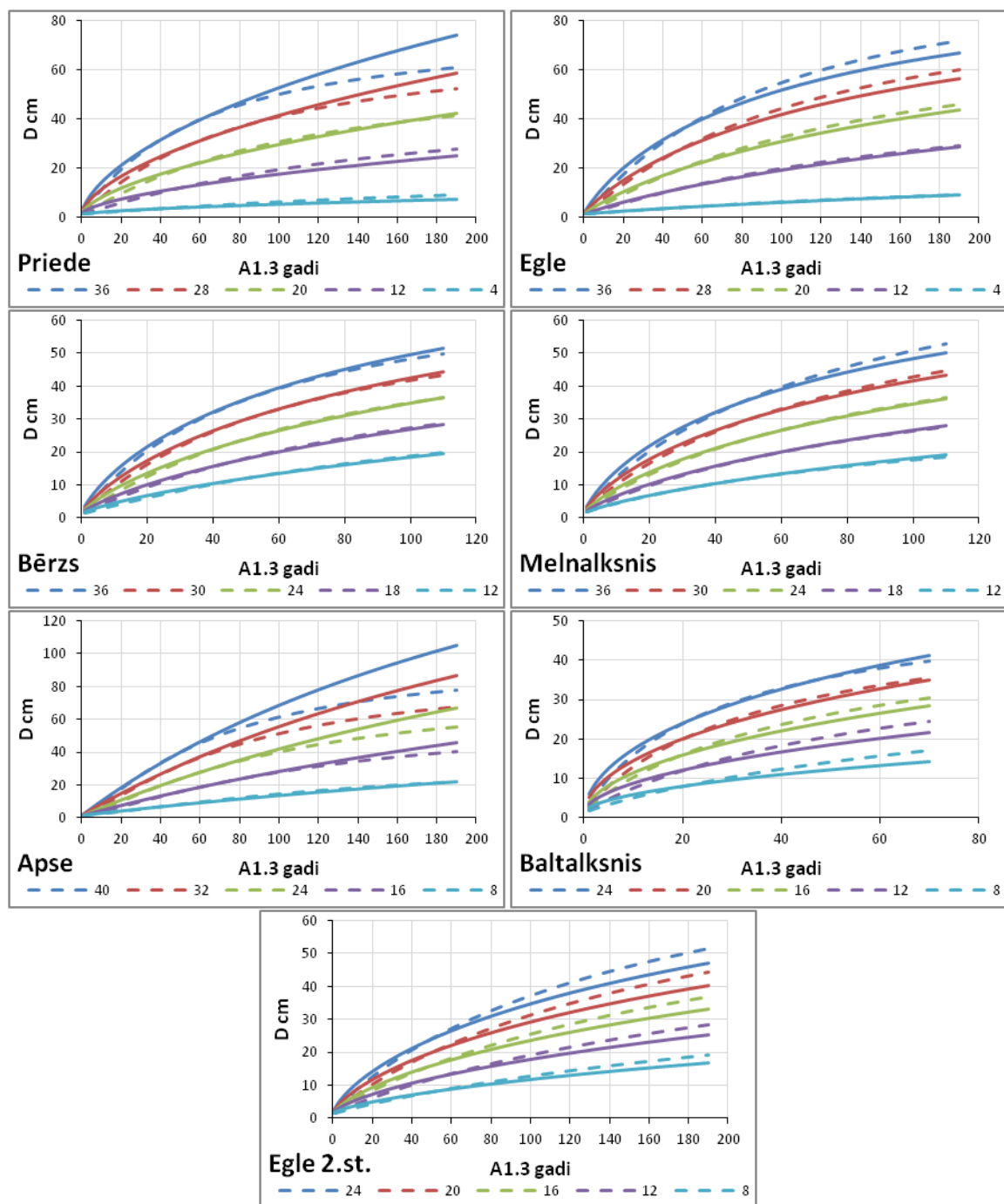
Ar jaunajām koeficientu vērtībām eglei (1. un 2. stāvam), bērzam, melnalksnim un baltalksnim prognozētie caurmēri ir līdzīgi kā ar 2015. gada koeficientu vērtībām, vienīgi eglei novērojama tendence, ka vecākās audzēs ar jaunajām koeficientu vērtībām caurmēru pieaugumi ir piesardzīgāki nekā ar vecajām koeficientu vērtībām (2.18. attēls). Savukārt apsei un priedei novērojama tendence, ka ar jaunajiem koeficientiem augstākas ražības un vecākās audzēs vienādojums ar jaunajām koeficientu vērtībām prognozē nepamatoti lielus caurmēra pieaugumus.

Šobrīd priedei un apsei būtu ieteicams lietot 2015. gadā aproksimētās koeficientu vērtības, jo tās pagaidām uzrāda loģiskākas un konservatīvākas caurmēra izmaiņas augstākas bonitātes vecākajās audzēs, bet pārējiem meža elementiem ieteicams lietot 2016. gadā izstrādātos koeficientus, kas aproksimēti uz kombinētās 5 un 10 gadu datu bāzes.



2.17. attēls. Vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2 vienādojums) ar 2016. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām atkarībā no augstuma krūšaugstuma bāzes vecumā un pie relatīvās audzes biežības 0.55

Pārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā aprēķinātajiem koeficientiem, kas aproksimēti no 10 gadu pārmērījuma perioda datiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā aprēķinātajiem koeficientiem, kas aproksimēti no kombinētajiem 5 un 10 gadu pārmērījuma perioda datiem.
 Krūšaugstuma bāzes vecums – priedei un eglei 100 gadi; bērzam, melnalksnim, apsei un eglei 2. stāvā 50 gadi; baltalksnim 20 gadi.



2.18. attēls. Vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. vienādojums) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma bāzes vecumā un pie relatīvās audzes biezības 0.55

Nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā aprēķinātajiem koeficientiem, pārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2015. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.

Krūšaugstuma bāzes vecums – priedei, eglei, bērzam, melnalksnim, apsei un eglei 2. stāvā 50 gadi; baltalksnim 20 gadi.

2.3. Šķērslaukuma izmaiņu modelis

2.3.1. Materiāls un metodika

Izstrādāts jauns vienādojums mežaudzes I stāva maksimālā šķērslaukuma aprēķināšanai:

$$g_{max} = \frac{b_1}{1 + \left(\frac{d}{b_2}\right)^{b_3}} \quad (2.3)$$

kur g_{max} – maksimālais mežaudzes šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$;

d – mežaudzes vidējais kvadrātiskais krūšaugstuma caurmērs, cm;

b_1 ; b_2 ; b_3 – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas (2.7. tabula).

mežaudzes maksimālais šķērslaukums līdzīgi kā maksimālais koku skaits tiek aprēķināts kā atsevišķu meža elementu maksimālā šķērslaukuma summa, kas svērtā ar meža elementu īpatsvaru

Maksimālā šķērslaukuma izstrādē izmantoti 2576 MSI pirmo divu ciklu visu piecu gadu parauglaukumu dati, kas atbilst sekojošām prasībām:

- ✓ I stāva valdošā koku suga ir priede (1060), egles (401), bērzs (659), melnalksnis (106), apse (143) un baltalksnis (207),
- ✓ I stāva valdošās koku sugas sastāva koeficients ir vismaz 7 vienības,
- ✓ I stāva kokaudzes biezība ir vismaz 5.

Par maksimālo šķērslaukumu priedes, egles, bērza un apses audzēs tiek pieņemts caurmēra grupas vidējā vērtība plus trīs standartnovirzes, bet alkšņu audzēs vidējā vērtība plus divas standartnovirzes.

Meža elementa ikgadējā šķērslaukuma izmaiņu prognozēšanai, balstoties uz visu piecu gadu 2 ciklu pārmērījuma datiem, izstrādāti jauni vienādojumi (2.5. formulas), kas salīdzināti arī ar iepriekšējā gadā ieteikto vienādojumu (2.4. formula):

$$g_2 = g_1 + \left(b_1 \ln(g_1) + b_2 \ln(t_1) + b_3 z_h + b_4 \frac{N_1}{N_{max}} \right) (t_2 - t_1) \quad (2.4)$$

$$g_2 = g_1 + g_1 \left(b_0 + b_1 \frac{t_1}{100} + b_2 t_1^{-2} \right) (t_2 - t_1) \quad (2.5)$$

kur g_2 – meža elementa šķērslaukums perioda beigās, $m^2 ha^{-1}$;

g_1 – meža elementa šķērslaukums perioda sākumā, $m^2 ha^{-1}$;

t_1 – meža elementa krūšaugstuma vecums perioda sākumā, gadi;

t_2 – meža elementa krūšaugstuma vecums perioda beigās, gadi;

z_h – prognozētais piecu gadu vidējais periodiskais augstuma pieaugums, m (H2-H1), pēc 2.1. formulas;

N_{max} – maksimālais mežaudzes I stāva koku skaits, ha^{-1} (2.2.2. formula);

N_1 – mežaudzes 1. stāva koku skaits pirmajā uzmērīšanas reizē, ha^{-1} ;

b_0 ; b_1 ; b_2 ; b_3 ; b_4 ; b_5 – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas (2.8. tabula).

Jaunais šķērslaukuma izmaiņas modelis (2.5. formula) izstrādāts gan I stāva, gan II stāva meža elementu aproksimēšanai. Šo modeļu datu analīzē izmanto datus par visu piecu gadu otrajā ciklā atkārtoti uzmērītajiem MSI parauglaukumiem meža elementiem, kas atbilst sekojošiem kritērijiem:

- meža elementa suga ir priede (1123 meža elements), egles (1538), bērzi (1226), melnalksnis (267), apse (168), baltalksnis (210);
- 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.

Meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modeļi pārbaudīti uz 10 gadu periodu 3. ciklā atkārtoti pārmērītajiem parauglaukumiem.

Meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modeļu pārbaudē izmantoja datus par 2160 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paaudzes vienā stāvā esošus kokus) no 1141 MSI 2014. - 2015. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- ✓ meža elementi ir P1st (487 meža elementi), E1st (375), B1st (516), A1st (106), M1st (134), Ba1st (106), E2st (419);
- ✓ meža elementam pirmajā uzmērīšanas reizē konstatēti vismaz trīs dzīvie koki;
- ✓ abās uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums un to starpība starp uzmērīšanas cikliem ir pieci gadi;
- ✓ parauglaukumā starp inventarizācijas periodā nav konstatēta koku ciršana.

Meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modeļi (2.4.-2.5. formulas) pārbaudīti četros variantos:

- ✓ šķērslaukuma izmaiņu prognoze starp pirmo un otro ciklu (5 gadu periods);
- ✓ šķērslaukuma izmaiņu prognoze starp otro un trešo ciklu (5 gadu periods);
- ✓ šķērslaukuma izmaiņu prognoze starp pirmo un trešo ciklu (10 gadu periods);
- ✓ šķērslaukuma izmaiņu prognoze starp pirmo, otro un trešo ciklu (5 un 10 gadu periods).

Jāatzīmē, ka kombinētajā 5 un 10 gadu cikla variantā netiek ņemta vērā auto korelācija.

Meža elementa šķērslaukuma izmaiņas modelētas datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows, izmantojot rīku *Non-linear regression*.

Vienādojumu atbilstība izvērtēta izmantojot sekojošus statistiskos rādītājus: 1) vidējā novirze (MRES), 2) procentuālā vidējā novirze (MRES%); 3) vidējā absolūtā novirze (AMRES); 4) standartnovirze (RMSE) 5) variācijas koeficients (RMSE%) 6) vidējā kvadrātiskā kļūda (MSE); 7) modeļa efektivitāte (MEF); un 8) dispersijas attiecība (VR). Rādītāju aprēķināšanas formulas dotas 1. pielikumā.

2.3.2. Rezultāti

2.3.2.1. Mežaudzes maksimālais šķērslaukums

Aproksimētas koeficientu vērtības 2.3. vienādojumam, kas paredzēts maksimālā mežaudzes šķērslaukuma modelēšanai (2.9. tabula).

2.9. tabula

Mežaudzes maksimālā šķērslaukuma modeļa (2.3. formula) koeficienti

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

Jaunais maksimālais šķērslaukums salīdzināts ar iepriekšējos gados izstrādāto maksimālo koku skaita šķērslaukumu (Donis, et al., 2015) un Latvijas normatīvajos aktos noteikto mežaudzes normālo šķērslaukumu.

Meža elementa maksimālā koku skaita aprēķināšanai izmantots vienādojums:

$$n_{max} = c_1 d^{c_2} h^{c_3} \quad (2.6)$$

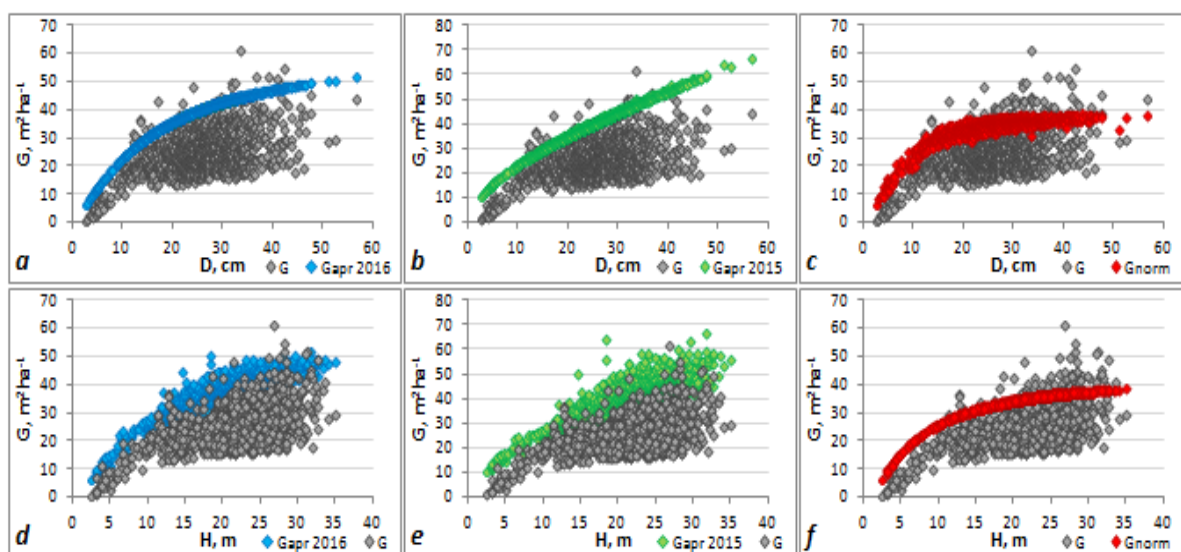
kur n_{max} – maksimālais mežaudzes koku skaits, ha^{-1}
 d – mežaudzes vidējais kvadrātiskais krūšaugstuma caurmērs, cm
 h – mežaudzes vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošais augstums, m
 $c_1; c_2; c_3$ – koeficienti (2.10. tabula).

2.10. tabula

Mežaudzes maksimālā koku skaita modeļa (2.6. formula) koeficienti

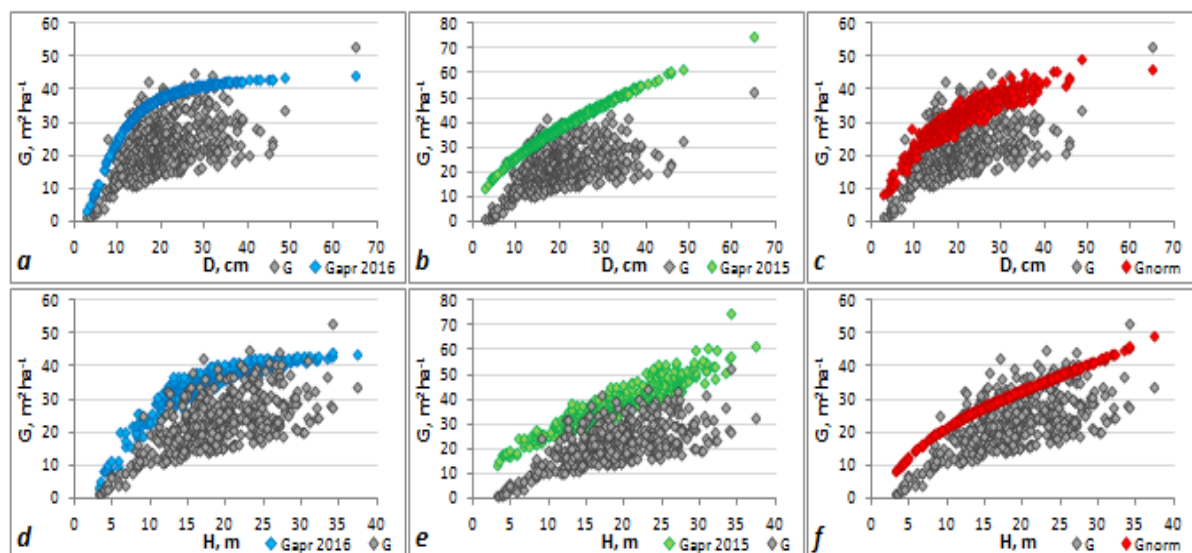
Meža elements	c1	c2	c3
Priede	83570	-1.366	-0.069
Egle 1.stāvs	103106	-1.381	-0.103
Bērzs	144400	-1.357	-0.302
Melnalksnis	197511	-1.314	-0.339
Apse	197511	-1.314	-0.339
Baltalksnis	197511	-1.314	-0.339

Gan maksimālais šķērslaukums (2.3. formula), gan maksimālā koku skaita šķērslaukums visām koku sugām ir sistemātiski lielāki nekā Latvijas normatīvajos aktos noteiktais normālais šķērslaukums (2.19. – 2.25. attēli), turklāt normālais šķērslaukums visām koku sugām ir ievērojami zemāks nekā MSI parauglaukumos konstatētie maksimālie šķērslaukumi. Mežaudzes maksimālais šķērslaukums salīdzinājumā ar mežaudzes maksimālā koku skaita šķērslaukumi lielāku dimensiju (lielāks caurmērs un lielāks augstums) uzrāda zemākas (konservatīvākas) šķērslaukuma vērtības, tādēļ maksimālā šķērslaukuma vienādojums būtu piemērotāks plašākai ekstrapolācijai.



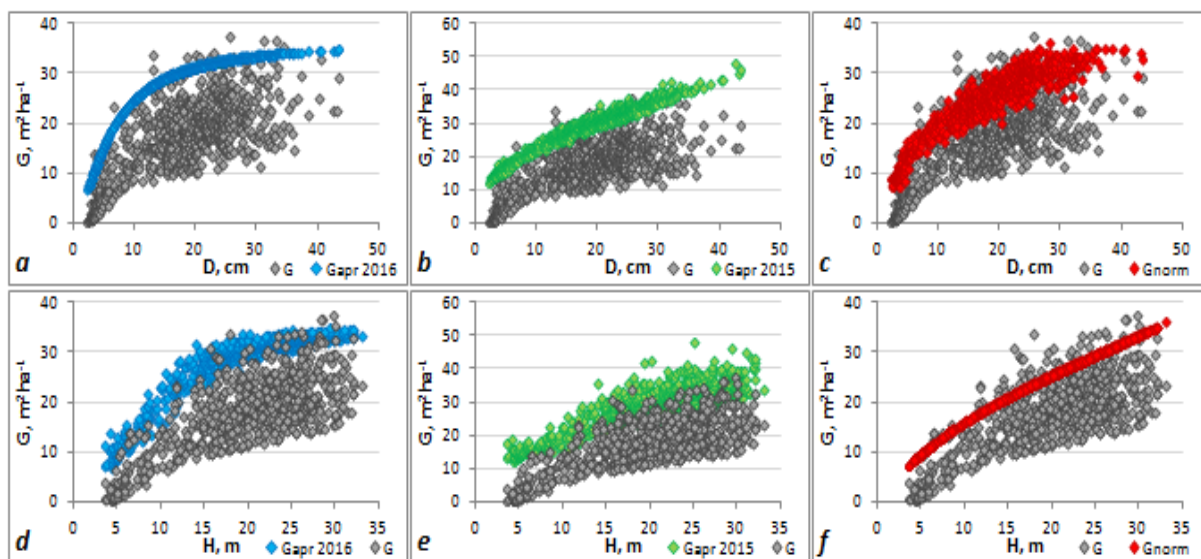
2.19. attēls. MSI parauglaukumos uzmērītais, maksimālais (Gapr2016), maksimālā koku skaita (Gapr2015) un normālais (Gnorm) mežaudzes šķērslaukums atkarībā no meža elementa vidējā krūšaugstuma caurmēra un vidējā augstuma priežu audzēs

a – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālais šķērslaukums (2.3. formula) atkarībā no mežaudzes vidējā krūšaugstuma caurmēra; b – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālā koku skaita šķērslaukums (Donis, et al., 2015) atkarībā no mežaudzes vidējā krūšaugstuma caurmēra; c – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un normālais šķērslaukums atkarībā no mežaudzes vidējā krūšaugstuma caurmēra; d – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālais šķērslaukums (2.3. formula) atkarībā no mežaudzes vidējā augstuma; e – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālā koku skaita šķērslaukums (Donis, et al., 2015) atkarībā no mežaudzes vidējā augstuma; f – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un normālais šķērslaukums atkarībā no mežaudzes vidējā augstuma.



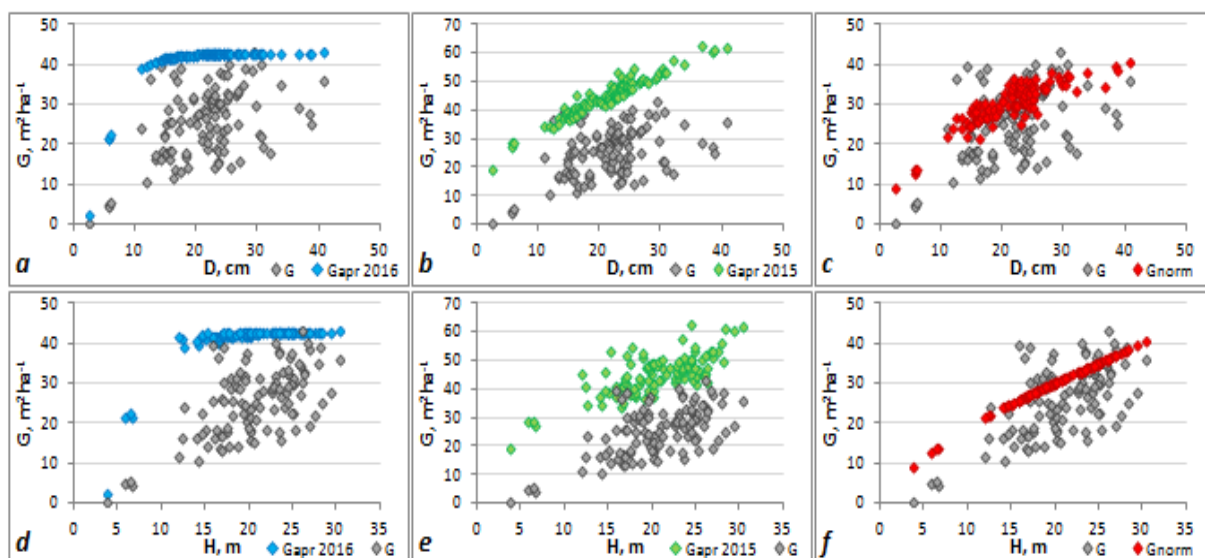
2.20. attēls. MSI parauglaukumos uzmērītais, maksimālais ($G_{apr2016}$), maksimālā koku skaita ($G_{apr2015}$) un normālais (G_{norm}) mežaudzes šķērslaukums atkarībā no meža elementa vidējā krūšaugstuma caurmēra un vidējā augstuma egļu audzēs

a – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālais šķērslaukums (2.3. formula) atkarībā no mežaudzes vidējā krūšaugstuma caurmēra; b – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālā koku skaita šķērslaukums (Donis, et al., 2015) atkarībā no mežaudzes vidējā krūšaugstuma caurmēra; c – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un normālais šķērslaukums atkarībā no mežaudzes vidējā krūšaugstuma caurmēra; d – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālais šķērslaukums (2.3. formula) atkarībā no mežaudzes vidējā augstuma; e – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālā koku skaita šķērslaukums (Donis, et al., 2015) atkarībā no mežaudzes vidējā augstuma; f – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un normālais šķērslaukums atkarībā no mežaudzes vidējā augstuma.



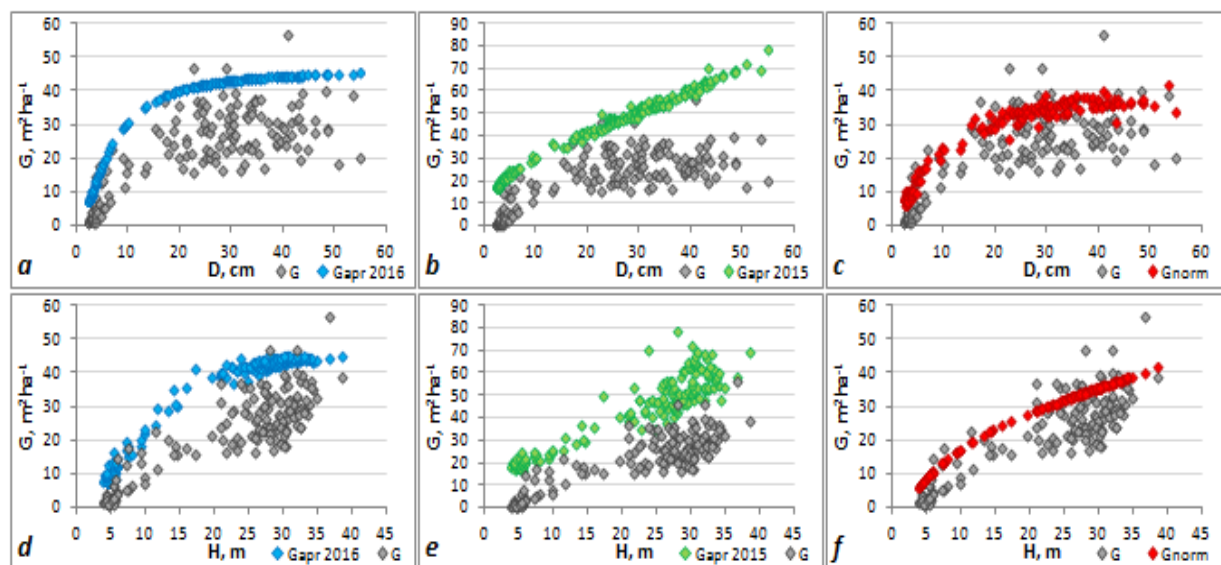
2.21. attēls. MSI parauglaukumos uzmērītais, maksimālais ($G_{apr2016}$), maksimālā koku skaita ($G_{apr2015}$) un normālais (G_{norm}) mežaudzes šķērslaukums atkarībā no meža elementa vidējā krūšaugstuma caurmēra un vidējā augstuma bērzu audzēs

a – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālais šķērslaukums (2.3. formula) atkarībā no mežaudzes vidējā krūšaugstuma caurmēra; b – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālā koku skaita šķērslaukums (Donis, et al., 2015) atkarībā no mežaudzes vidējā krūšaugstuma caurmēra; c – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un normālais šķērslaukums atkarībā no mežaudzes vidējā krūšaugstuma caurmēra; d – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālais šķērslaukums (2.3. formula) atkarībā no mežaudzes vidējā augstuma; e – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālā koku skaita šķērslaukums (Donis, et al., 2015) atkarībā no mežaudzes vidējā augstuma; f – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un normālais šķērslaukums atkarībā no mežaudzes vidējā augstuma.



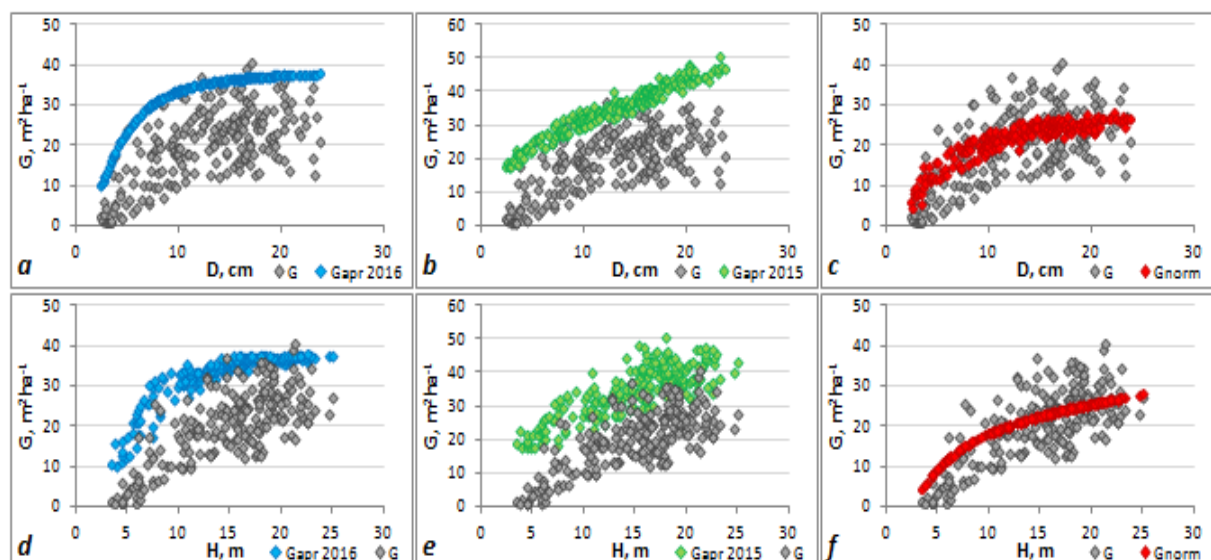
2.22. attēls. MSI parauglaukumos uzmērītais, maksimālais ($G_{apr2016}$), maksimālā koku skaita ($G_{apr2015}$) un normālais (G_{norm}) mežaudzes šķērslaukums atkarībā no meža elementa vidējā krūšaugstuma caurmēra un vidējā augstuma melnalkšņu audzēs

a – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālais šķērslaukums (2.3. formula) atkarībā no mežaudzes vidējā krūšaugstuma caurmēra; b – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālā koku skaita šķērslaukums (Donis, et al., 2015) atkarībā no mežaudzes vidējā krūšaugstuma caurmēra; c – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un normālais šķērslaukums atkarībā no mežaudzes vidējā krūšaugstuma caurmēra; d – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālais šķērslaukums (2.3. formula) atkarībā no mežaudzes vidējā augstuma; e – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālā koku skaita šķērslaukums (Donis, et al., 2015) atkarībā no mežaudzes vidējā augstuma; f – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un normālais šķērslaukums atkarībā no mežaudzes vidējā augstuma.



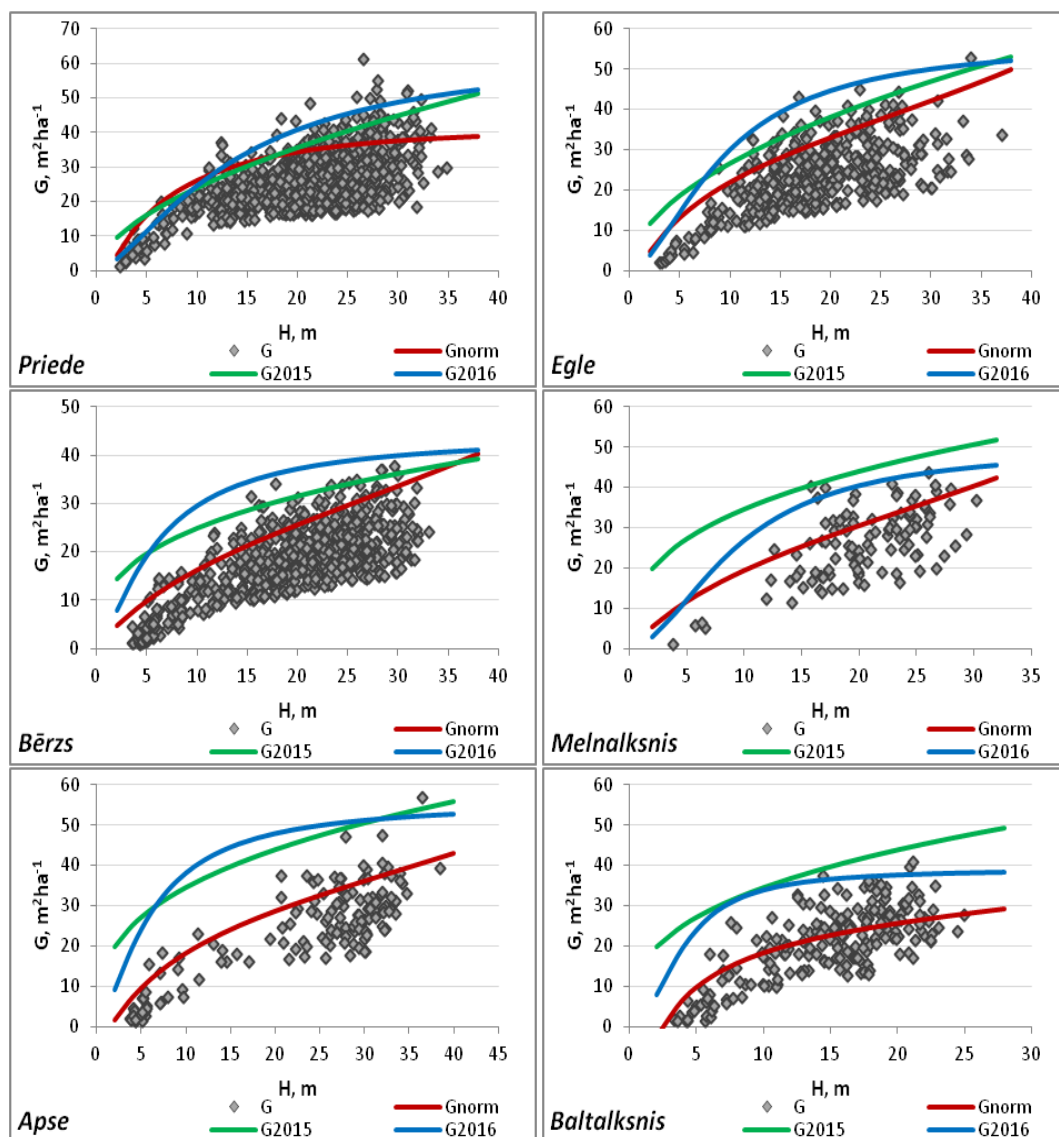
2.23. attēls. MSI parauglaukumos uzmērītais, maksimālais ($G_{apr2016}$), maksimālā koku skaita ($G_{apr2015}$) un normālais (G_{norm}) mežaudzes šķērslaukums atkarībā no meža elementa vidējā krūšaugstuma caurmēra un vidējā augstuma apšu audzēs

a – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālais šķērslaukums (2.3. formula) atkarībā no mežaudzes vidējā krūšaugstuma caurmēra; b – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālā koku skaita šķērslaukums (Donis, et al., 2015) atkarībā no mežaudzes vidējā krūšaugstuma caurmēra; c – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un normālais šķērslaukums atkarībā no mežaudzes vidējā krūšaugstuma caurmēra; d – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālais šķērslaukums (2.3. formula) atkarībā no mežaudzes vidējā augstuma; e – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālā koku skaita šķērslaukums (Donis, et al., 2015) atkarībā no mežaudzes vidējā augstuma; f – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un normālais šķērslaukums atkarībā no mežaudzes vidējā augstuma.



2.24. attēls. MSI parauglaukumos uzmērītais, maksimālais ($G_{apr2016}$), maksimālā koku skaita ($G_{apr2015}$) un normālais (G_{norm}) mežaudzes šķērslaukums atkarībā no meža elementa vidējā krūšaugstuma caurmēra un vidējā augstuma baltalkšņu audzēs

a – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālais šķērslaukums (2.3. formula) atkarībā no mežaudzes vidējā krūšaugstuma caurmēra; b – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālā koku skaita šķērslaukums (Donis, et al., 2015) atkarībā no mežaudzes vidējā krūšaugstuma caurmēra; c – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un normālais šķērslaukums atkarībā no mežaudzes vidējā krūšaugstuma caurmēra; d – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālais šķērslaukums (2.3. formula) atkarībā no mežaudzes vidējā augstuma; e – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un maksimālā koku skaita šķērslaukums (Donis, et al., 2015) atkarībā no mežaudzes vidējā augstuma; f – mežaudzes uzmērītais šķērslaukums un normālais šķērslaukums atkarībā no mežaudzes vidējā augstuma.



2.25. attēls. MSI parauglaukumos uzņēmātais, maksimālais (G_{2016}), maksimālā koku skaita (G_{2015}) un normālais (G_{norm}) mežaudzes šķērslaukums atkarībā no vidējā augstuma

Mežaudzes maksimālais šķērslaukums (2.3. formula) un maksimālā koku skaita šķērslaukums (Donis, et al., 2015) aprēķināts pie H/D attiecības 1,0.

2.3.2.2. Meža elementa šķērslaukuma izmaiņas

Datu analizē izmantoto atsevišķu meža elementu šķērslaukuma izmaiņu modeļu koeficientu vērtības apkopotas 2.11. tabulā.

2.11. tabula

Meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modeļu (2.4.-2.5. formulas) koeficientu vērtības

Suga	2.4. vienādojums				2.5. vienādojums		
	b1	b2	b3	b4	b0	b1	b2
Priede	0.24484	-0.06704	0.31328	-0.48435	0.01800	-0.01139	12.01519
Egle	0.11491	-0.03340	0.28358	-0.04354	0.02787	-0.02145	12.57435
Bērzs	0.09380	-0.00029	0.22535	-0.21692	0.05146	-0.06896	8.81694
Melnalksnis	0.16641	-0.00428	0.08865	-0.33109	0.05924	-0.08500	3.36282
Apse	0.16636	-0.01092	0.20362	-0.14865	0.05660	-0.06663	12.13606
Baltalksnis	0.07472	-0.00448	0.50246	-0.62516	0.06862	-0.16547	6.29221
Egle 2.stāvs	0.11491	-0.03340	0.28358	-0.04354	0.02787	-0.02145	12.57435

Iepriekš izstrādātajam modelim (2.4. formula) prognozētā šķerslaukuma vidējā novirze gan 5 gadu cikliem, gan 10 gadu ciklā nav lielāka par $\pm 1 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$, kas visos gadījumos ir arī mazāka par 10 % no meža elementa uzmērītā šķerslaukuma. Jaunais modelis (2.5. formula) visiem meža elementiem prognozē sistemātiski lielāku šķerslaukuma pieaugumu nekā uzmērītais, atsevišķos gadījumos novirze pat pārsniedz $\pm 1 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$ un 10 % sliekšni (2.12. tabula).

2.12. tabula

Iepriekš izstrādātā un jaunā meža elementa šķerslaukuma izmaiņu modeļu (2.4.-2.5. formulas)
prognozētā šķerslaukuma statistiskie rādītāji

Cikli	Suga	Formula	Aritm. vid.	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	VR	R	N
1.cikl.vs 2. cikls (5gadi)	Priede	2.4.	18.43	0.26	1.4	1.00	1.46	8	2.13	1.032	0.989	479
		2.5.	18.43	-0.17	-0.9	0.84	1.30	7	1.69	1.035	0.992	479
	Egle	2.4.	11.82	0.35	3.0	1.30	2.03	17	4.09	0.992	0.966	368
		2.5.	11.82	-0.27	-2.3	1.19	2.03	17	4.13	1.172	0.971	368
	Bērzs	2.4.	9.94	0.35	3.6	1.05	1.66	17	2.76	1.002	0.967	506
		2.5.	9.94	-0.30	-3.0	0.97	1.52	15	2.32	1.154	0.977	506
	Melnalksnis	2.4.	10.72	0.50	4.7	1.07	1.48	14	2.18	1.000	0.988	131
		2.5.	10.72	-0.18	-1.7	0.84	1.37	13	1.87	1.048	0.989	131
	Apse	2.4.	12.18	0.39	3.2	1.33	1.97	16	3.82	1.058	0.978	101
		2.5.	12.18	-0.13	-1.1	1.27	1.94	16	3.74	1.212	0.983	101
	Baltalksnis	2.4.	11.63	0.61	5.2	1.90	2.60	22	6.70	0.856	0.959	120
		2.5.	11.63	-1.29	-11.1	1.97	2.82	24	7.87	1.206	0.969	120
	Egle 2.stāvs	2.4.	5.33	0.26	4.8	0.65	0.90	17	0.80	1.008	0.974	446
		2.5.	5.33	-0.15	-2.7	0.62	0.95	18	0.90	1.006	0.970	446
2.cikl.vs 3. cikls (5gadi)	Priede	2.4.	18.67	-0.26	-1.4	1.07	1.71	9	2.93	1.042	0.986	415
		2.5.	18.67	-0.62	-3.3	1.11	1.96	10	3.83	1.044	0.983	415
	Egle	2.4.	12.43	0.08	0.6	1.08	1.69	14	2.86	0.952	0.978	308
		2.5.	12.43	-0.55	-4.4	1.23	2.08	17	4.32	1.110	0.973	308
	Bērzs	2.4.	10.10	-0.31	-3.1	1.01	1.66	16	2.76	1.012	0.968	453
		2.5.	10.10	-0.94	-9.3	1.32	2.16	21	4.66	1.178	0.962	453
	Melnalksnis	2.4.	11.33	0.03	0.2	0.99	1.43	13	2.04	1.000	0.989	123
		2.5.	11.33	-0.61	-5.4	1.22	1.90	17	3.58	1.051	0.983	123
	Apse	2.4.	12.73	-0.56	-4.4	1.18	2.00	16	3.96	0.963	0.975	86
		2.5.	12.73	-1.09	-8.6	1.83	3.11	24	9.57	1.023	0.945	86
	Baltalksnis	2.4.	12.17	-0.26	-2.2	1.75	2.37	19	5.55	1.014	0.965	97
		2.5.	12.17	-2.25	-18.5	2.81	4.29	35	18.18	1.346	0.939	97
	Egle 2.stāvs	2.4.	5.46	-0.08	-1.5	0.72	1.03	19	1.07	1.070	0.968	421
		2.5.	5.46	-0.59	-10.7	0.84	1.30	24	1.68	1.077	0.960	421
1.cikl.vs 3. cikls (10 gadi)	Priede	2.4.	18.69	0.00	0.0	1.57	2.21	12	4.86	1.082	0.977	407
		2.5.	18.69	-0.80	-4.3	1.64	2.45	13	5.98	1.079	0.974	407
	Egle	2.4.	12.53	0.51	4.1	1.97	3.08	25	9.45	0.948	0.929	301
		2.5.	12.53	-0.80	-6.4	2.19	3.63	29	13.16	1.310	0.926	301
	Bērzs	2.4.	10.18	0.06	0.6	1.60	2.52	25	6.34	1.024	0.926	443
		2.5.	10.18	-1.32	-13.0	2.14	3.40	33	11.54	1.415	0.918	443
	Melnalksnis	2.4.	11.49	0.66	5.8	1.66	2.28	20	5.16	0.993	0.974	120
		2.5.	11.49	-0.80	-7.0	1.86	2.76	24	7.58	1.124	0.966	120
	Apse	2.4.	13.09	-0.13	-1.0	1.96	2.76	21	7.51	1.112	0.954	81
		2.5.	13.09	-1.00	-7.6	2.53	4.14	32	16.91	1.380	0.923	81
	Baltalksnis	2.4.	12.35	0.62	5.0	2.66	3.62	29	12.97	0.859	0.917	94
		2.5.	12.35	-4.02	-32.6	4.74	6.93	56	47.56	1.761	0.893	94
	Egle 2.stāvs	2.4.	5.72	0.26	4.5	1.10	1.50	26	2.23	1.080	0.938	354
		2.5.	5.72	-0.65	-11.4	1.31	2.03	36	4.12	1.106	0.895	354
visi kopā (5 un 10 gadi)	Priede	2.4.	18.59	0.01	0.1	1.20	1.80	10	3.22	1.052	0.984	1301
		2.5.	18.59	-0.51	-2.8	1.18	1.92	10	3.70	1.053	0.983	1301
	Egle	2.4.	12.23	0.32	2.6	1.44	2.31	19	5.32	0.965	0.958	977
		2.5.	12.23	-0.52	-4.3	1.51	2.63	22	6.93	1.198	0.956	977
	Bērzs	2.4.	10.07	0.04	0.4	1.21	1.97	20	3.88	1.015	0.953	1402
		2.5.	10.07	-0.83	-8.2	1.46	2.44	24	5.96	1.252	0.949	1402
	Melnalksnis	2.4.	11.17	0.40	3.6	1.23	1.75	16	3.04	0.999	0.983	374
		2.5.	11.17	-0.52	-4.7	1.29	2.05	18	4.19	1.077	0.979	374
	Apse	2.4.	12.63	-0.07	-0.6	1.47	2.21	17	4.86	1.049	0.969	268
		2.5.	12.63	-0.70	-5.6	1.83	3.07	24	9.36	1.209	0.951	268
	Baltalksnis	2.4.	12.02	0.34	2.8	2.08	2.85	24	8.07	0.909	0.947	311
		2.5.	12.02	-2.42	-20.1	3.07	4.76	40	22.59	1.442	0.927	311
	Egle 2.stāvs	2.4.	5.49	0.14	2.6	0.81	1.14	21	1.30	1.053	0.960	1221
		2.5.	5.49	-0.44	-8.1	0.90	1.45	26	2.09	1.069	0.941	1221

Iepriekš izstrādātā modeļa prognozētā vidējā periodiskā šķērslaukuma vidējā novirze ir robežās no $-0,11 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$ līdz $+0,12 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$, savukārt jaunajam modelim šis rādītājs ir robežās no $-0,14 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$ līdz $+0,23 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$ (2.13. tabula).

2.13. tabula

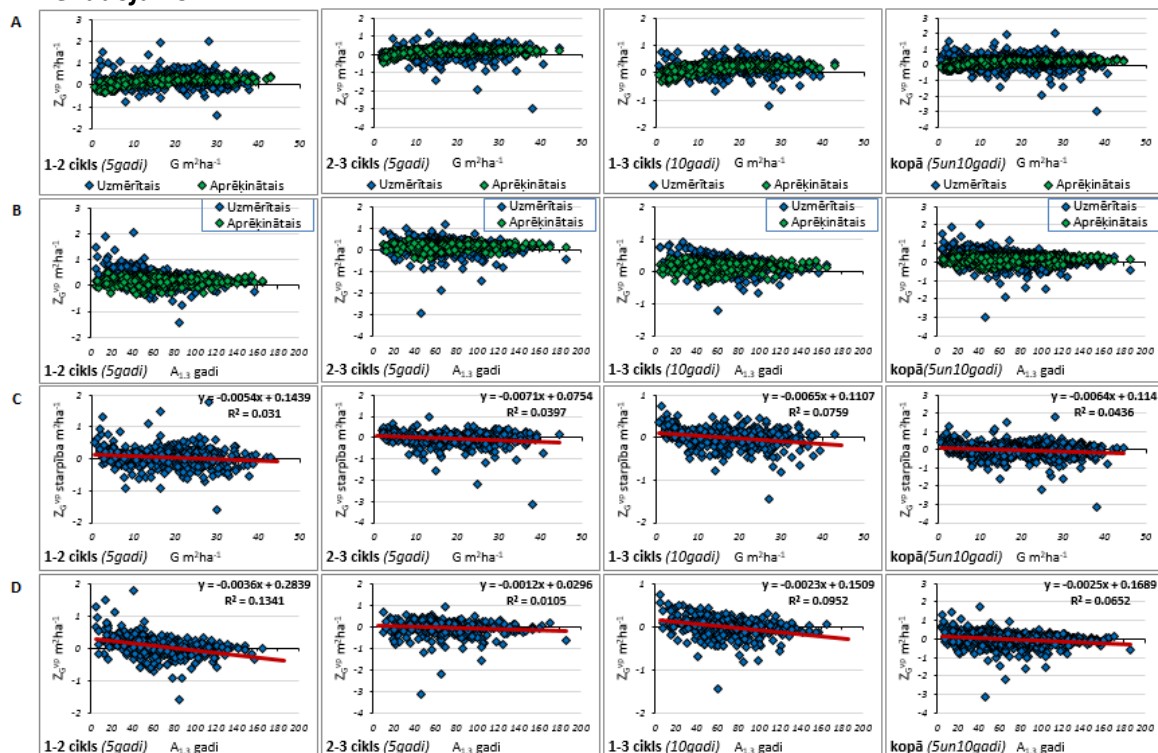
Iepriekš izstrādātā un jaunā meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modeļu (2.4.-2.5. formulas) prognozētā šķērslaukuma vidējā periodiskā pieauguma statistiskie rādītāji

Cikli	Suga	Formula	Aritm. vid.	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	VR	R	N
1.cikl.vs 2. cikls (5gadi)	Priede	2.4.	0.23	0.05	22.6	0.20	0.29	129	0.09	0.239	0.331	479
		2.5.	0.23	-0.02	-8.1	0.21	0.30	133	0.09	0.000	0.000	479
	Egle	2.4.	0.27	0.07	26.5	0.26	0.41	151	0.16	0.069	0.389	368
		2.5.	0.27	0.15	57.0	0.30	0.46	170	0.21	0.000	0.000	368
	Bērzs	2.4.	0.22	0.07	32.5	0.21	0.33	153	0.11	0.071	0.347	506
		2.5.	0.22	0.12	56.9	0.23	0.37	169	0.13	0.000	0.000	506
	Melnalksnis	2.4.	0.24	0.10	42.3	0.21	0.30	124	0.09	0.238	0.470	131
		2.5.	0.24	0.07	30.2	0.22	0.32	136	0.10	0.000	0.000	131
	Apse	2.4.	0.40	0.08	19.7	0.27	0.39	99	0.15	0.153	0.207	101
		2.5.	0.40	0.23	58.2	0.30	0.45	114	0.20	0.000	0.000	101
	Baltalksnis	2.4.	0.16	0.12	77.6	0.38	0.52	333	0.27	0.134	0.289	120
		2.5.	0.16	0.08	52.2	0.38	0.53	341	0.28	0.000	0.000	120
	Egle 2.stāvs	2.4.	0.13	0.05	39.8	0.13	0.18	139	0.03	0.406	0.392	446
		2.5.	0.13	0.01	11.0	0.12	0.18	140	0.03	0.000	0.000	446
2.cikl.vs 3. cikls (5gadi)	Priede	2.4.	0.12	-0.05	-45.4	0.21	0.34	298	0.12	0.184	0.241	415
		2.5.	0.12	-0.13	-112.5	0.24	0.37	318	0.13	0.000	0.000	415
	Egle	2.4.	0.20	0.02	7.8	0.22	0.34	169	0.11	0.095	0.424	308
		2.5.	0.20	0.09	42.9	0.25	0.38	189	0.14	0.000	0.000	308
	Bērzs	2.4.	0.07	-0.06	-84.4	0.20	0.33	446	0.11	0.073	0.237	453
		2.5.	0.07	-0.02	-25.8	0.21	0.34	452	0.11	0.000	0.000	453
	Melnalksnis	2.4.	0.15	0.01	3.6	0.20	0.29	197	0.08	0.250	0.390	123
		2.5.	0.15	-0.02	-14.3	0.22	0.31	213	0.10	0.000	0.000	123
	Apse	2.4.	0.23	-0.11	-49.1	0.24	0.40	176	0.16	0.112	0.342	86
		2.5.	0.23	0.06	26.7	0.28	0.41	182	0.17	0.000	0.000	86
	Baltalksnis	2.4.	-0.06	-0.05	85.1	0.35	0.47	-762	0.22	0.170	0.302	97
		2.5.	-0.06	-0.14	220.2	0.35	0.51	-820	0.26	0.000	0.000	97
	Egle 2.stāvs	2.4.	0.04	-0.02	-44.2	0.14	0.21	556	0.04	0.283	0.252	421
		2.5.	0.04	-0.08	-208.9	0.16	0.22	589	0.05	0.000	0.000	421
1.cikl.vs 3. cikls (10 gadi)	Priede	2.4.	0.17	0.00	0.1	0.16	0.22	130	0.05	0.370	0.377	407
		2.5.	0.17	-0.08	-44.2	0.18	0.24	143	0.06	0.000	0.000	407
	Egle	2.4.	0.24	0.05	21.7	0.20	0.31	130	0.09	0.092	0.462	301
		2.5.	0.24	0.12	51.5	0.24	0.36	151	0.13	0.000	0.000	301
	Bērzs	2.4.	0.14	0.01	4.0	0.16	0.25	175	0.06	0.084	0.392	443
		2.5.	0.14	0.05	34.7	0.18	0.28	193	0.08	0.000	0.000	443
	Melnalksnis	2.4.	0.20	0.07	33.2	0.17	0.23	114	0.05	0.359	0.532	120
		2.5.	0.20	0.03	16.7	0.19	0.26	130	0.07	0.000	0.000	120
	Apse	2.4.	0.30	-0.01	-4.4	0.20	0.28	91	0.08	0.214	0.245	81
		2.5.	0.30	0.14	44.9	0.21	0.31	103	0.10	0.000	0.000	81
	Baltalksnis	2.4.	0.08	0.06	76.8	0.27	0.36	450	0.13	0.211	0.323	94
		2.5.	0.08	0.01	7.2	0.26	0.37	463	0.14	0.000	0.000	94
	Egle 2.stāvs	2.4.	0.09	0.03	28.7	0.11	0.15	165	0.02	0.411	0.382	354
		2.5.	0.09	-0.02	-26.9	0.12	0.16	172	0.02	0.000	0.000	354
visi kopā (5 un 10 gadi)	Priede	2.4.	0.17	0.00	1.3	0.19	0.29	167	0.08	0.235	0.305	1301
		2.5.	0.17	-0.07	-41.3	0.21	0.31	177	0.09	0.000	0.000	1301
	Egle	2.4.	0.24	0.05	20.0	0.23	0.36	150	0.13	0.082	0.419	977
		2.5.	0.24	0.12	51.5	0.27	0.40	170	0.16	0.000	0.000	977
	Bērzs	2.4.	0.15	0.01	4.8	0.19	0.31	208	0.10	0.072	0.322	1402
		2.5.	0.15	0.05	36.7	0.21	0.33	223	0.11	0.000	0.000	1402
	Melnalksnis	2.4.	0.20	0.06	29.9	0.19	0.27	138	0.07	0.267	0.453	374
		2.5.	0.20	0.03	14.9	0.21	0.30	152	0.09	0.000	0.000	374
	Apse	2.4.	0.31	-0.01	-3.3	0.24	0.36	114	0.13	0.142	0.245	268
		2.5.	0.31	0.15	47.0	0.27	0.40	126	0.16	0.000	0.000	268
	Baltalksnis	2.4.	0.07	0.05	75.0	0.34	0.46	700	0.21	0.156	0.312	311
		2.5.	0.07	-0.01	-14.6	0.33	0.48	730	0.23	0.000	0.000	311
	Egle 2.stāvs	2.4.	0.09	0.02	23.9	0.13	0.18	210	0.03	0.341	0.344	1221
		2.5.	0.09	-0.03	-33.3	0.13	0.19	218	0.04	0.000	0.000	1221

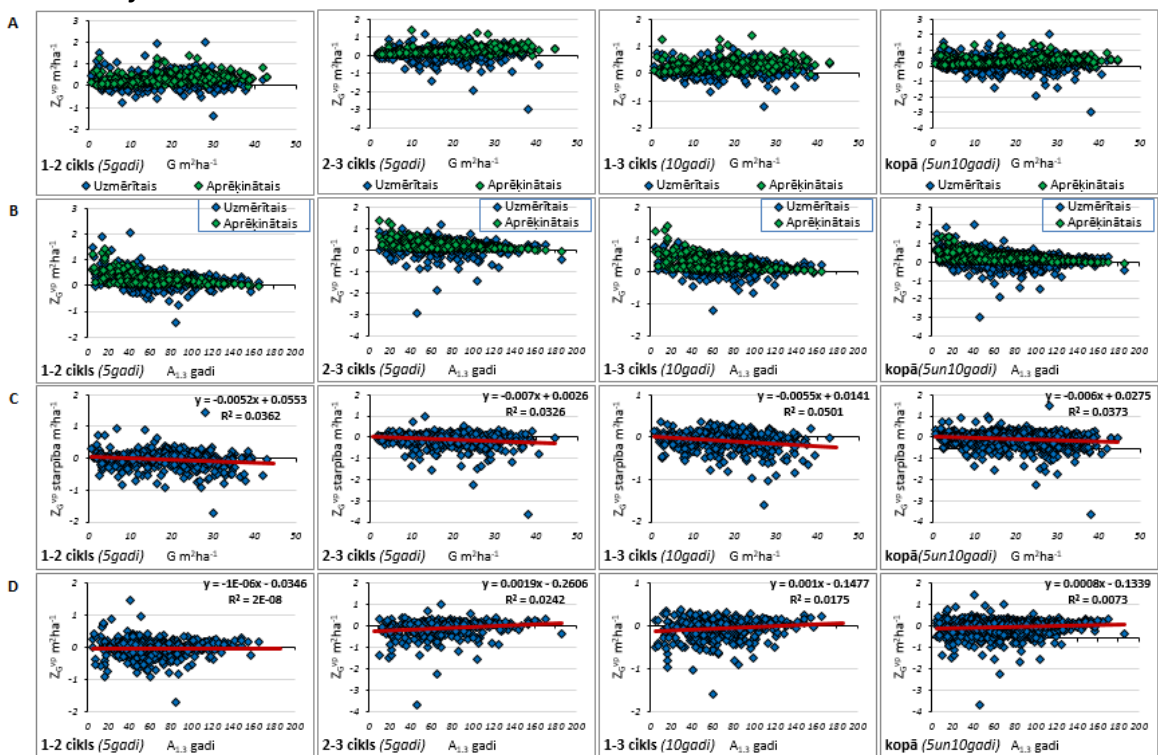
Abiem šķērslaukuma prognožu modeļiem praktiski visos gadījumos šķērslaukuma vidējā periodiskā pieauguma novirzei konstatētas vājas lineārās korelācijas ar meža elementa krūšaugstuma vecuma un sākotnēju meža elementa šķērslaukumu (2.26.-2.32 attēli). Vairumā gadījumu lielā novērojumu skaita dēļ šīs sakarības ir statistiski būtiskas.

Īslaicīgā šķērslaukuma izmaiņu modelēšanā par piemērotāku uzskatāms 2.4. vienādojums, jo tam ir augstāki statistiskie rādītāji.

2.4. vienādojums



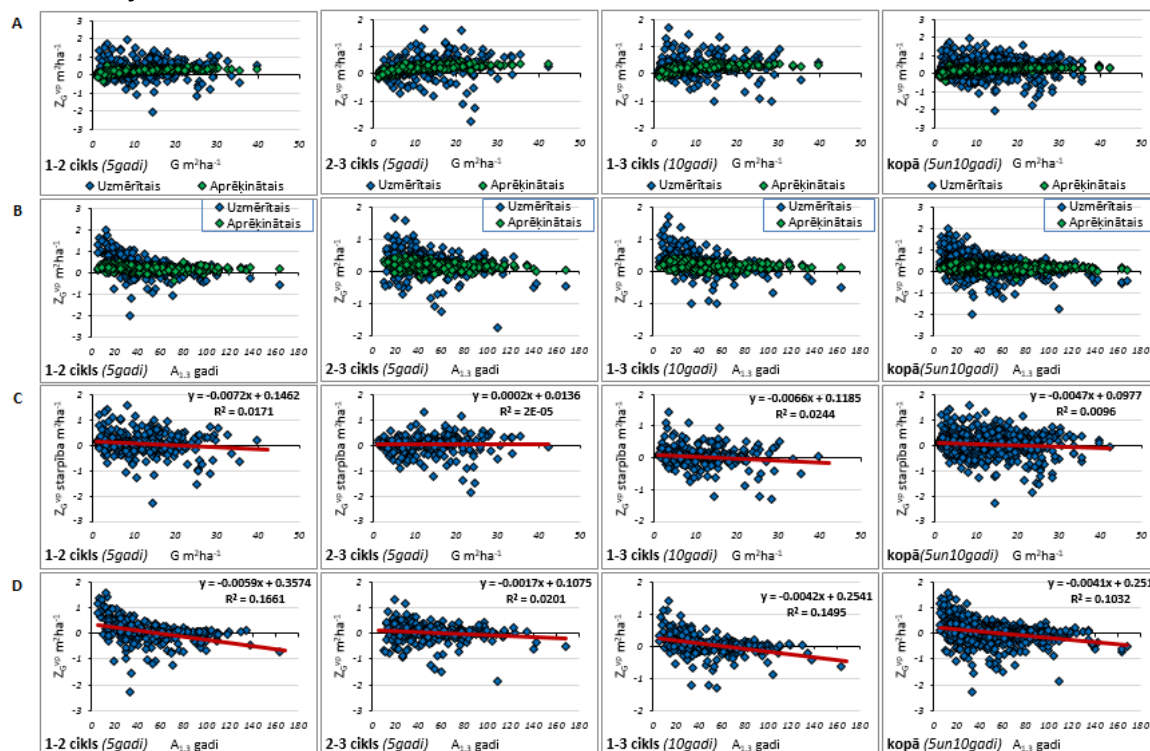
2.5. vienādojums



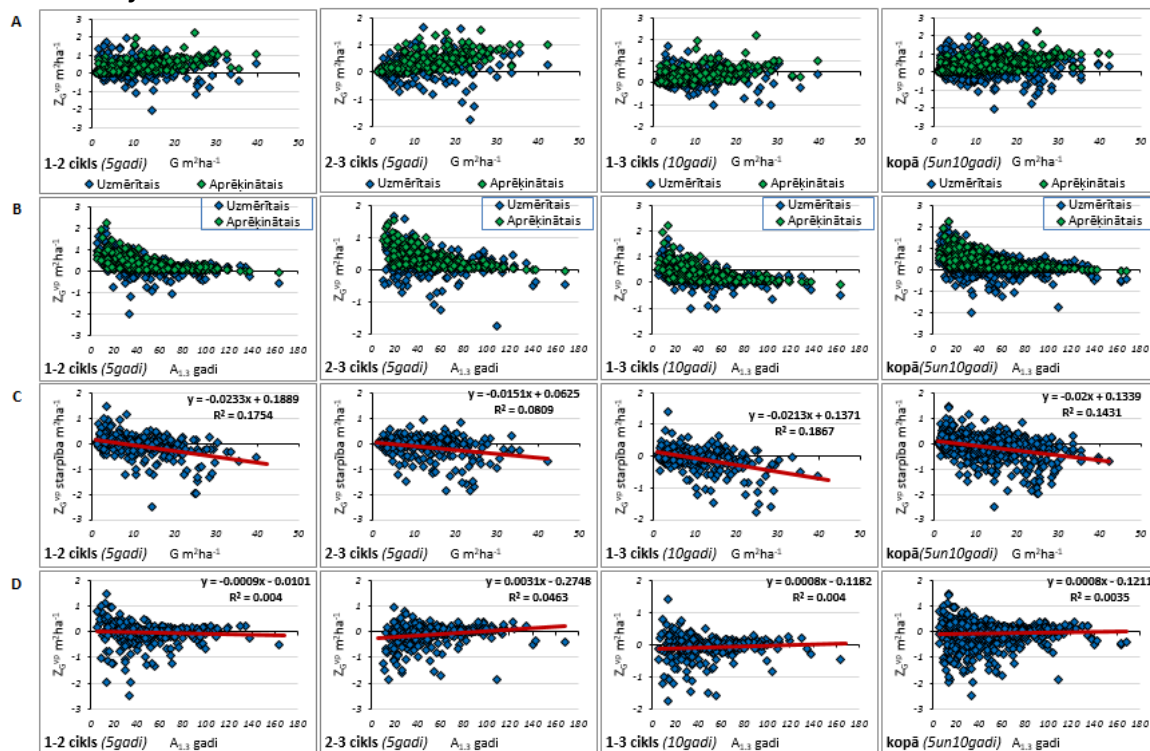
2.26. attēls. Priedes I stāva uzmērītais un aprēķinātais vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums un šo rādītāju starpība atkarībā no periodu garuma, sākotnējā šķērslaukuma un krūšaugstuma vecuma

A – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums atkarībā no sākotnējā šķērslaukuma; B – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma; C – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko šķērslaukuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā šķērslaukuma; D – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko šķērslaukuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma.

2.4. vienādojums

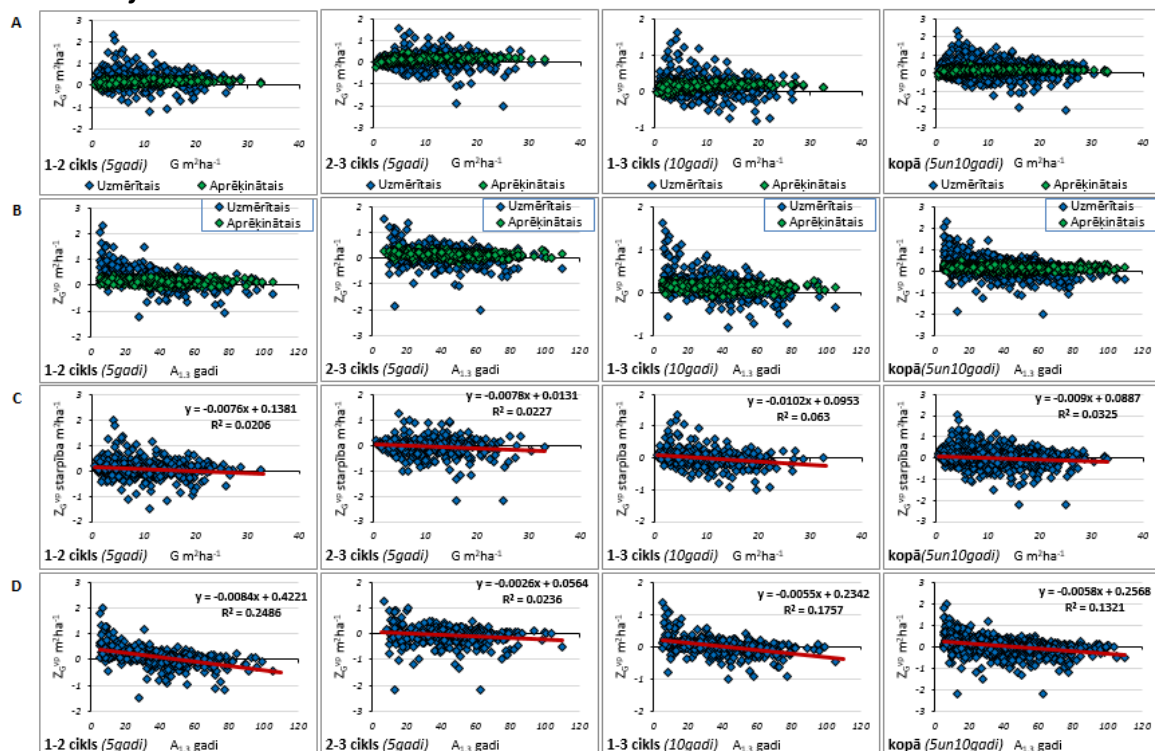


2.5. vienādojums

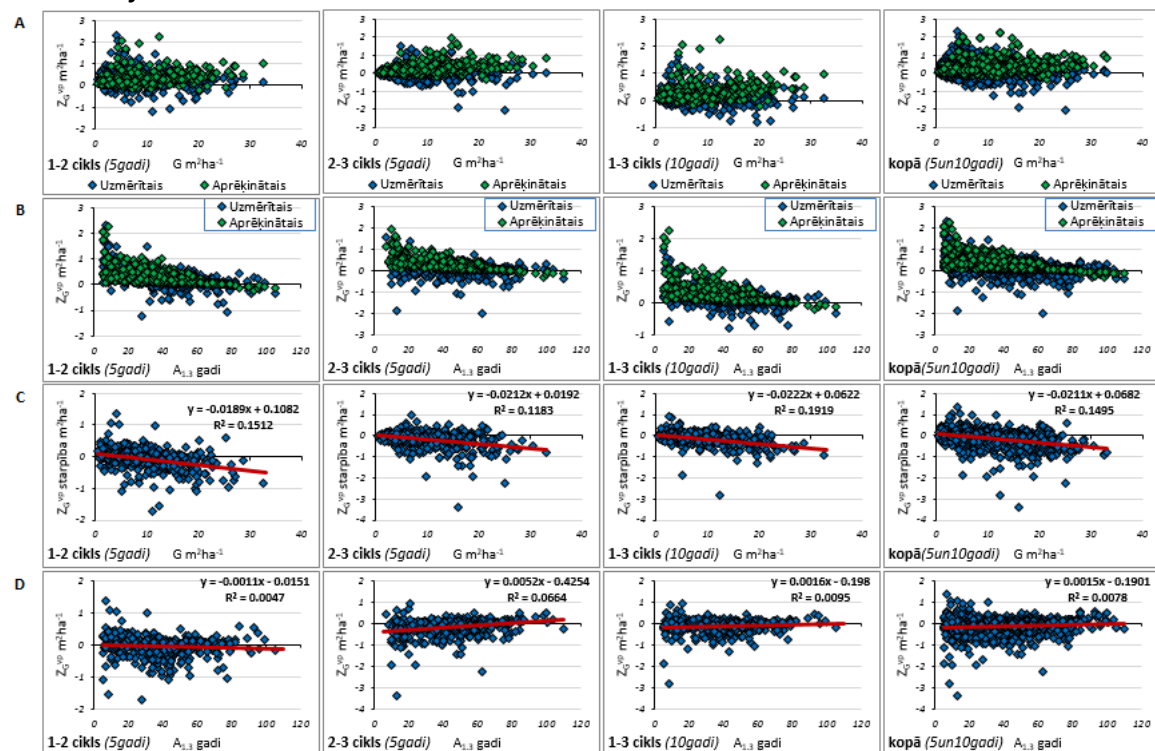


2.27. attēls. Egles I stāva uzmērītais un aprēķinātais vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums un šo rādītāju starpība atkarībā no periodu garuma, sākotnējā šķērslaukuma un krūšaugstuma vecuma
A – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums atkarībā no sākotnējā šķērslaukuma; B – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma; C – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko šķērslaukuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā šķērslaukuma; D – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko šķērslaukuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma.

2.4. vienādojums



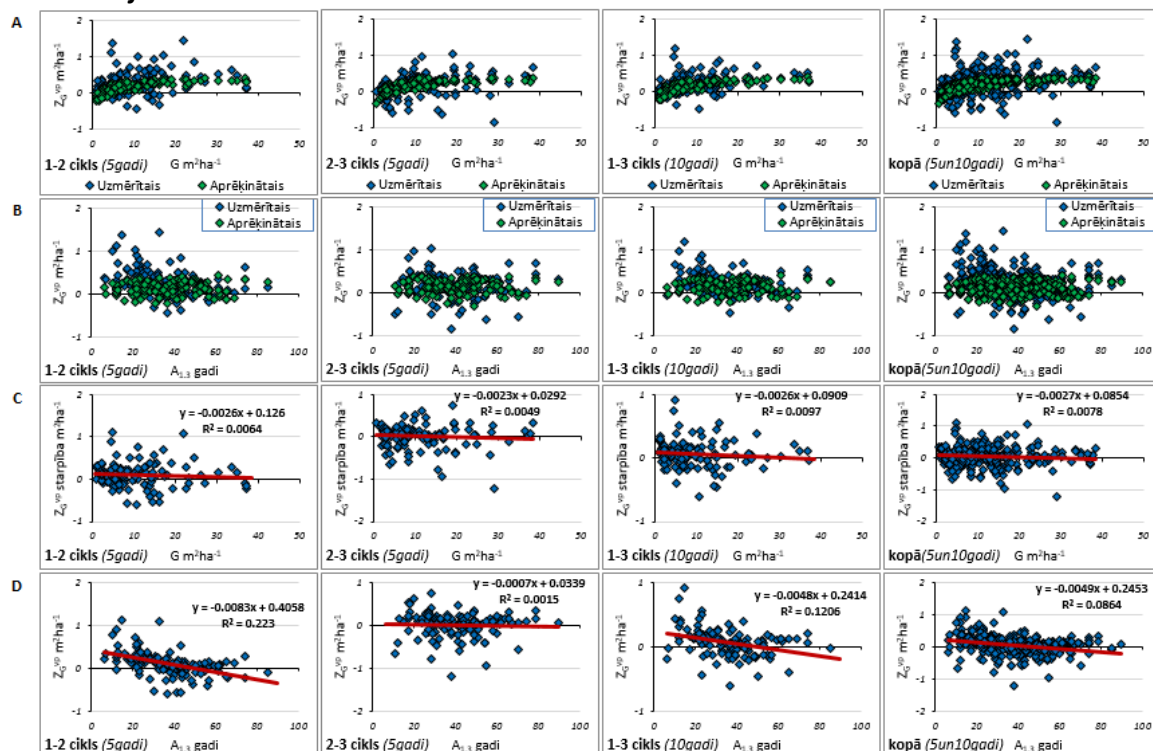
2.5. vienādojums



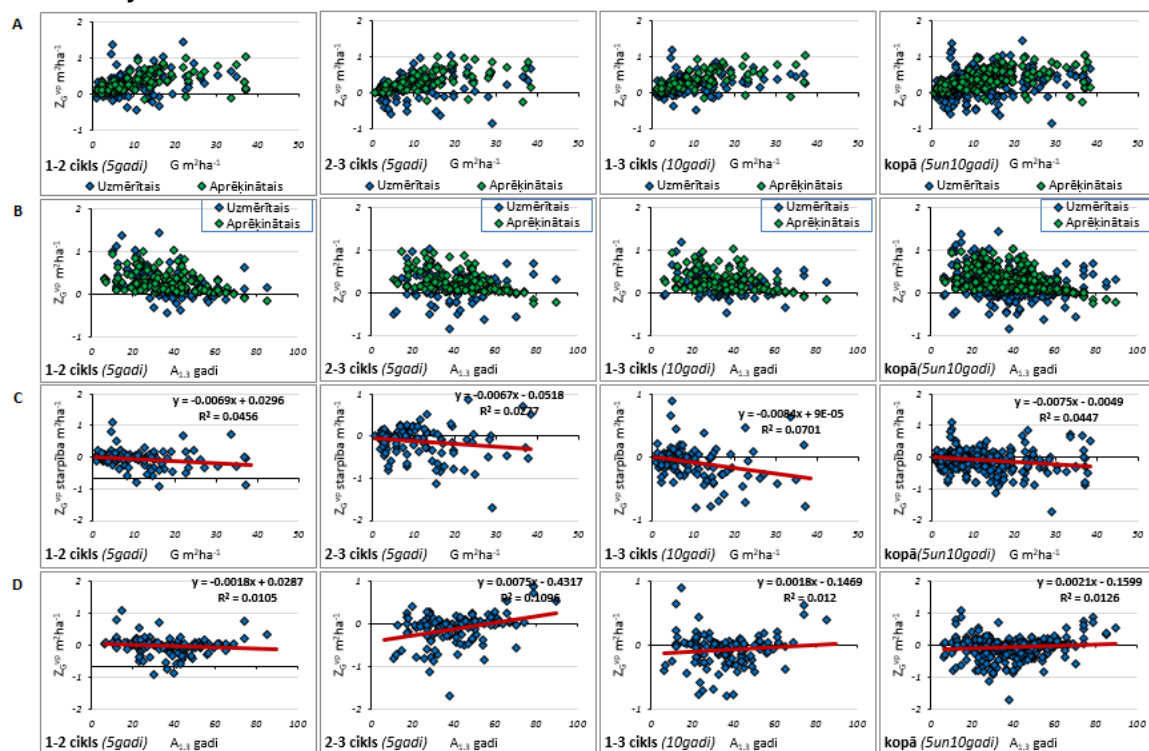
2.28. attēls. Bērza I stāva uzmērītais un aprēķinātais vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums un šo rādītāju starpība atkarībā no periodu garuma, sākotnējā šķērslaukuma un krūšaugstuma vecuma

A – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums atkarībā no sākotnējā šķērslaukuma; B – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma; C – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko šķērslaukuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā šķērslaukuma; D – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko šķērslaukuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma.

2.4. vienādojums



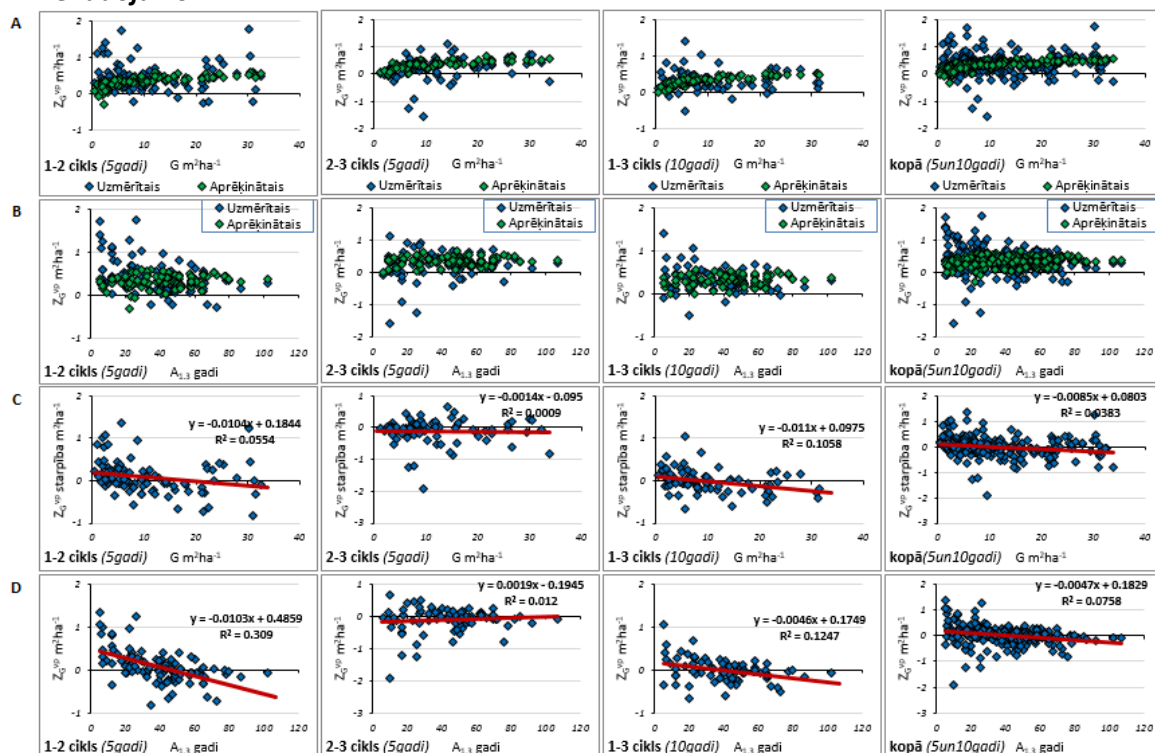
2.5. vienādojums



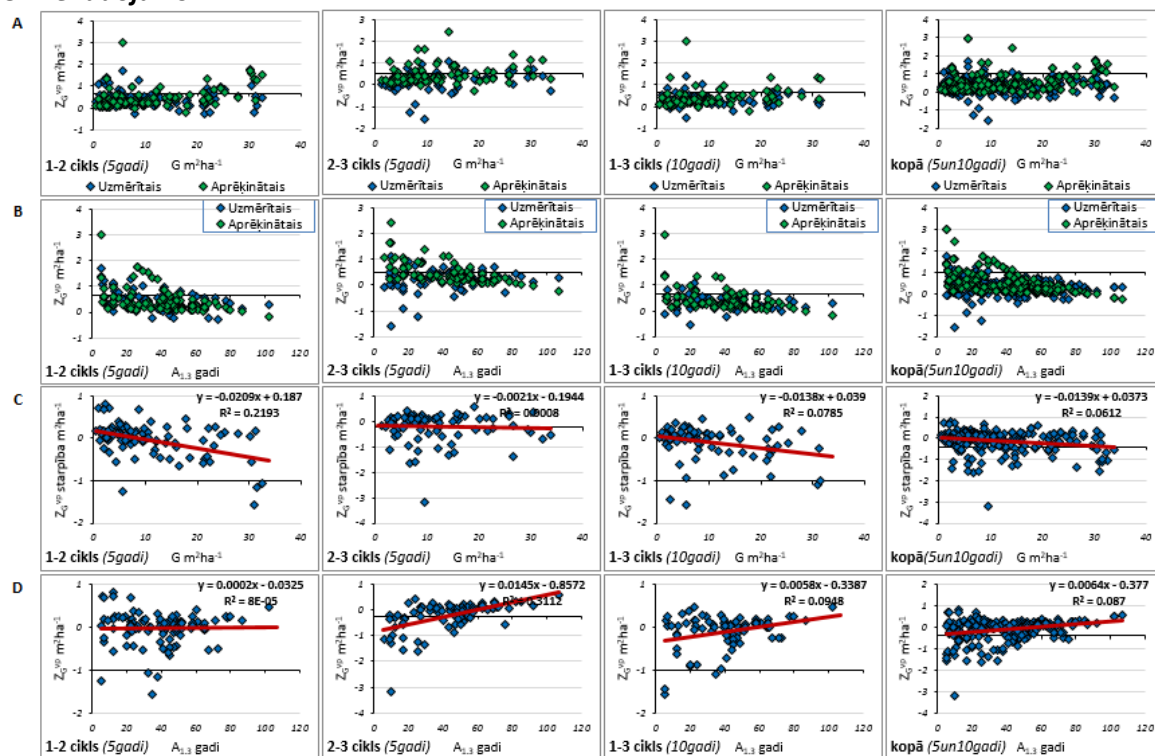
2.29. attēls. Melnalkšņa I stāva uzmērītais un aprēķinātais vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums un šo rādītāju starpība atkarībā no periodu garuma, sākotnējā šķērslaukuma un krūšaugstuma vecuma

A – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums atkarībā no sākotnējā šķērslaukuma; B – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma; C – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko šķērslaukuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā šķērslaukuma; D – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko šķērslaukuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma.

2.4. vienādojums



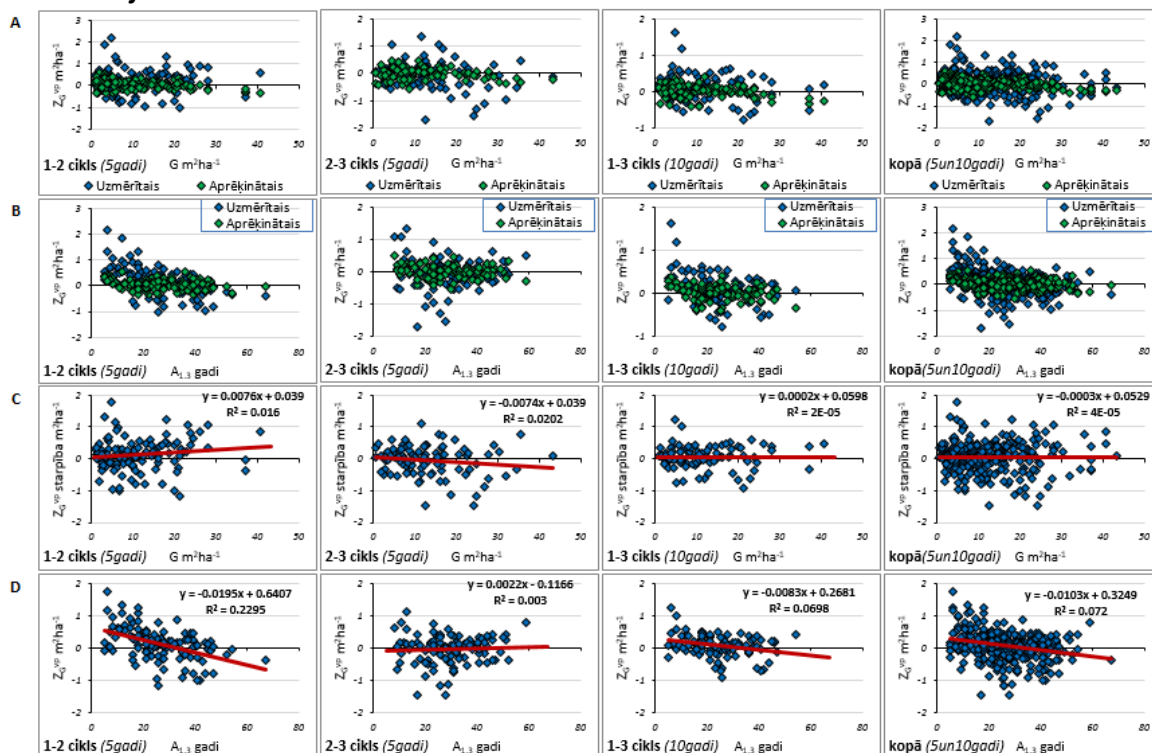
2.5. vienādojums



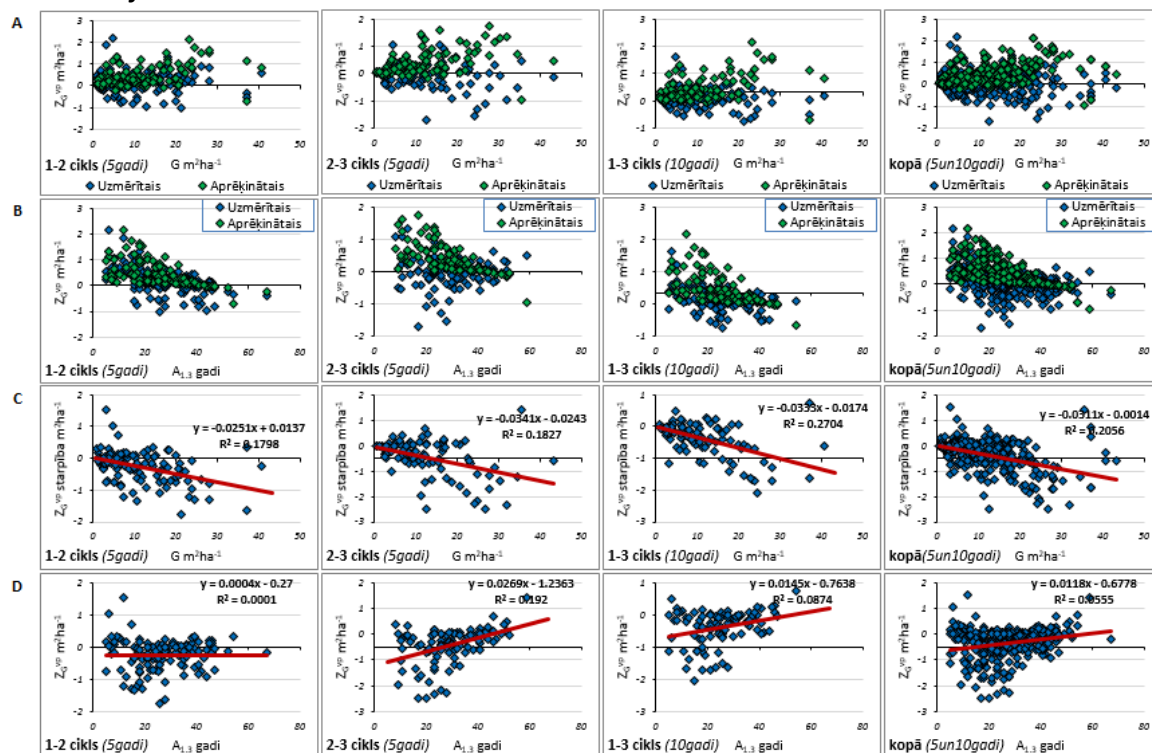
2.30. attēls. Apes I stāva uzmērītais un aprēķinātais vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums un šo rādītāju starpība atkarībā no periodu garuma, sākotnējā šķērslaukuma un krūšaugstuma vecuma

A – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums atkarībā no sākotnējā šķērslaukuma; B – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma; C – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko šķērslaukuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā šķērslaukuma; D – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko šķērslaukuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma.

2.4. vienādojums



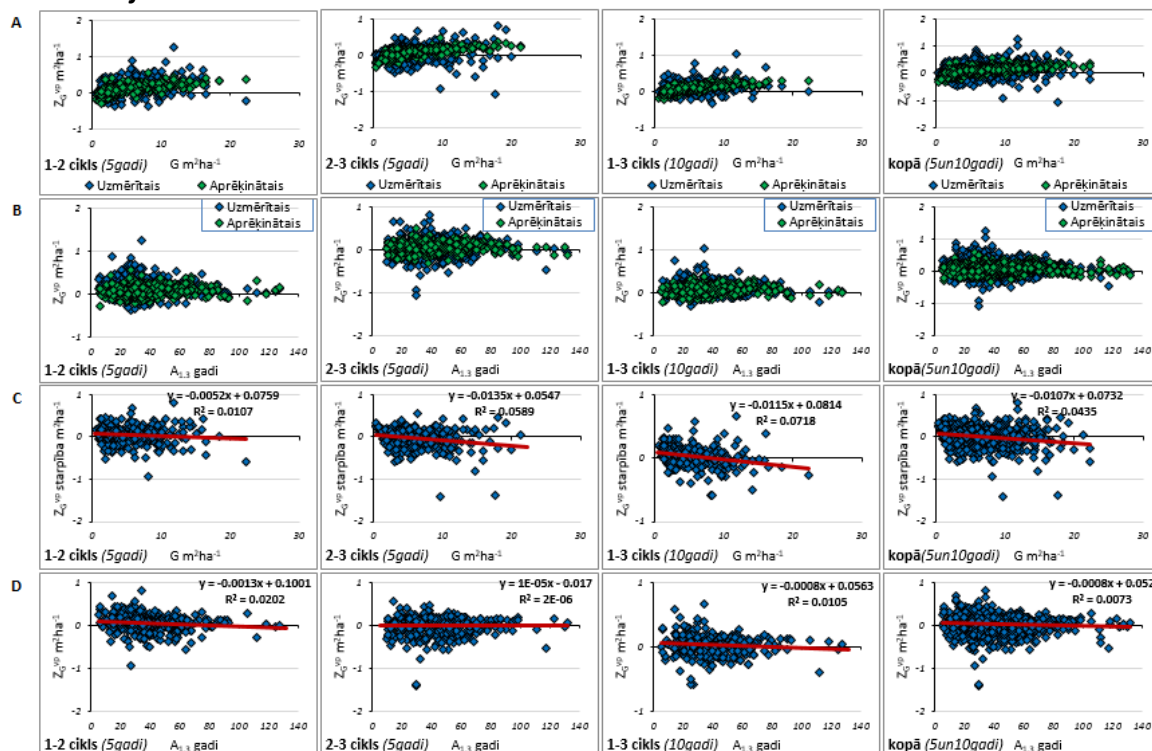
2.5. vienādojums



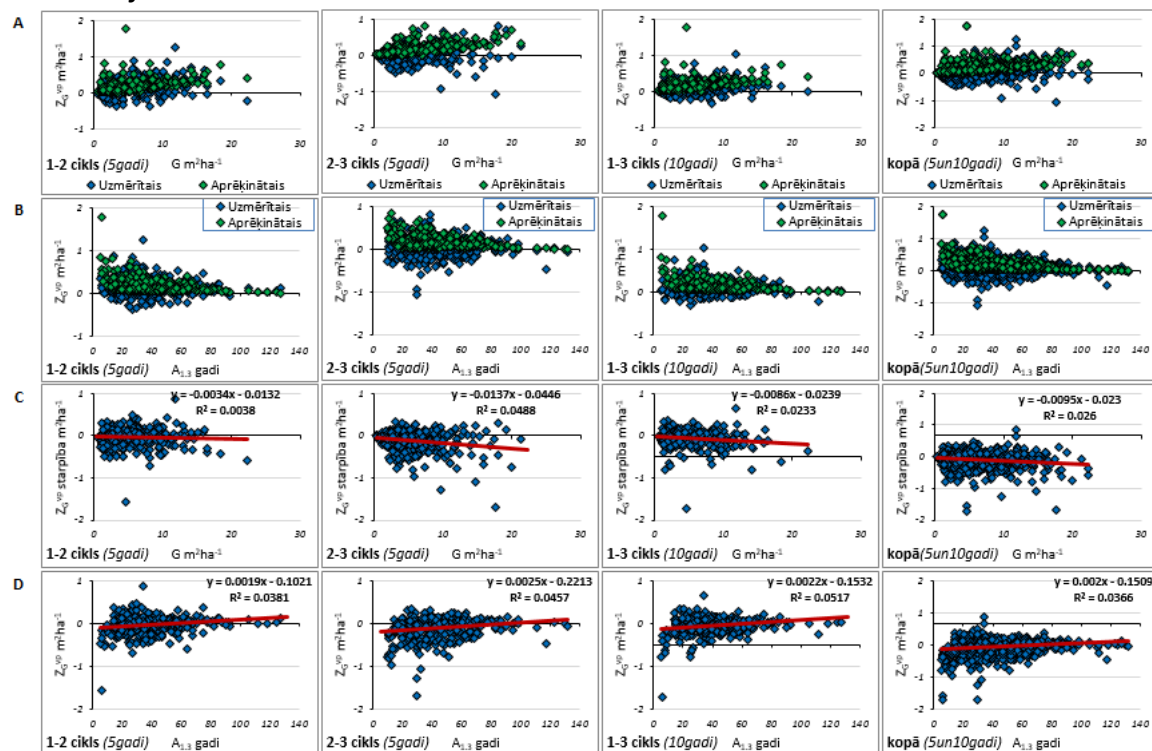
2.31. attēls. Baltalkšņa I stāva uzmērītais un aprēķinātais vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums un šo rādītāju starpība atkarībā no periodu garuma, sākotnējā šķērslaukuma un krūšaugstuma vecuma

A – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums atkarībā no sākotnējā šķērslaukuma; B – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma; C – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko šķērslaukuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā šķērslaukuma; D – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko šķērslaukuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma.

2.4. vienādojums



2.5. vienādojums



2.32. attēls. Egles II stāva uzmērītais un aprēķinātais vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums un šo rādītāju starpība atkarībā no periodu garuma, sākotnējā šķērslaukuma un krūšaugstuma vecuma

A – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums atkarībā no sākotnējā šķērslaukuma; B – uzmērītais un prognozētais vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma; C – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko šķērslaukuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā šķērslaukuma; D – starpība starp uzmērīto un prognozēto vidējo periodisko šķērslaukuma pieaugumu atkarībā no sākotnējā krūšaugstuma vecuma.

Balstoties uz MSI 1., 2. un 3. cikla datiem aproksimētas jaunas koeficientu vērtības 2.4. vienādojumam. Jaunās koeficientu vērtības aprēķinātas kombinētajā 5 un 10 gadu cikla variantā

vienlaicīgi izmantojot visu trīs ciklu datus, bet ignorējot auto korelāciju, kā arī atsevišķi 10 gadu cikla variantā (2.14. tabula).

2.14. tabula

Meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modeļa (2.4. formula) 2016. gadā aproksimētās koeficientu vērtības

Suga	Koeficients	10 gadu cikls				kombinētais 5 un 10 gadu cikls			
		Vērtība	Standartklūda	95% ticamības min.	95% ticamības max.	Vērtība	Standartklūda	95% ticamības min.	95% ticamības max.
Priede	b1	0.155	0.019	0.117	0.193	0.158	0.014	0.130	0.186
	b2	-0.036	0.011	-0.058	-0.014	-0.038	0.008	-0.055	-0.022
	b3	0.442	0.068	0.307	0.577	0.355	0.042	0.273	0.437
	b4	-0.358	0.063	-0.482	-0.234	-0.319	0.046	-0.409	-0.228
Egle	b1	0.114	0.022	0.071	0.158	0.132	0.015	0.103	0.161
	b2	-0.051	0.014	-0.079	-0.022	-0.046	0.010	-0.065	-0.027
	b3	0.941	0.075	0.794	1.089	0.731	0.045	0.643	0.818
	b4	-0.256	0.078	-0.410	-0.102	-0.235	0.053	-0.339	-0.131
Bērzs	b1	0.075	0.016	0.043	0.107	0.084	0.012	0.060	0.107
	b2	-0.018	0.010	-0.038	0.002	-0.014	0.007	-0.029	0.000
	b3	0.596	0.042	0.514	0.679	0.455	0.027	0.403	0.507
	b4	-0.275	0.055	-0.383	-0.167	-0.244	0.040	-0.323	-0.165
Melnalksnis	b1	0.148	0.021	0.105	0.190	0.146	0.015	0.116	0.176
	b2	-0.028	0.019	-0.065	0.010	-0.023	0.013	-0.049	0.002
	b3	0.512	0.085	0.343	0.681	0.414	0.052	0.313	0.516
	b4	-0.254	0.090	-0.431	-0.076	-0.241	0.063	-0.365	-0.116
Apse	b1	0.100	0.042	0.016	0.184	0.095	0.031	0.034	0.156
	b2	-0.011	0.031	-0.073	0.052	-0.008	0.022	-0.052	0.036
	b3	0.476	0.100	0.277	0.675	0.409	0.058	0.295	0.523
	b4	-0.185	0.157	-0.497	0.127	-0.116	0.116	-0.344	0.112
Baltalksnis	b1	0.080	0.055	-0.029	0.189	0.092	0.036	0.022	0.162
	b2	-0.035	0.037	-0.109	0.038	-0.039	0.024	-0.087	0.008
	b3	0.489	0.153	0.186	0.793	0.474	0.087	0.303	0.645
	b4	-0.362	0.172	-0.703	-0.021	-0.410	0.119	-0.645	-0.176
Egle 2.stāvs	b1	0.050	0.012	0.027	0.074	0.058	0.008	0.042	0.073
	b2	-0.017	0.008	-0.032	-0.001	-0.014	0.005	-0.024	-0.004
	b3	0.279	0.041	0.198	0.359	0.213	0.021	0.172	0.253
	b4	0.046	0.033	-0.019	0.111	0.025	0.022	-0.018	0.068

Šķērslaukuma izmaiņu vienādojumam statistiskie rādītāji ar 2016. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām ir augsti un savstarpēji ļoti līdzīgi gan vienādojumiem ar koeficientu vērtībām, kas aprēķinātas uz 10 gadu cikla pārņēmējuma datiem, gan vienādojumiem ar koeficientu vērtībām, kas aprēķinātas uz kombinētajiem 5 un 10 gadu cikla datiem (2.15. tabula).

2.15. tabula

Meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modeļa (2.4. formula) statistiskie rādītāji ar 2016. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām

Rādītājs	Suga	Koeficienti	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R2	N
G (m ² ha ⁻¹)	Priede	10 gadi	18.59	-0.16	-0.88	0.17	0.19	1.05	0.04	0.00	1.013	1.000	1.000	1301
		5-10 gadi	18.59	-0.16	-0.87	0.17	0.20	1.07	0.04	0.00	1.011	1.000	1.000	1301
	Egle	10 gadi	12.23	-0.22	-1.84	0.25	0.30	2.47	0.09	0.00	1.024	1.000	1.000	977
		5-10 gadi	12.23	-0.23	-1.86	0.27	0.33	2.72	0.11	0.00	1.023	1.000	0.999	977
	Bērzs	10 gadi	10.07	-0.13	-1.34	0.16	0.19	1.93	0.04	0.00	1.011	1.000	1.000	1402
		5-10 gadi	10.07	-0.14	-1.37	0.17	0.22	2.23	0.05	0.00	1.009	1.000	0.999	1402
	Melnalksnis	10 gadi	11.17	-0.19	-1.69	0.21	0.25	2.24	0.06	0.00	1.023	1.000	1.000	374
		5-10 gadi	11.17	-0.20	-1.79	0.23	0.27	2.42	0.07	0.00	1.024	1.000	1.000	374
	Apse	10 gadi	12.63	-0.30	-2.39	0.31	0.34	2.68	0.11	0.00	1.013	1.000	1.000	268
		5-10 gadi	12.63	-0.30	-2.38	0.31	0.35	2.75	0.12	0.00	1.012	1.000	1.000	268
	Baltalksnis	10 gadi	12.02	-0.04	-0.36	0.13	0.16	1.37	0.03	0.00	1.003	1.000	1.000	311
		5-10 gadi	12.02	-0.06	-0.50	0.13	0.17	1.39	0.03	0.00	1.002	1.000	1.000	311
	Egle 2.st.	10 gadi	5.49	-0.08	-1.54	0.09	0.11	1.96	0.01	0.00	1.022	1.000	1.000	1221
		5-10 gadi	5.49	-0.09	-1.64	0.10	0.12	2.16	0.01	0.00	1.021	1.000	1.000	1221
zgvp (m ² ha ⁻¹ gadā)	Priede	10 gadi	0.17	0.01	5.55	0.19	0.28	164.42	0.08	0.91	0.125	0.303	0.092	1301
		5-10 gadi	0.17	0.01	6.27	0.19	0.29	164.73	0.08	0.91	0.145	0.304	0.092	1301
	Egle	10 gadi	0.24	0.01	5.25	0.22	0.34	141.31	0.11	0.76	0.277	0.490	0.240	977
		5-10 gadi	0.24	0.01	3.88	0.23	0.34	142.92	0.11	0.78	0.397	0.490	0.240	977
	Bērzs	10 gadi	0.15	0.01	9.05	0.19	0.30	202.89	0.09	0.85	0.184	0.389	0.151	1402
		5-10 gadi	0.15	0.01	7.05	0.20	0.30	204.97	0.09	0.87	0.297	0.393	0.154	1402

**Meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modeļa (2.4. formula) statistiskie rādītāji ar 2016. gadā
aproximētajām koeficientu vērtībām**

Rādītājs	Suga	Koeficienti	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
	Melnalksnis	10 gadi	0.20	0.01	3.40	0.17	0.25	128.49	0.06	0.72	0.305	0.526	0.276	374
		5-10 gadi	0.20	0.00	-2.35	0.18	0.25	129.23	0.06	0.73	0.372	0.524	0.274	374
	Apse	10 gadi	0.31	0.01	3.71	0.23	0.35	110.17	0.12	0.89	0.163	0.338	0.114	268
		5-10 gadi	0.31	0.01	4.42	0.24	0.35	110.56	0.12	0.90	0.220	0.345	0.119	268
	Baltalksnis	10 gadi	0.07	0.02	33.46	0.33	0.45	692.50	0.20	0.90	0.110	0.320	0.102	311
		5-10 gadi	0.07	0.00	6.95	0.33	0.45	693.26	0.20	0.90	0.107	0.313	0.098	311
	Egle 2.st.	10 gadi	0.09	0.00	2.17	0.12	0.17	202.03	0.03	0.88	0.130	0.347	0.121	1221
		5-10 gadi	0.09	0.00	-4.28	0.12	0.18	203.04	0.03	0.89	0.174	0.343	0.117	1221

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

Lai arī īslaicīgai meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modelēšanai ieteicams izmantot 2.4. vienādojumu, tomēr šķērslaukuma izmaiņu modelēšanā ieteicams lietot 2.5. vienādojumu, ja:

- ✓ meža elementa šķērslaukums ir mazāks par 5 m²ha⁻¹;
- ✓ prognozējamā perioda ilgums pārsniedz 20 gadus;
- ✓ meža elementa krūšaugsstuma vecums pārsniedz priedei 120 gadus; eglei 100 gadus; bērzam, apsei un melnalksnim 80 gadus; baltalksnim 50 gadus.

Meža elementa šķērslaukuma aktualizāciju veic pēc sekojoša algoritma:

1. katram meža elementam aprēķina tā maksimālo šķērslaukumu (2.3. formula);
2. ņemot vērā meža elementa krūšaugsstuma vecumu, šķērslaukumu un prognozu 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.

2.4. Krājas izmaiņas

Datu analīzē izmanto datus par 2014. un 2015. gadā atkārtoti uzmērītajiem MSI parauglaukumiem, kas vienlaikus atbilst 2.1., 2.2. un 2.3. apakšnodaļās aprakstītajiem datu atlases kritērijiem.

Analīzē salīdzina krājas izmaiņu starpības starp uzmērītajām un prognozētajām vērtībām, kas aprēķināta atkarībā no prognozētā augstuma (2.1. vienādojums), caurmēra (2.2. vienādojums) un šķērslaukuma (2.3., 2.4. un 2.5. vienādojumi).

Nākamā perioda krājas vidējā novirze starp uzmērītajām un modelētajām vērtībām 10 gadu periodā atkarībā no meža elementa svārstās robežās no -10,2 m³ha⁻¹ līdz +8,2 m³ha⁻¹, kas I stāva elementiem visos gadījumos ir mazāka par 10% no aritmētiski vidējās vērtības, bet II stāva eglei šis rādītājs ir 13,8% (2.15. tabula). Savukārt krājas vidējā periodiskā pieauguma vidējā novirze 10 gadu periodā atkarībā no meža elementa svārstās robežās no -1,02 m³ha⁻¹gadā līdz +0,70 m³ha⁻¹gadā (2.16. tabula).

Meža elementa krājas izmaiņas statistiskie rādītāji

Cikli	Suga	Aritm. vid.	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
1.cikl.vs 2. cikl. (5gadi)	P	190.8	-3.5	-1.8	9.3	13.4	7.0	178.1	0.01	1.027	0.994	0.988	236
	E	131.0	-3.5	-2.7	11.7	17.1	13.0	289.2	0.03	1.017	0.984	0.969	187
	B	108.8	4.0	3.6	8.4	12.1	11.2	146.8	0.03	0.944	0.988	0.977	224
	M	107.5	-0.3	-0.3	9.0	12.6	11.7	156.2	0.01	0.967	0.994	0.987	63
	A	179.3	-0.1	0.0	13.0	21.7	12.1	460.9	0.02	0.975	0.991	0.982	52
	Ba	109.2	-5.3	-4.8	12.0	16.9	15.5	275.8	0.05	1.111	0.981	0.963	41
	E 2st	47.5	3.9	8.3	6.0	9.4	19.7	86.9	0.07	0.861	0.974	0.949	116
2.cikl.vs 3.	P	215.2	-6.9	-3.2	11.4	15.9	7.4	250.3	0.02	1.029	0.994	0.987	214

Meža elementa krājas izmaiņas statistiskie rādītāji

Cikli	Suga	Aritm. vid.	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
cikl. (5gadi)	E	153.4	-3.8	-2.5	11.7	15.9	10.4	251.9	0.02	0.984	0.990	0.981	160
	B	119.1	0.2	0.2	7.8	11.3	9.5	127.4	0.02	0.964	0.989	0.979	194
	M	131.5	-2.3	-1.7	8.9	14.0	10.7	192.8	0.01	1.044	0.994	0.988	55
	A	172.7	-1.4	-0.8	10.0	16.4	9.5	256.4	0.01	0.969	0.994	0.988	34
	Ba	124.5	-11.0	-8.9	13.4	21.5	17.3	436.0	0.05	1.183	0.990	0.979	28
	E 2st	48.8	2.7	5.6	5.0	8.0	16.4	63.7	0.05	0.910	0.979	0.958	132
1.cikl.vs 3. cikl. (10 gadi)	P	219.5	-9.9	-4.5	17.3	23.6	10.7	553.9	0.04	1.060	0.986	0.972	220
	E	156.8	-7.1	-4.5	20.9	29.3	18.7	852.3	0.07	0.982	0.967	0.935	141
	B	122.6	0.8	0.7	13.8	20.6	16.8	423.1	0.07	0.956	0.967	0.935	188
	M	136.4	-3.9	-2.8	15.6	22.2	16.3	481.5	0.03	1.005	0.984	0.968	54
	A	175.5	-7.5	-4.3	15.8	28.0	15.9	744.6	0.03	1.025	0.985	0.971	31
	Ba	120.5	-10.2	-8.5	18.9	36.7	30.4	1209.6	0.14	1.183	0.950	0.902	20
	E 2st	59.5	8.2	13.8	9.9	14.7	24.7	213.9	0.10	0.833	0.970	0.940	94
visi kopā (5 un 10 gadi)	P	208.0	-6.7	-3.2	12.6	17.7	8.5	314.6	0.02	1.044	0.991	0.982	670
	E	145.8	-4.7	-3.2	14.3	20.5	14.1	419.7	0.04	0.996	0.981	0.963	488
	B	116.4	1.8	1.5	9.9	14.8	12.7	218.4	0.04	0.958	0.981	0.963	606
	M	124.3	-2.1	-1.7	11.0	15.4	12.4	235.5	0.02	1.009	0.991	0.981	172
	A	176.4	-2.4	-1.4	12.9	19.7	11.2	384.6	0.02	0.985	0.990	0.981	117
	Ba	116.5	-8.2	-7.0	14.0	19.1	16.4	360.7	0.07	1.160	0.977	0.955	89
	E 2st	51.3	4.6	9.0	6.7	10.3	20.0	105.3	0.07	0.857	0.973	0.946	342

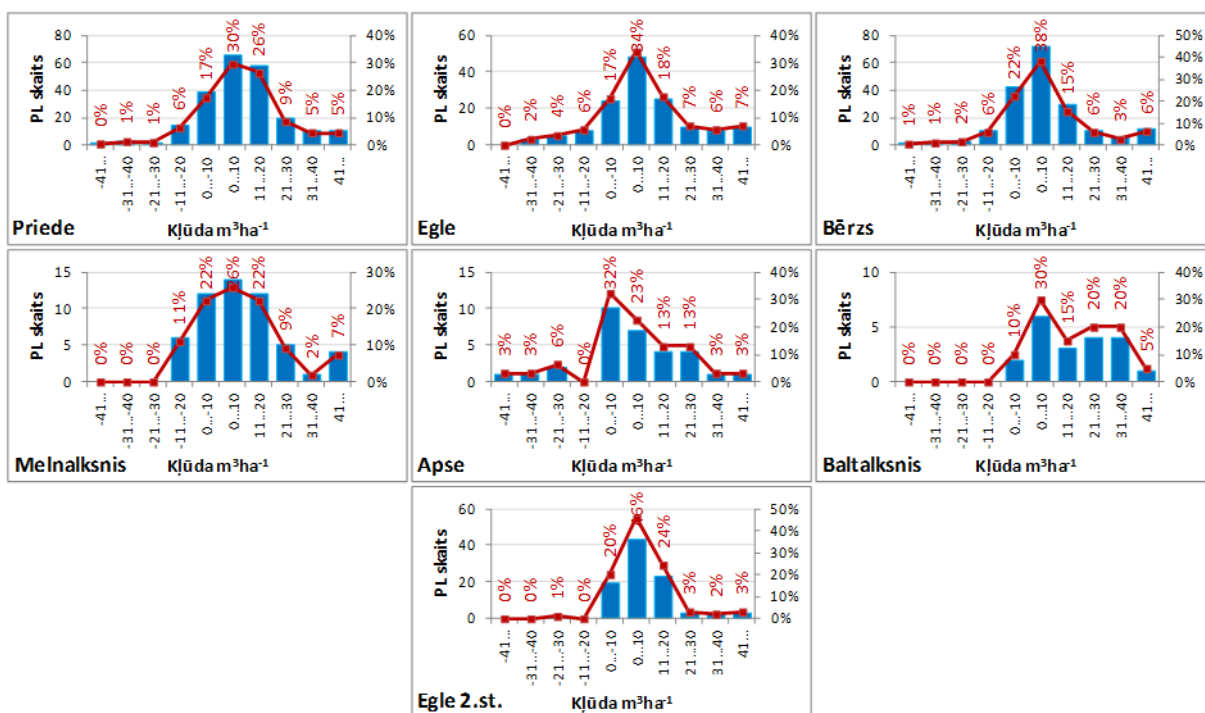
MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R2 - determinācijas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

Meža elementa krājas vidējā periodiskā pieauguma statistiskie rādītāji

Cikli	Suga	Aritm. vid.	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
1.cikl.vs 2. cikl. (5gadi)	P	4.46	-0.69	-15.5	1.87	2.67	60	7.12	0.75	0.933	0.638	0.407	236
	E	4.96	-0.70	-14.1	2.34	3.41	69	11.57	0.74	0.868	0.623	0.389	187
	B	3.99	0.79	19.9	1.69	2.43	61	5.87	0.68	0.411	0.632	0.399	224
	M	4.24	-0.07	-1.6	1.79	2.52	60	6.25	0.42	0.620	0.763	0.582	63
	A	7.10	-0.01	-0.2	2.60	4.35	61	18.44	0.44	0.417	0.754	0.568	52
	Ba	4.76	-1.05	-22.1	2.40	3.38	71	11.03	0.89	0.979	0.610	0.372	41
	E 2st	2.01	0.79	39.0	1.19	1.87	93	3.48	1.08	0.291	0.388	0.151	116
2.cikl.vs 3. cikl. (5gadi)	P	3.75	-1.38	-36.9	2.28	3.17	85	10.01	1.11	1.002	0.556	0.309	214
	E	5.01	-0.77	-15.3	2.34	3.18	64	10.07	0.61	0.851	0.692	0.479	160
	B	3.20	0.04	1.1	1.55	2.26	71	5.09	0.54	0.422	0.678	0.459	194
	M	3.96	-0.45	-11.4	1.79	2.81	71	7.71	0.85	1.176	0.622	0.387	55
	A	6.16	-0.28	-4.6	2.00	3.27	53	10.26	0.49	0.446	0.722	0.521	34
	Ba	3.28	-2.20	-67.3	2.67	4.30	131	17.44	1.53	0.955	0.555	0.308	28
	E 2st	1.69	0.54	32.3	1.01	1.60	95	2.55	0.77	0.255	0.574	0.330	132
1.cikl.vs 3. cikl. (10 gadi)	P	4.30	-0.99	-23.1	1.73	2.36	55	5.54	0.80	1.216	0.711	0.505	220
	E	4.91	-0.71	-14.5	2.09	2.93	60	8.52	0.56	0.902	0.726	0.526	141
	B	3.34	0.08	2.5	1.38	2.06	62	4.23	0.56	0.466	0.663	0.440	188
	M	4.28	-0.39	-9.0	1.56	2.22	52	4.82	0.44	0.787	0.771	0.595	54
	A	5.37	-0.75	-14.0	1.58	2.80	52	7.45	0.59	0.709	0.701	0.492	31
	Ba	4.40	-1.02	-23.3	1.89	3.67	83	12.10	0.73	0.803	0.668	0.447	20
	E 2st	2.07	0.82	39.7	0.99	1.47	71	2.14	0.72	0.293	0.764	0.584	94
visi kopā (5 un 10 gadi)	P	4.18	-1.01	-24.2	1.95	2.70	65	7.30	0.88	1.021	0.628	0.395	670
	E	4.96	-0.73	-14.6	2.27	3.13	63	9.78	0.65	0.872	0.675	0.456	488
	B	3.54	0.33	9.4	1.55	2.23	63	4.94	0.59	0.424	0.651	0.424	606
	M	4.16	-0.29	-7.0	1.72	2.35	56	5.49	0.53	0.803	0.716	0.513	172
	A	6.37	-0.29	-4.5	2.16	3.33	52	11.00	0.46	0.451	0.743	0.552	117
	Ba	4.21	-1.41	-33.4	2.37	3.16	75	9.83	0.98	0.893	0.600	0.360	89
	E 2st	1.90	0.70	36.9	1.07	1.61	85	2.59	0.86	0.275	0.559	0.313	342

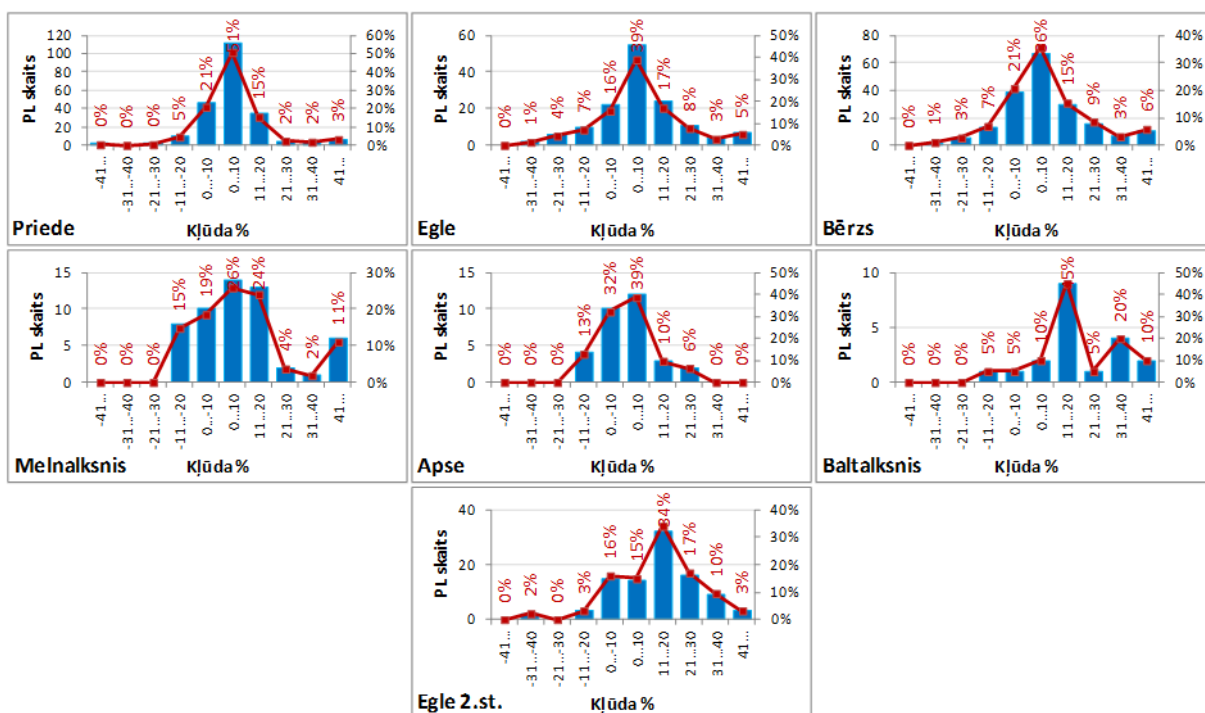
MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R2 - determinācijas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

Desmit gadu periodā prognozētā krāja atšķiras mazāk par +/- 10 m³ha⁻¹ no uzmērītās priedei 47 %, eglei 51 % un bērzam 60 % no parauglaukumiem, savukārt mazāk par +/- 20 m³ha⁻¹ priedei 80 %, eglei 74 % un bērzam 82 % no parauglaukumiem (2.33. attēls).



2.33. attēls. Parauglaukumu skaits un īpatsvars atkarībā no prognozētās krājas starpības 10 gadu periodā

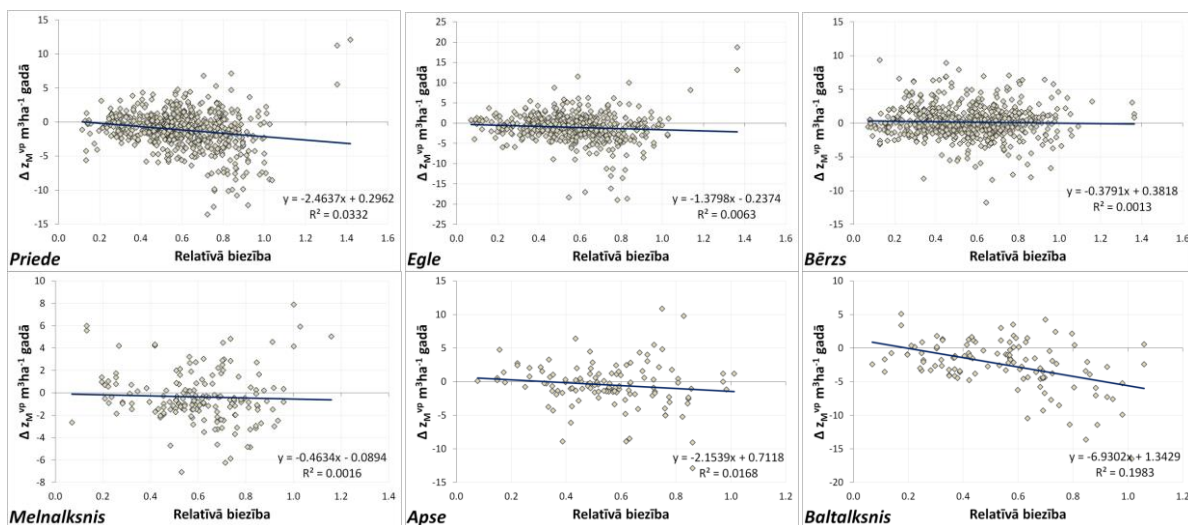
Desmit gadu periodā prognozētā krāja atšķiras mazāk par +/- 10 % no uzmērītās priedei 72 %, eglei 55 % un bērzam 56 % no parauglaukumiem, savukārt mazāk par +/- 20 m³ha⁻¹ priedei 92 %, eglei 79 % un bērzam 79 % no parauglaukumiem (2.34. attēls).



2.34. attēls. Parauglaukumu skaits un īpatsvars atkarībā no prognozētās krājas relatīvās starpības 10 gadu periodā

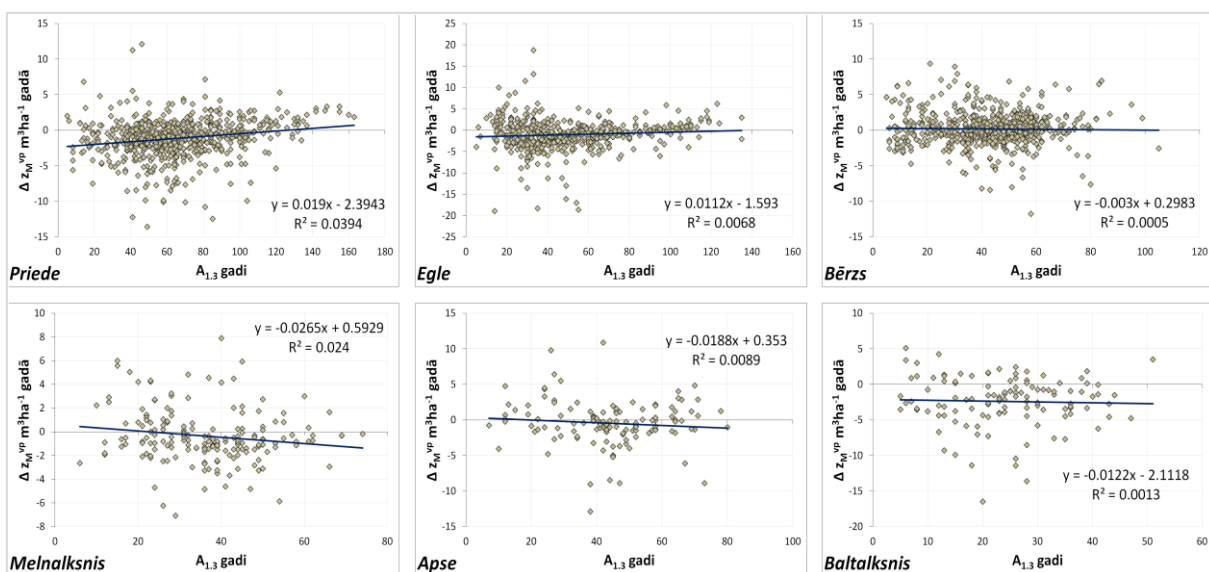
Desmit gadu periodā prognozētā krāja atšķiras mazāk par +/- 10 % vai +/- 10 m³ha⁻¹ no uzmērītās priedei 75 %, eglei 62 % un bērzam 70 % no parauglaukumiem.

Eglei, bērzam, apsei un melnalksnim nav konstatētas aptuvas krājas novirzes atkarībā no biežības, bet priedei un baltalksnim aptuvas krāja biežākajās audzēs ir sistemātiski lielāka nekā uzmērītā krāja (2.35. attēls).



2.35. attēls. Uzmērītā un aprēķinātā vidējā periodiskā krājas pieauguma starpība atkarībā no koku sugas.

Eglei, bērzam, apsei un baltalksnim nav konstatētas aptuvas krājas novirzes atkarībā no biežības, priedei aptuvas krāja vecākajās audzēs ir sistemātiski mazāka nekā uzmērītā krāja, bet melnalksnim aptuvas krāja vecākajās audzēs ir sistemātiski lielāka nekā uzmērītā krāja (2.36. attēls).



2.36. attēls. Uzmērītā un aprēķinātā vidējā periodiskā krājas pieauguma starpība atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma.

Nav novērojama viennozīmīga mistrojuma ietekme uz prognozēto krājas pieauguma novirzi, vienām koku sugām augstāki statistiskie rādītāji ir tīraudzēs, bet citām tīraudzēs (2.18. tabula).

**Meža elementa krājas vidējā periodiskā pieauguma (m^3ha^{-1} gadā) statistiskie rādītāji
atkarībā no audzes mistrojuma veida**

Cikli	Suga	Aritm. vid.	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
Tīraudzes	P	4.61	-1.18	-25.6	2.20	3.13	68	9.78	0.97	0.875	0.558	0.311	453
	E	5.57	-1.43	-25.7	3.05	4.72	85	22.14	0.82	0.781	0.590	0.348	176
	B	4.09	0.31	7.6	1.89	2.66	65	7.03	0.62	0.387	0.620	0.384	263
	M	5.27	-0.09	-1.8	1.98	2.96	56	8.57	0.45	0.798	0.756	0.572	54
	A	8.46	-0.88	-10.4	3.51	6.16	73	35.69	0.46	0.460	0.747	0.558	27
	Ba	5.16	-1.71	-33.2	3.09	4.86	94	23.02	1.58	1.037	0.345	0.119	52
	E 2st	1.88	0.78	41.3	1.04	1.45	77	2.10	0.89	0.232	0.641	0.411	166
Mistraudzes	P	3.04	-1.13	-37.1	1.82	2.49	82	6.18	1.13	1.190	0.598	0.357	247
	E	4.36	-0.81	-18.6	2.23	3.21	74	10.25	0.93	0.895	0.542	0.294	329
	B	2.92	0.08	2.7	1.44	2.14	73	4.58	0.67	0.390	0.580	0.336	386
	M	3.57	-0.49	-13.8	1.67	2.27	64	5.12	0.71	0.819	0.635	0.403	122
	A	5.89	-0.36	-6.1	1.90	2.90	49	8.32	0.59	0.521	0.651	0.423	96
	Ba	1.95	-2.96	-151.5	3.26	4.72	242	21.85	2.24	0.481	0.215	0.046	65
	E 2st	1.74	0.49	28.2	1.10	1.77	102	3.13	0.79	0.269	0.523	0.274	194

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

2.5. Kopšanas ciršu ietekmes vērtējums uz pieaugumu izmaiņām

2.5.1. Materiāls un metodika

Datu analīzē izmantoja datus par 894 kokiem no 174 MSI 2014. - 2015. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- ✓ meža elementi ir P1.st (500 koki), E1.st (394);
- ✓ pēdējo desmit gadu laikā parauglaukumā nav konstatēta koku ciršana;
- ✓ parauglaukumā mežaudzes I stāva relatīvā biežība nekoptajās audzēs ir lielāka par 0,7, bet koptajās audzēs mazāka par 0,8;
- ✓ krūšaugstuma vecums priedēm no 21 līdz 80 gadiem, eglēm no 11 līdz 60 gadiem.

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

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

Iepriekšējos gados jau noskaidrots, ka kopšanas cirtēm ir būtiska ietekme uz koku krūšaugstuma caurmēra pieaugumu (Donis et al., 2015).

Koku caurmēra papildus pieauguma novērtēšanai un caurmēra aprēķināšanai pēc kopšanas cirtes aproksimētas jaunas koeficientu vērtības iepriekš izstrādātajam vienādojumam:

$$D_2 = D_1 + (D_2 - D_1)[b_1 \ln(A_1) + b_2] \quad (2.6)$$

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

D_1 – prognozētais meža elementa vidējais krūšaugstuma caurmērs, ja netiktu veikta kopšanas cirte (2.2. vienādojums), cm;

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

b_1 un b_2 – empīriskie koeficienti. Priede $b_1=-0.2744$ $b_2=2.5481$; Egle $b_1=-0.3640$ $b_2=2.4277$

2.5.2. Rezultāti

Balstoties uz 10 gadu pārmērījuma datiem aprēķinātas jaunas koeficientu vērtības iepriekš izstrādātajam vienādojumam kopšanas cirtes ietekmes novērtēšanai uz caurmēra pieauguma izmaiņām.

Konstatēts, ka priedei visās vecuma grupās no 21 līdz 80 gadiem caurmēra vidējais periodiskais 10 gadu pieaugums koptajās audzēs ir būtiski lielāks nekā nekoptajās audzēs. Savukārt eglei būtiski lielāks caurmēra vidējais periodiskais 10 gadu pieaugums koptajās audzēs ir vecuma grupās līdz 30 gadiem, bet vecākajās grupās nav konstatētas būtiskas atšķirības (2.19. tabula).

2.19. tabula

MSI parauglaukumos uzmērīto koku krūšaugstuma caurmēra vidējais periodiskais pieaugums, cm*gadā

Suga	Saimn_darb	Periods	Rādītājs	Vecuma desmitgade						
				11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
Priede <i>Ln; Dm; Am; As; Km; Ks</i>	Nekopts	5-gade I	Aritm.vid.		0.24	0.27	0.24	0.18	0.19	0.16
			Standartnovirze		0.14	0.15	0.18	0.13	0.14	0.13
		5-gade II	Aritm.vid.		0.25	0.22	0.19	0.17	0.15	0.18
			Standartnovirze		0.12	0.13	0.15	0.15	0.13	0.13
		10-gade	Aritm.vid.		0.24	0.24	0.21	0.17	0.17	0.17
			Standartnovirze		0.10	0.12	0.14	0.11	0.11	0.10
		Koku skaits			27	160	225	158	303	151
	Kopts	5-gade I	Aritm.vid.		0.47	0.35	0.31	0.23	0.22	0.20
			Standartnovirze		0.18	0.21	0.18	0.14	0.16	0.14
		5-gade II	Aritm.vid.		0.44	0.37	0.29	0.25	0.30	0.24
			Standartnovirze		0.20	0.16	0.18	0.15	0.16	0.15
		10-gade	Aritm.vid.		0.46	0.36	0.30	0.24	0.26	0.22
			Standartnovirze		0.14	0.15	0.15	0.11	0.13	0.11
		Koku skaits			55	47	123	112	80	83
Egle <i>Dm; Vr; As; Ap; Ks; Kp</i>	Nekopts	5-gade I	Aritm.vid.	0.45	0.38	0.25	0.26	0.29		
			Standartnovirze	0.24	0.22	0.15	0.19	0.18		
		5-gade II	Aritm.vid.	0.40	0.33	0.27	0.24	0.28		
			Standartnovirze	0.23	0.21	0.13	0.15	0.17		
		10-gade	Aritm.vid.	0.43	0.35	0.26	0.25	0.29		
			Standartnovirze	0.25	0.23	0.16	0.17	0.22		
		Koku skaits		88	143	234	161	83		
	Kopts	5-gade I	Aritm.vid.	0.72	0.48	0.26	0.41	0.27		
			Standartnovirze	0.29	0.24	0.16	0.15	0.16		
		5-gade II	Aritm.vid.	0.60	0.40	0.28	0.60	0.29		
			Standartnovirze	0.28	0.19	0.15	0.17	0.14		
		10-gade	Aritm.vid.	0.66	0.44	0.27	0.50	0.28		
			Standartnovirze	0.30	0.18	0.18	0.25	0.18		
		Koku skaits		40	70	183	9	92		

Vienādojumu koeficienti pašreiz ir norādoši, to precīzākas vērtības tiks aprēķinātas, papildinot datu rindas pētījuma turpinājumā.

3. Pieauguma, atmiruma un krājas differences prognožu modeļu pilnveidošana

Darba uzdevums: *Pieauguma, atmiruma un krājas differences prognožu modeļu pilnveidošana un statistisko rādītāju izvērtēšana, aprēķinus balstot uz 3. MSI cikla 2 gadu datiem.*

3.1. Faktiskās audzes tekošā pieauguma modelis

3.1.1. Materiāls un metodika

Analīzē izmantoti dati par 641 MSI 2014. un 2015. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem. Analīzē izmanto datus tikai par tiem parauglaukumiem, kuriem:

- I stāva valdošā koku suga pirmajā uzmērīšanas reizē ir priede (268 parauglaukumi), egļe (98), bērzs (170), apse (28), melnalksnis (28), un baltalksnis (49);
- 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 krājas īpatsvars <50% no kopējās krājas);
- 10 gadu laikā parauglaukumā nav konstatēta koku ciršana.

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.

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

$$Z_M = a_1 A^{a_2} a_3^B G^{a_4} \quad (3.1)$$

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

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

$$Z_m = \frac{M_A - m_{A-n}}{n} \quad (3.2)$$

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

Koeficientu vērtības aprēķinātas izmantojot datorprogrammu SPSS 14 rīku Nonlinear regression.

3.1.2. Rezultāti

Iepriekš izstrādātajiem vienādojumiem, balstoties uz 10 gadu pārmērījuma datiem, aproksimētas koeficientu vērtības kokaudzes I stāva un kokaudzes tekošā vidēji periodiskā krājas pieauguma aprēķināšanai (3.1. tabula). Atšķirībā no iepriekšējiem gadiem tekošais vidēji periodiskais krājas pieaugums ir atkarīgs no bonitātes visām koku sugām. Lai gan b2 koeficients lielākajā daļā gadījumu ir nebūtisks, tas tomēr saglabāts visos gadījumos, jo tas ir loģisks (pareiza determinācijas zīme) un tiek saglabāta vienādojuma forma visām koku sugām, kas atvieglo to praktisku pielietojšanu.

Vienādojumam ar visiem analizē iekļautajiem meža elementiem konstatētas ļoti mazas vidējās novirzes (mazākas par $0,06\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{gadā}$), kas visos gadījumos ir mazākas par 1% no elementa aritmētiski vidējā faktiskās audzes krājas tekošā vidēji periodiskā pieauguma (3.2. tabula).

3.1. tabula

Faktiskās audzes tekošā vidēji periodiskā pieauguma modeļa (3.1. formula) koeficienti

Suga	Koeficients	Kopā				I stāvs			
		Vērtība	Standartklūda	95% Ticamības intervāls		Vērtība	Standartklūda	95% Ticamības intervāls	
				Min	Max			Min	Max
Priede	b1	2.61622	0.61538	1.40454	3.82790	3.83222	0.94094	1.97951	5.68493
	b2	-0.20809	0.06194	-0.33005	-0.08612	-0.33514	0.06238	-0.45796	-0.21232
	b3	0.85637	0.01623	0.82441	0.88833	0.86022	0.01660	0.82754	0.89291
	b4	0.66294	0.06193	0.54099	0.78488	0.69284	0.07027	0.55447	0.83121
Egle	b1	5.88965	1.82644	2.26322	9.51608	5.50868	1.84099	1.85335	9.16401
	b2	-0.03676	0.10722	-0.24965	0.17612	-0.14861	0.11274	-0.37247	0.07524
	b3	0.85473	0.03825	0.77879	0.93067	0.89185	0.04180	0.80885	0.97485
	b4	0.25564	0.08841	0.08009	0.43118	0.39228	0.09491	0.20383	0.58073
Bērzs	b1	4.04121	0.95672	2.15230	5.93013	8.05078	1.71733	4.66016	11.44140
	b2	-0.15467	0.08685	-0.32615	0.01680	-0.44369	0.08742	-0.61630	-0.27109
	b3	0.89248	0.02719	0.83881	0.94616	0.91304	0.02875	0.85628	0.96980
	b4	0.44459	0.07219	0.30207	0.58711	0.52725	0.07490	0.37936	0.67513
Melnalksnis	b1	4.85038	3.51361	-2.40136	12.10213	4.96685	3.82405	-2.92561	12.85930
	b2	-0.48393	0.30490	-1.11322	0.14536	-0.56608	0.31168	-1.20935	0.07719
	b3	0.87873	0.07453	0.72491	1.03255	0.89720	0.07961	0.73290	1.06151
	b4	0.83850	0.28526	0.24975	1.42725	0.92669	0.30287	0.30160	1.55178
Apse	b1	9.76475	3.20146	3.15726	16.37224	11.56780	3.34404	4.66604	18.46957
	b2	-0.40243	0.15233	-0.71683	-0.08802	-0.49801	0.12212	-0.75006	-0.24596
	b3	0.56929	0.10843	0.34550	0.79307	0.71159	0.11668	0.47078	0.95240
	b4	0.58710	0.14957	0.27840	0.89580	0.64570	0.12913	0.37919	0.91221
Baltalksnis	b1	5.14400	2.06367	0.98755	9.30045	7.01757	2.85001	1.27736	12.75779
	b2	-0.31200	0.17182	-0.65805	0.03406	-0.40959	0.18140	-0.77496	-0.04423
	b3	0.95657	0.04430	0.86735	1.04578	0.96364	0.04706	0.86886	1.05841
	b4	0.50563	0.11406	0.27589	0.73536	0.49297	0.11304	0.26530	0.72064

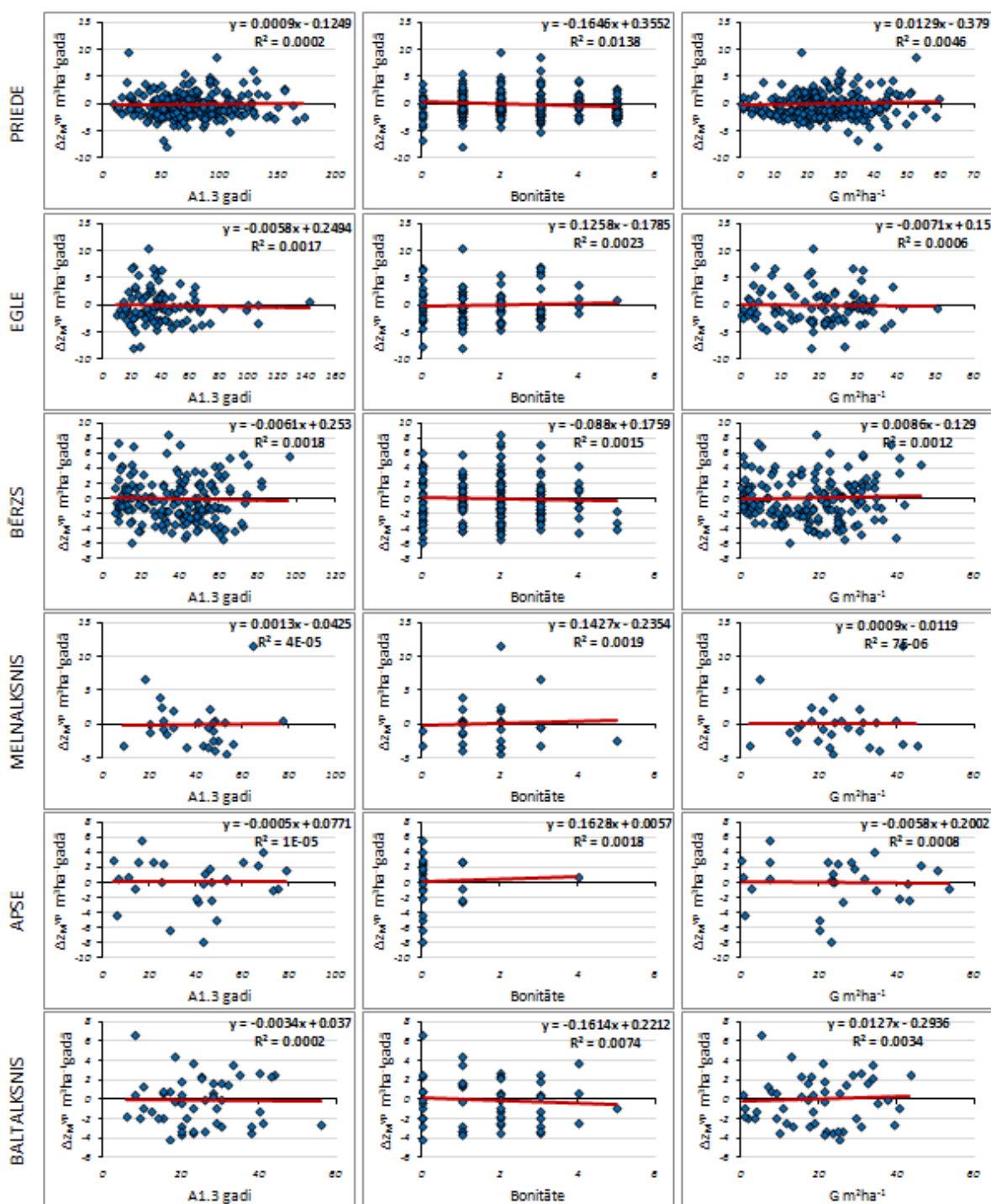
3.2. tabula

Faktiskās audzes tekošā vidēji periodiskā pieauguma modeļa (3.1. formula) statistiskie rādītāji

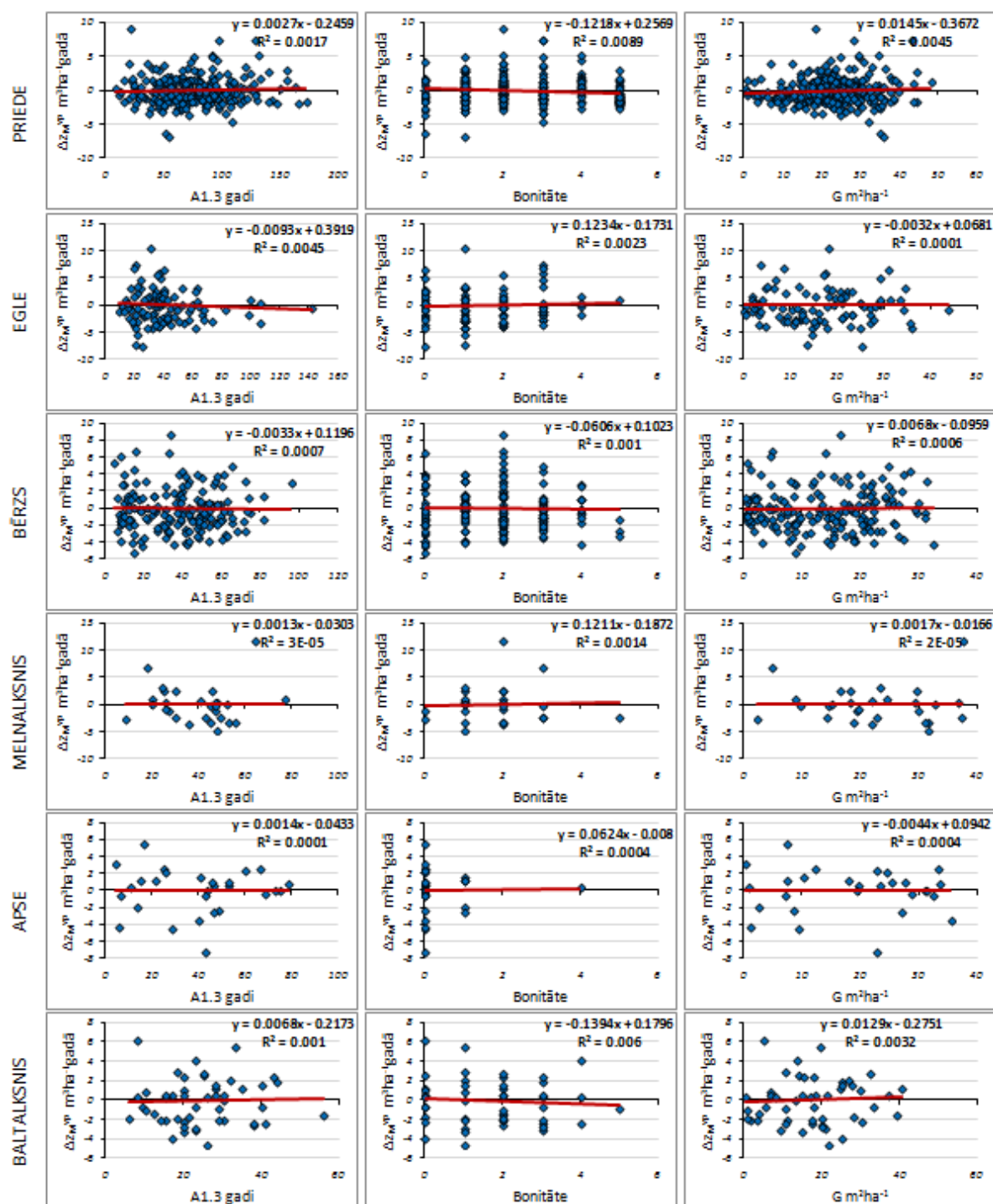
Veids	Suga	Aritm. vid.	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
Kopā	P	6.34	-0.06	-0.89	1.64	2.18	34.37	4.73	0.34	0.606	0.812	0.660	268
	E	8.50	0.01	0.17	2.40	3.23	38.04	10.35	0.58	0.438	0.651	0.424	98
	B	6.36	0.02	0.32	2.28	2.88	45.34	8.26	0.57	0.448	0.655	0.430	170
	M	9.66	0.01	0.10	2.35	3.64	37.68	12.71	0.54	0.467	0.677	0.459	28
	A	12.39	0.06	0.47	2.37	3.33	26.85	10.62	0.28	0.762	0.849	0.721	28
	Ba	7.48	-0.05	-0.61	2.05	2.55	34.14	6.37	0.44	0.513	0.751	0.564	49
1. stāvs	P	5.53	-0.05	-0.86	1.52	2.01	36.41	4.04	0.37	0.576	0.792	0.627	268
	E	7.78	0.02	0.20	2.39	3.19	41.04	10.08	0.57	0.444	0.655	0.429	98
	B	5.19	0.00	-0.09	1.91	2.48	47.80	6.13	0.60	0.398	0.635	0.403	170
	M	9.12	0.02	0.22	2.35	3.72	40.83	13.29	0.53	0.484	0.684	0.467	28
	A	10.79	0.01	0.11	1.97	2.90	26.89	8.07	0.26	0.745	0.857	0.735	28
	Ba	6.90	-0.05	-0.74	1.94	2.48	35.99	6.03	0.47	0.468	0.728	0.530	49

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

Starpības starp uzmērīto un aproksimēto faktiskās audzes tekošo vidēji periodisko pieaugumu nav atkarīgas no vienādojumā iekļautajām faktoriālajām pazīmēm (krūšaugstuma vecuma, bonitātes un elementa šķērslaukuma), jo visos gadījumos lineārās korelācijas ir vājas (3.1. un 3.2. attēli).



3.1. attēls. Faktiskās audzes kopējā ikgadējā krājas pieauguma starpības ($\Delta Z_m \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{gadā}$) starp uzmērītajām un aproksimētajām (3.1. vienādojums) vērtībām atkarībā no audzes krūšaugstuma vecuma (A1.3 gadi), bonitātes un audzes šķērslaukuma ($G \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$)



3.2. attēls. Faktiskās audzes I stāva ikgadējā krājas pieauguma starpības ($\Delta Zm \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{gadā}$) starp uzmērītajām un aproksimētajām (3.1. vienādojums) vērtībām atkarībā no audzes krūšaugstuma vecuma (A1.3 gadi), bonitātes un audzes I stāva šķērslaukuma ($G \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$)

3.2. Atmiruma modelis

3.2.1. Materiāls un metodika

Analīzē izmantoti dati par 641 MSI 2014. un 2015. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kas atbilst 3.1. apakšnodaļā minētajiem kritērijiem.

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

Ilgadējā dabiskā atmiruma modelēšanai pārbaudīti 2 vienādojumi (Donis et al., 2015):

$$Z_M(-) = aA^b c^{\left(\frac{A}{100}\right)} G^d \quad (3.3)$$

$$Z_M(-) = \frac{AG}{a+bA+cG} \quad (3.4)$$

kur $Z_M(-)$ - audzes dabiskais tekošais vidēji periodiskais krājas atmirums, $m^3 ha^{-1} gadā$;

A – kokaudzes I stāva valdošās koku sugas krūšaugstuma vecums, gadi;

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

a, b, c, d - koeficienti.

Koeficientu vērtības aprēķinātas izmantojot datorprogrammu SPSS 14 rīku Nonlinear regression.

3.2.2. Rezultāti

Iepriekš izstrādātajiem vienādojumiem, balstoties uz 10 gadu pārmērījuma datiem, aproksimētas jaunas koeficientu vērtības kokaudzes I stāva un kokaudzes tekošā vidēji periodiskā krājas atmiruma aprēķināšanai (3.3. un 3.4. tabula). Lai gan 3.3. vienādojumam b_2 un b_3 koeficienti un 3.4. vienādojumam b_3 koeficienti ir nebūtiski, tie tomēr saglabāti visos gadījumos, jo tiem ir bioloģiski loģiski (pareiza determinācijas zīme) un tiek saglabāta iepriekšējo gadu vienādojuma forma (viena no pētījuma pasūtītāja prasībām), kas atvieglo to praktisku pielietojšanu.

Abiem vienādojumiem visiem analizē iekļautajiem meža elementiem konstatētas ļoti mazas vidējās novirzes (mazākas par $0,04 m^3 ha^{-1} gadā$), kas visos gadījumos ir mazākas par 3,5% no elementa aritmētiski vidējā krājas tekošā vidēji periodiskā atmiruma (3.2. tabula). Abiem vienādojumiem ir ļoti līdzīgi statistiskie rādītāji, kas nozīmē, ka abi vienādojumi vienlīdz labi raksturo paraugkopu.

3.3. tabula

Audzes tekošā vidēji periodiskā atmiruma modeļa (3.3. formula) koeficienti

Suga	Koef	Kopā				I stāvs			
		Vērtība	Standartklūda	95% Ticamības intervāls		Vērtība	Standartklūda	95% Ticamības intervāls	
				Min	Max			Min	Max
Priede	b1	0.00033	0.00096	-0.00156	0.00221	0.00015	0.00054	-0.00092	0.00122
	b2	0.96537	0.86131	-0.73054	2.66129	1.21331	1.06589	-0.88541	3.31204
	b3	0.19520	0.21455	-0.22724	0.61764	0.16476	0.22077	-0.26993	0.59946
	b4	1.67134	0.21211	1.25369	2.08899	1.64834	0.28665	1.08393	2.21275
Egle	b1	0.00127	0.00390	-0.00648	0.00901	0.00017	0.00065	-0.00112	0.00146
	b2	0.65018	1.08956	-1.51317	2.81353	1.18205	1.29840	-1.39596	3.76006
	b3	0.63142	1.07163	-1.49633	2.75916	0.29035	0.58234	-0.86589	1.44659
	b4	1.58492	0.34762	0.89470	2.27513	1.69690	0.37639	0.94956	2.44424
Bērzs	b1	0.05840	0.09167	-0.12258	0.23939	0.00280	0.00837	-0.01373	0.01933
	b2	-0.41100	0.58485	-1.56571	0.74370	0.06733	1.05660	-2.01879	2.15344
	b3	1.53108	1.94116	-2.30147	5.36363	1.50512	3.09523	-4.60596	7.61621
	b4	1.55661	0.19690	1.16785	1.94536	1.97619	0.26744	1.44816	2.50421
Melnalksnis	b1	0.00058	0.00465	-0.00901	0.01018	0.00043	0.00412	-0.00807	0.00892
	b2	1.88881	3.04043	-4.38633	8.16396	1.70089	3.73559	-6.00898	9.41076
	b3	0.03127	0.20952	-0.40116	0.46370	0.03151	0.25917	-0.50340	0.56642
	b4	0.84029	0.55948	-0.31441	1.99499	1.12588	0.77786	-0.47955	2.73130
Apse	b1	0.08455	0.27045	-0.47363	0.64272	0.11846	0.37801	-0.66172	0.89864
	b2	0.11929	1.17130	-2.29816	2.53675	-0.32099	1.28838	-2.98008	2.33810
	b3	0.43598	1.04282	-1.71631	2.58826	0.73219	1.97779	-3.34976	4.81415
	b4	1.11459	0.38814	0.31351	1.91567	1.48157	0.51912	0.41017	2.55298
Baltalksnis	b1	0.02650	0.05839	-0.09110	0.14410	0.01096	0.02562	-0.04064	0.06255
	b2	-0.20896	0.91881	-2.05954	1.64162	0.06746	0.95346	-1.85291	1.98782
	b3	1.19164	3.39587	-5.64800	8.03129	0.44166	1.28323	-2.14290	3.02622
	b4	1.68845	0.21949	1.24638	2.13051	1.78333	0.23441	1.31121	2.25546

3.4. tabula

Audzes tekošā vidēji periodiskā atmiruma modeļa (3.4. formula) koeficienti

Suga	Koeficients	Kopā				I stāvs			
		Vērtība	Standartklūda	95% Ticamības intervāls		Vērtība	Standartklūda	95% Ticamības intervāls	
				Min	Max			Min	Max
Priede	b1	489.654	299.680	-100.403	1079.710	617.354	404.007	-178.119	1412.827
	b2	17.961	2.685	12.674	23.248	17.863	3.501	10.969	24.757
	b3	-17.046	5.951	-28.764	-5.328	-22.758	10.138	-42.720	-2.797
Egle	b1	476.177	186.564	105.800	846.554	622.916	236.681	153.044	1092.789
	b2	5.750	2.365	1.054	10.446	4.710	2.525	-0.303	9.724
	b3	-7.327	4.611	-16.482	1.827	-10.700	6.212	-23.033	1.633
Bērzs	b1	87.075	74.418	-59.846	233.996	704.281	197.684	314.000	1094.562
	b2	13.363	1.770	9.869	16.857	6.240	2.323	1.654	10.826
	b3	-7.494	2.928	-13.275	-1.714	-20.718	5.599	-31.771	-9.664
Melnalksnis	b1	119.533	263.539	-423.236	662.302	204.934	375.946	-569.342	979.210
	b2	6.857	6.675	-6.891	20.605	9.906	9.568	-9.799	29.611
	b3	2.260	9.153	-16.592	21.111	-4.191	15.541	-36.198	27.816

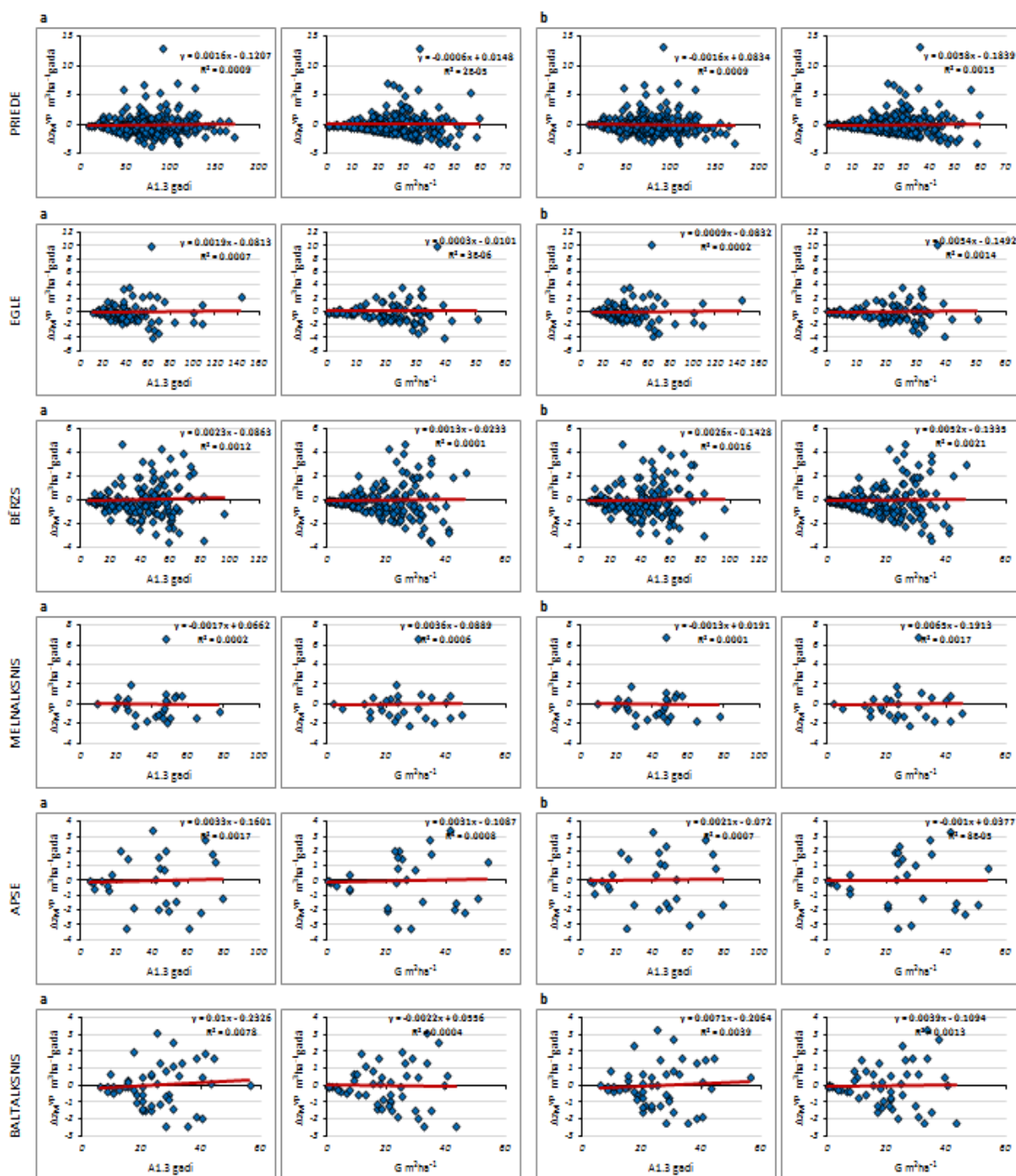
3.5. tabula

Audzes tekošā vidēji periodiskā atmiruma modeļu (3.3. un 3.4. formulas) statistiskie rādītāji

	Veids	Suga	Aritm. vid.	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
3.3. vienādojums	Kopā	P	1.40	0.00	-0.02	1.04	1.70	121.71	2.88	0.75	0.255	0.502	0.252	268
		E	1.54	-0.01	-0.33	0.96	1.66	107.86	2.74	0.58	0.417	0.648	0.420	98
		B	1.53	0.00	-0.03	0.88	1.32	86.30	1.72	0.51	0.479	0.699	0.488	170
		M	2.14	0.00	0.02	1.08	1.79	83.83	3.08	0.68	0.293	0.567	0.322	28
		A	3.19	-0.03	-0.97	1.39	1.90	59.49	3.44	0.43	0.544	0.756	0.571	28
		Ba	2.53	0.01	0.51	0.94	1.29	50.78	1.62	0.27	0.751	0.857	0.734	49
	1. stāvs	P	1.19	-0.01	-0.63	1.04	1.68	141.42	2.81	0.82	0.168	0.425	0.181	268
		E	1.22	0.02	1.31	0.90	1.59	130.01	2.51	0.60	0.395	0.631	0.398	98
		B	1.09	0.03	2.93	0.71	1.14	104.78	1.30	0.54	0.483	0.675	0.456	170
		M	1.77	-0.01	-0.28	1.03	1.80	101.98	3.11	0.72	0.258	0.527	0.278	28
		A	2.56	0.04	1.40	1.29	1.84	71.76	3.24	0.47	0.501	0.728	0.530	28
		Ba	2.22	0.02	0.97	0.89	1.25	56.47	1.54	0.28	0.743	0.851	0.725	49
3.4. vienādojums	Kopā	P	1.40	-0.04	-2.77	1.08	1.72	122.91	2.94	0.76	0.208	0.488	0.238	268
		E	1.54	-0.04	-2.90	0.98	1.67	108.33	2.76	0.58	0.384	0.645	0.416	98
		B	1.53	-0.04	-2.82	0.90	1.32	86.63	1.74	0.52	0.444	0.697	0.486	170
		M	2.14	-0.03	-1.49	1.08	1.81	84.72	3.14	0.69	0.271	0.555	0.308	28
		A	3.19	0.01	0.39	1.43	1.90	59.64	3.46	0.43	0.580	0.754	0.569	28
		Ba	2.53	-0.03	-1.33	0.94	1.28	50.66	1.61	0.26	0.704	0.858	0.736	49
	1. stāvs	P	1.19	-0.03	-2.56	1.06	1.70	142.81	2.86	0.84	0.143	0.407	0.166	268
		E	1.22	-0.04	-3.41	0.93	1.60	131.06	2.55	0.61	0.362	0.624	0.389	98
		B	1.09	0.01	1.16	0.72	1.15	105.11	1.31	0.55	0.464	0.672	0.452	170
		M	1.77	-0.02	-1.02	1.03	1.82	102.91	3.16	0.74	0.247	0.514	0.264	28
		A	2.56	0.00	-0.01	1.24	1.80	70.26	3.10	0.45	0.549	0.741	0.549	28
		Ba	2.22	-0.01	-0.42	0.88	1.22	54.98	1.46	0.26	0.731	0.860	0.739	49

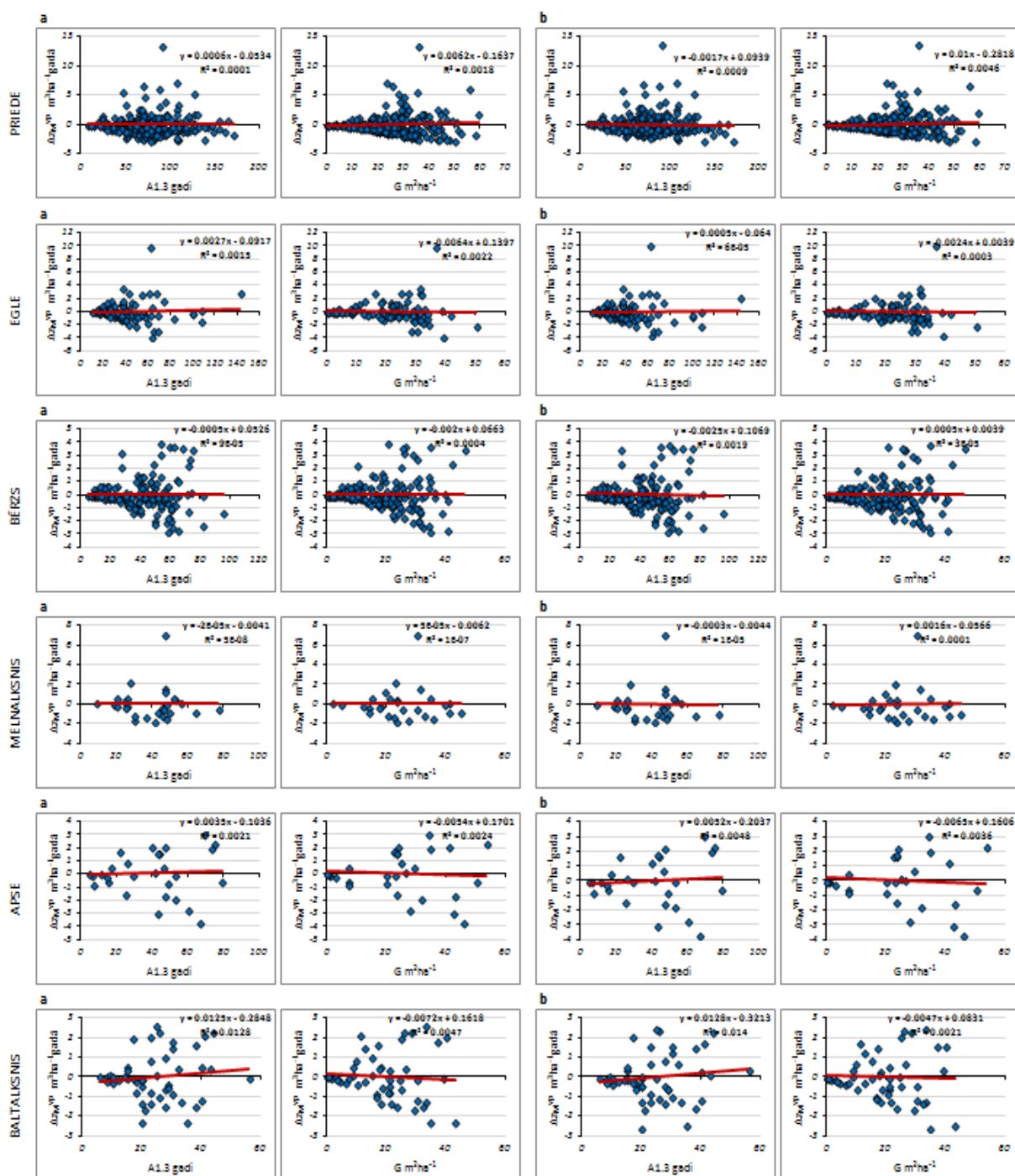
MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā klūda, m; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība; R - korelācijas koeficients; R² - determinācijas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

Starpības starp uzmērīto un aproksimēto audzes tekošo vidējo periodisko atmirumu nav atkarīgas no vienādojumā iekļautajām faktoriālajām pazīmēm (krūšaugstuma vecuma un elementa šķērslaukuma), jo visos gadījumos lineārās korelācijas ir vājas (3.3. un 3.4. attēli).



3.3. attēls. Audzes kopējā ikgadējā krājas atmiruma starpības ($\Delta Zm \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{gadā}$) starp uzņēmītajām un apmēģinātajām vērtībām atkarībā no audzes krūšaugsstuma vecuma (A1.3 gadi), bonitātes un audzes šķērslaukuma ($G \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$)

a – 3.3. vienādojums; b – 3.4. vienādojums



3.3. attēls. Audzes I stāva ikgadējā krājas atmiruma starpības ($\Delta Z_m \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ gadā}$) starp uzmērītajām un aproksimētajām vērtībām atkarībā no audzes krūšaugsstuma vecuma (A1.3 gadi), bonitātes un audzes I stāva šķērslaukuma ($G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$)

a – 3.3. vienādojums; b – 3.4. vienādojums

3.3. Krājas differences modelis

Krājas difference aprēķināma atbilstoši 3.5. formulai.

$$Z_{dab} = Z_M - Z_{Matm} - Z_{Mizc} \quad (3.5)$$

kur Z_{dab} – kokaudzes krājas difference;
 Z_M – faktiskās audzes krājas pieaugums;
 Z_{Matm} – kokaudzes krājas dabiskais atmirums;
 Z_{Mizc} – izcirstās kokaudzes krāja.

4. Atsevišķu koku augšanas gaitas prognožu modeļu izstrāde balstot uz Somijā un Zviedrijā lietotajiem modeļiem

Darba uzdevums: *Izmantojot 3. MSI cikla 2 gadu datus un Zviedrijas, Somijas augšanas gaitas modeļus aprēķināt augšanas gaitas un tās salīdzināt ar 2.punktā minētajiem rezultātiem.*

4.1. Somijas augšanas gaitas modeļi

4.1.1. Materiāls un metodika

UZ MSI atkārtoti 2014.-2015. gadā pārmērīto parauglaukumu datu bāzes pārbaudīti Somijas atsevišķa koka augšanas gaitas prognožu modeļi (Hynynen et al., 2002).

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

Tā kā Somijas modeļi paredzēti atsevišķu koku un mežaudzes taksācijas rādītāju izmaiņu prognozēšanai 5 gadus garam periodam, un atsevišķi prognožu modeļi ir atkarīgi no iepriekšējo gadu mežsaimnieciskās apsaimniekošanas režīma, tad par parauglaukumu bāzes taksācijas rādītājiem izvēlēti otrā cikla parauglaukumu dati.

Datu analīzē izmantoja datus par 1226 MSI 2014. - 2015. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuros starp pirmo un otro uzmērīšanas ciklu nav veikta galvenā cirte.

Somijas augšanas gaitas modeļu pārbaudei izmantoti dati par:

- ✓ 443 parauglaukumiem, kuros valdošā koku suga ir priede,
- ✓ 226 parauglaukumiem, kuros valdošā koku suga ir egle,
- ✓ 327 parauglaukumiem, kuros valdošā koku suga ir bērzs,
- ✓ 230 parauglaukumiem, kuros valdošā koku suga ir kāda cita lapu koku suga.

Lai izvairītos no šķērslaukuma, krājas un koku skaita 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.

4.1.1.1. Vienādojumos izmantotie apzīmējumi un koeficienti

A	mežaudzes krūšaugstuma vecums (rēķinot virsaugstuma bonitāti A=50 gadi), gadi;
A _c	koka celma augstuma vecums, gadi;
A _{max}	koku sugas teorētiski maksimālais vecums, gadi;
BAL	šķērslaukuma summa kokiem, kas lielāki par konkrēto koku, m ² ha ⁻¹ ;
C ₀₋₅	fiktīvais rādītājs, kas raksturo vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta kopšanas cirte;
C ₆₋₁₀	rādītājs, kas raksturo vai pēdējo 6 līdz 10 gadu laikā mežaudzē ir veikta kopšanas cirte;
C _{kor}	koku skaita korekcijas koeficients;
cr	vainaga īpatsvars (zaļā vainaga garums attiecībā pret koka garumu);
CR _{dom}	dominējošo koku vidējais vainaga īpatsvars;
d	koka krūšaugstuma caurmērs, cm;
d/D _{dom}	atsevišķa koka caurmēra attiecība pret dominējošo koku vidējo caurmēru;
d _c	koka celma augstuma caurmērs, cm;
D _c	mežaudzes vidējais celma augstuma caurmērs, cm;
D _{dom}	dominējošo koku krūšaugstuma caurmērs, cm;
D _M	mežaudzes mediānais caurmērs, cm;
DR ₀₋₅	fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta nosusināšana;
DR ₁₁₋₂₅	fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 11 līdz 25 gadu laikā mežaudzē ir veikta nosusināšana;

DR ₂₅	fiktīvais mainīgais, kas raksturo, ka mežaudzē ir veikta nosusināšana vairāk kā pirms 25 gadiem;
g	koka šķērslaukums, cm ² ;
G	mežaudzes šķērslaukums, m ² ha ⁻¹ ;
G`	ar atmiruma modeļiem prognozētais šķērslaukums, m ² ha ⁻¹ ;
ga _i	atsevišķa koka minimālā augšanas telpa;
G _{max}	maksimālais šķērslaukums, m ² ha ⁻¹ ;
h	koka augstums, m;
H _{dom}	mežaudzes virsaugstums, m;
H _{domA+5}	dominējošo koku vidējais augstums vecumā A+5 ;
HUMUS	fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai augsnes virskārtā ir biezs rohumusa slānis;
H _{vjl}	augstums virs jūras līmeņa, m;
igs	koka nākošo 5 gadu šķērslaukuma pieaugums, cm ² ;
ih ₅	koka nākamo 5 gadu augstuma pieaugums, m;
iH _{dom5}	dominējošo koku nākošo 5 gadu augstuma pieaugums, m;
LAKE	20 km rādiusā ezeru proporcionālais segums;
LAT	ziemeļu platums, km;
N`	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 ;
p ₅	varbūtība, ka koks atmirs nākošo piecu gadu laikā;
PALU	fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai augsne ir pārpurvojusies;
P _B	bērzu šķērslaukuma īpatsvars mežaudzē, %;
p _{comp5}	varbūtība, ka koks konkurences dēļ atmirs nākošo piecu gadu laikā;
PDR	fiktīvais mainīgais, kas raksturo nosusināšanas nepieciešamību, ja vajag nosusināt, tad 1, ja nevajag, tad 0;
P _E	egļu šķērslaukuma īpatsvars mežaudzē, %;
PLANT	fiktīvais mainīgais audzes izcelsmes raksturošanai, ja audze stādīta, tad 1, ja nē, tad 0;
p _{old}	varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs;
p _{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;
RDF	relatīvā biežības faktors (rēķinot virsaugstuma bonitāti RDF=0.75);
RDF _B	bērza relatīvās biežības faktors;
RDF _C	citu koku sugu (bez p;e;b) relatīvās biežības faktors;
RDF _E	egles relatīvās biežības faktors;
RDF _L	lielāku koku relatīvā biežības faktors;
RDF _P	priedes relatīvās biežības faktors;
SC _x	fiktīvais mainīgais, kas raksturo kādai meža tipa auglības grupai pieder mežaudze (4.1. tabula);
SEA	20 km rādiusā jūras proporcionālais segums;
SI	mežaudzes virsaugstuma bonitāte (augstums 50 gadu krūšaugstuma vecumā), m;
SI _B	bērza virsaugstuma bonitāte (augstums 50 gadu vecumā), m;
SI _E	egles virsaugstuma bonitāte (augstums 50 gadu vecumā), m;
SI _P	priedes virsaugstuma bonitāte (augstums 50 gadu vecumā), m;
SP	fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 10 gadu laikā mežaudzē ir sagatavota augsne;
SQ ₂₋₄	fiktīvais mainīgais augsnes auglības raksturošanai, ja mežaudze ir mezotrofā, oligomezotrofā vai oligotrofā augsnē, tad 1, ja nē, tad 0;
STONY	fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai augsne ir akmeņaina;
T _{sum}	aktīvās veģetācijas (to >50C) temperatūru summa;

Y₁₋₄ fiktīvais mainīgais, kas raksturo koku sugai atbilstošo ražības grupu (4.2. tabula).

Vienādojumos izmantotie koeficienti atspoguļoti 4.4. tabulā.

4.1. 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			

4.2. tabula

Somijas caurmēra augšanas gaitas modeļos kūdras augsnēs (4.9. 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	Ombroprofās 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		

4.3. tabula

Atsevišķu koku, mežaudzes un augšanas apstākļu raksturojums Somijā vienādojumu izstrādē izmantotajos parauglaukumos un Latvijā MSI parauglaukumos

Rādītājs	Valsts	Priede			Egle			Bērzs un citi lapu koki		
		Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
Koki										
h, m	Somija	2.0	12.2	31.2	2.4	17.5	32.8	6.1	16.7	30.8
	Latvija	2.4	19.9	36.9	2.0	16.3	39.3	2.6	18.5	38.4
d / Ddom	Somija	0.73	0.98	1.22	0.80	0.99	1.24	0.83	0.99	1.25
	Latvija	0.11	0.85	2.27	0.05	0.67	2.98	0.06	0.74	2.74
Mežaudze										
A1.3, gadi	Somija	5	48.2	161	6	59.1	156	9	38.9	88
	Latvija	17	78.9	193	15	56.0	176	10	47.6	130
RDF	Somija	0.01	0.45	1.37	0.00	0.44	1.25	0.01	0.28	2.66
	Latvija	0.003	1.21	19.94	0.022	2.36	22.22	0.002	1.87	24.61
Augšanas apstākļi										
TS	Somija	659	1017	1344	732	1136	1348	940	1112	1288
	Latvija	1874	2050	2186	1903	2058	2186	1874	2061	2186
H_{vjl}, m	Somija	5	148	320	10	115	360	17	118	200
	Latvija	13	65	238	13	84	300	13	82	263
LAKE	Somija	0.00	0.09	0.53	0.00	0.12	0.52	0.00	0.17	0.64
	Latvija	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.017	0.000	0.000	0.006
SEA	Somija	0.00	0.01	0.57	0.00	0.01	0.40	0.00	0.00	0.07
	Latvija	0.000	0.001	0.111	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.211

rādītāju apzīmējumi tādi paši kā vienādojumos izmantotie

4.4. tabula

Somijas atsevišķu koku augšanas gaitas prognožu modeļu koeficientu vērtības

Formula	Suga	MT grupa	a _i	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	b ₆	b ₇	b ₈	b ₉	b ₁₀	b ₁₁	b ₁₂	b ₁₃	b ₁₄	b ₁₅	b ₁₆	b ₁₇	c	c ₀	c ₁	c ₂	β ₁
4.1.	P			13.9189	-2.0551																					
4.1	E			12.6161	-1.5538																					
4.1	B			14.1979	-2.2178																					
4.2.1	P			4.90911	-0.28807	0.21357	0.76199	0.14438	0.118	-0.47057	0.2949															
4.2.2	E			2.05788	-0.16547	0.71419	0.25755	0.38242	-0.54008	0.42485																
4.2.3	B			2.02622	1.7165	0.62383	0.54674	1.67423	0.32816	0.6403																
4.3.1	P			3.578	1.453	0.0875	0.1647	-0.4558		0.1385	0.0782			-0.1363	-0.1013	-0.0365	-0.1718	0.1308	0.9913	-1.041			-0.2			-6.09
4.3.1	E			3.418	1.48		0.08331	-0.7855		0.2112	0.1874			-0.2005		-0.0434	-0.0892	-0.1631	0.7811	-0.6057			-0.25			-6.33
4.3.1	B			3.155	0.6528		-0.05292			0.03088	0.01246					0.1871	-0.445		0.7313	-0.6335	0.3229		-0.5			-6.56
4.5	P				0.80171	0.4353	-0.49724	-0.64383	0.082																	
4.5	E				1.78842	0.2544	-0.38878	-1.96189	0.53034																	
4.6	B				1.54405	-0.81202																				
4.7	P		0.4	5.369	0.3566	0.1177		-0.02638		0.05115	0.0984												0.3742	0.141	0.0984	
4.7	E		0.4	5.789	0.1889	0.1665		-0.02381															0.4502	0.1622		
4.7	B		0.7	6.465	0.4743		0.134	-0.0433	-0.000436	0.06447													-0.05942	0.2123	-0.004922	
4.8.1	P			-2.74332	0.75638	0.11721	0.052	-0.13549	6.46997	-4.22774	1.57123	-0.00088	1.09423	0.56858	-0.40647	-0.89384	-0.97311	-0.94614	0.38051	0.11976	0.0806					
4.8.2	E			-5.08998	0.66849	0.14526	0.11475	-0.1013	7.10363	-25.3565	0.61162	-0.00063	0.19257	-0.35418	-0.42997	-0.67742	-0.78516	-0.30546	1.71107	0.11804						
4.8.3	B			-3.98207	0.76027	14.97845	-32.1554	1.314906	-0.00053	0.37444	-0.96221	-0.59253	1.16996	0.36701	0.19411	-0.16571										
4.9.1	P			-1.217101	0.00187	-0.00892	-0.00153	-0.2468	0.06915	-0.6115	0.301425	0.664339	0.314616	0.388967	-0.23774	0.093963	-0.155569	0.12766	0.258215							
4.9.2	E			1.223	-0.00001747	-0.01503	-0.00441	0.5141	0.4279	-0.2639	-0.04874	-0.06852	0.1621													
4.9.3	B			0.6394	-0.00074	-0.03533	0.0005473	-0.003167	-0.003626	0.005155	1.016	1.048	0.9442	-0.1955	0.06322	-0.1028	0.1777									
4.11	P	SC1,2		3.133	0.2087	-0.0189	-0.0847																			
4.11	P	SC3		2.2388	0.5089	-0.0303	-0.0794																			
4.11	P	SC4		3.9458	0.1445	-0.0444	-0.069																			
4.11	P	SC5		2.9774	0.3274	0.0591	-0.1875																			
4.11	P	SC6-8		3.476	0.0071	0.1692	-0.1867																			
4.11	E	SC1,2		4.3958	0.2042	0.0956	-0.199																			
4.11	E	SC3		4.3552	0.094	0.0867	-0.1637																			
4.11	E	SC4		2.891	0.1772	0.809	-0.9307																			
4.11	E	SC5-8		1.696	0.092	-0.0154	0.5883																			
4.12	LK			3.014	0.1015	-9.313	0.4073																			
4.15	P			13.9189	-2.0551																					
4.15	E			12.6161	-1.5538																					
4.15	B			14.1979	-2.2178																					
4.16	P			12.3758	0.571	-2.067																				
4.16	E			11.8686	0.2919	-1.5928																				

4.1.1.2. Augšanas gaitas modeļiem nepieciešamie papildus rādītāji

4.1.1.2.1. Audzes relatīvā biežība

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

Relatīvo audzes biežības faktoru aprēķina pēc sekojoša vienādojuma:

$$RDF = \sum_{i=1}^n ga_i \quad (4.1)$$

$$ga_i = b_0^{-1} \cdot d_i^{-b_1} \quad (4.1.1)$$

4.1.1.2.2. Koku vainaga īpatsvars

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

$$cr = 1 - \exp(-X) \quad (4.2)$$

Priede

$$X = (b_0 + b_1 \cdot c_{0-5} + b_2 \cdot c_{6-10}) \cdot H_{dom}^{-b_3} \cdot d^{b_4} \cdot \exp(-b_5 \cdot RDFL) \cdot T_{sum}^{b_6} \cdot \exp(-b_7 \cdot RDF) \quad (4.2.1)$$

Egle

$$X = (b_0 + b_1 \cdot c_{0-5}) \cdot H_{dom}^{-b_2} \cdot d^{b_3} \cdot \exp(-b_4 \cdot RDF) \cdot T_{sum}^{b_5} \cdot SI_e^{b_6} \quad (4.2.2)$$

Bērzs

$$X = (b_0 + b_1 \cdot PLANT) \cdot \ln(H_{dom})^{-b_2} \cdot d^{b_3} \cdot \ln(h)^{-b_4} \cdot \exp(-(b_5 + b_6 \cdot PLANT) \cdot RDF) \quad (4.2.3)$$

4.1.1.2.3. Audzes virsaugstuma bonitāte

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

Mežaudzes virsaugstuma aprēķināšanai izmantojams sekojošs vienādojums:

$$SI = \exp(\beta_0 + \beta_1 \cdot A^c) + 1.3 \quad (4.3)$$

$$\beta_0 = b_0 + b_1 \cdot \frac{T_{sum}}{1000} + b_2 \cdot \frac{H_{vj1}}{100} + b_3 \cdot LAKE + b_4 \cdot SEA + b_5 \cdot SC_1 + b_6 \cdot SC_2 + b_7 \cdot SC_3 + b_8 \cdot SC_4 + b_9 \cdot SC_5 + b_{10} \cdot STONY + b_{11} \cdot PALU + b_{12} \cdot HUMUS + b_{13} \cdot RDF^{0.5} + b_{14} \cdot \ln\left(\frac{d}{D_{dom}}\right) + b_{15} \cdot \ln\left(\frac{d}{D_{dom}}\right) \cdot RDF + b_{16} \cdot PLANT \quad (4.3.1)$$

Ar 4.3. vienādojumu iespējams aprēķināt arī mežaudzes dominējošo koku vidējo augstumu jebkurā vecumā un līdz ar to ir iespējams arī prognozēt šī rādītāja pieaugumu:

$$iH_{dom5} = H_{domA+5} - H_{domA} \quad (4.4)$$

4.1.1.3. Augstuma augšanas gaitas modeļi

4.1.1.3.1. Mežaudzes minerālās augsnes

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

$$\text{Priede; Egle} \quad ih_5 = iH_{dom5} \cdot \left(\frac{d}{D_{dom}} \right)^{b_1 \cdot iH_{dom5}^{b_2} + b_3 \cdot \frac{cr}{CR_{dom}} + b_4 \cdot cr + b_5 \cdot RDFL} \quad (4.5)$$

$$\text{Bērzs} \quad ih_5 = iH_{dom5} \cdot \left(\frac{d}{D_{dom}} \right)^{(b_1 + b_2 \cdot PLANT) \cdot RDFL} \quad (4.6)$$

4.1.1.3.2. Mežaudzes kūdras augsnēs

Modelis izstrādāts, lai atbilstoši aktualizētajam koka caurmēram (4.9. vienādojums) aprēķinātu atsevišķu koku augstumu:

$$h = \exp(A_k + B_k \cdot x + e) + 1.3 \quad (4.7)$$

$$x = \frac{d^{-a_1} - 30^{-a_1}}{10^{-a_1} - 30^{-a_1}} \quad (4.7.1)$$

$$A_k = b_0 + b_1 \cdot \ln(DM) + b_2 \cdot \ln(G) + b_3 \cdot \ln\left(\frac{P_b}{100} + 1\right) + b_4 \cdot LAT + b_5 \cdot H_{vj1} + b_6 \cdot c_{0-5} + b_7 \cdot SQ_{2-4} \quad (4.7.2)$$

$$B_k = c_0 + c_1 \cdot \ln(DM) + c_2 \cdot \ln(G) \quad (4.7.3)$$

4.1.1.4. Caurmēra augšanas gaitas modeļi

Caurmēra augšanas gaitas aproksimēšanai izmanto atsevišķu koku šķērslaukuma pieauguma modeli.

4.1.1.4.1. Mežaudzes minerālās augsnēs

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

$$i_{g5} = \exp(b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n) \quad (4.8)$$

Priede

$$i_{g5} = \exp\left(b_0 + b_1 \cdot SI_p + b_2 \cdot SC_{1-2} + b_3 \cdot SC_3 + b_4 \cdot SC_{5-8} + b_5 \cdot \frac{1}{H_{dom}} + b_6 \cdot \frac{1}{H_{dom}^2} + b_7 \cdot \ln(d) + b_8 \cdot d^2 + b_9 \cdot \frac{1}{d+0.1} + b_{10} \cdot \ln(cr) + b_{11} \cdot RDFL + b_{12} \cdot \ln(RDF_p + 1) + b_{13} \cdot \ln(RDF_e + 1) + b_{14} \cdot \ln(RDF_b + RDF_{citi} + 1) + b_{15} \cdot \frac{cr \cdot T_{sum}}{1000} + b_{16} \cdot c_{0-5} + b_{17} \cdot c_{6-10}\right) \quad (4.8.1)$$

Egle

$$i_{g5} = \exp\left(b_0 + b_1 \cdot SI_e + b_2 \cdot SC_1 + b_3 \cdot SC_2 + b_4 \cdot SC_{4-8} + b_5 \cdot \frac{1}{H_{dom}} + b_6 \cdot \frac{1}{H_{dom}^2} + b_7 \cdot \ln(d) + b_8 \cdot d^2 + b_9 \cdot (\ln(d))^2 + b_{10} \cdot \ln(cr) + b_{11} \cdot RDFL + b_{12} \cdot \ln(RDF_p + 1) + b_{13} \cdot \ln(RDF_e + 1) + b_{14} \cdot \ln(RDF_b + 1) + b_{15} \cdot \frac{cr \cdot T_{sum}}{1000} + b_{16} \cdot c_{0-5}\right) \quad (4.8.2)$$

Bērzs

$$i_{g5} = \exp\left(b_0 + b_1 \cdot SI_b + b_2 \cdot \frac{1}{H_{dom}} + b_3 \cdot \frac{1}{H_{dom}^2} + b_4 \cdot \ln(d) + b_5 \cdot d^2 + b_6 \cdot \ln(cr) + b_7 \cdot RDFL + b_8 \cdot \ln(RDF + 1) + b_9 \cdot \frac{T_{sum}}{1000} + b_{10} \cdot PLANT + b_{11} \cdot c_{0-10} + b_{12} \cdot SP\right) \quad (4.8.3)$$

4.1.1.4.2. Mežaudzes kūdras augsnēs

Mežaudzēs kūdras augsnēs tiek prognozēts atsevišķu koku šķērslaukuma pieaugums:

$$i_g = \exp(b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n) - \text{const} \quad (4.9)$$

Priede

$$i_g = \exp(b_0 + b_1 \cdot g + b_2 \cdot \text{BAL} + b_3 \cdot \text{BAL}^2 + b_4 \cdot \ln(\text{BAL}) + b_5 \cdot (T_{\text{sum}} \cdot d^{0.5})^{0.5} + b_6 \cdot Y1 + b_7 \cdot Y2 + b_8 \cdot Y1 \cdot \ln(d) + b_9 \cdot Y2 \cdot 4 \cdot \ln(d) + b_{10} \cdot Y3 \cdot \ln(d) + b_{11} \cdot \text{DR}_{0-5} + b_{12} \cdot \text{DR}_{11-25} + b_{13} \cdot \text{PDR} + b_{14} \cdot c_{0-5} + b_{15} \cdot \text{FUSC}) - 1 \quad (4.9.1)$$

Egle

$$i_g = \exp(b_0 + b_1 \cdot d^{2.9} + b_2 \cdot \text{BAL} + b_3 \cdot P_e + b_4 \cdot Y1 \cdot d^{0.5} + b_5 \cdot Y2 \cdot d^{0.5} + b_6 \cdot \text{DR}_{0-5} + b_7 \cdot \text{DR}_{25-} + b_8 \cdot \text{PDR} + b_9 \cdot c_{0-5}) - 7 \quad (4.9.2)$$

Bērzs

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

4.1.1.5. 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:

$$p_5 = 1 - (1 - p_{\text{comp}5}) \cdot (1 - p_{\text{old}5}) \quad (4.10)$$

4.1.1.5.1. Konkurences izraisītais atsevišķu koku atmirums

Atsevišķu koku konkurences izraisītā atmiruma varbūtība tiek modelēta sekojoši:

Priede, egle

$$p_{\text{comp}5} = \frac{1}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot G + b_3 \cdot \text{BAL})} \quad (4.11)$$

Lapu koki

$$p_{\text{comp}5} = \frac{1}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot d_c + b_2 \cdot \text{RDFL} + b_3 \cdot d_c \cdot \text{RDFL})} \quad (4.12)$$

4.1.1.5.2. Vecuma izraisītais atsevišķu koku atmirums

Atsevišķu koku vecuma izraisītā atmiruma varbūtība tiek modelēta sekojoši:

$$p_{\text{old}} = \frac{\exp\left(-10 + 10 \cdot \left(\frac{10 \cdot a_c}{0.82 \cdot A_{\text{max}}}\right)\right)}{1 + \exp\left(-10 + 10 \cdot \left(\frac{10 \cdot a_c}{0.82 \cdot A_{\text{max}}}\right)\right)} \quad (4.13)$$

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

$$p_{\text{old}5} = \frac{p_{\text{old}(A+5)} - p_{\text{old}(A)}}{1 - p_{\text{old}(A)}} \quad (4.14)$$

4.1.1.5.3. Mežaudzes maksimālais koku skaits

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

$$N_{\max} = \exp(b_0 + b_1 \cdot \ln(D_c)) \quad (4.15)$$

$$N_{\max} = \exp(b_0 + b_1 \cdot \ln(SI) + b_2 \cdot \ln(D_c)) \quad (4.16)$$

Maksimālais koku skaits mistrotās audzēs tiek aprēķināts katrai koku sugai atsevišķi. Mežaudzē ģenētiskā 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 ģenētiskās sugas maksimālo koku skaitu.

$$N_{\max E} = N'_{\max E} \quad (4.17)$$

- 3) Aprēķina nākošās ģenētiskās sugas maksimālo koku skaitu.

$$N_{\max P} = \frac{RDF_p + RDF_b}{RDF} \cdot N'_{\max p} + \frac{RDF_e}{RDF} \cdot N'_{\max E} \quad (4.18)$$

- 4) Aprēķina nākošās ģenētiskās sugas maksimālo koku skaitu.

$$N_{\max B} = \frac{RDF_b}{RDF} \cdot N'_{\max b} + \frac{RDF_p}{RDF} \cdot N'_{\max p} + \frac{RDF_e}{RDF} \cdot N'_{\max E} \quad (4.19)$$

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

4.1.1.5.4. Atmiruma korekcija

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

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

$$C_{kor} = \frac{N_{\max}}{N'} \quad (4.20)$$

Ar 4.20. 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:

$$C_{kor} = \frac{G_{\max}}{G} \quad (4.21)$$

Šķērslaukuma aprēķināšanai izmanto 8. vienādojumu, kur mežaudzes maksimālā šķērslaukuma aprēķināšanā izmanto mežaudzes vidējo kvadrātisko caurmēru.

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

$$C_{kor} = \varphi \cdot \frac{G_{\max}}{G} + (1 - \varphi) \cdot \frac{N_{\max}}{N'} \quad (4.22)$$

$$\varphi = \frac{1}{3} \cdot \frac{N'}{1000} - \frac{2}{3} \quad (4.22.1)$$

Nākamā perioda koriģēto koku skaitu aprēķina sekojoši:

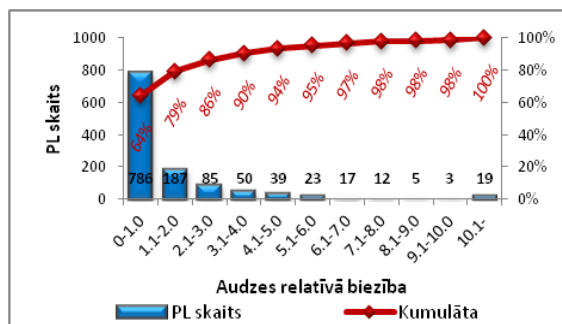
$$N_{kor} = C_{kor} \cdot N' \quad (4.23)$$

4.1.2. Rezultāti.

4.1.2.1. Augšanas gaitas modeļiem nepieciešamie papildus rādītāji

4.1.2.1.1. Audzes relatīvā biežība

Audzes relatīvā biežība (RDF) ir rādītājs, kuram loģiskās robežas būtu starp 0 un 1,0. Tomēr pašreizējā variantā izmantojot Somijas modeļu koeficientus aprēķinātā audzes relatīvā biežība (4.1. vienādojums) MSI parauglaukumos robežās no 0 līdz 1,0 ir 63% gadījumu, atsevišķos gadījumos šis rādītājs ir lielāks pat vairāk kā 10 reizes (4.1. attēls).



4.1. attēls. MSI parauglaukumu sadalījums pa audzes relatīvās biežības grupām, kas aprēķināta ar Somijas modeli un koeficientiem (4.1. vienādojums)

Tomēr jāatzīmē, ka arī Somijā atsevišķos vienādojumu izstrādē iekļautajos parauglaukumos relatīvā mežaudzes biežība ir lielāka par vienu un pat divi, tomēr vidējā vērtība ir mazāka par 0,5, kamēr Latvijā MSI parauglaukumos vidējā mežaudzes relatīvā biežība ir lielāka par vienu (4.3. tabula). Šādas atšķirības visticamāk skaidrojamas ar to, ka Latvijā ir ievērojami lielāks saliktu audžu īpatsvars, kurās ir ievērojami lielāka mežaudzes otrā stāva relatīvā biežība.

Tā kā audzes relatīvā biežība trešdaļā gadījumu ir lielāka par vienu, tad 4.1. vienādojums tiešā veidā ar Somijā izmantotajām koeficientu vērtībām nav piemērojams Latvijas mežaudžu relatīvās biežības aprēķināšanai. Tālākos pētījumos būtu nepieciešams aproksimēt koeficientu vērtības ne tikai priedei, eglei un bērzam, bet arī apsei, melnalksnim un baltalksnim.

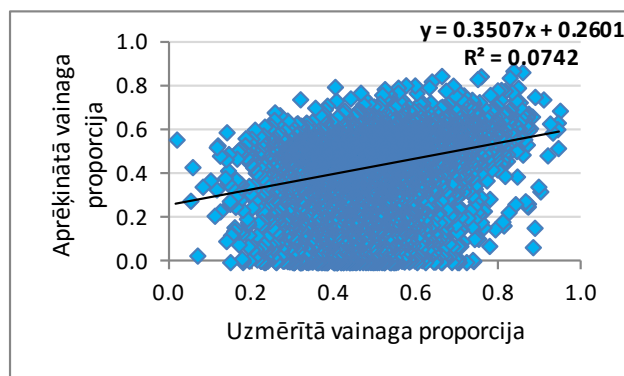
4.1.2.1.2. Koku vainaga īpatsvars

Tā kā priedei un eglei koku zaļā vainaga īpatsvars Somijas modeļos (4.2. vienādojums) ir tieši atkarīgs no aprēķinātās mežaudzes relatīvās biežības un veģetācijas perioda aktīvo temperatūru summas, tad šīm sugām tiešā veidā izmantojot Somijai paredzētos koeficientus modeļi prognozē neloģiski mazus vainaga īpatsvarus (4.5. tabula). Lapu koki prognozētais aritmētiskais vidējais zaļā vainaga īpatsvars ir loģisks, tomēr lielam koku skaitam modelis paredz nepamatoti mazu vai nepamatoti lielu vainaga īpatsvaru (4.2. attēls).

4.5. tabula

Somijas modeļa (4.2. formula) prognozētais zaļā vainaga īpatsvars

Priede			Egle			Bērzs un citi lapu koki		
Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
0.0%	1.6%	4.2%	0.0%	0.6%	2.4%	0.0%	41.7%	87.2%



4.2. attēls. MSI parauglaukumos lapu koku uzmērītais un ar Somijas modeli (4.2. vienādojums) aprēķinātais zaļā vainaga īpatsvars

Diemžēl Somijas modeļi tiešā veidā ar Somijai paredzētajām koeficientu vērtībām nav izmantojami atsevišķu koku zaļā vainaga īpatsvara prognozēšanai. Turpmākajos pētījumos būtu nepieciešams aproksimēt jaunas Latvijai atbilstošas koeficientu vērtības, kā arī izvērtēt atsevišķu faktoriālo pazīmju atbilstību un nepieciešamību Latvijas klimatiskajos un ģeogrāfiskajos apstākļos, kā arī būtu nepieciešams izstrādāt atsevišķus modeļus apsei, melnalksnim un baltalksnim.

4.1.2.1.3. Audzes virsaugstuma bonitāte

Mežaudzes virsaugstuma bonitātes aprēķināšanas vienādojums (4.3. formula) ietver virkni rādītāju, kas:

- ✓ nav pieejami MSI parauglaukumu datu bāzē (piemēram, rohumusa slāņa biezums),
- ✓ nav tieši noteikti, līdz ar to balstoties uz meža tipu pielīdzināti (piemēram, augsnes auglības klase vai augsnes pārpurvošanās rādītājs),
- ✓ Latvijā nav mežaudzes augšanas gaitu būtiski ietekmējoši faktori (piemēram, augstums virs jūras),

Jāatzīmē, ka Somijā izmantotais mežaudzes virsaugstuma aprēķināšanas modelis (4.3. formula) raksturo koku sugas (priedes, egles vai bērza) piemērotību un šīs koku sugas abstraktu augstuma potenciālu 50 gados esošajos augšanas apstākļos, nevis konkrētās mežaudzes (konkrēto koku) potenciālo augstumu 50 gados. Šāds secinājums ir tādēļ, ka vienādojumā nav izmantots mainīgais, kas raksturotu esošās mežaudzes virsaugstumu konkrētajā brīdī, kā arī nav rādītāji, kas raksturotu mežsaimnieciskās darbības ietekmi uz virsaugstuma augšanas gaitas izmaiņām. Šis vienādojums pašreizējā formā būtu piemērojams jaunaudžu bonitēšanai, tomēr sasniedzot noteiktu vecumu (vai augstumu) būtu nepieciešams veikt mežaudzes virsaugstuma bonitātes korekcijas, ņemot vērā virsaugstuma novirzes no prognozētās virsaugstuma augšanas gaitas.

Pārbaudot Somijā izmantotā mežaudzes virsaugstuma aprēķināšanas vienādojuma piemērotību Latvijai, pieņem, ka

- ✓ nevienā no parauglaukumiem nav biezs rohumusa slānis (HUMUS=0);
- ✓ augsnes virskārta ir pārpurvojusies purvainu meža tipos;
- ✓ augsne visos parauglaukumos nav akmeņaina (STONY=0).

Diemžēl Somijas modeļi tiešā veidā ar Somijai paredzētajām koeficientu vērtībām nav izmantojami mežaudzes virsaugstuma prognozēšanai, jo šis rādītājs tiek vairākkārtīgi pārvērtēts (4.6. tabula). Somijas modeļu prognozētā virsaugstuma tik liela atšķirība no Latvijas modeļu prognozētajām vērtībām ir dēļ tā, ka Latvijā aktīvās veģetācijas summa ir aptuveni par 1000°C lielāka nekā Somijā.

**Somijas (4.3. formula) un Latvijas (2.1. formula) modeļu prognozētais dominējošo koku augstums
50 gadu krūšaugstuma vecumā**

Valsts	Priede			Egle			Bērzs un citi lapu koki		
	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
Somija	33.8	54.7	70.2	39.1	68.1	85.6	31.5	36.6	53.3
Latvija	2.9	16.3	27.1	10.0	20.3	28.0	8.8	23.2	36.1

Turpmākajos pētījumus būtu nepieciešams aproksimēt jaunas Latvijai atbilstošas koeficientu vērtības, kā arī izvērtēt atsevišķu faktoriālo pazīmju atbilstību un nepieciešamību Latvijas klimatiskajos un ģeogrāfiskajos apstākļos, kā arī būtu nepieciešams izstrādāt atsevišķus modeļus apses, melnalkšņu un baltalkšņu audzēm.

4.1.2.2. Augstuma augšanas gaitas modelis

Tā kā atsevišķu koku augšanas gaitas modeļiem nepieciešamie papildus mežaudzes (relatīvā biežība, virsaugstuma bonitāte) un koku (zaļā vainaga īpatsvars) taksācijas rādītāji, klimatiskie (aktīvās veģetācijas temperatūru summa) un ģeogrāfiskie apstākļi nav tieši izmantojami vai ekstrapolējami Latvijas klimatiskajiem un ģeogrāfiskajiem apstākļiem, tad Somijas atsevišķu koku augstuma augšanas gaitas modeļi nav tieši izmantojami Latvijā.

Turpmākajos pētījumus būtu nepieciešams aproksimēt jaunas Latvijai atbilstošas koeficientu vērtības, kā arī izvērtēt atsevišķu faktoriālo pazīmju atbilstību un nepieciešamību Latvijas klimatiskajos un ģeogrāfiskajos apstākļos, kā arī būtu nepieciešams izstrādāt atsevišķus modeļus ne tikai priedei, eglei un bērzam, bet arī apsei, melnalksnim un baltalksnim.

4.1.2.3. Caurmēra augšanas gaitas modelis

Tā kā atsevišķu koku augšanas gaitas modeļiem nepieciešamie papildus mežaudzes (relatīvā biežība, virsaugstuma bonitāte) un koku (zaļā vainaga īpatsvars) taksācijas rādītāji, klimatiskie (aktīvās veģetācijas temperatūru summa) un ģeogrāfiskie apstākļi nav tieši izmantojami vai ekstrapolējami Latvijas klimatiskajiem un ģeogrāfiskajiem apstākļiem, tad Somijas atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modeļi nav tieši izmantojami Latvijā.

Turpmākajos pētījumus būtu nepieciešams aproksimēt jaunas Latvijai atbilstošas koeficientu vērtības, kā arī izvērtēt atsevišķu faktoriālo pazīmju atbilstību un nepieciešamību Latvijas klimatiskajos un ģeogrāfiskajos apstākļos, kā arī būtu nepieciešams izstrādāt atsevišķus modeļus ne tikai priedei, eglei un bērzam, bet arī apsei, melnalksnim un baltalksnim.

4.1.2.4. Atmiruma modelis

Tā kā atsevišķu koku augšanas gaitas modeļiem nepieciešamie papildus mežaudzes (relatīvā biežība, virsaugstuma bonitāte) un koku (zaļā vainaga īpatsvars) taksācijas rādītāji, klimatiskie (aktīvās veģetācijas temperatūru summa) un ģeogrāfiskie apstākļi nav tieši izmantojami vai ekstrapolējami Latvijas klimatiskajiem un ģeogrāfiskajiem apstākļiem, tad Somijas atsevišķu koku atmiruma modeļi nav tieši izmantojami Latvijā.

Turpmākajos pētījumus būtu nepieciešams aproksimēt jaunas Latvijai atbilstošas koeficientu vērtības, kā arī izvērtēt atsevišķu faktoriālo pazīmju atbilstību un nepieciešamību Latvijas klimatiskajos un ģeogrāfiskajos apstākļos, kā arī būtu nepieciešams izstrādāt atsevišķus atmiruma modeļus ne tikai priedei, eglei un bērzam, bet arī apsei, melnalksnim un baltalksnim.

4.2. Zviedrijas augšanas gaitas modeļi

4.2.1. Materiāls un metodika

4.2.1.1. Vienādojumus izmantotie apzīmējumi un koeficienti

a koka krūšaugstuma vecums, gadi;

A	mežaudzes vecums, gadi;
A ₁	meža elementa krūšaugstuma vecums aktualizācijas perioda sākumā, gadi;
A ₂	meža elementa krūšaugstuma vecums aktualizācijas perioda beigās, gadi;
att _{<H20}	fiktīvais mainīgais, kas raksturo blakus audžu augstumu, ja tuvāk par 20 m ir audze, kas zemāka par konkrēto audzi, tad 1, ja nē, tad 0;
att _k	fiktīvais mainīgais, kas raksturo attālumu līdz krastam, ja attālums mazāks par 5 km, tad 1, ja nē, tad 0;
att _{k5}	attālums līdz krastam, km/10;
att _{kailc}	fiktīvais mainīgais, kas raksturo kailcirtes klātbūtnes esamību, ja tuvāk par 20 m pēdējo piecu gadu laikā ir veikta kailcorte, tad 1, ja nē, tad 0;
BAL	resnāku koku šķērslaukuma summa, m ² ha ⁻¹ ;
C ₀₋₁₀	rādītājs, kas raksturo vai pēdējo 10 gadu laikā mežaudzē ir veikta kopšanas cirte (0-1);
C ₁₁₋₂₅	rādītājs, kas raksturo vai pēdējo 11-25 gadu laikā mežaudzē ir veikta kopšanas cirte (0-1);
C _{kop}	fiktīvais mainīgais kopšanas ciršu ietekmes raksturošanai, ja perioda laikā veikta kopšana, tad 1, ja nē, tad 0;
CVH	kokaugstuma variācijas koeficients
d	koka krūšaugstuma caurmērs, cm;
D	mežaudzes vidējais caurmērs, cm;
dal	rādītājs, kas raksturo vai blakus esošā zeme ir mežaudze;
dal _v	rādītājs, kas raksturo mežaudzes viendabīgumu (ja mežaudze viendabīga, tad 0; ja mežaudze nav viendabīga, tad 1);
dat	fiktīvais mainīgais, kas raksturo audzes uzmērīšanas laiku, ja audze uzmērīta līdz 20. jūlijam, tad 1, ja vēlāk, tad 0;
D _g	vidējais kvadrātiskais mežaudzes caurmērs, cm;
d _{gr}	kokaugstuma grupa, m;
fer	mēslošanas raksturojošs rādītājs (0 vai 1) audzēs līdz 12 m augstumam;
G	mežaudzes šķērslaukums, m ² ha ⁻¹ ;
G _{apk}	apkārt esošās mežaudzes šķērslaukums, m ² ha ⁻¹ ;
G _B	bērza šķērslaukums, m ² ha ⁻¹ ;
G _{citi}	citu koku sugu šķērslaukums mežaudzē, m ² ha ⁻¹ ;
G _e	egļu šķērslaukums, m ² ha ⁻¹ ;
G _i	kokam atbilstošās sugas koku šķērslaukums mežaudzē, m ² ha ⁻¹ ;
G _{izc}	nākamajā piecu gadu periodā izcērtamo koku šķērslaukums, m ² ha ⁻¹ ;
Gotland	mainīgais, kas raksturo vai mežaudze atrodas uz Gotlandes salas;
G _P	priedes šķērslaukums, m ² ha ⁻¹ ;
gr ₂₅	ja attālums līdz grāvim ≤25 m, tad 1, ja lielāks, tad 0;
G _{SK}	skuju koku šķērslaukums, m ² ha ⁻¹ ;
h	koka augstums, m;
H	mežaudzes vidējais augstums, m;
Δh	augstuma starpība starp mežaudzes maksimālo augstumu un koka augstumu (H _{max} -h), ja starpība mazāka par 0.1, tad Δh=0.1, m;
H _{dom1}	meža elementa virsaugstums aktualizācijas perioda sākumā, m;
H _{dom2}	meža elementa virsaugstums aktualizācijas perioda beigās, m;
H _{vjl}	augstums virs jūras līmeņa, m;
i ₈₃	vērtība 1, ja parauglaukums ierīkots 1983. gadā, citiem 0;
i ₈₄	vērtība 1, ja parauglaukums ierīkots 1984. gadā, citiem 0;
i ₈₆	vērtība 1, ja parauglaukums ierīkots 1986. gadā, citiem 0;
ldel	lapu koku īpatsvars (pēc sh) reizināts ar 1.5708 un izteikts radiānos;
lzc	mežaudzes izcelsme, 0 - ja mākslīga, 1 - ja dabīga;
k	fiktīvais mainīgais kūdras augšņu raksturošanai: ja ir kūdras augsnes, tad 1, ja nav kūdras augsnes, tad 0;
kant	rādītājs, kas raksturo vai blakus esošā zeme nav mežaudze (ja nav, tad 1, ja ir tad 0);
K _{CMRES}	korekcijas koeficients, kas atkarīgs no modeļa vidējās novirzes;

k_{P70}	fiktīvais mainīgais priedes īpatsvara raksturošanai: ja priede ir vismaz 70%, tad 1, ja nav, tad 0;
k_{PEB}	konstante, priedei un eglei 1.0, bērzam 1.1;
LAT	platuma grādi, o;
LK	fiktīvais mainīgais lapu koku esamības raksturošanai: ja parauglaukumā (audzē) ir lapu koki, tad 1, ja nav, tad 0;
LK_{10}	fiktīvais mainīgais lapu koku īpatsvara raksturošanai: ja parauglaukumā (audzē) lapu koku šķērslaukums vismaz 10% no kopējā mežaudzes šķērslaukuma, tad 1, ja nav, tad 0;
m	fiktīvais mainīgais augsnes mitruma raksturošanai: ja ir mitras augsnes, tad 1, ja nav mitras augsnes, tad 0 (mitra augsne – ja gruntsūdens līmenis pastāvīgi mazāks par 1 m);
ms	fiktīvais mainīgais augsnes mitruma raksturošanai: ja ir mitras vai slapjas augsnes, tad 1, ja nav, tad 0 (mitra augsne – ja gruntsūdens līmenis pastāvīgi mazāks par 1 m; slapja augsne – ja ūdens līmenis pastāvīgi virs augsnes virskārtas);
N	mežaudzes koku skaits, ha^{-1} ;
n_{atv}	atvašu skaits pudurī, kas augstākas par pusi no augstākās atvases pudurī;
N_{izc}	nākamajā piecu gadu periodā izcērtamo koku skaits, ha^{-1} ;
ost	rādītājs, kas raksturo koka vecuma aprēķināšanu;
p	varbūtība, ka nākamajā periodā atmirs koki;
P_b	bērzu īpatsvars (pēc šķērslaukuma);
pc	veģetācijas sezonu skaits pēc kopšanas cirtes veikšanas;
P_e	egļu īpatsvars (pēc šķērslaukuma);
PG_{atm}	atmirušās koksnes šķērslaukuma procents, %;
PG_{atm}	atmirušās koksnes šķērslaukuma ikgadējais procents, %;
P_{LK}	lapu koku īpatsvars (pēc šķērslaukuma);
PV_{atm}	atmirušās koksnes krājas ikgadējais procents, %;
rich	indikators, kas raksturo veģetācijas tipu (meža tips);
s	fiktīvais mainīgais augsnes mitruma raksturošanai: ja ir slapjas augsnes, tad 1, ja nav slapjas augsnes, tad 0 (slapja augsne – ja ūdens līmenis pastāvīgi virs augsnes virskārtas);
S	parauglaukuma (audzes) platība, m^2 ;
sh	koku augstumu kvadrātu summa, $m^2 10^{-5} ha^{-1}$;
SI	mežaudzes virsaugstuma bonitāte, m;
SI_{100}	virsaugstuma bonitāte (augstums 100 gadu vecumā), m;
SI_e	virsaugstuma bonitāte eglēm (ja izmanto virsaugstuma bonitāti priedēm, tad vērtība 0), m;
SI_p	virsaugstuma bonitāte priedēm (ja izmanto virsaugstuma bonitāti eglēm, tad vērtība 0), m;
SI_{P100}	priedes virsaugstuma bonitāte, m;
T_{sum}	aktīvo temperatūru summa ($>5^{\circ}C$) veģetācijas periodā;
veg_{kr}	fiktīvais mainīgais, kas raksturo mežaudzes zemsedzes veģetāciju, ja zemsedzes veģetācijā dominē krūmi, tad 1, ja nē, tad 0;
veg_z	fiktīvais mainīgais, kas raksturo mežaudzes zemsedzes veģetāciju, ja zemsedzes veģetācijā dominē zālaugi, tad 1, ja nē, tad 0;
vg	veģetācijas veids (1-18);
Y	rādītājs, kas atkarīgs no virsaugstuma bonitātes un mežaudzes vecuma;
Z_{G5}	nākamā 5 gadu šķērslaukuma periodiskais pieaugums, $m^2 ha^{-1}$;
Z_{g5}	vidējā kvadrātiskā koka nākamā piecu gadu šķērslaukuma periodiskais pieaugums, cm^2 ;
Z_{Gvp}	mežaudzes vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums, $m^2 ha^{-1}$ gadā.

Vienādojumos izmantotie koeficienti atspoguļoti 4.7. tabulā.

4.7. tabula

Zviedrijas atsevišķu koku un mežaudzes augšanas gaitas prognožu modeļu koeficientu vērtības

Formula	4.25.	4.25.	4.25.	4.25.	4.28.	4.28.	4.28.	4.26.	4.26.	4.26.	4.26.	4.29.	4.30.	4.31.	4.32.*	4.32.*	4.32.*	4.32.**	4.32.**	4.32.**	4.33.	4.34.	4.35.	4.36.	4.37.	4.38.	4.40.1.	4.40.2.	4.40.3.
Suga	Priede	Egle	Bērzs	Apse	Priede	Egle	Bērzs	Priede	Egle	Bērzs	Apse	Visas	Visas	Visas	Priede	Egle	Lapu koki	Priede	Egle	Lapu koki	Visas	Visas	Priede	Egle	Bērzs	Citi lapu koki	Priede	Priede	Priede
b0					0.261	0.186	0.867	3.4176	3.436	5.9648	0.9945	0.2702	2.5225	0.0232	0.437	0.39	1.005	0.76	0.66	0.46	-9.07	-5.9	-1.98	-4.58	-2.83	-5.4	-0.2391	0.14337	0.30369
b1	25	10	7	7	2.098	1.868	2.25	1.0149	1.5163	1.2217	1.9071	-0.5819	-18.612	0.60949	-0.0847	-0.061	-0.0843	-0.043	-0.013	-0.02	0.862	-5.84	-0.456	11.2	15.7	0.0693	-0.1662	0.0055	1.05814
b2	7395.6	1495.3	394	693.2			0.0119		-0.152		-0.3313	8.1754	-765.295	-12.5903	0.00214	0.0016	0.00176				0.686	-0.00449	-17.4	-0.0545	-0.0665	-0.0688	-0.0375	-0.20988	-0.42533
b3	-1.7829	-1.5978	-1.387	-0.9771		0.0147		-0.3902	-0.4024	-0.3998	-0.304	-0.0233	0.04798	0.0003317	0.0104	0.005	-0.000174	0.0047	0.0043	0.0046	-16.6	-1.65	-0.739	0.577	0.0011	0.00212	-0.4973	-1.02617	
b4					3.474	1.582			0.1625			-0.3163	0.05589	-0.01006	-0.0000317		0.0000591				0.401	23.9	0.327	0.0282	-16.5	-0.345	-0.0932		
b5					-0.1473	-0.0525	-0.0166		0.4702			-10.5278	0.00006717	0.000173				0.048			0.733	0.0000121	25.6	-0.594	27.7	0.0498			
b6					-0.176	-0.109		-0.7731	-0.7789	-0.9226	-0.4058	0.5416	-2.864E-09	0.000156							0.0162	-19	21.5	0.323	0.0362	0.0634			
b7					-0.098	-0.058	-0.119	0.2218	0.4034	0.4772		-0.00932	0.7204	-0.013							0.0216	0.776	0.028	0.042					
b8					0.136	0.081		0.1843				0.1895	-0.4879	0.0119							0.278	0.107	-26.6						
b9					-0.312	-0.052			0.1914			0.0622	0.1062	0.0189							0.129	0.217							
b10					0.0759			-0.3145	-0.2342	-0.209	-0.1981	-0.0252	-0.2073	-0.0174								0.13							
b11					-0.171	-0.093	-0.071	0.1391	0.1754			-0.0476										0.14							
b12					0.022	0.013	0.033			-0.5821	-0.5967	-0.181																	
b13							-0.00029	-0.0844	-0.3264			0.0113																	
b14					0.014	0.014			-0.6923	-0.5386	0.4408	0.0533																	
b15					-0.0466	0.068		0.1178	0.2568			0.3091																	
b16					0.0126	0.0045				-0.4505		0.0755																	
b17					0.096	0.103	0.12			0.8801		0.0621																	
b18							-0.0096					0.1469																	
b19					0.088							0.0624																	
b20						-0.053						0.1266																	
b21								1.089	0.2903			-0.061																	
b22								-0.2164				-0.0432																	
b23								0.1011	0.1965	0.3439	0.4759	0.0434																	
b24																													
b25								0.279	0.4034	0.3844																			
b26								0.1245	0.1309	0.1814	0.2143																		
b27								0.0451																					
b28								0.0487	0.0561																				
b29								0.1368	0.1126	0.2258																			
b30								0.0842	0.077	0.1321	0.2427																		

* - koeficienti, kas paredzēti Ziemeļzviedrijai; ** - koeficienti, kas paredzēti Dienvidzviedrijai

4.2.1.2. Augstuma augšanas gaitas modeļi

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

$$H = \frac{SI}{\exp(Y)+1} \quad (4.24)$$

Y – rādītājs, kas atkarīgs no SI un mežaudzes vecuma (4.8. tabula)

4.8. tabula

Zviedrijā mežaudzēs līdz 7 m augstumam izmantoto vidējā augstuma aktualizācijas modeļa (4.24. vienādojums) koeficienti un to aprēķināšanas vienādojumi

Suga	Y	b_0	b_1	b_2
Priede	$b_0+b_1 \cdot A+b_2 \cdot A^2$	7.0	$-0.57-0.05 \cdot SI$	$-0.28+0.0094 \cdot SI$
Egle	$b_0+b_1 \cdot A+b_2 \cdot A^2$	$6.27+12.1/SI$	$-0.262-0.0575 \cdot SI+0.00088 \cdot SI^2$	$-0.323-0.134 \cdot b_1$
Bērzs	$b_0+b_1 \cdot A$	$6.836+0.03165 \cdot SI-0.002757 \cdot SI^2$	$-2.694+0.4937 \cdot b_0-0.05331 \cdot b_0^2$	
Apse	$b_0+b_1 \cdot A$	$10.024-0.1664 \cdot SI$	$-4.093+0.1605 \cdot SI-0.0025 \cdot SI^2$	

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

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

$$H_{dom2} = \frac{H_{dom1}+b_2 \cdot b_1^{b_3} + \left((H_{dom1}-b_2 \cdot b_1^{b_3})^2 + 4 \cdot b_2 \cdot H_{dom1} \cdot A_1^{b_3} \right)^{0.5}}{2+4 \cdot b_2 \cdot H_{dom1} \cdot A_2^{b_3} / \left(H_1-b_2 \cdot b_1^{b_3} + \left((H_{dom1}-b_2 \cdot b_1^{b_3})^2 + 4 \cdot b_2 \cdot H_{dom1} \cdot A_1^{b_3} \right)^{0.5} \right)} \quad (4.25)$$

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

Atsevišķu koku augstuma aprēķināšanai izstrādāti vienādojumi priedei Zviedrijas ziemeļu daļā, vidusdaļā un dienvidu daļā, eglei un bērzam ziemeļu daļā un dienvidu daļā. Diemžēl pagaidām autoru rīcībā nav vienādojumi un tiem atbilstošie koeficienti, kas būtu paredzēti Zviedrijas dienvidu daļas atsevišķu koku augstuma augšanas gaitas aproksimācijai.

Zviedrijas augstuma augšanas gaitas modeļu pārbaudē izmantoti dati par 1348 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paaudzes vienā stāvā esošus kokus) no 961 MSI 2014. - 2015. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- ✓ meža elementi ir P1st (442 meža elementi), E1st (336), B1st (435), A1st (85);
- ✓ katrā uzmērīšanas ciklā augstums uzmērīts vismaz 3 dzīvajiem kokiem no viena meža elementa;
- ✓ visās trīs uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums un vecuma starpība starp cikliem ir 5 gadi;
- ✓ meža elementa vidējais augstums otrajā ciklā ir lielāks nekā pirmajā ciklā;
- ✓ prognozētais augstums bāzes vecumā (P, E 100 gadi; B, A 50 gadi) starp uzmērīšanas cikliem neatšķiras vairāk kā 5 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.

Pārbaudīts ir tikai 4.25. vienādojums, pie tam uz meža elementa vidējā augstuma vērtībām. Nav pārbaudīts 4.24. vienādojums, jo ir mazs meža elementu skaits, kam vidējais augstums ir mazāks par 7 m un kas atbilst iepriekš aprakstītiem kritērijiem.

Meža elementa vidējā augstuma prognozēšanai pārbaudīts četros variantos:

- ✓ augstuma augšanas gaitas prognoze starp pirmo un otro ciklu (5 gadu periods);
- ✓ augstuma augšanas gaitas prognoze starp otro un trešo ciklu (5 gadu periods);

- ✓ augstuma augšanas gaitas prognoze starp pirmo un trešo ciklu (10 gadu periods);
- ✓ augstuma augšanas gaitas prognoze starp pirmo, otro un trešo ciklu (5 un 10 gadu periods).

Jāatzīmē, ka kombinētajā 5 un 10 gadu cikla variantā netiek ņemta vērā auto korelācija.

4.2.1.3. Caurmēra augšanas gaitas modeļi

Caurmēra augšanas gaitas aproksimēšanai izmanto atsevišķu koku šķērslaukuma pieauguma modeli:

$$z_{g5} = \exp \left(b_0 + b_1 \cdot \ln(d + 1) + b_2 \cdot \frac{d}{10} + b_3 \cdot \frac{BAL}{d+1} + b_4 \cdot \frac{BAL}{d+1} \cdot \frac{G}{G-G_e} + b_5 \cdot \frac{BAL}{d+1} \cdot \frac{(D_g - (\sum d^2 / \sum n))^{0.5}}{D_g^3} + b_6 \cdot \ln(a + 20) + b_7 \cdot \text{ost} + b_8 \cdot \frac{D_g}{10} + b_9 \cdot \frac{D_g^2}{1000} + b_{10} \cdot \ln(G + 3) + b_{11} \cdot G_{citi}^2 + b_{12} \cdot G_i^2 + b_{13} \cdot \text{Gotland} + b_{14} \cdot \frac{T_{sum}}{1000} + b_{15} \cdot \left(\frac{T_{sum}}{1000} \right)^2 + b_{16} \cdot \frac{1}{T_{sum}-0.3} + b_{17} \cdot \frac{1}{att_k+3} + b_{18} \cdot \text{LAT} + b_{19} \cdot \frac{H_{vjl}}{100} + b_{20} \cdot \left(\frac{H_{vjl}}{100} \right)^2 + b_{21} \cdot \frac{SI}{10} + b_{22} \cdot \frac{SI^2}{100} + b_{23} \cdot \text{rich} + b_{24} \cdot \text{ort} + b_{25} \cdot \text{fer} + b_{26} \cdot c_{0-10} + b_{27} \cdot c_{11-25} + b_{28} \cdot \text{dal} + b_{29} \cdot \text{kant} + b_{30} \cdot \frac{\ln(G+1)}{\ln(G_{apk}+1)} \right) \quad (4.26)$$

Nākamā perioda vidējo caurmēru iespējams aprēķināt pēc sekojošas sakarības:

$$D_2 = \left(\frac{0.7854 \cdot D_1 + z_g}{0.7854} \right)^{0.5} \quad (4.27)$$

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

$$d = \left[\exp \left(b_0 + b_1 \cdot \ln(h - k_{PEB}) + b_2 \cdot h + b_3 \cdot (h - k_{PEB})^2 + b_4 \cdot (1 - h) \cdot \text{dat} + b_5 \cdot \text{sh} + b_6 \cdot \ln(\text{sh} + 0.1) + b_7 \cdot \ln(1 + 10 \cdot \Delta h \cdot (\text{sh} + 0.1)) + b_8 \cdot \sin(\text{Idel}) + b_9 \cdot \text{Izc} + b_{10} \cdot h^{0.5} \cdot \text{Izc} + b_{11} \cdot \frac{c_{0-10}}{1+pc} + b_{12} \cdot c_{0-10} \cdot \ln(10 + pc) + b_{13} \cdot n_{atv} \cdot h^2 + b_{14} \cdot \text{LAT} + b_{15} \cdot \frac{H_{vjl}}{100} + b_{16} \cdot \left(\frac{H_{vjl}}{100} \right)^2 + b_{17} \cdot \text{att}_{k5} + b_{18} \cdot \text{SI}_{p100} + b_{19} \cdot \text{veg}_z + b_{20} \cdot \text{veg}_{kr} + k_{CMRES} \right) \right]^{0.5} \quad (4.28)$$

4.2.1.4. Šķērslaukuma izmaiņas modelis

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

$$Z_{G5} = \exp \left(b_0 + b_1 \cdot \ln(A) + b_2 \cdot \frac{G_{SK}/G}{A} + b_3 \cdot \frac{G_P}{G} \cdot \text{vg} + b_4 \cdot G_B^2 + b_5 \cdot \exp \left(-\frac{T_{sum}-300}{100} \right) + b_6 \cdot \ln(G - G_{izc}) + b_7 \cdot G + b_8 \cdot \frac{N_{izc}}{N_{izc}+80} + b_9 \cdot \text{vg} + b_{10} \cdot \text{vg} \cdot k + b_{11} \cdot m + b_{12} \cdot s + b_{13} \cdot \text{SI} + b_{14} \cdot \text{gr}_{25} + b_{15} \cdot \text{fer} + b_{16} \cdot \text{kant} + b_{17} \cdot \text{dal}_v + b_{18} \cdot c_{0-10} + b_{19} \cdot c_{11-25} + b_{20} \cdot \ln \left(\frac{G}{G_{apk}} \right) + b_{21} \cdot i_{83} + b_{22} \cdot i_{84} + b_{23} \cdot i_{86} \right) \quad (4.29)$$

4.2.1.5. Atmiruma modeļi

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

Söderberg modelis

$$PG_{atm} = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{A+10} + b_2 \cdot \frac{1}{(A+10)^2} + b_3 \cdot G + b_4 \cdot \ln(G) + b_5 \cdot SI_e + b_6 \cdot SI_p + b_7 \cdot P_e + b_8 \cdot P_e^2 + b_9 \cdot P_b + b_{10} \cdot P_b^2 \quad (4.30)$$

Bengtsson modelis

$$PV_{atm} = b_0 + b_1 \cdot D + b_2 \cdot D^2 + b_3 \cdot A + b_4 \cdot A^2 + b_5 \cdot z_{Gvp} \quad (4.31)$$

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

Fridman & Stahl modelis

Izmantots 3-pakāpju atmiruma modelis.

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

$$p = \frac{\exp(b_0 + b_1 \cdot \ln(S) + b_2 \cdot LK + b_3 \cdot (\frac{D}{100})^2 + b_4 \cdot LK_{10} + b_5 \cdot \ln(G) + b_6 \cdot H_{vj1} + b_7 \cdot G + b_8 \cdot k + b_9 \cdot ms)}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot \ln(S) + b_2 \cdot LK + b_3 \cdot (\frac{D}{100})^2 + b_4 \cdot LK_{10} + b_5 \cdot \ln(G) + b_6 \cdot H_{vj1} + b_7 \cdot G + b_8 \cdot k + b_9 \cdot ms)} \quad (4.32)$$

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

$$PG_{atm} = \exp\left(b_0 + \left(b_1 + b_2 \cdot S + b_3 \cdot \ln(G) + b_4 \cdot \frac{D}{100} + b_5 \cdot A^2 + b_6 \cdot \left(\frac{D}{100}\right)^2 + b_7 \cdot \ln(N) + b_8 \cdot ms + b_9 \cdot att_{kailc} + b_{10} \cdot P_{LK} + b_{11} \cdot c_{kop}\right)\right) \quad (4.33)$$

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

Priede

$$p_P = \frac{\exp(b_0 + b_1 \cdot k_{P70} + b_2 \cdot d_{gr} + b_3 \cdot \ln(G) + b_4 \cdot ms + b_5 \cdot \frac{D}{100} + b_6 \cdot d_{gr}^2 + b_7 \cdot BAL + b_8 \cdot (\frac{D}{100})^2)}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot k_{P70} + b_2 \cdot d_{gr} + b_3 \cdot \ln(G) + b_4 \cdot ms + b_5 \cdot \frac{D}{100} + b_6 \cdot d_{gr}^2 + b_7 \cdot BAL + b_8 \cdot (\frac{D}{100})^2)} \quad (4.34)$$

Egle

$$p_E = \frac{\exp(b_0 + b_1 \cdot \frac{D}{100} + b_2 \cdot G + b_3 \cdot att_{kailc} + b_4 \cdot BAL + b_5 \cdot k_{P70} + b_6 \cdot c_{kop} + b_7 \cdot d_{gr}^{-1})}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot \frac{D}{100} + b_2 \cdot G + b_3 \cdot c_{kailc} + b_4 \cdot BAL + b_5 \cdot k_{P70} + b_6 \cdot c_{kop} + b_7 \cdot d_{gr}^{-1})} \quad (4.35)$$

Bērzs

$$p_B = \frac{\exp(b_0 + b_1 \cdot \frac{D}{100} + b_2 \cdot G + b_3 \cdot H_{vj1} + b_4 \cdot d_{gr} + b_5 \cdot d_{gr}^2 + b_6 \cdot BAL)}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot \frac{D}{100} + b_2 \cdot G + b_3 \cdot H_{vj1} + b_4 \cdot d_{gr} + b_5 \cdot d_{gr}^2 + b_6 \cdot BAL)} \quad (4.36)$$

Citi lapu koki

$$p_C = \frac{\exp(b_0 + b_1 \cdot BAL + b_2 \cdot G + b_3 \cdot H_{vj1} + b_4 \cdot att_{<H20} + b_5 \cdot LAT + b_6 \cdot d_{gr}^{-1})}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot BAL + b_2 \cdot G + b_3 \cdot H_{vj1} + b_4 \cdot att_{<H20} + b_5 \cdot LAT + b_6 \cdot d_{gr}^{-1})} \quad (4.37)$$

4.2.1.6. Koku sadalījuma modelēšana

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

$$f(x) = \frac{\lambda}{\beta} \cdot \left[\left(\frac{h-\alpha}{\beta} \right)^{\lambda-1} \cdot \exp \left(- \left(\frac{h-\alpha}{\beta} \right)^{\lambda} \right) \right] \quad (4.38)$$

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

Weibull sadalījuma kumulāta izsakāma ar sakarību:

$$f(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^\lambda\right] \quad (4.40)$$

$$CVH = \exp(b_0 + b_1 \cdot H + b_2 \cdot \ln(H) + b_3 \cdot \ln(1 + P_{LK}) + b_4 \cdot Izc) \quad (4.40.1)$$

$$\lambda = \exp(b_0 + b_1 \cdot H + b_2 \cdot CVH + b_3 \cdot \ln(CVH)) \quad (4.40.2)$$

$$\beta = b_0 + b_1 \cdot H + b_2 \cdot CVH \quad (4.40.3)$$

4.2.2. Rezultāti

4.2.2.1. Augstuma augšanas gaitas modeļi

Zviedrijā izmantotā mežaudzes virsaugstuma modelēšanai izmantotais vienādojums ar Zviedrijai paredzētajiem koeficientiem, samērā labi raksturo meža elementu vidējā augstuma izmaiņas (4.9. tabula).

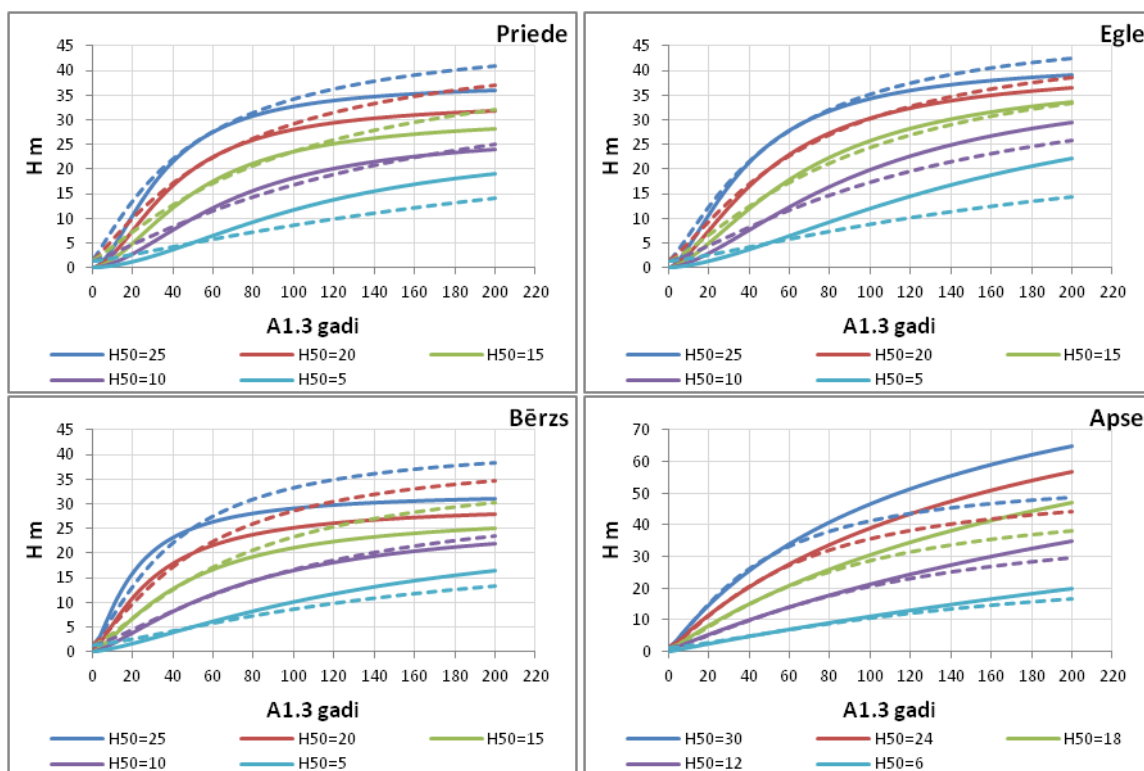
4.9. tabula

Zviedrijas augstuma augšanas gaitas modeļa (4.5. formula) prognozētā vidējā periodiskā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji

Cikli	Suga	Aritm. vid.	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R ²	N
1.cikl.vs 2. cikl. (5gadi)	P	0.26	0.03	10.2	0.10	0.13	52	0.02	1.14	1.510	0.574	0.329	904
	E	0.35	-0.06	-16.5	0.13	0.18	50	0.03	1.28	2.082	0.674	0.454	697
	B	0.36	0.07	19.4	0.16	0.22	60	0.05	1.13	1.427	0.593	0.351	864
	A	0.52	0.00	-0.2	0.16	0.21	41	0.05	0.70	0.668	0.594	0.353	181
2.cikl.vs 3. cikl. (5gadi)	P	0.25	0.03	12.7	0.10	0.13	52	0.02	1.14	1.379	0.557	0.310	907
	E	0.34	-0.06	-16.9	0.12	0.17	51	0.03	1.25	1.966	0.660	0.435	704
	B	0.36	0.06	16.7	0.15	0.21	60	0.05	1.03	1.547	0.641	0.411	859
	A	0.52	-0.02	-3.4	0.17	0.23	45	0.05	0.84	0.894	0.562	0.316	176
1.cikl.vs 3. cikl. (10 gadi)	P	0.26	0.03	12.4	0.10	0.13	50	0.02	1.09	1.524	0.608	0.370	934
	E	0.35	-0.06	-16.4	0.12	0.17	49	0.03	1.21	2.027	0.685	0.469	693
	B	0.35	0.07	20.3	0.15	0.20	56	0.04	1.05	1.459	0.639	0.408	848
	A	0.51	-0.01	-1.1	0.14	0.20	39	0.04	0.69	0.775	0.619	0.383	171
visi kopā (5 un 10 gadi)	P	0.26	0.03	10.2	0.10	0.13	52	0.02	1.14	1.510	0.574	0.329	904
	E	0.35	-0.06	-16.5	0.13	0.18	50	0.03	1.28	2.082	0.674	0.454	697
	B	0.36	0.07	19.4	0.16	0.22	60	0.05	1.13	1.427	0.593	0.351	864
	A	0.52	0.00	-0.2	0.16	0.21	41	0.05	0.70	0.668	0.594	0.353	181

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

Tomēr jāatzīmē, ka 2.5. vienādojums ar Zviedrijā izmantotajām koeficientu vērtībām, nav piemērots meža elementu augstuma augšanas gaitas modelēšanai Latvijā, jo ekstrapolējot vienādojumu ilgākā laika periodā, tas prognozē vai nu neloģiski agru augstuma pieauguma apstāšanos (priede, egle, bērzs), vai neloģiski vēlu (apse) (4.3. attēls).



4.3. attēls. Aproximētā vidējā augstuma augšanas atkarībā no augstuma 50. gadu krūšaugstuma vecumā

Nepārtrauktā līnija – Zviedrijas modelis (4.25. vienādojums), raustītā līnija – Latvijas modelis (2.1. vienādojums).

4.2.2.2. Caurmēra augšanas gaitas modeļi

Diemžēl Zviedrijas atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modeļus (4.26. un 4.28. formulas) nav iespējams tieši pārbaudīt uz Latvijas MSI parauglaukumu datu bāzes, jo :

- ✓ 4.26. vienādojumā:
 - indikators, kas raksturo mežaudzes tipu nav tieši pielīdzināms Latvijas mežu tipoloģijai,
 - nav precīzas informācijas par pēdējo 25 gadu laikā veiktajām kopšanas cirtēm,
 - nav informācijas vai pēdējo 10 gadu laikā veikta mēslošana,
 - nav informācijas par parauglaukumiem blakus esošajām mežaudzēm;
- ✓ 4.28. vienādojumā:
 - nav precīzas informācijas par parauglaukumā dominējošo veģetāciju,
 - nav precīzas informācijas par pēdējo 10 gadu laikā veiktajām kopšanas cirtēm,
 - nav informācijas par atvasājiem – to skaitu puduros.

Zviedrijas atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modeļiem turpmākajos pētījumos būtu nepieciešams aproksimēt jaunas Latvijai atbilstošas koeficientu vērtības, kā arī izvērtēt atsevišķu faktoriālo pazīmju atbilstību un nepieciešamību Latvijas klimatiskajos un ģeogrāfiskajos apstākļos, kā arī būtu nepieciešams izstrādāt atsevišķus caurmēra augšanas gaitas modeļus ne tikai priedei, eglei bērzam un apsei, bet arī melnalksnim un baltalksnim.

4.2.2.3. Šķērslaukuma izmaiņas modelis

Diemžēl Zviedrijas mežaudzes šķērslaukuma izmaiņu modeli (4.29. formula) nav iespējams tieši pārbaudīt uz Latvijas MSI parauglaukumu datu bāzes, jo :

- ✓ indikators, kas raksturo mežaudzes tipu nav tieši pielīdzināms Latvijas mežu tipoloģijai,
- ✓ nav precīzas informācijas par pēdējo 25 gadu laikā veiktajām kopšanas cirtēm,
- ✓ nav informācijas par pastāvīgo augsnes gruntsūdens līmeni,

- ✓ nav informācijas vai pēdējo 10 gadu laikā veikta mēslošana,
- ✓ nav informācija par precīzo attālumu līdz grāvim,
- ✓ nav informācijas par parauglaukumiem blakus esošajām mežaudzēm.

Šķērslaukuma izmaiņu modelim turpmākajos pētījumus būtu nepieciešams aproksimēt jaunas Latvijai atbilstošas koeficientu vērtības, kā arī izvērtēt atsevišķu faktoriālo pazīmju atbilstību un nepieciešamību Latvijas klimatiskajos un ģeogrāfiskajos apstākļos

4.2.2.4. Atmiruma modeļi

Pārbaudīts ir Bengtsson modelis (4.31. formula), kas paredzēts audzes ikgadējā krājas atmiruma prognozēšanai. Salīdzinājumā ar Latvijai izstrādātajiem (3. nodaļa) vienādojumiem bengtsson modelim gan ar Ziemeļzviedrijas, gan ar Dienvidzviedrijas koeficientu vērtībām ir zemāki statistiskie rādītāji (4.10. tabula). Kā Bengtsson modeļa trūkumu var atzīmēt, ka tas ir proporcionāls audzes biežības, tomēr MSI atkārtoti uzmērītajos parauglaukumos konstatēts, ka biežākajās audzēs ir ievērojami lielāks atmirums nekā retākajās audzēs (Donis et al., 2011).

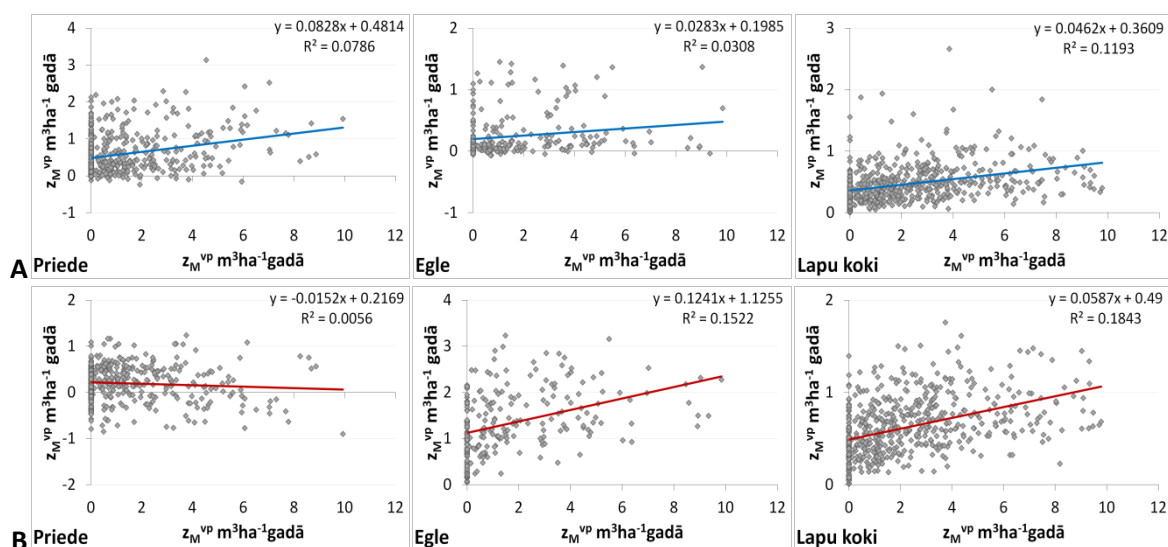
Bengtsson modeli prognozētajam krājas atmirumam ir vāja korelācija ar uzmērīto krājas atmirumu (4.4. attēls).

4.10. tabula

Bengtsson atmiruma modeļa (4.31. formula) statistiskie rādītāji

Vienādojums	Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R2	N
4.31. Z-Zviedrija	Priede	1.30	0.71	54.68	1.22	1.94	148.95	3.74	1.07	0.087	0.280	0.079	483
	Egle	1.71	1.47	85.60	1.61	2.64	154.09	6.95	1.43	0.026	0.176	0.031	239
	Lapu koki	2.27	1.80	79.45	1.97	2.92	128.76	8.50	1.51	0.018	0.345	0.119	570
4.31. D-Zviedrija	Priede	1.30	1.10	84.83	1.31	2.24	172.03	4.99	1.43	0.041	-0.075	0.006	483
	Egle	1.71	0.38	21.93	1.39	2.07	120.99	4.28	0.88	0.101	0.390	0.152	239
	Lapu koki	2.27	1.64	72.51	1.87	2.80	123.44	7.81	1.39	0.019	0.429	0.184	570
3.3. Latvija	Priede	1.30	-0.19	-14.24	1.25	1.69	129.83	2.84	0.81	0.268	0.450	0.202	483
	Egle	1.71	-0.45	-26.24	1.60	2.13	124.40	4.53	0.93	0.360	0.391	0.153	239
	Bērzs	2.27	-0.12	-5.23	1.54	2.05	90.54	4.20	0.75	0.352	0.511	0.261	570
3.4. Latvija	Priede	1.30	-0.17	-12.94	1.26	1.68	129.65	2.83	0.81	0.208	0.445	0.198	483
	Egle	1.71	-0.48	-28.11	1.63	2.13	124.30	4.52	0.93	0.310	0.384	0.147	239
	Bērzs	2.27	-0.17	-7.32	1.56	2.06	91.00	4.24	0.76	0.326	0.504	0.254	570

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



4.4. attēls. Bengtsson modeļa (4.31. formula) prognozētais krājas vidējais periodiskais atmirums atkarībā no uzmērītā krājas vidējā periodiskā atmiruma.

A- Ziemeļzviedrijai paredzētie vienādojumi, B- Dienvidzviedrijai paredzētie vienādojumi.

4.3. Somijas un Zviedrijas augšanas modeļu lietošanas piemērotības izvērtējums Latvijā

Somijas un Zviedrijas atsevišķu koku augšanas gaitas modeļi izstrādāti Ziemeļeiropas boreālo un hemiboreālo mežu augšanas gaitas prognozēšanai, tādēļ bija pamats uzskatīt, ka tie ir piemērojami Latvijas mežaudžu attīstības modelēšanai. Atsevišķu koku augšanas gaitas modeļi salīdzinājumā ar audžu līmeņa augšanas gaitas modeļiem ir piemērotāki mistrotu audžu augšanas gaitas modelēšanai, tomēr tie ir daudz komplicētāki un prasa lielāku laiku un darba ietilpību.

Abām valstīm lielākā daļa modeļos iekļauto mainīgo ir pieejami MSI datu bāzē (tieši uzmērīti vai sekundāri aprēķināmi) vai tiem var piemērot līdzvērtīgus (Latvijai raksturīgus) rādītājus. Tomēr jāatzīmē, ka atsevišķos modeļos ir rādītāji, kurus pašreiz MSI datu bāzē esošajiem datiem nav iespējams iegūt, piemēram, rohumusa slāņa biezums, akmeņainība, blakus esošo audžu raksturojums, informācija par mēslošanu, saimnieciskās darbības raksturojums vairāk nekā pirms desmit gadiem. Tāpat apskatītajos skandināvu augšanas gaitas modeļos ir virkne rādītāju, kas nav uzskatāmi par augšanas gaitas limitējošajiem faktoriem Latvijā, piemēram, augstums virs jūras līmeņa, ziemēļu platums, ezeru īpatsvars.

Somijas atsevišķu koku augšanas vienādojumi ar to oriģinālajām koeficientu vērtībām nav tieši izmantojami mežaudžu un atsevišķu koku augšanas gaitas modelēšanai Latvijā, jo netiek korekti prognozēti augšanas gaitas modeļiem nepieciešamie papildus rādītāji (relatīvā biezība, vainaga īpatsvars un virsaugstuma bonitāte). Nekorektie rezultāti skaidrojami nevis ar vienādojumu nepareizo struktūru, bet gan ar to, ka atsevišķi faktori nav tieši ekstrapolējami, piemēram, gada aktīvās veģetācijas summa Somijā ir 1300-1600°C, bet Latvijā 1800-2100°C. Kā vēl vienu trūkumu Somijas augšanas gaitas modeļiem var uzskatīt, ļoti lielo darbietilpību faktoriālo rādītāju iegūšanā un aprēķināšanā.

Izvērtējot Zviedrijas atsevišķu koku augšanas gaitas modeļu atbilstību, konstatēts, ka īsā termiņā oriģinālās formulas dod labu vērtējumu, taču ilgākā termiņa nepieciešama koeficientu vērtību adaptācija Latvijas apstākļiem.

Lai gan skandināvu modeļi ar to koeficientu oriģinālajām vērtībām nav tiešā veidā izmantojami mežaudžu un atsevišķu koku augšanas gaitas modelēšanai Latvijā, tomēr būtu nepieciešams pārbaudīt šos vienādojumus aproksimējot Latvijas apstākļiem atbilstošas koeficientu vērtībās, kā arī atsakoties no Latvijas apstākļos augšanas gaitas nelimitējošajiem faktoriem.

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

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

5.1. Lauku darbu metodika

Iepriekšējās kokaudzes (mātes audzes) struktūras novērtēšana

Audzēs telpiskās struktūras raksturošanai pārmērīti 2006.-2012. gadā iekārtotie 6 objekti priežu audzēs, kuros izlases vai pakāpeniskās cirtes pirmais paņēmieni veikts laika periodā no 2000. līdz 2006. gadam (5.1. tabula). Kā arī uzmērīti 4 objekti priežu audzēs, kuros izlases vai pakāpeniskās cirtes pirmais paņēmieni veikts 2011. gadā, pēc kuras veikta sanitārā cirte 2014. gadā. Šie 4 objekti uzmērīti ar mērķi iegūt papildus informāciju par sākotnējo dabiskās atjaunošanās norisi un paredzēti pārmērīt 2020. gadā. Kopumā iepriekšējā kokaudze novērtēta 6 objektos mētrājā, 2 objektos mētru ārenī, 1 objektā lānā un 1 objektā damaksnī.

Objektos iepriekšējās kokaudzes struktūra novērtēta kopā 55 parauglaukumos (500 m²; R=12,62 m). Katram kokam fiksēta – suga, pašreizējā stāvokļa klase (dzīvs, sausoknis, stumbeņis, kritāls, celms), caurmērs krūšaugstumā (D_{1.3}). Audzēs ar priedes paaudžu skaitu vismaz 2 visā PL (500 m²) uzmērīti koki, kuru caurmērs krūšaugstumā pārsniedz 14.0 cm. Kokus, kuru caurmērs nepārsniedza 14.0 cm, bet bija lielāks par 6,0 cm, uzmērīti 5.64m (100 m²). Koki, kuru caurmērs 2.1 līdz 6.0 cm, uzmērīti 3.99 m lielā rādiusā (50 m²). Audzēs ar priedes paaudžu skaitu vismaz 3 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 m²). Koku augstumi uzmērīti izlases veidā, katram meža elementam atsevišķi, vismaz 9 kokiem katrā objektā.

5.1. tabula

2016. gadā uzmērīto objektu raksturojums

Objekts	PL skaits	UL skaits	Meža tips	Cirtes gads	Pirmās uzmērīšanas gads	Otrās uzmērīšanas gads	Trešās uzmērīšanas gads	Priedes paaudžu skaits
Garkalne240	4	12	Mr	2002	2006	2012	2016	vismaz 3
Garkalne239-2	4	12	Mr	2002	2006	2012	2016	vismaz 3
Garkalne170-5	4	12	Mr	2002	2006	2012	2016	vismaz 3
714-278-19	9	27	Mr	2000	2012	2016		vismaz 2
714-226-17	9	27	Dm	2006	2012	2016		vismaz 2
408-195-3	9	27	Mr	2002	2012	2016		vismaz 2
710-188-4	4	12	Am	2011	2016*			vismaz 2
710-153-28	4	12	Mr	2011	2016*			vismaz 2
710-153-21	4	12	Am	2011	2016*			vismaz 2
710-153-19	4	12	Ln	2011	2006*			vismaz 2
Kopā	55	165						

* - objektu paredzēts pārmērīt 2020. gadā.

(Dabiskās) atjaunošanās uzskaitē

Uzskaitē veikta 25 m² (R=1,82 m) lielos aplveida uzskaites laukumus. Dabiski atjaunojušos skujkoku kociņi uzskaitīti visi, neatkarīgi no to savstarpējā attāluma, bet lapu kokiem katrai sugai uzskaitīts atbilstošs viens augstākais kociņš 0,25 m². Uzskaitīti kociņi, kas sasnieguši 5 cm augstumu. Uzskaitītie kociņi grupēti pa sugām un 0,1 m augstumu grupām, atsevišķi izdalot bojātos kociņus. Katrā parauglaukumā ierīkoti 3 uzskaites laukumi – viens parauglaukuma centrā un divi 6 m attālumā

uz Z un D no parauglaukuma centra. Kopumā atjaunošanās uzskaitē veikta 165 atjaunošanās uzskaites laukumos.

5.2. Rezultāti

Objektos, kas uzmērīti ar mērķi iegūt papildus informāciju par sākotnējo dabiskās atjaunošanās norisi mātesaudzes šķērslaukums ir no 8,6 m²ha⁻¹ līdz 18,8 m²ha⁻¹ vidēji objektā (5.2. tabula). Tikai vienā no objektiem 5 gadus pēc cirtes ir konstatēta pietiekoša skaita priedes atjaunošanās 6200 ± 2810 ha⁻¹ (5.2. tabula).

5.2. tabula

Mātesaudzes struktūra un priedes dabiskā atjaunošanās 5 gadus pēc cirtes

Objekts	Mātes audze					Priedes dabiskā atjaunošanās			
	D, cm	H, m	G, m ² ha ⁻¹	N, ha ⁻¹	M, m ³ ha ⁻¹	N, gab.	+/-*	H, m	+/-
710_153_19	36.9	25.4	16.6	155	190	6200	2810	0.19	0.04
710_153_21	34.6	23.3	14.1	150	149	2767	1228	0.15	0.02
710_153_28	37.1	24.6	8.6	80	96	1867	953	0.15	0.04
710_188_4	31.9	20.8	18.8	235	178	1233	1609	0.10	0.00

*+/- – robežklūda ar 95% ticamību

Audzēs ar vismaz trijām priedes paaudzēm, mazākais (80 koki ha⁻¹) trešā stāva priežu skaits konstatēts objektā Garkalne170-5, kurā vienlaikus konstatēts lielākais (675 koki ha⁻¹) otrā stāva koku (sastāvs 8P2B+E) skaits (5.3. tabula). Šajā objektā konstatēts arī mazākais atjaunojušos priežu augstums (0,89 ± 0,29m) starp audzēm ar vismaz trijām priedes paaudzēm 14 gadus pēc cirtes (5.4. tabula).

5.3. tabula

Mātesaudzes struktūra audzēs ar vismaz trijām priedes paaudzēm

Objekts			Garkalne170-5			Garkalne239--2			Garkalne240		
Uzm gads			2006	2011	2016	2006	2011	2016	2006	2011	2016
I stāvs	D	cm	38.9	40.2	24.8	35.0	37.3	38.9	34.9	37.0	36.4
	H	m	23.5	23.8	20.0	25.9	26.3	26.2	24.0	24.4	24.1
	G	m ² ha ⁻¹	6.3	8.5	9.2	14.9	17.1	17.2	15.4	18.2	17.8
	M	m ³ ha ⁻¹	63.6	83.0	88.6	174.8	202.6	205.6	167.0	197.9	197.2
	N	ha ⁻¹	110	185	215	155	155	145	190	230	175
II stāvs	D	cm	11.3	11.5	11.3	11.3	10.7	10.7	10.7	10.9	13.1
	H	m	12.8	12.8	10.4	15.2	14.2	12.0	13.3	13.3	11.7
	G	m ² ha ⁻¹	3.6	3.9	6.7	0.1	0.1	0.7	1.0	1.5	3.9
	M	m ³ ha ⁻¹	24.1	26.6	40.2	0.5	1.0	4.0	7.0	10.9	24.8
	N	ha ⁻¹	355	380	675	5	15	75	110	165	290
III stāvs	D	cm	6.8	7.4	4.7	6.6	7.1	3.9	5.6	6.5	4.6
	H	m	8.6	9.0	4.1	9.0	9.2	3.9	8.7	8.4	4.9
	G	m ² ha ⁻¹	2.2	1.2	0.1	0.1	0.2	0.6	1.0	0.5	0.9
	M	m ³ ha ⁻¹	10.8	6.1	0.5	0.4	0.9	2.2	4.9	2.5	3.6
	N	ha ⁻¹	595	275	80	20	45	440	410	155	500
Kopā	G	m ² ha ⁻¹	12.1	13.6	16.1	15.0	17.4	18.5	17.4	20.3	22.7
	M	m ³ ha ⁻¹	98.5	115.8	129.4	175.6	204.5	211.8	178.9	211.3	225.6
	N	ha ⁻¹	1060	840	970	180	220	660	710	550	965

Jāatzīmē, ka koku skaita, augstuma, caurmēru izmaiņas koku stāvu ietvaros starp uzmērīšanas reizēm, radušās gan dēļ tā, ka, palielinoties koku augstumam, tie tiek pieskaitīti pie cita koku stāva, gan tādēļ, ka tiek sākti uzmērīt koki, kas sasnieguši metodikai atbilstošās dimensijas atkarībā no attāluma līdz parauglaukuma centram (skatīt 5.1. nodaļu).

Priedes dabiskās atjaunošanās novērtējums audzēs ar vismaz trijām priedes paaudzēm

Gads	Garkalne170-5		Garkalne239-2		Garkalne240	
	<i>N, gab</i>	<i>+/-</i>	<i>N, gab</i>	<i>+/-</i>	<i>N, gab</i>	<i>+/-</i>
2006	3550	2340	2250	2740	6800	6980
2011	3800	2197	4050	3341	4700	4348
2016	3550	2684	3450	2757	4500	4028
	<i>H, m</i>	<i>+/-</i>	<i>H, m</i>	<i>+/-</i>	<i>H, m</i>	<i>+/-</i>
2006	0.22	0.08	0.21	0.06	0.67	0.67
2011	0.79	0.29	0.44	0.18	0.76	0.82
2016	0.89	0.29	1.30	0.46	1.27	0.85

Audzēs, kur uzmērīšanas brīdī konstatētas vismaz divas priedes paaudzes ir veikta sastāva kopšana (408-195-3 un 714-226-17 – 2015. gada - 2016. gada ziemā; 714-278-19 – 2013. - 2014. gada ziemā, nozāgējot konkurējošo sugu kokus - bērzus, vietām arī paaugas egles vai izretinot III stāva egļu grupas (714-226-17). Kopšanas rezultātā objektā 714-226-17 trešā stāva egļu skaits ir samazinājies no 1200 līdz 389 kokiem ha⁻¹ (5.5. tabula). Šajā objektā atjaunojušos priežu skaits arī ir sarucis vairāk nekā divas reizes (līdz 1733 ± 1475 ha⁻¹) (5.6. tabula), tomēr tas skaidrojams ar konkurenci ar aizzēlumu un paaugas bērziem (2012. gadā tika uzskaitīti 8800 ± 6023 ha⁻¹).

Mātesaudzes struktūra audzēs ar vismaz divām priedes paaudzēm

Objekts			408-195-3		714-278-19		714-226-17	
Gads			2011	2016	2011	2016	2011	2016
I stāvs	D	cm	46.0	47.4	38.3	39.0	40.2	41.0
	H	m	27.2	28.4	25.6	25.4	30.6	30.8
	G	m ² ha ⁻¹	16.6	17.3	15.6	16.5	18.6	19.0
	M	m ³ ha ⁻¹	202.2	219.1	179.9	188.4	255.3	262.8
	N	ha ⁻¹	100	98	136	138	147	144
II stāvs	D	cm			17.4	18.9		14.7
	H	m			15.5	16.3		12.5
	G	m ² ha ⁻¹			0.2	0.4		0.3
	M	m ³ ha ⁻¹			1.5	2.7		2.0
	N	ha ⁻¹			9	13		18
III stāvs	D	cm			6.3	6.8	4.5	7.6
	H	m			5.1	6.7	4.6	8.2
	G	m ² ha ⁻¹			0.8	1.1	1.9	1.7
	M	m ³ ha ⁻¹			3.4	5.3	8.6	10.0
	N	ha ⁻¹			344	344	1200	389
Kopā	G	m ² ha ⁻¹	16.6	17.3	16.6	17.9	20.5	21.1
	M	m ³ ha ⁻¹	202.2	219.1	184.8	196.4	263.9	274.8
	N	ha ⁻¹	100	98	489	496	1347	551

Objektā 408-195-3 atjaunojušos priežu skaits konstatēts lielākais (9867 ± 4786 ha⁻¹) no visiem 2016. gadā uzmērītajiem objektiem, tomēr atjaunojušos priežu vidējais augstums 16 gadus pēc cirtes ir tikai $0,50 \pm 0,14$ m.

Priedes dabiskās atjaunošanās novērtējums audzēs ar vismaz divām priedes paaudzēm

Gads	408-195-3		714-278-19		714-226-17	
	<i>N, gab</i>	<i>+/-</i>	<i>N, gab</i>	<i>+/-</i>	<i>N, gab</i>	<i>+/-</i>
2011	11556	5125	3333	1537	4222	2755
2016	9867	4786	4667	1712	1733	1475
	<i>H, m</i>	<i>+/-</i>	<i>H, m</i>	<i>+/-</i>	<i>H, m</i>	<i>+/-</i>
2011	0.26	0.06	0.47	0.18	0.26	0.04
2016	0.50	0.14	0.80	0.33	0.81	0.12

Ņemot vērā to, ka pētījuma sākuma posmā ir neliels datu apjoms, tad iegūtie **rezultāti** lielākoties ir tikai indikatīvi (uz ko norāda arī statistiskie rādītāji (robežklūda ar 95% ticamību)), un **nav izmantojami vispārinājumu veikšanai**.

6. Mākslīgās atjaunošanas ietekmes (selekcijas efekta) noteikšana (Selekcijas efekta modelis parastai priedei)

Darba uzdevums: *Mākslīgās atjaunošanas ietekmes (selekcijas efekta) noteikšana - izstrādāt selekcijas efekta modeli parastai priedei.*

6.1. Materiāls un metodika

Iepriekšējo projektu ietvaros 2009. gadā tika iegūts lauku materiāls augšanas gaitas analīzei un salīdzinājumam starp provenienču un pluskoku kontrolēto krustojumu pēcnācējiem 1975. gadā ierīkotos parauglaukumos Kalsnavā (stādīšanas attālums 2 x 1 m, iežogotā teritorijā, meža tips - lāns). Kā paraugkoki izvēlēti 113 koki ar vienu galoni un bez citiem acīmredzamiem stumbra defektiem. Paraugkokam atzīmētas koordinātes eksperimentā (variants, atkārtojums, koks), pēc nozāģēšanas ievāktas ripas no 0 (iespējami tuvu zemes virskārtai), 0,5; 1; 1,3; m augstuma un tālāk ir pa metram. Tāpat uzmērīti redzamo zaru mieturu atrašanās augstumi. Datu apstrāde (skanēto ripu attēlu) uzmērīšana un stumbra analīžu sagatavošana, izmantojot datorprogrammu WinDendro, veikta ESF finansēta projekta „**Ģenētisko faktoru nozīme adaptēties spējīgu un pēc koksnes īpašībām kvalitatīvu mežaudžu izveidē**”(ESF) ietvaros (projekta vadītājs Dr. silv. Ā. Jansons), taču stumbra analīžu rezultāti nodoti arī šī projekta rīcībā.

Bez tam iegūto rezultātu salīdzināšanai, izmantoti arī dati no 1975.g. stādījumiem Zvirgzdē, kuros līdzīgos apstākļos audzēti sēklu plantāciju pēcnācēji un mežaudžu pēcnācēji. Uzmērījumi veikti 2009. gadā. Kā 3.datu kopa analīzei izmantoti arī dati no 1982.g. stādījumiem Zvirgzdē un Kalsnavā, kuros līdzīgos apstākļos audzēti sēklu plantāciju pēcnācēji un mežaudžu (provenienču) pēcnācēji. Uzmērījumi veikti abos objektos 2002. gadā, bet Zvirgzdē arī 2009.gadā.

Datu matemātiska apstrāde

Provenienču un pluskoku kontrolēto krustojumu pēcnācēju salīdzinājumam kopumā izmantotas stumbra analīzes no 113 kokiem. No katra varianta tālākajā analīzē iekļauts konkrētajā atkārtojumā augstākais uzmērītais koks, pieņemot tā augstumu par H_{dom} , kopumā atlasot 43 kokus - 15 kokus no kontrolēto krustojumu izmēģinājuma un 28 kokus no provenienču izmēģinājuma.

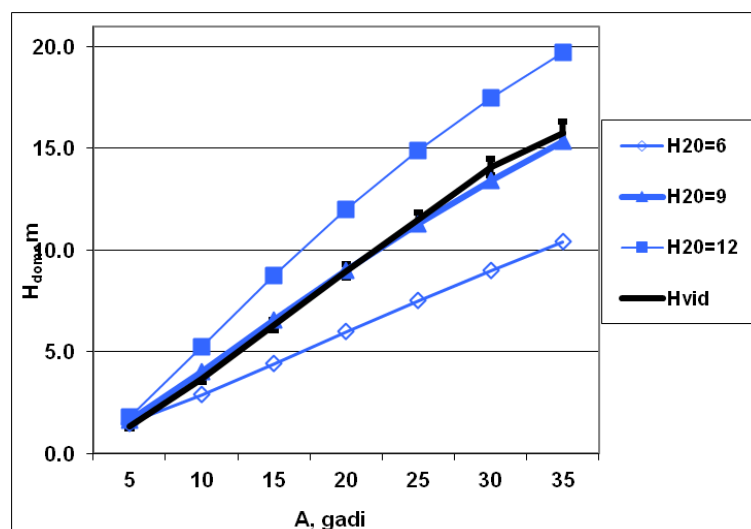
Analīze veikta:

1. salīdzinot pārbaudes izmēģinājuma vidējo dominējošo augstumu ar priežu augšanas gaitas virsaugstuma vērtībām pa virsaugstuma bonitātēm 20 gadu vecumā ($H_{20}=6m$; $H_{20}=9m$; $H_{20}=12m$);
2. Salīdzinot pārbaudes izmēģinājuma vidējo selekcionēto (pluskoku kontrolēto krustojumu pēcnācēju) dominējošo koku augstumu un provenienču pēcnācēju dominējošo koku augstumu.
3. Aprēķinot virsaugstuma bonitātes 100 gadu vecumā sākot no krūšaugstuma vecuma 15 gadi.

Kontrolei izmantoti 1975.g. Zvirgzdes eksperimenta plantāciju pēcnācēju un mežaudžu pēcnācēju salīdzinājums, kā arī 1982.g. Zvirgzdes un Kalsnavas eksperimentu sēklu plantāciju un mežaudžu pēcnācēju salīdzinājums. Abos gadījumos aprēķināta atšķirība starp vidējo augstumu un vidējo caurmēru.

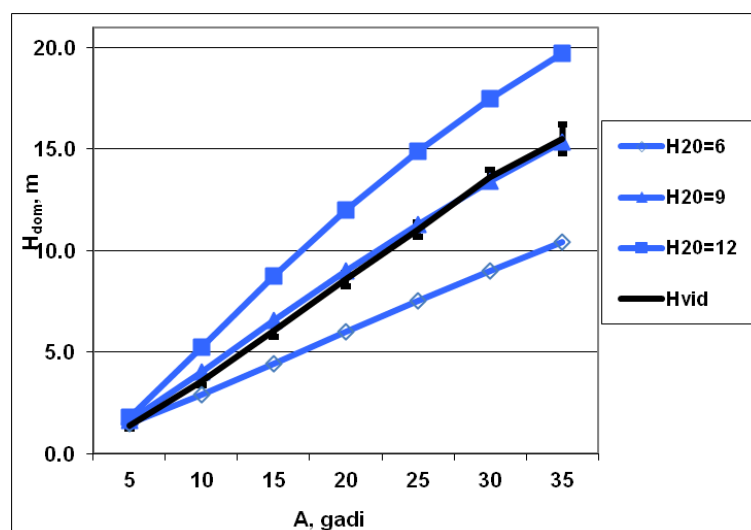
6.2. Rezultāti

Provenienču un pluskoku kontrolēto krustojumu salīdzinājuma pārbaudes izmēģinājumā iekļauto priežu augšana objektā praktiski sakrīt ar augšanas gaitas vērtībām virsaugstuma bonitātei $H_{20}=9m$ (6.1.att.). Augšanas gaita, ir tuvāka virsaugstuma bonitātes $H_{20}=6m$ augšanas gaitai (labākā un sliktākā varianta augstākā koka augstuma atšķirība 30 gadu vecumā ir 7.1 m).



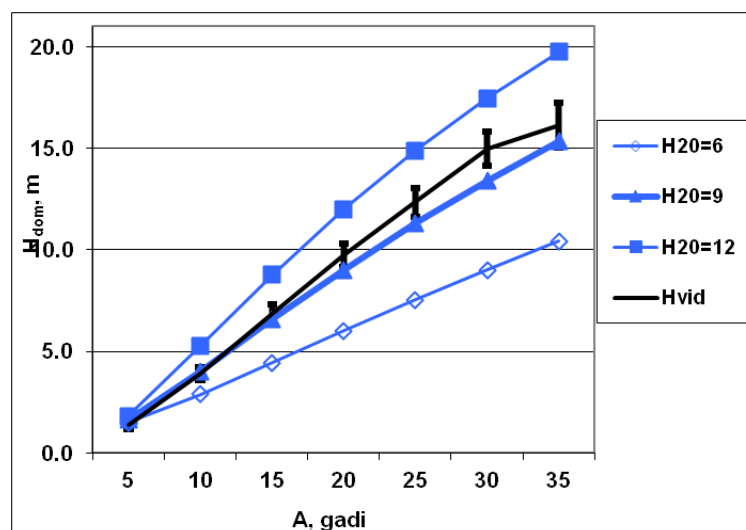
6.1.attēls. Pārbaudes izmēģinājumā iekļauto priežu vidējā dominējošā augstuma (H_{vid}) ar 95% ticamības intervālu salīdzinājums ar priežu augšanas gaitas vērtībām ($H_{20}=6m$; $H_{20}=9m$; $H_{20}=12m$) (J.Donis et al., 2015).

Priežu provenienču augšanas gaita pārbaudes izmēģinājumā ir sākotnēji ir lēnāka nekā to apraksta $H_{20}=9m$ virsaugstuma bonitāte, tomēr tā 20, 25 un 30 gadu vecumā iekļaujas 95% ticamības intervāla robežās (6.2.att.). Labākā pārbaudītā provenienču varianta augšanas gaita (170-III-9) ir tikai nedaudz ātrāka par $H_{20}=9m$ virsaugstuma bonitātes tabulētajām vērtībām.

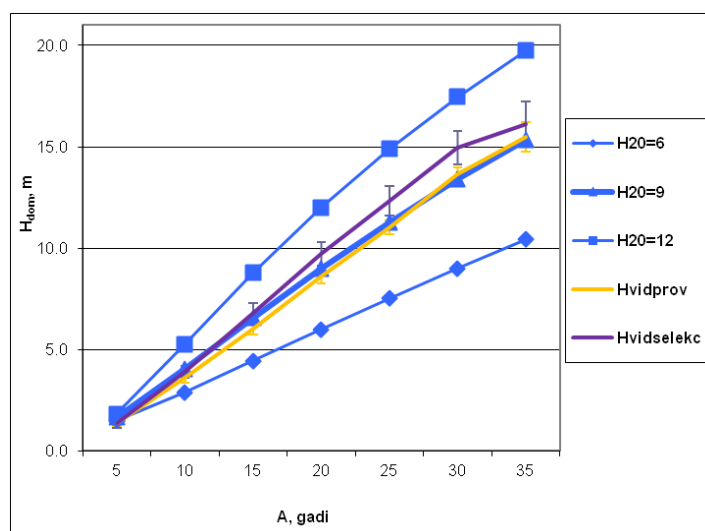


6.2.attēls. Pārbaudes izmēģinājuma lānā iekļauto priežu provenienču vidējā dominējošā augstuma (H_{vid}) ar 95% ticamības intervālu salīdzinājums ar priežu augšanas gaitas vērtībām ($H_{20}=6m$; $H_{20}=9m$; $H_{20}=12m$) (J.Donis et al., 2015).

Izmēģinājuma iekļauto kontrolēto krustojumu augšanas gaita ir ātrāka nekā to apraksta $H_{20}=9m$ virsaugstuma bonitāte (6.3.att.), lai arī 10, 15 un 20 gadu vecumā to augstumu ar % 95 ticamību iekļauj $H_{20}=9m$ tabulētās vērtības. Labākā varianta augšanas gaita (73-III-12) ir nedaudz ātrāka par augstākās virsaugstuma bonitātes $H_{20}=12m$ tabulētajām vērtībām. Kopumā var secināt, ka kontrolētā krustojuma izmēģinājuma augšanas gaita ir straujāka nekā provenienču izmēģinājuma augšanas gaita (6.4.attēls) un šīs atšķirības līdz 30 gadu vecumam ir statistiski būtiskas.



6.3.attēls. Priežu kontrolēto krustojumu pārbaudes izmēģinājuma lānā vidējā dominējošā augstuma (H_{vid}) ar 95% ticamības intervālu salīdzinājums ar priežu augšanas gaitas vērtībām ($H_{20}=6m$; $H_{20}=9m$; $H_{20}=12m$) (J.Donis et al., 2015).



6.4.attēls. Priežu kontrolēto krustojumu pārbaudes izmēģinājuma lānā vidējā dominējošā augstuma (H_{vid}) ar 95% ticamības intervālu, kā priežu provenienču vidējā dominējošā augstuma (H_{vid}) ar 95% ticamības intervālu salīdzinājums ar priežu augšanas gaitas vērtībām ($H_{20}=6m$; $H_{20}=9m$; $H_{20}=12m$) (J.Donis et al., 2015).

Dažādu izcelsmju (proveniences un selekcionētas) paraugkoku augstumu atšķirības dažādos vecumos atspoguļotas 6.1.tabulā. Dispersijas analīze liecina, ka selekcionētie koki statistiski būtiski augstāki ($p<0.01$). Savukārt to caurmērs būtiski neatšķirās no provenienču vidējiem caurmēriem ($p=0.54$).

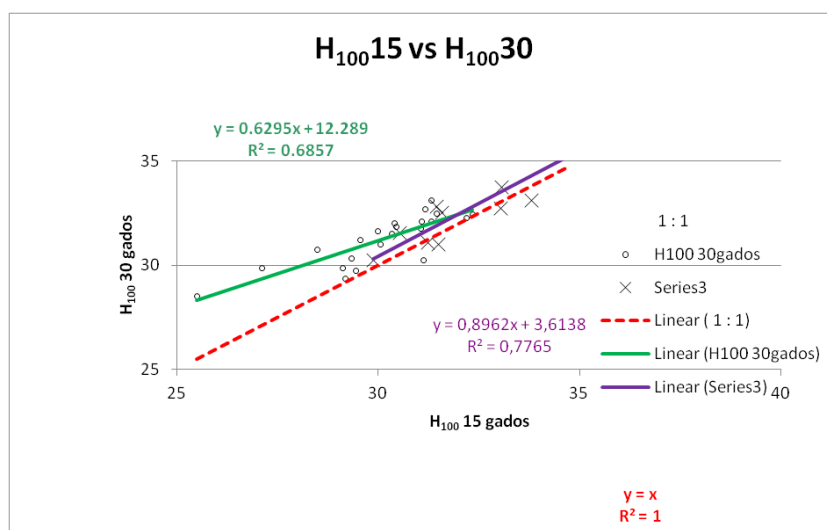
6.1. tabula

Priežu kontrolēto krustojumu pārbaudes un priežu provenienču izmēģinājuma dominējošā augstumu vidējās vērtības dažādos vecumos.

	Vecums, gadi					
Augstums	5	10	15	20	25	30
$H_{20}=9$	1.6	4.0	6.6	9.0	11.3	13.4
H_{vidkop}	1.4	3.7	6.3	9.0	11.5	14.1
$H_{vidprov}$	1.4	3.6	6.0	8.6	11.0	13.6
$H_{vidselekc}$	1.4	3.9	6.8	9.7	12.3	15.0

Sel-prov	0.0	0.3	0.8	1.1	1.3	1.3
Sel/prov	0.99	1.09	1.13	1.13	1.12	1.10

Audzis turpmākās augšanas gaitas prognozēšanai ir iespējams izmantot priežu virsaugstumu bonitāti sākot no vecuma 15 gadi (6.5.att). Turklāt kontrolēto krustojumu gadījumā augšanas gaita ir „stabilāka”, t.i., vairāk atbilstoša vienai virsaugstuma bonitātei, savukārt provenienču variantu augšanas gaita ir mazāk „stabila”. Lai arī pašlaik pieejamajiem datiem ir pārāk īss novērtēšanas periods (30 gadi), lai izteiktu vispārējus secinājumus, tomēr tie nav pretrunā iepriekš gūtajām atziņām, ka kontrolētu krustojumu augšanas gaita līdzīgos apstākļos pārsniedz vidējos rādītājus par 10%.



6.5.att. Provenienču (°) un kontrolēto krustojumu(x) pārbaudes izmēģinājuma priežu virsaugstuma pie krūšaugstuma vecuma 15 gadi ($H_{100}15$) sakarība ar virsaugstumu pie krūšaugstuma vecuma 20 ($H_{100}20$); 25 ($H_{100}25$) un 30 gadi ($H_{100}30$).

Augstāk iegūtos rezultātus (selekcijas efektu) pārbaudījām uz 1975.g. stādījumu rezultātiem (Zvirgzde). Izmantojot dispersijas analīzi konstatēts, ka selekcionēto (plantāciju pēcnācēju) koku augstums 35 gadu vecumā ir par 6% lielāks nekā mežaudžu koku augstums attiecīgi 16,51 un 15,56m. Atšķirības ir statistiski būtiskas - $F = 8.63$; $p = 0.004$. Savukārt selekcionēto koku vidējais caurmērs ir par 18% lielāks nekā mežaudžu koku caurmērs, 17,6 un 14,9 cm. Arī šī atšķirība ir statistiski būtiska – $F = 11.51$; $p < 0.001$.

Salīdzinot selekcijas efektu uz 1982.g. stādījumu datiem Kalsnavā un Zvirgzdē, konstatēts, ka Kalsnavas objektā 2002. gadā 20 gadu vecā eksperimentā ir statistiski būtiska augstumu atšķirība starp selekcionētiem un mežaudzes pēcnācējiem 10% - attiecīgi 8,5m un 7,7 m ($F = 5.73$; $p = 0.017$), savukārt atšķirība starp vidējiem caurmēriem ir 12%, – 9,7 un 8,7 cm ($F = 1.89$; $p = 0.17$), kas gan nav būtiska. Līdzīga situācija 2002.g. arī Zvirgzdes objektā H atšķiras par 11% un attiecīgi ir 8,1 un 7,3m ($F = 4.88$; $P = 0.027$), bet caurmērs par 10% attiecīgi 9,2 un 8,3cm, bet tas nav statistiski būtisks ($F = 1.73$; $P = 0.188$). Arī 2009.gadā 27 gadu vecumā situācija ir līdzīga H atšķirība ir 7,6%, attiecīgi 13,6 un 12,6m ($F = 6.12$, $P = 0.014$), savukārt caurmērs atšķirās par 5% attiecīgi – 12,1 un 11,6cm, kas gan nav statistiski būtiski ($F = 0.457$, $P = 0.499$).

6.3. Selekcijas efekta iekļaušana augšanas gaitas modelī

Matemātiski selekcijas efektu var iekļaut augšanas gaitā arī kā aditīvu efektu (pārveidots pēc Pienaar, Rheney, 1995).

$$H, D = H, D(f(T)) + Z_s(a(T * \exp(-b(T))) \quad (6.1)$$

H, D – augstums vai caurmērs

$f(T)$ – funkcija, kas apraksta H vai D izmaiņas atkarībā no A ,

Z_s - fiktīvais mainīgais: 1, ja selekcionēts materiāls, citādi 0.

a un b parametri, kas jāaprēķina, a - un b – norāda ietekmes lielumu un ilgumu.

Aprēķinātās a un b vērtības, balstoties uz 6.1. tabulas rezultātiem ir attiecīgi 0.075 un 0.025.

Šie koeficienti pagaidām uzskatāmi par aptuveniem, jo balstīti uz 1 eksperimentālā stādījuma paraugkoku stumbra analīžu datiem. Tā kā Meža selekcijas programmas ietvaros 2017.g. plānots pārmērīt priežu selekcijas izmēģinājumu stādījumus, precīzākas vērtības varēs iegūt 2017.g. Jaunie vienādojumi būs balstīti uz pārmērīto koku datiem.

7. Kopšanas ciršu eksperimentālo parauglaukumu ierīkošana un sākotnējā uzmērīšana (pēc kopšanas)

Darba uzdevums: *Kopšanas ciršu eksperimentālo parauglaukumu ierīkošana un sākotnējā uzmērīšana (pēc kopšanas) priedes (pieļaujams arī egles un bērza) I-II bonitātes un III-IV bonitātes audzēs, kopā 72 objekti, 4 reģionos – DK, ZK, AV, VD mežsaimniecībās, 3 vecuma grupās 20 – 30, 30 – 50, 50 – 70 gados, katrā parauglaukumā ierīkojot 3-4 kopšanas intensitātes, “kopšanu no augšas” un kontroli.*

7.1. Objektu izvēle

No 3883 kopšanas ciršu nogabaliem sākotnēji atlasīti 998 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 998 nogabaliem atlasīti 301 nogabals (7.1. attēls), kam arī izveidotas kartes ar parauglaukumu izvietošanu nogabalā. Apsekojot dabā, vērtēts augšanas apstākļu viendabīgums, audzes sastāvs, biežība, reljefs, vēja bojājumi. Rezultātā no 301 nogabala kā derīgi atlasīti 81 nogabals.

A-Vidzeme	21-30	31-50	51-70	kopā	V-Daugava	21-30	31-50	51-70	kopā
P1		4	8	12	P1	3	6	10	19
P2			4	4	P2				0
E	3	20	4	27	E	4	36	3	43
B	1	4	3	8	B	1	1	1	3

D-Kurzeme	21-30	31-50	51-70	kopā	Z-Kurzeme	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	1	4	16	21	P1	1	9	48	58
P2		2	4	6	P2		7	32	39
E	16	21	1	38	E		13		13
B		1	2	3	B		4	3	7

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

P1 - priede 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.

7.2. 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;
- ✓ kraфта klasi;
- ✓ krūšaugstuma caurmēru ar 0,1 cm precizitāti;
- ✓ bojājumus (7.1. un 7.2. 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).

7.1. 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

7.2. tabula

BOJĀJUMU VEIDS

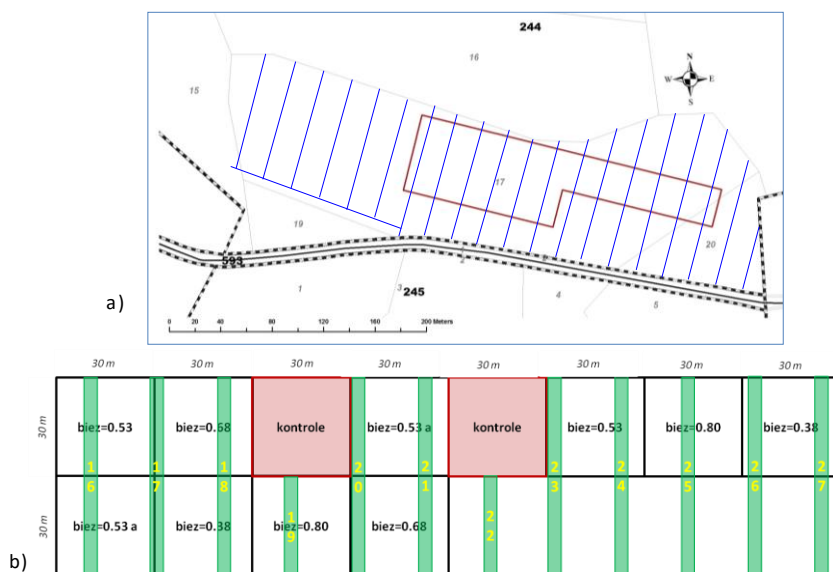
Kods	Skaidrojums
01	Vēzis
02X	Puni, augļkermeni (021) un citi progresējušas sabrukšanas indikatori: mīksta koksne (022), plaisas (023), dobumi (024), vaļējas brūces, kas saskaras ar zemi (025)
03	Vaļējas brūces (bez mizas, bet bez redzamām trupes pazīmēm)
04	Sasveķojumi
11	Nolūzis stumbrs vai saknes 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 (7.2. attēls).



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

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

Ar krāsu tiek atzīmēti atstājami 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.

Kokaudzes atkārtota uzmērīšana pēc krājas kopšanas ciršanas veikšanas

Palikušo koku uzskaitē un atsevišķu taksācijas rādītāju atkārtota uzmērīšana plānota 2017. gadā.

7.3. Ierīkoto objektu raksturojums

Kopā 2016. gadā ir ierīkoti 46 objekti, kam aprēķināti taksācijas rādītāji pirms kopšanas ciršanas (7.3. tabula). Austrumvidzemē ierīkoti 10 objekti, Vidusdaugavā, Dienvidkurzemē un Ziemeļkurzemē – 12 objekti (7.3. attēls). Pavisam kopā uzmērīti 516 parauglaukumi ar kopējo platību 46.44 hektāri, nodastoti 64675 koki, augstumi mērīti 5668 kokiem.

Vismazāk objektu ir pārstāvēti priežu audzēs zemajās bonitātēs vecuma grupās 21-30 un 31-50 gadi (7.3. attēls), jo šajā grupā Austrumvidzemē un Vidusdaugavā jau sākotnēji pēc pirmās atlases

netika atlasīta neviena priežu audze (7.1. attēls), savukārt priežu audzes ar augstajām bonitātēm vecuma grupā 51-70 gadi ir 3 objekti katrā reģionā, kas arī sākotnēji tika atlasīti visvairāk.

Ierīkotajos objektos vidējā audzes biezība pirms ciršanas ir robežās no 0,67 līdz 1,21.

7.3. tabula

Ierīkoto objektu taksācijas rādītāji

Nrpk	Mež-saimn.	Objekts	PL skaits	D min	MT	Bon	1. stāvs								2. stāvs					
							Biez	A	Sastāvs	D cm	H m	G m ² ha ⁻¹	M m ³ ha ⁻¹	N ha ⁻¹	Sastāvs	D cm	H m	G m ² ha ⁻¹	M m ³ ha ⁻¹	N ha ⁻¹
1	AV	101-425-13	5	6.1	Mr	I	0.75	67	10P	23.0	22.3	26.4	274.0	638	10E	11.5	10.5	0.0	0.3	4
2	AV	104-391-15	12	6.1	As	Ia	0.90	45	10E+B	21.2	21.0	30.7	324.8	888	8E2B	7.8	9.5	0.1	0.9	31
3	AV	106-446-7	10	6.1	Mr	I	0.69	54	10P ats.E	19.9	19.9	23.8	226.0	764	9E1P	8.4	8.4	0.8	4.4	143
4	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	9.3	10.0	0.2	1.2	26
5	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	AV	108-404-3	12	6.1	Ln	Ia	0.84	66	9P1E	24.6	26.1	30.9	371.9	647	7E3B	10.3	10.6	1.7	11.8	203
7	AV	108-408-12	11	4.1	Vr	Ia	0.98	31	10E ats.B	13.6	15.0	27.5	227.6	2079	7E3B ats.BI	5.9	7.2	1.7	9.4	620
8	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	9.9	10.0	4.8	31.2	622
9	AV	109-212-9	12	4.1	Km	IV	0.88	65	10P	12.8	14.8	27.4	207.3	2117	8P2B	6.4	7.6	0.1	0.5	31
10	AV	109-402-7	12	6.1	Ln	Ia	0.86	57	10P	24.5	24.6	31.1	351.7	659	10E ats.B	10.2	10.3	2.4	16.1	298
11	DK	201-399-14	12	4.1	Dm	Ia	1.11	27	9E1B ats.P,Oz	15.9	15.8	32.0	262.6	1744	7E2Oz1B+K,BI,PI	6.8	7.6	0.8	4.4	223
12	DK	202-415-13	12	4.1	Am	Ia	0.78	25	9P1E	14.5	13.7	23.8	167.3	1420	10E	5.2	5.2	0.0	0.2	22
13	DK	202-583-22	10	4.1	As	I	0.86	40	7P3E	15.3	15.3	27.1	213.5	1510	9E1P	6.9	7.7	0.5	2.5	123
14	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	9.5	10.0	1.8	11.7	259
15	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	9E1PI ats.Oz	7.2	7.9	0.9	5.0	230
16	DK	205-92-61	12	4.1	Vr	Ia	1.14	27	9E1Oz ats.P	17.0	16.4	33.6	283.0	1516	10E	6.9	8.2	0.2	1.1	52
17	DK	206-12-9	12	6.1	Dm	I	0.84	67	9P1E	26.5	23.9	30.3	332.6	577	10E+B	10.3	10.8	4.0	27.1	485
18	DK	206-369-10	12	6.1	Dm	I	0.86	69	8P2E	24.1	23.9	31.1	345.9	700	10E	10.6	11.2	2.5	17.8	288
19	DK	206-369-12	12	6.1	Mrs	I	0.85	62	10P ats.E	23.3	21.1	29.5	290.9	693	10E+B	10.5	10.3	1.8	11.0	205
20	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+Ba	6.8	9.0	1.6	10.5	436
21	DK	206-74-9	10	6.1	Dms	I	0.91	50	9P1E	18.9	19.1	30.8	282.6	1142	10E ats.B	8.9	9.9	1.7	11.4	274
22	DK	206-95-4	12	6.1	Am	I	0.90	68	10P+B ats.E	22.5	23.2	32.2	347.2	833	10E+B	10.5	11.3	3.8	27.1	439
23	VD	501-161-1	12	4.1	Ap	Ia	1.14	30	10E	18.5	17.3	34.7	303.1	1310	3E3B2M2Ba+BI	5.7	7.1	0.1	0.6	38
24	VD	502-381-4	12	6.1	Vr	Ia	0.90	50	10E ats.A	27.3	26.4	35.4	457.1	606	5E5L	13.7	15.3	0.1	0.8	7
25	VD	503-148-17	12	6.1	Vr	Ia	0.80	47	10E	24.7	23.0	28.9	322.9	608	5Oz3E2BI	10.3	12.8	0.0	0.2	4
26	VD	503-244-17	12	6.1	Ks	Ia	0.93	69	9P1E+B	25.1	26.2	34.2	411.7	707	8E2B	11.7	11.4	4.8	33.1	449
27	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	VD	503-302-8	12	4.1	As	I	1.06	47	10E ats.B,A	17.4	19.7	34.8	365.5	1482	8E2B	7.9	9.6	0.8	5.3	168
29	VD	503-307-10	12	6.1	As	Ia	0.85	55	10E	22.9	22.7	30.3	342.2	739	10E	10.1	11.2	0.1	0.5	9
30	VD	505-107-18	12	6.1	Mr	I	0.76	66	10P	22.6	22.6	26.9	282.2	671	10E	13.9	15.4	0.1	0.7	6
31	VD	505-108-8	12	4.1	Mr	Ia	0.67	28	10P	14.3	12.9	20.0	132.7	1254	8P2B	5.5	7.5	0.1	0.6	49
32	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	5.5	7.3	0.1	0.5	43
33	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	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	5.9	8.6	0.1	0.7	50
35	ZK	702-152-5	12	4.1	Sl	IV	0.84	57	10P	13.5	13.7	25.5	179.8	1787	10P	6.9	7.8	0.3	1.5	83
36	ZK	702-154-42	12	6.1	Dms	II	1.06	56	9P1B	19.2	19.6	36.4	342.3	1319	6E4B+P	9.2	9.4	2.7	16.7	408
37	ZK	702-183-27	12	6.1	As	I	1.13	45	8P2E	20.0	19.4	38.6	361.1	1362	10E+P,M ats.B	8.7	10.8	3.3	22.9	549
38	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 ats.M,Oz	13.6	12.4	9.3	64.0	640
39	ZK	703-126-1	10	4.1	Dms	I	0.86	41	8E2P ats.B	17.1	16.8	25.7	222.6	1081	10E ats.Oz	7.4	7.5	1.1	5.6	247
40	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	5.5	6.8	0.3	1.7	140
41	ZK	703-395-13	12	4.1	Vr	II	1.06	48	10E+A ats.B,Oz,BI	15.2	17.1	31.9	295.3	1805	9E1B ats.Oz,M,Ba	7.5	9.0	0.8	5.0	183
42	ZK	706-76-19	10	4.1	Mrs	IV	0.81	63	10P+B	15.3	14.5	25.1	185.3	1411	4E4B2P	6.6	6.4	0.6	2.9	173
43	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	ZK	710-291-26	12	4.1	Ln	II	0.94	56	9P1E+B	18.4	19.5	32.1	299.9	1241	5E4B1P	7.6	7.0	0.5	2.6	106
45	ZK	713-209-2	10	4.1	Ln	II	0.69	37	10P+E	14.5	12.6	20.6	134.5	1236	7P3E	6.8	7.5	0.2	0.9	52
46	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	8.6	8.5	1.0	5.7	173

A-Vidzeme	21-30	31-50	51-70	kopā
P1		1	3	4
P2			2	2
E		3		3
B			1	1
				10
D-Kurzeme	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	1	1	3	5
P2		1	2	3
E	3	1		4
B				0
				12
Z-Kurzeme	21-30	31-50	51-70	kopā
P1		1	3	4
P2		1	3	4
E		3		3
B			1	1
				12
Kopā	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	2	6	12	20
P2	0	2	7	9
E	4	10	1	15
B	0	0	2	2
				46

7.3. attēls. Ierīkoto objektu sadalījums pa reģioniem un vecuma grupām.

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

Secinājumi un rekomendācijas

1. Precizēti caurmēra un augstuma augšanas gaitas vienādojumu, kā arī šķērslaukuma izmaiņu vienādojumu koeficienti, balstot uz MSI 3 ciklu (pirmo divu gadu) mērījumu datiem. Atbilstoši tiek rekomendēts izmantot jaunākos vienādojumu koeficientus, izņemot apses augstuma augšanas gaitai pagaidām izmantot iepriekšējo pētījumu vienādojumu koeficientus. Tā vienādojumi ir deterministiski un netiek ņemti vērā atmirums dabisko traucējumu rezultātā, šķērslaukuma pieaugumam nepieciešams ieviest korekcijas koeficientu.
2. Precizētas pieauguma, atmiruma un krājas differences aprēķinu formulu koeficientu vērtības. Atbilstoši tiek rekomendēts izmantot jaunākos vienādojumu koeficientus.
3. Pārbaudīti Somijā izstrādātie individuālu koku augšanas gaitas modeļi. Secināts, ka tā kā virkne faktoru vērtības tiek ekstrapolētas, piem., aktīvo temperatūru summa, ģeogrāfiskais platums un garums, ar oriģinālajiem koeficientiem, aprēķinātie pieaugumi nav adekvāti. Līdzīgi arī Zviedrijā izstrādātajiem augšanas gaitas modeļos ir virkne parametru, kuriem nepieciešama adekvāta pielīdzināšana Latvijas apstākļiem. Rekomendēts, balstoties uz MSI datiem aprēķināt atbilstošo parametru koeficientu vērtības.
4. Dažādvecuma priežu audžu, kas radušās izlases ciršu rezultātā, paaugas koku atjaunošanās un augšanas gaitas desmit līdz četrpadsmit gadu laikā ir ievērojami apgrūtināta, jo koki vidēji sasnieguši tikai 0.9 līdz 1.3m augstumu. Pētījumu rezultāti ir norādoši, precīzāki secinājumi un rekomendācijas būs pieejamas plānoto pētījumu turpmākajos etapos.
5. Selekcijas rezultātā iespējams panākt 6% līdz 13% lielāku koku augstumu salīdzinājumā ar kontroles audžu (provenienču) rādītājiem. Salīdzinot augstumus 15 g. vecumā un augstumu 30 g. vecumā), konstatējams, ka sākotnēji straujāk augušie varianti saglabā augšanas gaitas atbilstību izstrādātajai virsaugstuma bonitāšu skalai, savukārt sākotnēji lēnāk augušie koki augšanas tempu palielina. Nepieciešama vienādojumu koeficientu precizēšana, balstot uz jaunākiem mērījumiem, kurus plānots veikt LVMI Silava meža selekcijas virziena projektos 2017.gadā.
6. Ierīkoti 46 kopšanas ciršu izmēģinājumi, kas dod informāciju par koku sadalījumu caurmēra pakāpes kopšanas ciršu vecuma audzēs. Bet augšanas gaitas rezultāti būs novērtējami tikai turpmāko pētījumu gaitā.

Literatūra

- Donis J. (projekta vad.), (2014) Mežaudžu augšanas gaitas un pieauguma noteikšana, izmantojot pārmērītos meža statistiskās inventarizācijas datus. Pārskats. 68 lpp: Pieejams http://www.lvm.lv/images/lvm/4.etapa_starpatskaite.pdf
- 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_publicijas/Petijumi/AGM_gala_ataskaite.pdf
- Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Siipilehto, J., Salminen, H., Haapala, P. 2002. Models for predicting stand development in MELA System. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja. The Finnish Forest Research Institute. Research papers 835. 116 p.
- Elfving B. (2010). Growth modelling in the Heureka system. Swedish University of Agricultural Sciences, Faculty of Forestry. [http://heurekaslu.org/wiki/Heureka_prognossystem_\(Elfving_rapportutkast\).pdf](http://heurekaslu.org/wiki/Heureka_prognossystem_(Elfving_rapportutkast).pdf)
- 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 mērīšana. 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

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

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

Pielikums 2. Meža elementa vidējā augstuma aktualizācijas modeļa koeficienti 2015. gadā

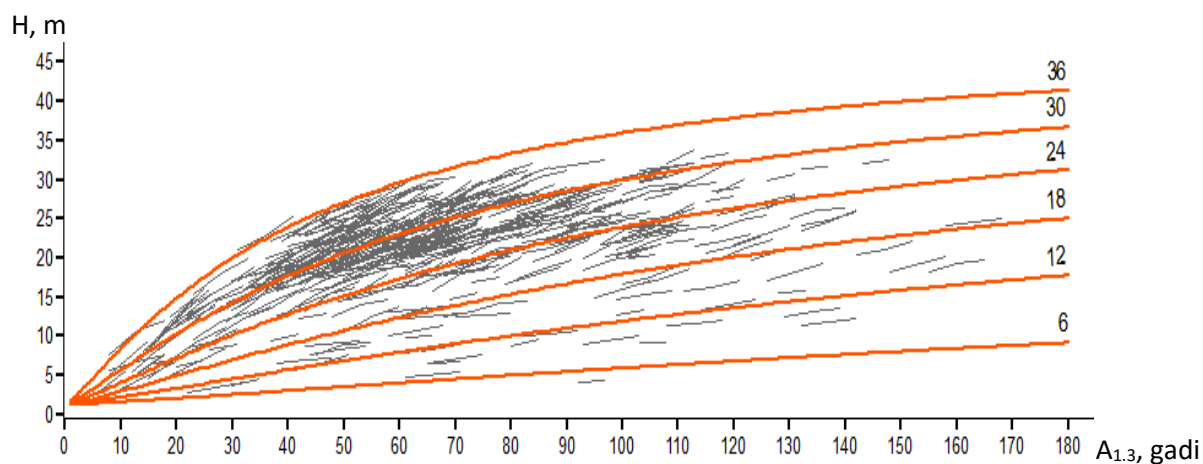
Koeficients	Priede	Egle	Bērzs	Melnalksnis	Apse	Baltalksnis
b1	1.181	1.290	1.334	1.139	1.324	1.329
b2	-42.597	-38.142	-35.785	-32.096	-26.078	-23.048
b3	21.109	20.159	16.116	15.977	15.645	7.327

Pielikums 3. Meža elementa vidējā caurmēra aktualizācijas modeļa koeficienti 2015. gadā

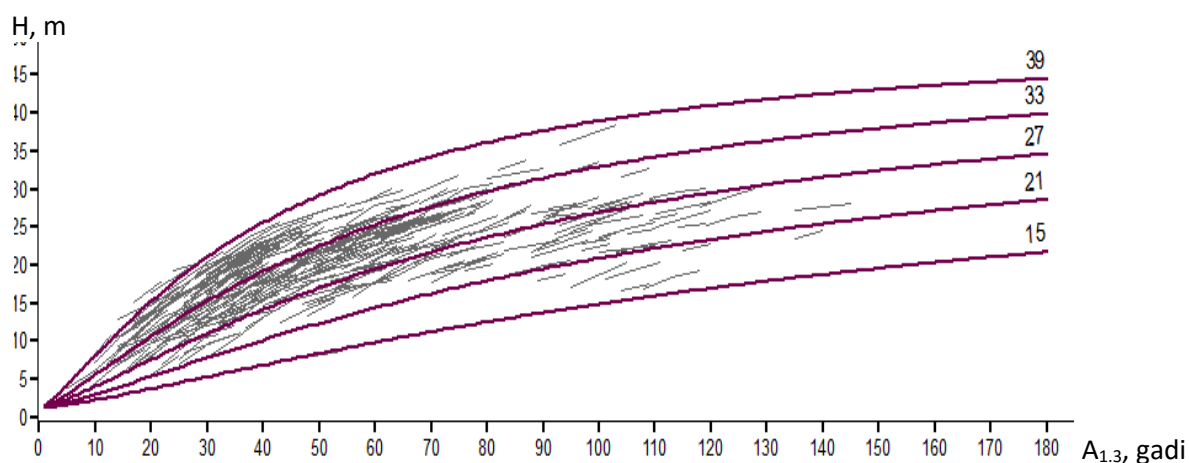
Koeficients	Priede	Egle	Bērzs	Melnalksnis	Apse	Baltalksnis
b1	0.987	1.140	1.021	0.919	1.251	1.423
b2	-7.433	-9.722	-9.275	-1.985	-13.459	-9.816
b3	4.657	5.694	4.307	1.645	9.515	3.174
c1	83570	103106	144400	197511	197511	197511
c2	-1.366	-1.381	-1.357	-1.314	-1.314	-1.314
c3	-0.069	-0.103	-0.302	-0.339	-0.339	-0.339

Pielikums 4. Uzmērītās vidējā augstuma izmaiņas un meža elementa vidējā augstuma aktualizācijas modeļa (2.1. formula) augšanas gaita

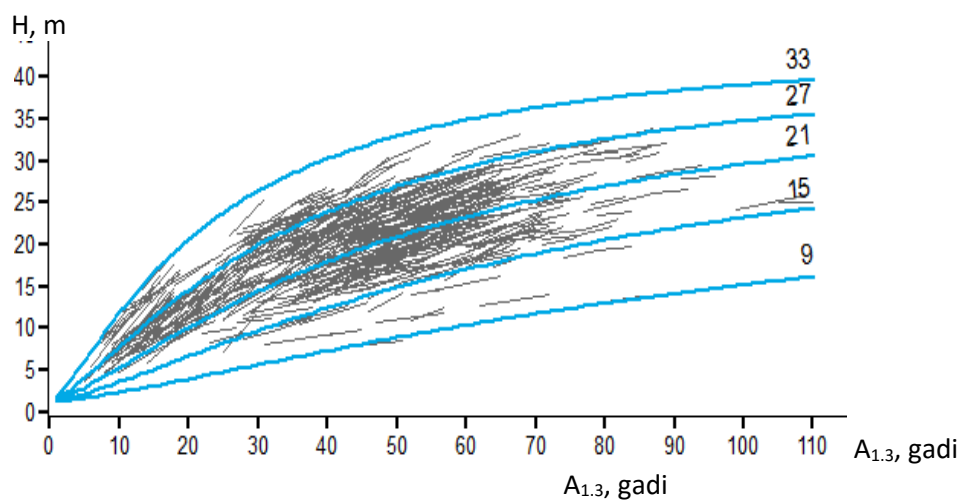
Priede (bāzes vecums 100 gadi)



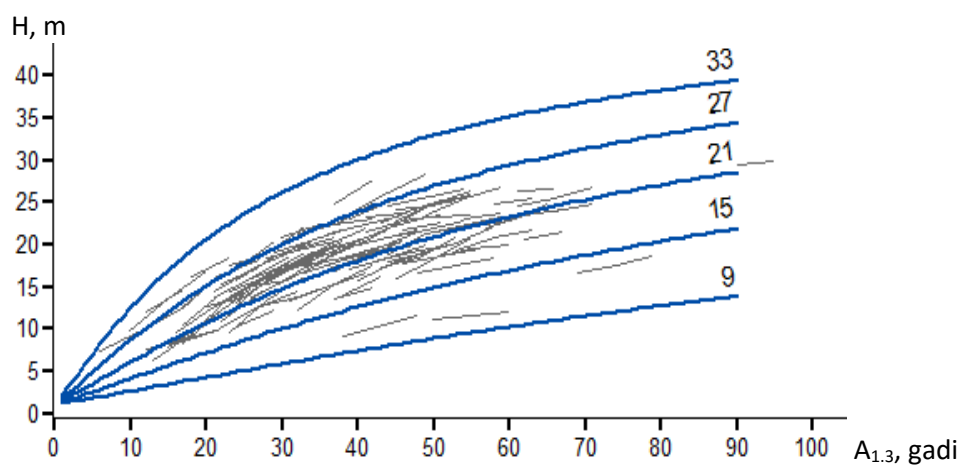
Egle (bāzes vecums 100 gadi)



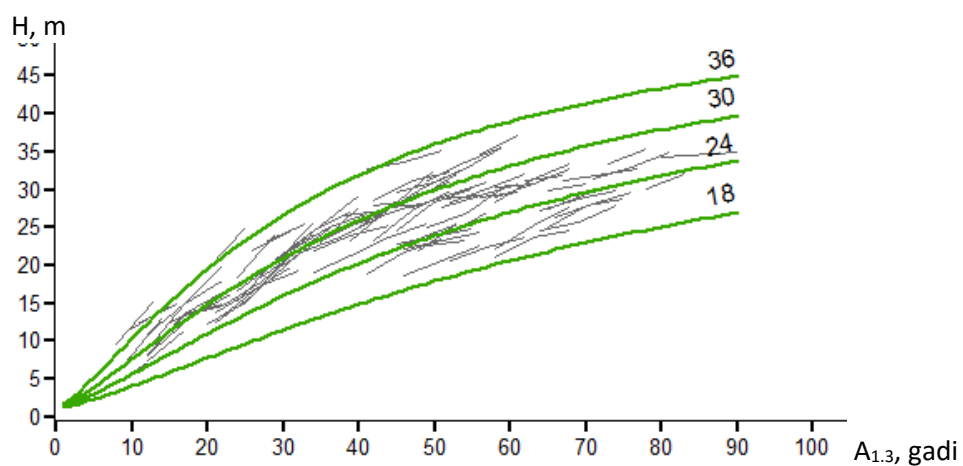
Bērzs (bāzes vecums 50 gadi)



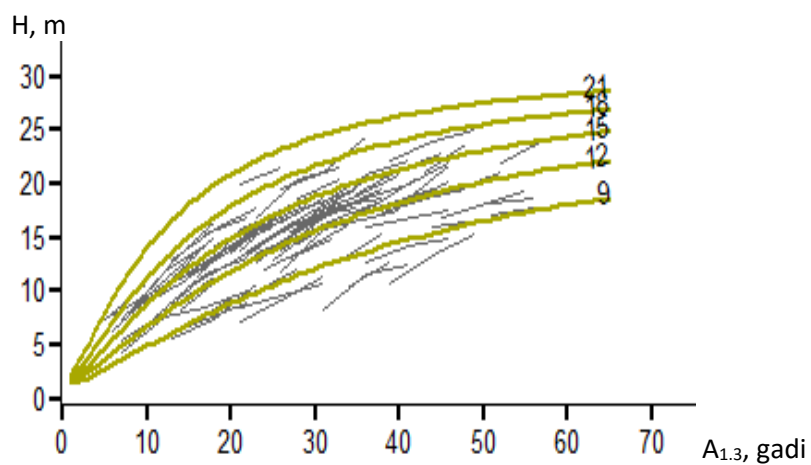
Melnalksnis (bāzes vecums 50 gadi)



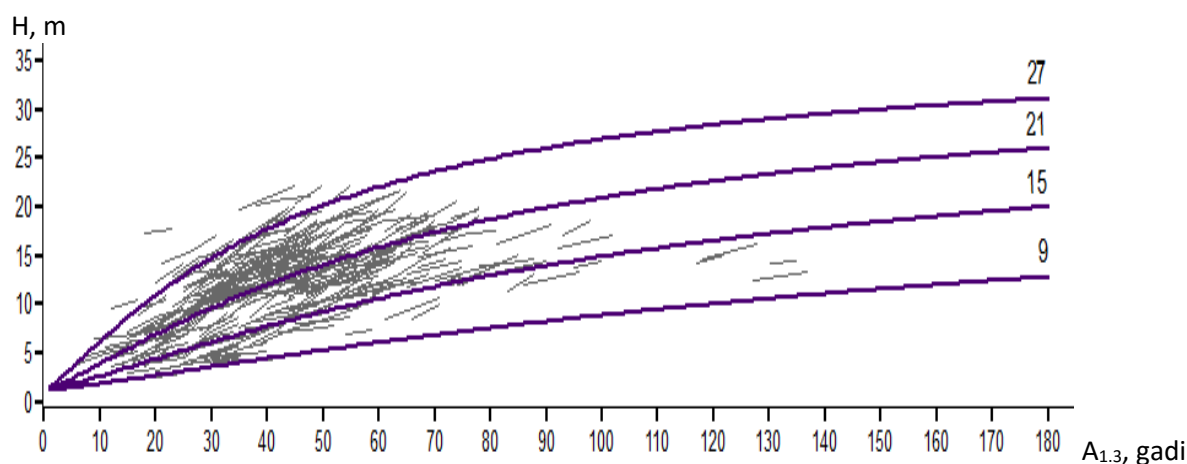
Apse (bāzes vecums 50 gadi)



Baltalksnis (bāzes vecums 20 gadi)

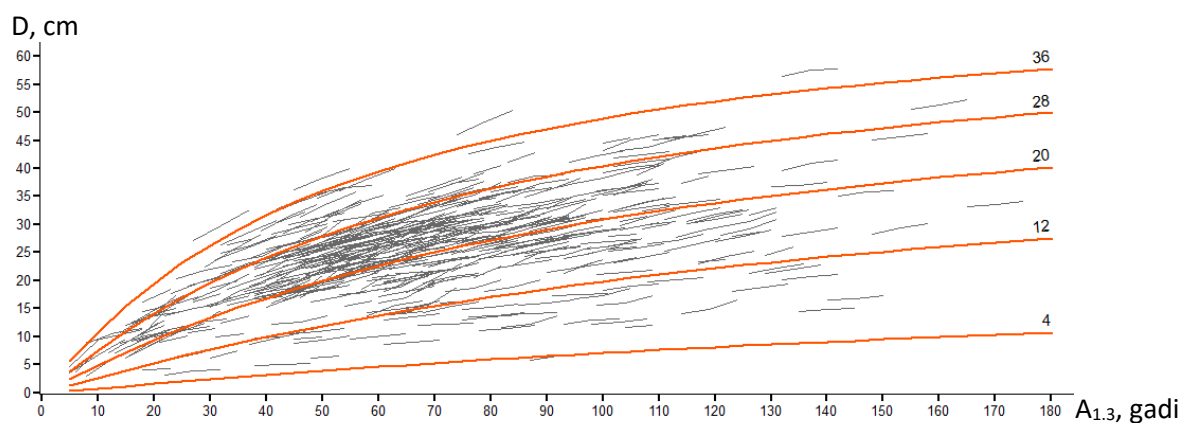


Egle 2. stāvs (bāzes vecums 100 gadi)

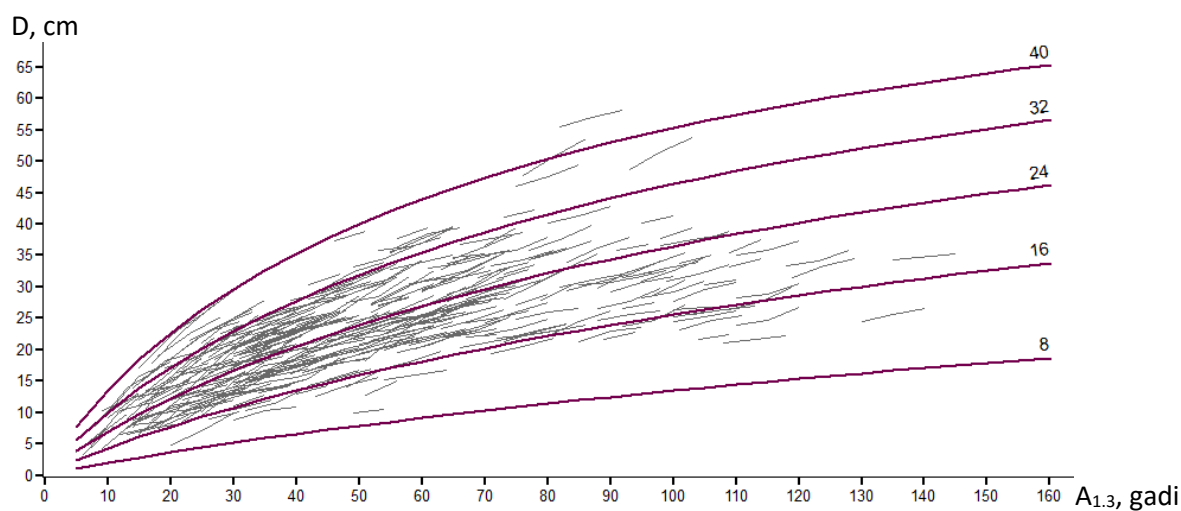


Pielikums 5. Uzmērītās vidējā caurmēra izmaiņas un meža elementa vidējā caurmēra aktualizācijas modeļa (2.2. formula) augšanas gaita

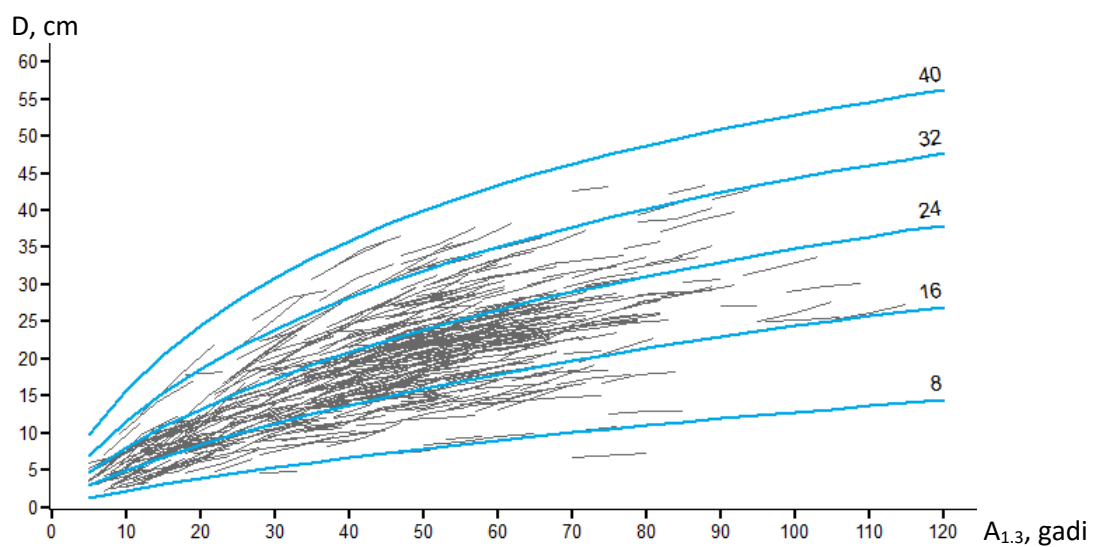
Priede (bāzes vecums 50 gadi)



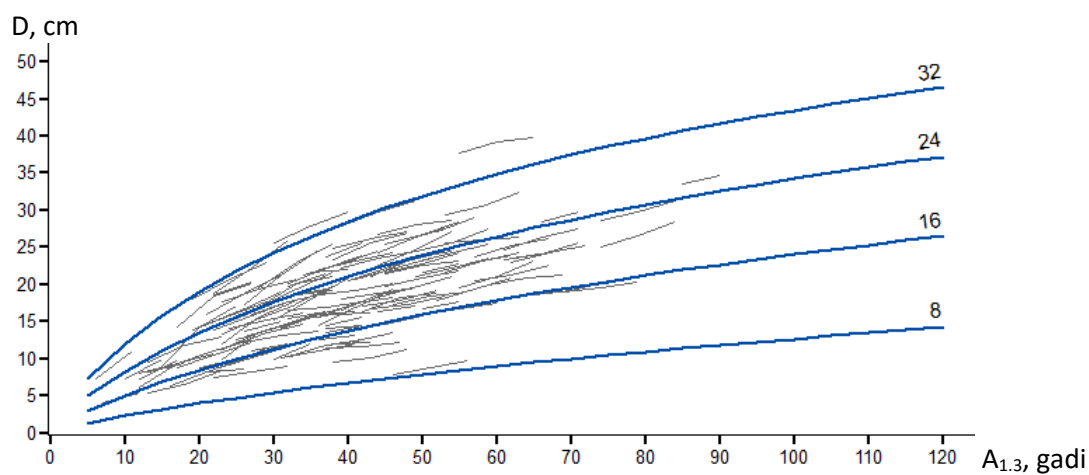
Egle (bāzes vecums 50 gadi)



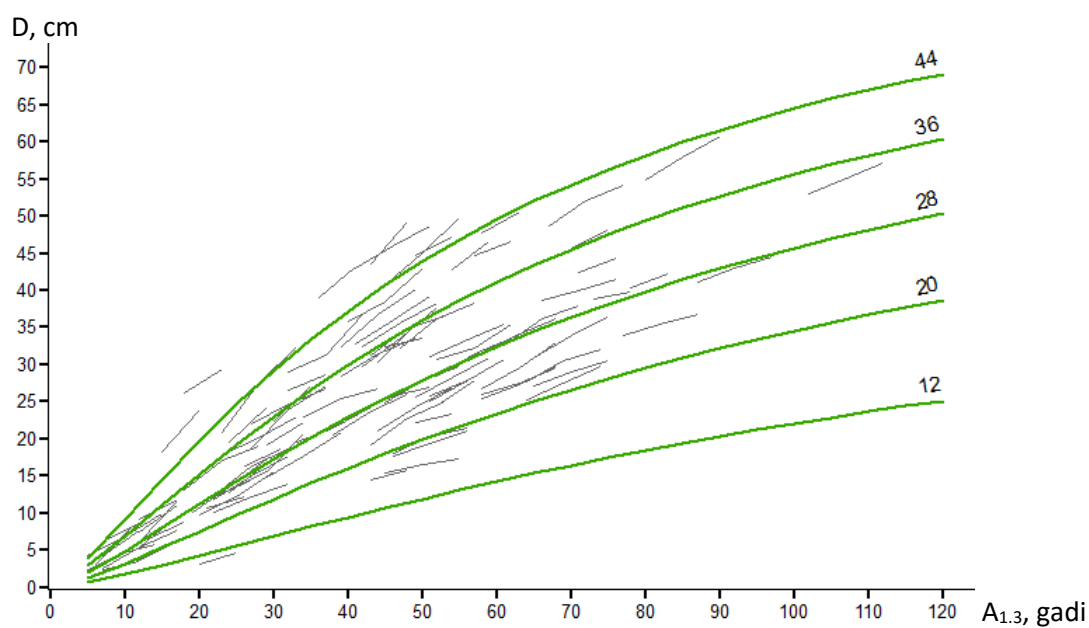
Bērzs (bāzes vecums 50 gadi)



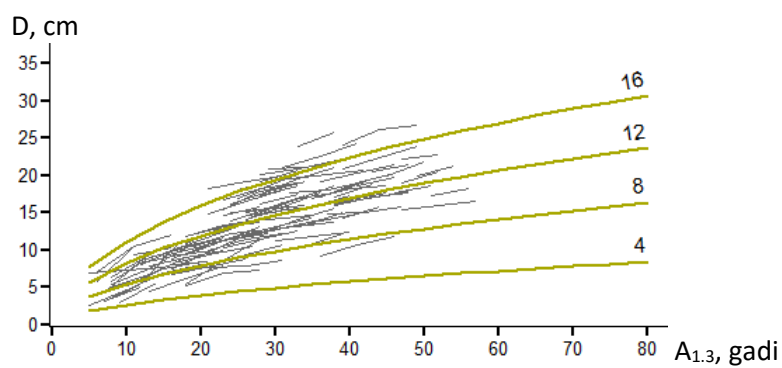
Melnalksnis (bāzes vecums 50 gadi)



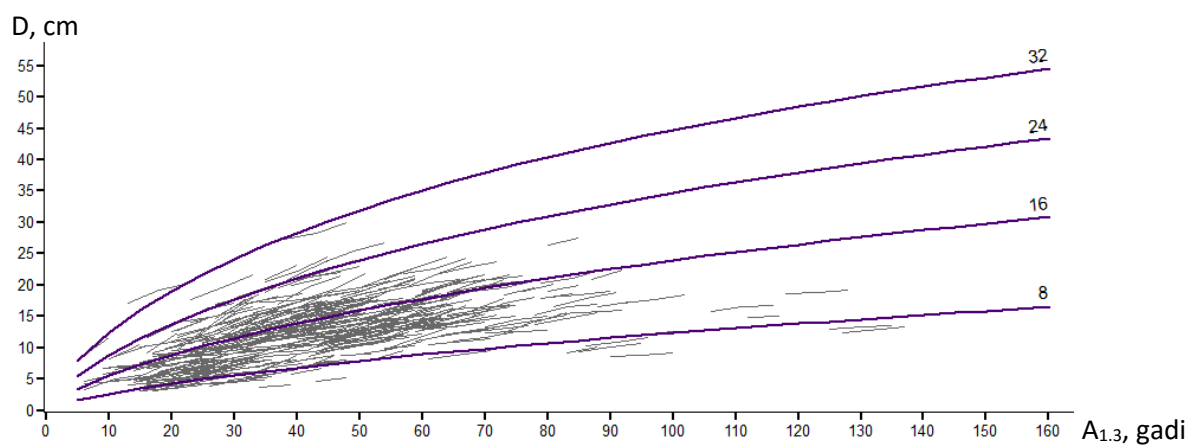
Apse (bāzes vecums 50 gadi)



Baltalksnis (bāzes vecums 20 gadi)

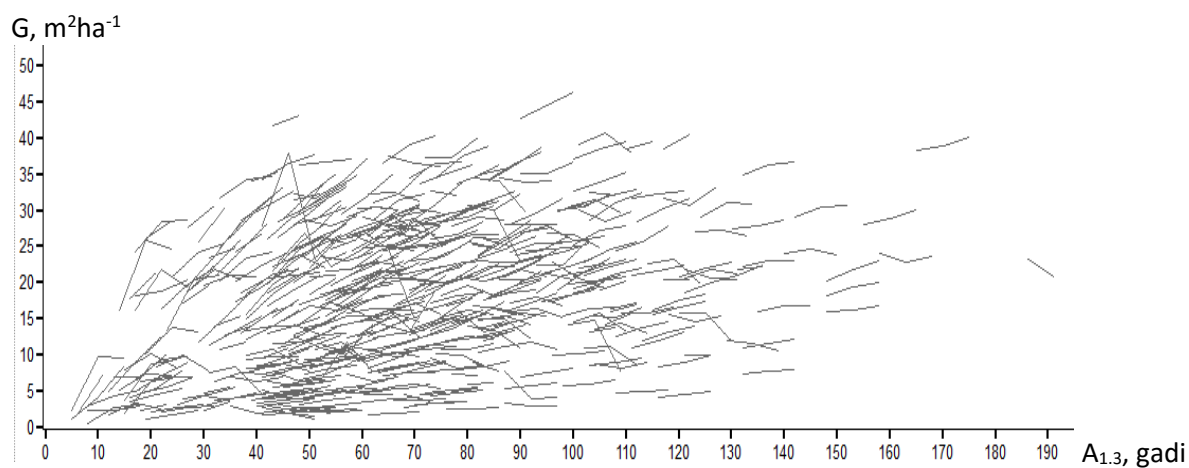


Egle 2. stāvs (bāzes vecums 50 gadi)



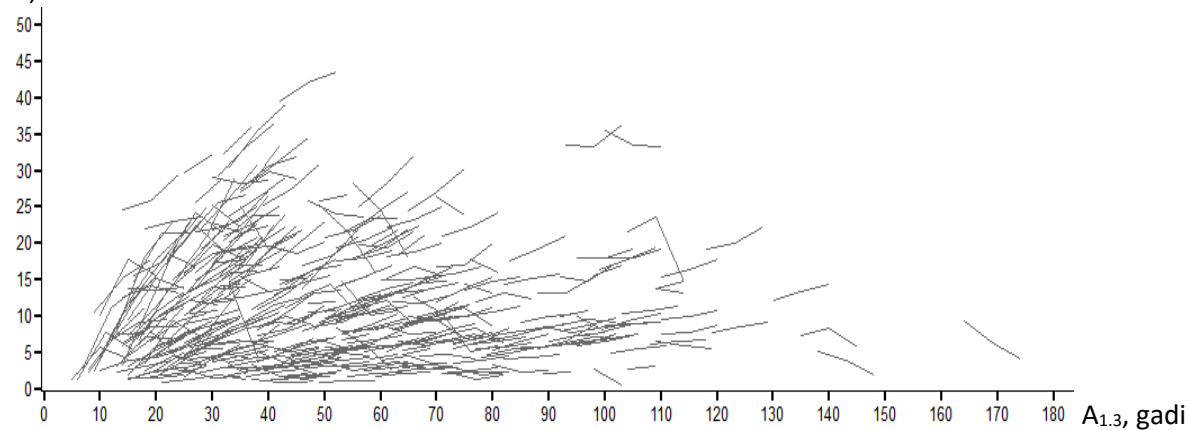
Pielikums 6. Uzmērītās meža elementa šķērslaukuma izmaiņas atkarībā no meža elementa krūšaugstuma vecuma

Priede



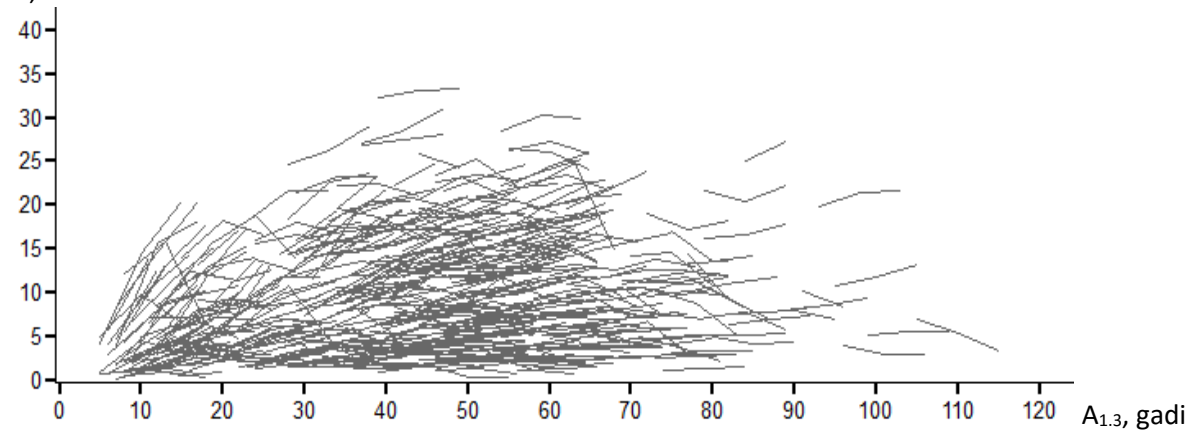
Egle

G, m^2ha^{-1}



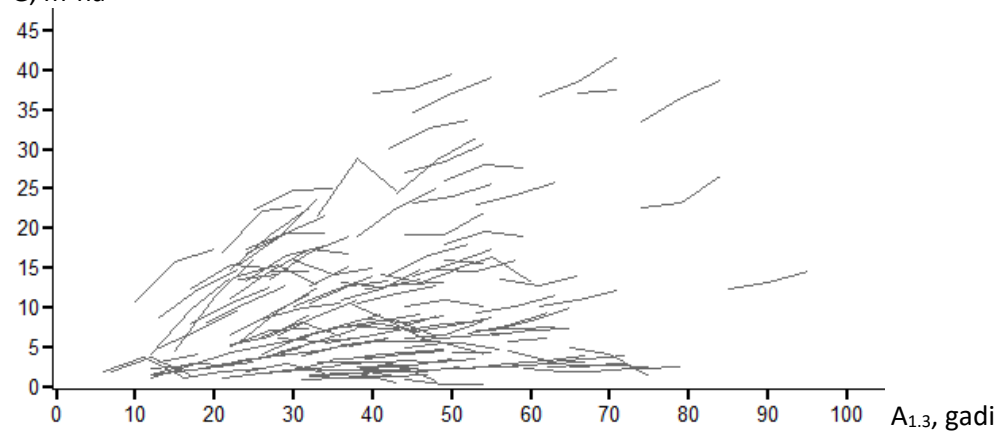
Bērzs

G, m^2ha^{-1}

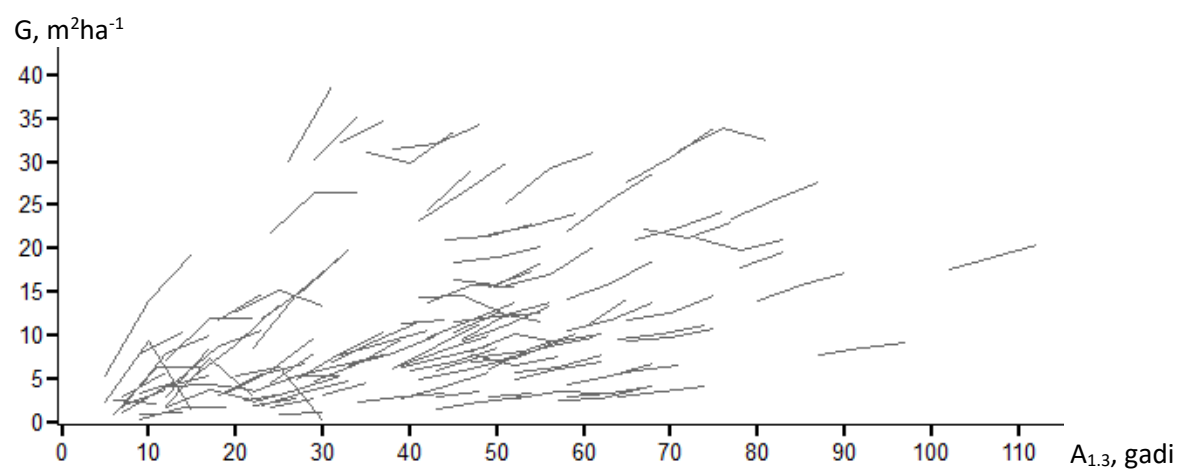


Melnalksnis

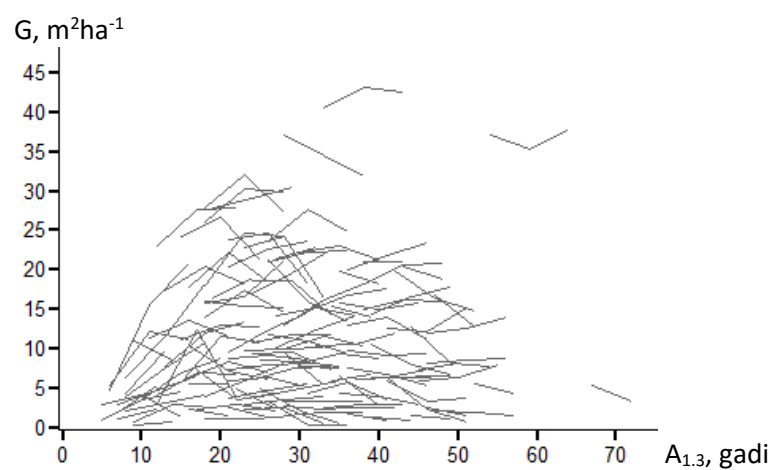
G, m^2ha^{-1}



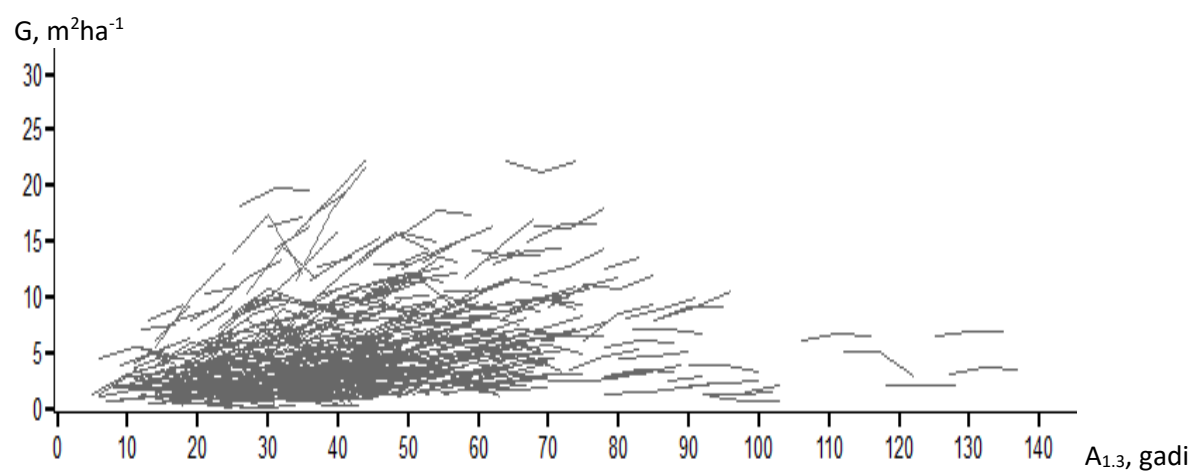
Apse



Baltalksnis

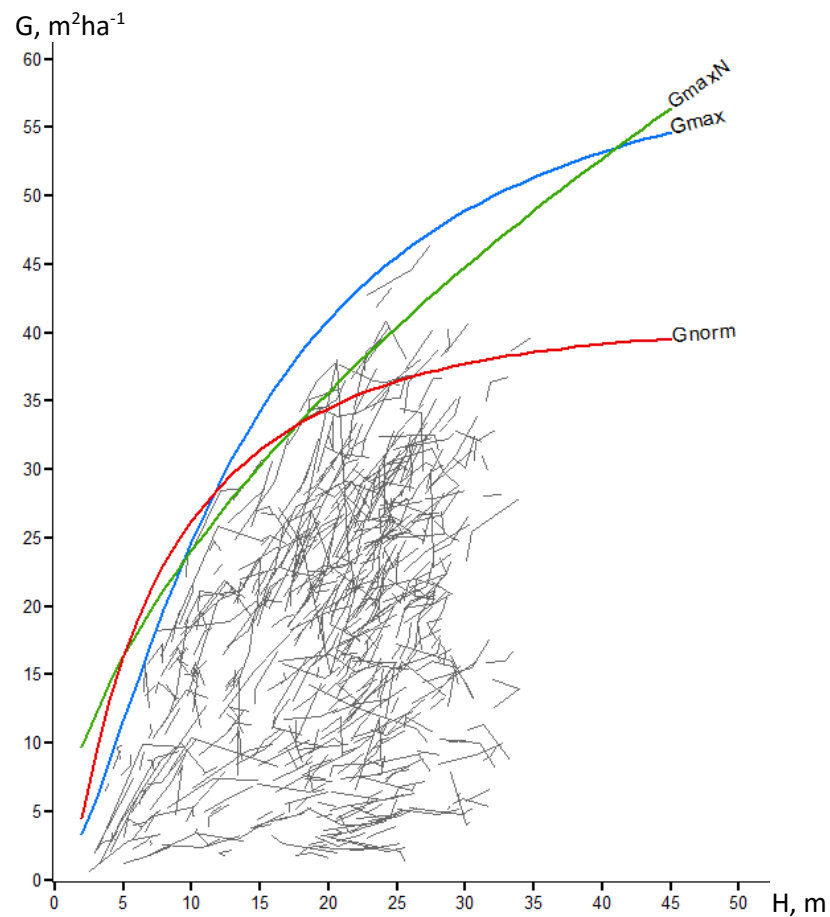


Egle 2. stāvs



Pielikums 7. Uzmērītās meža elementa šķērslaukuma izmaiņas atkarībā no meža elementa vidējā augstuma

Priede

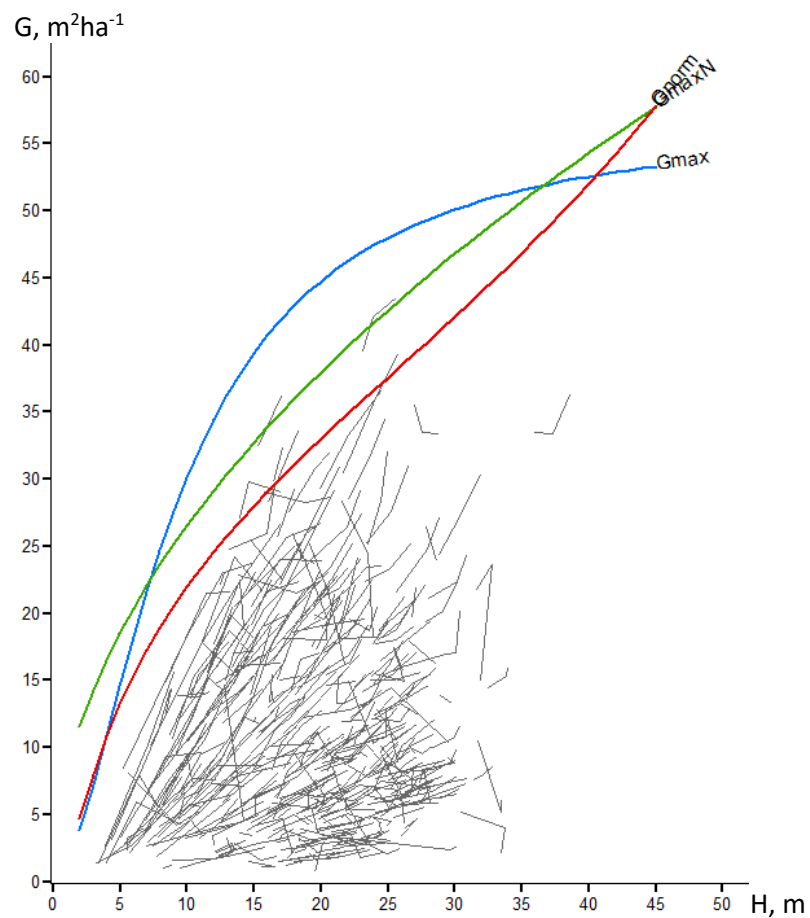


G_{norm} - MK noteiktais audzes normālais šķērslaukums

G_{maxN} - maksimālā koku skaita šķērslaukums pie H/D attiecības 1,0

G_{max} - maksimālais šķērslaukums pie H/D attiecības 1,0

Egle

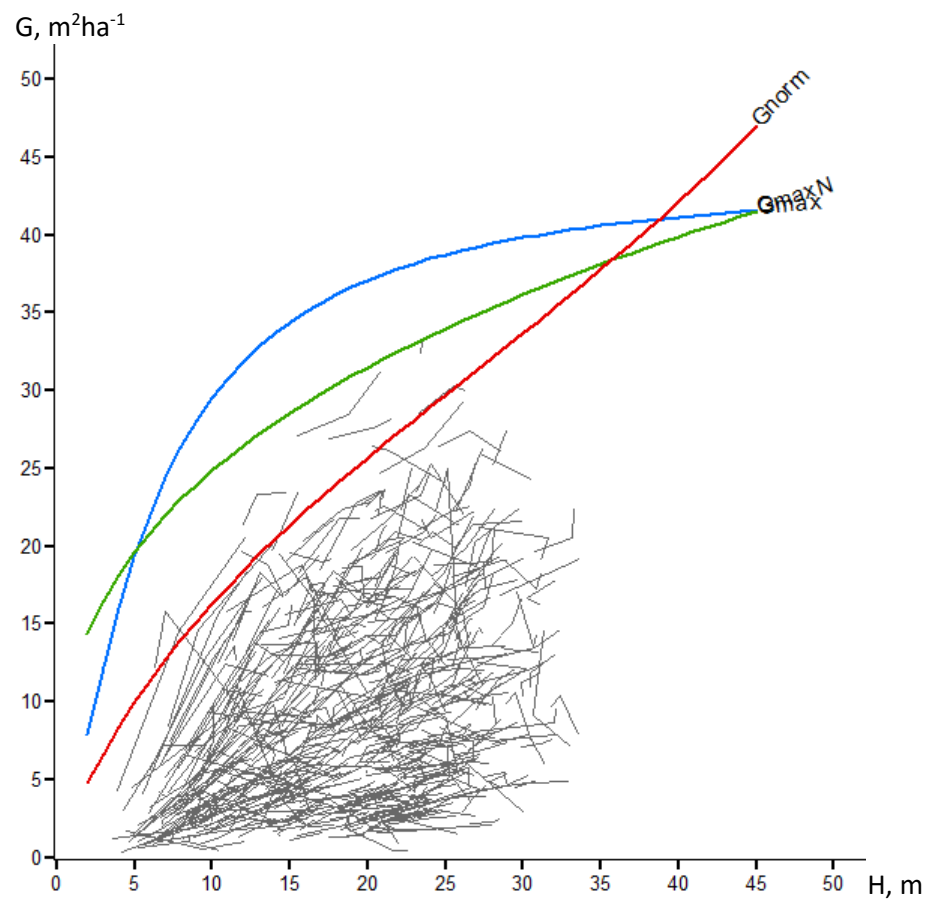


G_{norm} - MK noteiktais audzes normālais šķērslaukums

G_{maxN} - maksimālā koku skaita šķērslaukums pie H/D attiecības 1,0

G_{max} - maksimālais šķērslaukums pie H/D attiecības 1,0

Bērzs

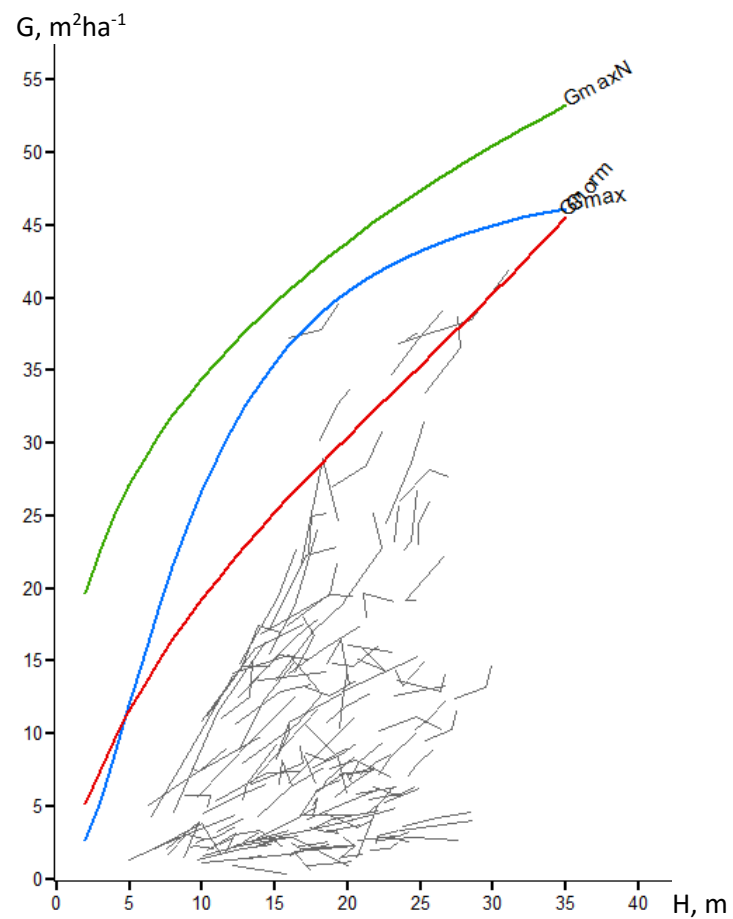


G_{norm} - MK noteiktais audzes normālais šķērslaukums

G_{maxN} – maksimālā koku skaita šķērslaukums pie H/D attiecības 1,0

G_{max} – maksimālais šķērslaukums pie H/D attiecības 1,0

Melnalksnis

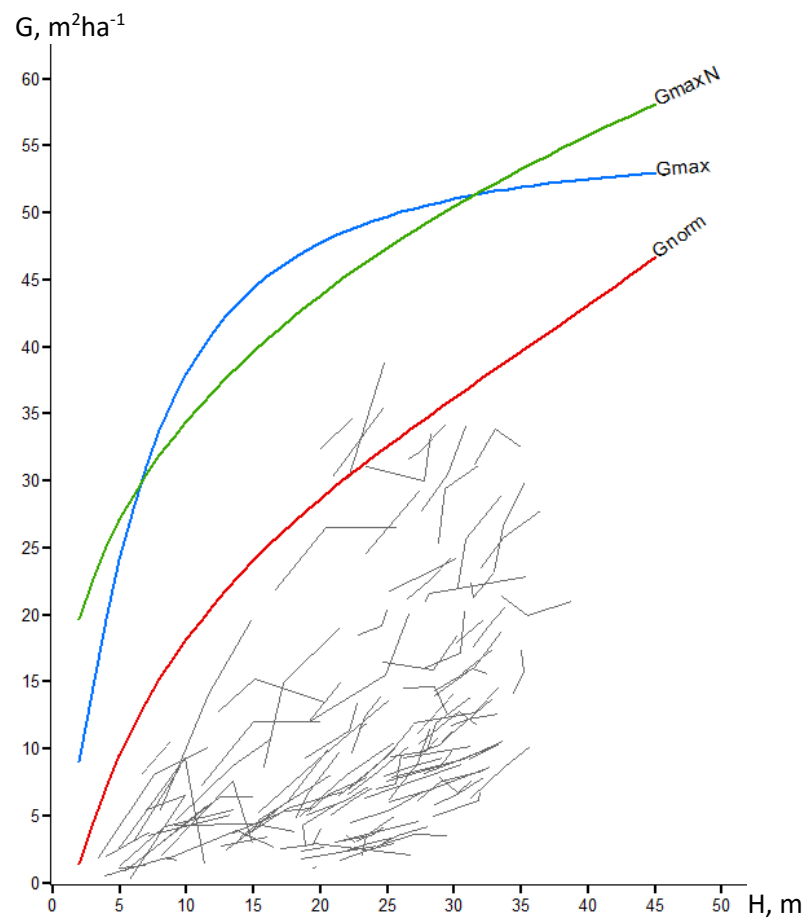


G_{norm} - MK noteiktais audzes normālais šķērslaukums

G_{maxN} – maksimālā koku skaita šķērslaukums pie H/D attiecības 1,0

G_{max} – maksimālais šķērslaukums pie H/D attiecības 1,0

Apse

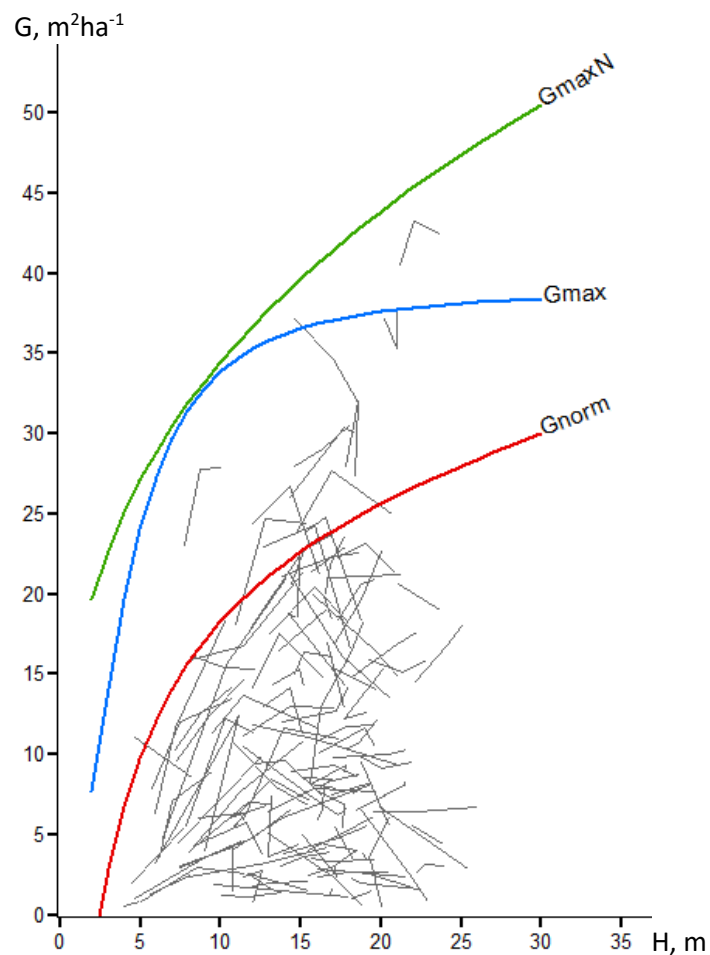


G_{norm} - MK noteiktais audzes normālais šķērslaukums

G_{maxN} - maksimālā koku skaita šķērslaukums pie H/D attiecības 1,0

G_{max} - maksimālais šķērslaukums pie H/D attiecības 1,0

Baltalksnis

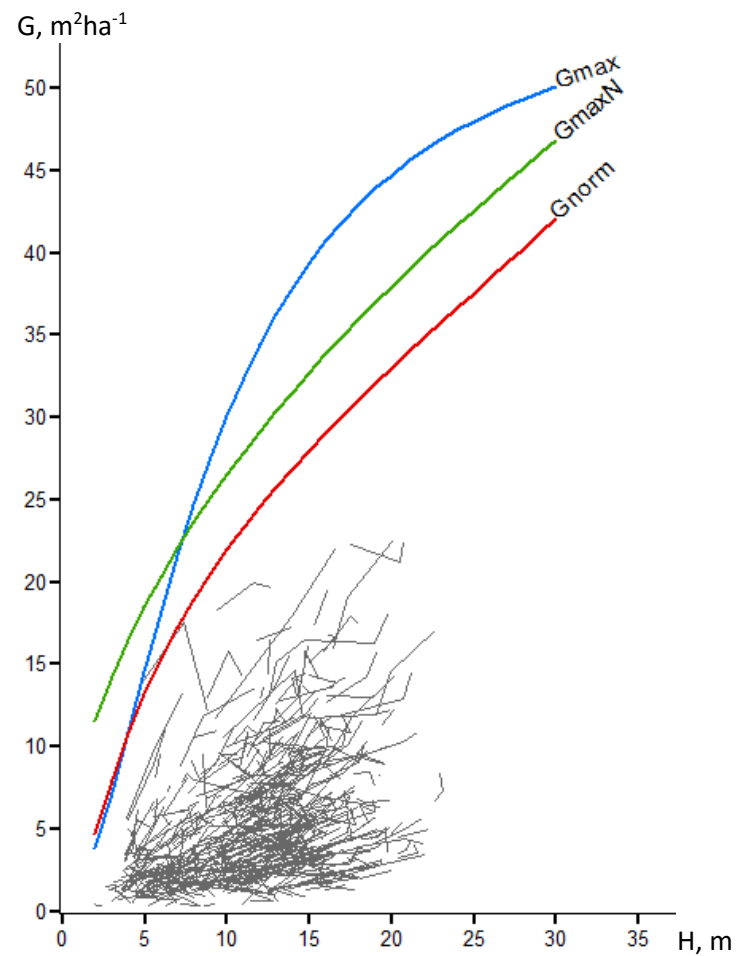


G_{norm} - MK noteiktais audzes normālais šķērslaukums

G_{maxN} - maksimālā koku skaita šķērslaukums pie H/D attiecības 1,0

G_{max} - maksimālais šķērslaukums pie H/D attiecības 1,0

Egle 2. stāvs



G_{norm} - MK noteiktais audzes normālais šķērslaukums

G_{maxN} - maksimālā koku skaita šķērslaukums pie H/D attiecības 1,0

G_{max} - maksimālais šķērslaukums pie H/D attiecības 1,0

Pielikums 8. Prognozētais meža elementa tekošais vidēji periodiskais krājas pieaugums (m^3ha^{-1} gadā) atkarībā no meža elementa sugas, vecuma un īpatsvara, un mežaudzes pirmā stāva relatīvās biežības

Suga	Vecums	Rādītājs	Relatīvā biežība			Īpatsvars			Kopā
			0.01 - 0.40	0.41 - 0.70	0.71 - 1.0	0.01-0.50	0.51-0.80	0.81-1.0	
Priede	1-40	Aritm.vid.	4.46	6.96	10.40	3.66	6.73	8.22	6.66
		Ticamība 95%	1.23	1.17	4.07	0.81	1.68	1.51	1.10
		Skaits	11	19	5	10	6	19	35
	41-80	Aritm.vid.	3.41	5.71	7.29	3.58	4.87	6.62	5.77
		Ticamība 95%	0.64	0.49	0.83	0.56	0.85	0.52	0.43
		Skaits	26	76	43	25	27	93	145
	80-	Aritm.vid.	1.80	3.34	3.92	1.67	3.15	4.05	3.43
		Ticamība 95%	1.48	0.52	1.18	0.97	0.86	0.59	0.50
		Skaits	3	41	18	12	11	39	62
	Kopā	Aritm.vid.	3.58	5.17	6.61	3.11	4.69	6.16	5.30
		Ticamība 95%	0.58	0.41	0.82	0.48	0.68	0.45	0.36
		Skaits	40	136	66	47	44	151	242
Egle	1-40	Aritm.vid.	6.25	8.19	8.46	4.21	8.59	10.05	7.70
		Ticamība 95%	1.11	1.21	4.23	1.33	1.36	1.81	1.12
		Skaits	19	34	14	23	16	28	67
	41-80	Aritm.vid.	4.42	5.15	5.29	4.01	6.74	7.99	5.04
		Ticamība 95%	0.68	0.68	1.29	0.47	0.92	1.92	0.55
		Skaits	13	29	21	41	18	4	63
	80-	Aritm.vid.	1.00	2.71	2.13	1.99	1.05	7.70	2.14
		Ticamība 95%	0.78	1.13	1.24	0.49	0.57	0.00	0.72
		Skaits	5	10	5	16	3	1	20
	Kopā	Aritm.vid.	4.90	6.23	6.00	3.67	7.08	9.73	5.84
		Ticamība 95%	0.84	0.78	1.72	0.49	0.98	1.56	0.63
		Skaits	37	73	40	80	37	33	150
Bērzs	1-40	Aritm.vid.	3.97	4.10	3.98	2.80	4.20	5.19	4.02
		Ticamība 95%	0.62	0.59	1.04	0.46	0.60	0.68	0.41
		Skaits	36	36	24	39	19	38	96
	41-80	Aritm.vid.	1.89	2.99	3.09	2.00	3.19	3.52	2.75
		Ticamība 95%	0.31	0.28	0.52	0.23	0.44	0.40	0.23
		Skaits	28	53	35	52	30	34	116
	80-	Aritm.vid.		-0.41		-0.41			-0.41
		Ticamība 95%		0.64		0.64			0.64
		Skaits		2		2			2
	Kopā	Aritm.vid.	3.06	3.35	3.46	2.28	3.58	4.40	3.29
		Ticamība 95%	0.45	0.32	0.53	0.26	0.38	0.45	0.24
		Skaits	64	91	59	93	49	72	214
Melnalksnis	1-40	Aritm.vid.	4.41	5.46	2.76	3.45	7.01	6.74	4.56
		Ticamība 95%	1.03	1.05	0.82	0.45	1.92	2.22	0.75
		Skaits	6	21	10	25	6	6	37
	41-80	Aritm.vid.	3.85	4.05	7.39	2.22	5.47	9.89	5.10
		Ticamība 95%	0.00	1.54	3.37	0.59	1.40	1.34	1.56
		Skaits	1	12	6	9	5	5	19
	Kopā	Aritm.vid.	4.33	4.95	4.49	3.12	6.31	8.17	4.74
		Ticamība 95%	0.88	0.89	1.72	0.41	1.26	1.62	0.72
		Skaits	7	33	16	34	11	11	56
Apse	1-40	Aritm.vid.	5.63	5.54	8.79	5.34	5.66	16.75	6.55
		Ticamība 95%	0.28	0.63	7.87	0.60	0.47	0.00	2.26
		Skaits	3	4	3	7	2	1	10
	41-80	Aritm.vid.	6.70	6.81	5.82	4.95	9.11	9.28	6.58
		Ticamība 95%	3.60	1.56	2.49	1.02	1.74	0.00	1.20
		Skaits	3	15	5	14	8	1	23
	Kopā	Aritm.vid.	6.17	6.54	6.94	5.08	8.42	13.02	6.57
		Ticamība 95%	1.68	1.25	3.16	0.70	1.64	7.32	1.06
		Skaits	6	19	8	21	10	2	33
Baltalksnis	Kopā	Aritm.vid.	5.06	5.95	8.57	3.43	5.60	7.41	6.04
		Ticamība 95%	0.90	1.73	2.61	0.95	0.68	1.69	1.00
		Skaits	14	15	6	7	11	17	35

Pielikums 9. Prognozētā meža elementa tekošā vidēji periodiskā krājas pieauguma novirze ($m^3 ha^{-1}$ gadā) atkarībā no meža elementa sugas, vecuma un īpatsvara, un mežaudzes pirmā stāva relatīvās biezības

Suga	Vecums	Rādītājs	Relatīvā biezība			Mistrojums			Kopā
			0.01 - 0.40	0.41 - 0.70	0.71 - 1.0	0.01-0.50	0.51-0.80	0.81-1.0	
Priede	1-40	Aritm.vid.	-1.07	-1.70	-2.14	-1.69	-1.58	-1.50	-1.57
		Ticamība 95%	1.37	0.62	3.03	0.73	1.28	1.14	0.67
		Skaits	11	19	5	10	6	19	35
	41-80	Aritm.vid.	-0.45	-1.29	-3.10	-1.85	-1.19	-1.77	-1.67
		Ticamība 95%	0.43	0.40	0.93	0.55	1.04	0.51	0.39
		Skaits	26	76	43	25	27	93	145
	80-	Aritm.vid.	0.26	-0.16	-1.08	0.20	-0.43	-0.58	-0.40
		Ticamība 95%	0.91	0.60	2.00	1.10	1.23	1.01	0.70
		Skaits	3	41	18	12	11	39	62
	Kopā	Aritm.vid.	-0.57	-1.00	-2.47	-1.29	-1.05	-1.43	-1.33
		Ticamība 95%	0.47	0.32	0.86	0.49	0.73	0.44	0.32
		Skaits	40	136	66	47	44	151	242
Egle	1-40	Aritm.vid.	-0.86	-0.72	-1.59	0.10	-2.07	-1.15	-0.94
		Ticamība 95%	1.02	1.11	3.90	1.65	1.34	1.84	1.01
		Skaits	19	34	14	23	16	28	67
	41-80	Aritm.vid.	-1.36	-1.11	-3.36	-1.67	-2.04	-3.83	-1.91
		Ticamība 95%	0.74	0.62	2.14	0.47	2.11	8.09	0.81
		Skaits	13	29	21	41	18	4	63
	80-	Aritm.vid.	0.31	0.08	1.40	0.58	-0.20	0.60	0.47
		Ticamība 95%	1.30	0.65	1.99	0.78	1.85	0.00	0.68
		Skaits	5	10	5	16	3	1	20
	Kopā	Aritm.vid.	-0.88	-0.77	-2.14	-0.71	-1.90	-1.42	-1.16
		Ticamība 95%	0.62	0.58	1.81	0.59	1.18	1.81	0.58
		Skaits	37	73	40	80	37	33	150
Bērzs	1-40	Aritm.vid.	0.18	-0.03	0.09	-0.30	0.79	0.11	0.08
		Ticamība 95%	0.81	0.86	0.72	0.54	1.23	0.86	0.47
		Skaits	36	36	24	39	19	38	96
	41-80	Aritm.vid.	0.32	-0.74	-0.45	-0.38	-0.68	-0.18	-0.40
		Ticamība 95%	0.41	0.68	0.75	0.34	1.05	0.89	0.40
		Skaits	28	53	35	52	30	34	116
	80-	Aritm.vid.		1.60		1.60			1.60
		Ticamība 95%		0.16		0.16			0.16
		Skaits		2		2			2
	Kopā	Aritm.vid.	0.24	-0.41	-0.23	-0.30	-0.11	-0.03	-0.17
		Ticamība 95%	0.49	0.53	0.53	0.30	0.82	0.61	0.31
		Skaits	64	91	59	93	49	72	214
Melnalksnis	1-40	Aritm.vid.	1.24	-0.99	0.05	-0.79	0.18	0.98	-0.34
		Ticamība 95%	1.99	0.78	1.55	0.73	1.00	3.00	0.72
		Skaits	6	21	10	25	6	6	37
	41-80	Aritm.vid.	-0.96	-0.88	-0.66	-0.56	-1.11	-0.97	-0.81
		Ticamība 95%	0.00	0.86	1.58	0.66	1.76	1.92	0.71
		Skaits	1	12	6	9	5	5	19
	Kopā	Aritm.vid.	0.93	-0.95	-0.21	-0.73	-0.41	0.09	-0.50
		Ticamība 95%	1.79	0.58	1.12	0.56	1.00	1.87	0.53
		Skaits	7	33	16	34	11	11	56
Apse	1-40	Aritm.vid.	1.56	-0.28	-3.86	-0.23	1.32	-9.05	-0.80
		Ticamība 95%	1.32	0.85	5.23	1.04	2.15	0.00	2.00
		Skaits	3	4	3	7	2	1	10
	41-80	Aritm.vid.	-1.80	-0.85	-2.10	-0.97	-2.38	4.00	-1.25
		Ticamība 95%	2.62	1.12	2.60	0.93	1.68	0.00	0.96
		Skaits	3	15	5	14	8	1	23
	Kopā	Aritm.vid.	-0.12	-0.73	-2.76	-0.72	-1.64	-2.52	-1.11
		Ticamība 95%	1.97	0.90	2.40	0.71	1.67	12.79	0.89
		Skaits	6	19	8	21	10	2	33
Baltalksnis	Kopā	Aritm.vid.	-1.59	-2.15	-5.23	-1.03	-3.05	-2.65	-2.45
		Ticamība 95%	1.15	1.62	2.45	1.54	1.17	1.79	1.00
		Skaits	14	15	6	7	11	17	35

Pielikums 10. Meža elementu taksācijas rādītāju augšanas gaitas algoritms pēc 5 gadu krūšaugsstuma vecuma sasniegšanas

1. Mežaudzes I stāva relatīvās biežības aprēķināšana

$$n_{max} = c_1 \cdot D_1^{c_2} \cdot H_1^{c_3} \quad (10.1)$$

$$N_{max} = \frac{(k_{10} \cdot n_{max10} + k_{11} \cdot n_{max11} + k_{12} \cdot n_{max12} + k_{13} \cdot n_{max13} + k_{14} \cdot n_{max14})}{10} \quad (10.2)$$

$$RB = \frac{N}{N_{max}} \quad (10.3)$$

kur RB – mežaudzes I stāva relatīvā biežība; N – mežaudzes I stāva koku skaits, ha^{-1} ; N_{max} – mežaudzes 1. stāva maksimālais koku skaits pirmajā uzmērīšanas reizē; ha^{-1} ; n_{max} – maksimālais atsevišķa meža elementa koku skaits, ha^{-1} ; H_1 – meža elementa augstums pirmajā uzmērīšanas reizē, m; D_1 – caurmērs pirmajā uzmērīšanas reizē, cm; k_{10-14} – atsevišķa meža elementa sastāva koeficients; $c_1; c_2; c_3$ – empīriskie koeficienti (10.1. tabula).

Tabula 10.1. Mežaudzes I stāva relatīvās biežības modeļa koeficienti

Koeficients	Priede	Egle	Bērzs	Melnalksnis	Apse	Baltalksnis
c1	83570	103106	144400	197511	197511	197511
c2	-1.366	-1.381	-1.357	-1.314	-1.314	-1.314
c3	-0.069	-0.103	-0.302	-0.339	-0.339	-0.339

2. Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modelis

$$H_2 = 1.3 + \frac{A_2^{b_1}}{b_2 + 100 \cdot b_3 \cdot X_0 + X_0 \cdot A_2^{b_1}} \quad (10.4)$$

$$X_0 = \frac{\frac{A_1^{b_1}}{H_1 - 1.3} - b_2}{100 \cdot b_3 + A_1^{b_1}} \quad (10.5)$$

kur A_1 – krūšaugsstuma vecums pirmajā uzmērīšanas reizē, gadi; A_2 – krūšaugsstuma vecums otrajā uzmērīšanas reizē, gadi; H_1 – augstums pirmajā uzmērīšanas reizē, metri; H_2 – augstums otrajā uzmērīšanas reizē, metri; $b_1; b_2; b_3$ – empīriskie koeficienti (10.2. tabula)

Tabula 10.2. Meža elementa vidējā augstuma aktualizācijas modeļa koeficienti

Koeficients	Priede	Egle	Bērzs	Melnalksnis	Apse	Baltalksnis
b1	1.208	1.290	1.334	1.139	1.324	1.329
b2	-57.677	-38.142	-35.785	-32.096	-26.078	-23.048
b3	34.628	20.159	16.116	15.977	15.645	7.327

3. Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modelis

$$D_2 = \frac{A_2^{b_1}}{b_2 \cdot RB + 100 \cdot b_3 \cdot X_0 + X_0 \cdot A_2^{b_1}} \quad (10.6)$$

$$X_0 = \frac{\frac{A_1^{b_1}}{D_1} - b_2 \cdot RB}{100 \cdot b_3 + A_1^{b_1}} \quad (10.7)$$

kur A_1 – krūšaugsstuma vecums pirmajā uzmērīšanas reizē, gadi; A_2 – krūšaugsstuma vecums otrajā uzmērīšanas reizē, gadi; D_1 – caurmērs pirmajā uzmērīšanas reizē, cm; D_2 – caurmērs otrajā uzmērīšanas reizē, cm; RB – mežaudzes I stāva relatīvā biežība; $b_1; b_2; b_3$ – empīriskie koeficienti (10.3. tabula).

Tabula 10.3. Meža elementa vidējā caurmēra aktualizācijas modeļa koeficienti

Koeficients	Priede	Egle	Bērzs	Melnalksnis	Apse	Baltalksnis
b1	0.987	1.140	1.021	0.919	1.251	1.423
b2	-7.433	-9.722	-9.275	-1.985	-13.459	-9.816
b3	4.657	5.694	4.307	1.645	9.515	3.174

4. Meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modelis

$$g_{max} = \frac{k}{10} \cdot \frac{a_1}{1 + \left(\frac{d}{a_2}\right)^{a_3}} \quad (10.8)$$

$$g'_2 = g_1 + (b_1 \cdot \ln(g_1) + b_2 \cdot \ln(t_1) + b_3 \cdot z_h + b_4 \cdot RB) \cdot (t_2 - t_1) \quad (10.9)$$

$$g'_2 = g_1 + g_1 \cdot \left(c_0 + c_1 \cdot \frac{t_1}{100} + c_2 \cdot t_1^{-2}\right) \cdot (t_2 - t_1) \quad (10.10)$$

$$g_2 = \min(g'_2; g_{max}) \quad (10.11)$$

kur g_{max} – maksimālais mežaudzes šķērslaukums, m^2ha^{-1} ; d – meža elementa vidējais kvadrātiskais krūšaugstuma caurmērs, kas prognozēts ar 10.6 formulu, cm; k – meža elementa sastāva koeficients; g'_2 – prognozētais meža elementa šķērslaukums perioda beigās, m^2ha^{-1} ; g_1 – meža elementa šķērslaukums perioda sākumā, m^2ha^{-1} ; t_1 – meža elementa krūšaugstuma vecums perioda sākumā, gadi; t_2 – meža elementa krūšaugstuma vecums perioda beigās, gadi; z_h – prognozētais piecu gadu vidējais periodiskais augstuma pieaugums, m ($h_2 - h_1$), pēc 10.4. formulas; RB – mežaudzes I stāva relatīvā biežība; g_2 – meža elementa šķērslaukums perioda beigās, m^2ha^{-1} ; a_1 ; a_2 ; a_3 ; b_1 ; b_2 ; b_3 ; b_4 ; c_1 ; c_2 ; c_3 – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas (10.4. tabula).

Tabula 10.4. Meža elementa šķērslaukuma aktualizācijas modeļa koeficienti

Vienādojums	Koeficienti	Priede	Egle	Bērzs	Melnalksnis	Apse	Baltalksnis
10.8	a1	63.5	57	44.2	50	55.6	39
	a2	13.466	9.337	6.02	9.27	5.971	3.965
	a3	-1.514	-1.703	-1.377	-1.872	-1.495	-2.042
10.9	b1	0.158	0.132	0.084	0.146	0.095	0.092
	b2	-0.038	-0.046	-0.014	-0.023	-0.008	-0.039
	b3	0.355	0.731	0.455	0.414	0.409	0.474
	b4	-0.319	-0.235	-0.244	-0.241	-0.116	-0.41
10.10	b0	0.018	0.028	0.051	0.059	0.057	0.069
	b1	-0.011	-0.021	-0.069	-0.085	-0.067	-0.165
	b2	12.015	12.574	8.817	3.363	12.136	6.292
Vienādojuma 10.9. ierobežojumi: ✓ perioda garums 1...20 gadi; ✓ meža elementa šķērslaukums vismaz $5m^2ha^{-1}$; ✓ meža elementa krūšaugstuma vecums nepārsniedz: priedei 120 gadus; eglei 100 gadus; bērzam, apsei un melnalksnim 80 gadus; baltalksnim 50 gadus.							

5. Meža elementa koku skaita izmaiņu modelis

Meža elementa koku skaits tiek rēķināts kā sekundārs parametrs atkarībā no prognozētā meža elementa šķērslaukuma un caurmēra.

$$n = \frac{40000 \cdot g}{\pi \cdot d^2} \quad (10.12)$$

kur n – meža elementa koku skaits, ha^{-1} ; g – meža elementa šķērslaukums, m^2ha^{-1} ; d – meža elementa vidējais krūšaugstuma caurmērs, cm.

6. Meža elementa krājas izmaiņu modelis

Meža elementa krājas aprēķināšanai izmanto I. Liepas atsevišķa koka tilpuma formulu (Liepa, 1996), ņemot vērā, koku skaitu, koku vidējo augstumu un vidējo kvadrātisko caurmēru (7. vienādojums).