



PĀRSKATS PAR PĒTĪJUMA 2018. GADA REZULTĀTIEM

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS:

AUGŠANAS
PILNVEIDOŠANA

GAITAS

MODEĻU

IZPILDĪTĀJS:

Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”

PASŪTĪTĀJS:

AKCIJU SABIEDRĪBA “LATVIJAS valsts meži”

Līguma Nr.

5-5.9_00uy_101_15_284

PĒTĪJUMA ZINĀTNISKAIS

VADĪTĀJS:

Jānis Donis, LVMI Silava pētnieks

PĒTĪJUMA GALVENIE IZPILDĪTĀJI

Jānis Donis, Guntars Šņepsts, Leonīds
Zdors, Juris Zariņš

Salaspils, 2018

Saturs

Kopsavilkums	4
Summary	6
1. Augšanas gaitas modeļiem nepieciešamo datu sagatavošana no 2017. gada meža statistiskās inventarizācijas (MSI) mērījumu datiem	8
2. Atsevišķu meža elementu augšanas gaitas prognožu modeļu pilnveidošana	10
2.1. Vidējā augstuma augšanas gaitas modelis	10
2.1.1. Materiāls un metodika	10
2.1.2. Rezultāti	11
2.2. Virsaugstuma augšanas gaitas modelis	15
2.2.1. Materiāls un metodika	15
2.2.2. Rezultāti	16
2.3. Caurmēra augšanas gaitas modelis	20
2.3.1. Materiāls un metodika	20
2.3.2. Rezultāti	22
2.4. Šķērslaukuma izmaiņu modelis	26
2.4.1. Materiāls un metodika	26
2.4.2. Rezultāti	27
3. Individuālu koku augšanas gaitas modeļu izstrāde (balstot uz zināšanām, kuras iegūtas analizējot Somijas un Zviedrijas augšanas gaitas modeļus)	33
3.1. Audzes relatīvā biežība	33
3.2. Koku vainaga īpatsvars	33
3.2.1. Materiāls un metodika	33
3.2.2. Rezultāti	34
3.3. Koka caurmēra pieaugums	35
3.3.1. Materiāls un metodika	35
3.3.2. Rezultāti	36
3.4. Koka augstuma pieaugums	38
4. Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrādei nepieciešamo iepriekš ierīkoto parauglaukumu pārmērīšana (10 parauglaukumi)	39
4.1. Lauku darbu metodika	39
4.2. Rezultāti	40
5. Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrāde, izmantojot 2017. gadā un iepriekšējos gados ievāktos datus	41
5.1. Augošu koku krājas sadalījums atbilstoši caurmēra un augstuma grupām ...	41
5.2. Atjaunošanas / atjaunošanās sekmīgums	42
5.3. Koksnes pieauguma un ciršanas apjoma attiecība ilgtermiņā	44
6. Kopšanas ciršu eksperimentālo parauglaukumu ierīkošana un sākotnējā uzmērīšana (pirms kopšanas) bērza un priedes audzēs (pieļaujams arī egļu audzēs)	46
6.1. Objektu izvēle	46
6.2. Lauku darbu metodika	47
6.3. Ierīkoto objektu raksturojums	49
7. 2017. gadā ierīkoto kopšanas ciršu parauglaukumu pārmērīšana pēc mežizstrādes un parauglaukumu shēmu, raksturojošās informācijas sagatavošana	51
8. Vidējā augstuma aprēķins pirmajam stāvam, izmantojot LiDAR datus	52
8.1. Problēmas pamatnostādnes	52
8.2. Materiāls un metodika	52
8.2.1. MSI datu atlase	52
8.2.2. LĢIA LAS datu atlase	53
8.3. Rezultāti	53

8.3.1. Vispārējā sakarība starp CHM max vērtībām un aprēķināto virsaugstumu un vidējo augstumu	53
8.3.2. Regresijas vienādojums CHM max vērtībām un un vidējo augstumu aproksimācijai	54
8.4. Priekšlikums modelim	55
9. Vidējā augstuma pieauguma aprēķina modelis.....	57
Literatūra.....	59
Pielikums 1. Vienādojumu atbilstības izvērtēšanas statistiskie rādītāji	60
Pielikums 2. Atsevišķa meža elementa augšanas gaitas modeļos izmantojamie koeficienti	61

Kopsavilkums

AS „LATVIJAS VALSTS MEŽI” pasūtītā pētījuma

Augšanas gaitas modeļu pilnveidošana

4. etapa starpatskaite

Līguma Nr.: 5-5.9_00uy_101_15_284

Izpildes laiks: 07.02.2018. - 01.02.2019.

Izpildītājs: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”

Projekta vadītājs: J. Donis

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

Atbilstoši metodikai 4.etapā paredzēti sekojoši darba uzdevumi:

1.darba uzdevums Augšanas gaitas modeļiem nepieciešamo datu sagatavošana no 2017. gada meža statistiskās inventarizācijas (MSI) mērījumu datiem.

Meža statistiskās inventarizācijas (MSI) parauglaukumu datu bāzē atlasīti un MS Excel datorprogrammā ievadīti dati par 1084 atkārtoti 2014.-2017. gadā pārmērītajiem parauglaukumiem, kas tālāk izmantojami gan meža elementu, gan arī atsevišķu koku augšanas gaitas prognožu modeļu izstrādē. Parauglaukumu atlases kritēriji: 1) visos MSI ciklos zemes kategorija mežs vai mežs lauksaimniecības zemē (ZKAT=10, 11,12,13,14,62)

2.darba uzdevums 2016. gadā izstrādāto H, D, G augšanas gaitas vienādojumu (meža elementiem) koeficientu precizēšana, balstot uz 3. MSI cikla 4 gadu datiem, t.sk. arī kopšanas ciršu efekta atspoguļojošo modeļu pilnveidošana.

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

3.darba uzdevums Individuālu koku augšanas gaitas modeļu izstrāde (balstot uz zināšanām, kuras iegūtas analizējot Somijas un Zviedrijas augšanas gaitas modeļus).

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

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

Audzes telpiskās struktūras raksturošanai 2018. gadā uzmērīti desmit objekti, kuros izlases vai pakāpeniskās cirtes pirmais paņēmieni veikts laika periodā no 2009. līdz 2013. gadam.

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

Izstrādāta vienādojumu sistēma, kas pamatā balstīta uz matricu modeļiem. Koeficientu vērtības aprēķinātas balstoties uz pārmērīto parauglaukumu precizētajiem pieaugumu datiem. Atjaunošanās modelēta balstoties uz pārmērīto parauglaukumu datiem.

Modelis ļauj prognozēt pieaugumu un atmirumu pēc izlases cirtēm. Atjaunošanās/ieaugšanās modelis ir deterministisks.

6.darba uzdevums Kopšanas ciršu eksperimentālo parauglaukumu ierīkošana un sākotnējā uzmērīšana (pirms kopšanas) bērza un priedes audzēs (pieļaujams arī egļu audzēs). Ierīkojami 36 parauglaukumi 4 reģionos – Dienvidkurzemes, Ziemeļkurzemes, Austrumvidzemes un Vidusdaugavas trīs vecuma grupās: 20-30, 30 – 50 un 50 – 70 gados, katrā parauglaukumā ierīkojot 3-4 kopšanas ciršu intensitātes, “kopšanu no augšas” un kontroli. (Koku ciršanu parauglaukumos veic Pasūtītājs).

Kopšanas ciršu parauglaukumi 2018. gadā iekārtoti 36 objekti. Katrā objektā iekārtoti 10-12 gab. 900m² lieli parauglaukumi. Kopumā uzmērīti 362 parauglaukumi ar kopējo platību 32.58 hektāri. Uzmērīti 45260 koki, bet augstums uzmērīts 3223 kokiem. Kopā projekta ietvaros tādējādi ir iekārtoti 108 objekti.

7.darba uzdevums 2017. gadā ierīkoto kopšanas ciršu parauglaukumu pārmērīšana pēc mežizstrādes un parauglaukumu shēmu, raksturojošās informācijas sagatavošana.

No 2017. gadā ierīkotajiem 26 objektiem uz 25.01.2019. objektu shēmas un raksturojošā informācija ir sagatavota par 14 objektiem. 2 objektos Vidusdaugavā ciršana vēl nav veikta.

8.darba uzdevums Vidējā augstuma aprēķins pirmajam stāvam, izmantojot LiDAR datus. Izveidot mežaudzes 1.stāva vidējā augstuma aprēķina modeli ArcGIS, izmantojot uz LĢIA LiDAR datiem veidotu CHM rastra slāni.

Sagatavoti MSI parauglaukumu (2641) un to 6m buferzonas digitālā augstuma modeļa (DTM), koku augstuma modeļa (CHM) rastra slāņi. Izveidots datu slānis augstumu starpību aprēķinam starp atbilstošajā gadā uzmērīto un CHM datus konstatētajiem augstumiem. Veikta sakarību aproksimācija starp uzmērīto un CHM konstatēto augstumu atšķirību ietekmējošo faktoru nozīmīguma noteikšanai. Izveidots ArcGIS model builder prototips (Toolbox) aprēķinu veikšanai.

9.darba uzdevums Vidējā augstuma pieauguma aprēķina modelis. Izveidot modeli ArcGIS, kurā, ņemot vērā aprēķina datumu un LiDAR datu iegūšanas datumu, kombinējot ar GEO doto valdošās koku sugu kodu un vecumu, prognozē augstuma pieaugumu 2. darba uzdevuma ietvaros aprēķināto 1.stāva koku vidējo augstumu.

Izstrādāts modelis vidējā P, E, B, A, Ma, Ba augstuma pieauguma aprēķināšanai, kurā, ņemot vērā aprēķina datumu un LiDAR datu iegūšanas sezonu, kombinējot ar GEO doto valdošās koku sugu kodu un vecumu, prognozē augstuma pieaugumu 2. darba uzdevuma ietvaros aprēķināto 1.stāva koku vidējo augstumu. Modelis izmantojams audzēm, kas skenēšanas laikā bija augstākas par 5m un nav nocirstas laika posmā starp skenēšanu un aktuālo datu bāzes versijas izstrādes brīdi.

Summary

Study commissioned by JSC "LATVIAN STATE FORESTS".

Title "Improvement of the growth models".

Phase 4 report.

Article NO.: 5-5.9_00uy_101_15_284

Lead Time: 07/02/2017- 01.02.2018.

Performer: Latvian State Forest Research Institute "Silava".

Research project leader: J. Donis.

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

Tasks according to the methodology of the 4th phase:

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

From NFI database were selected 1084 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 4 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 (2016) elaborated equations as well calculated new coefficients based on these models and the longer time series. Statistical evaluation of the equations was carried out.

Task 3. Development of individual tree growth model.

An equation system was developed for calculating height growth, basal area and diameter growth of the tree layer, as well as for calculating probability of mortality. Proposed modelling approach based on Finnish and Swedish individual tree growth models based on assumptions regarding the compliance of forest types, for example, indicators such as rohumus thickness, paludification applicable to Latvia's conditions.

Task 4. Re-measurement of previously installed sample plots in uneven-aged stands (10 objects).

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 2009 to 2013. Stand structure was evaluated in 55 plots (500 m² R = 12.62 m) and as well performed regeneration accounting in 165 sample plots (25 m²; R = 1.82 m).

Task 5: Development of multilevel stand growth models using data collected in 2017 and previous years

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

Task 6. Establishment of thinning experiments in pine (birch and spruce) stands of Ia-II site index and III-IV site index stands. Together 36 objects, 4 regions – DK, ZK, AV, VD forest regions; 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 36 experiments were installed in 2018 and thinning was carried out. Plot size 900m² 10 to 12 plots per experiment. A total of 362 plots with a total surface area of 32.58 hectares, DBH measured for 45260 trees – height measurements for 3223 trees. In total 108 experiments established during project.

Task 7: Measurement of plot established in 2017 after the logging; preparation plot scheme, preparation of descriptive information.

From 26 experiments established during 2017 by the end of 2018 14 experiments were re-measured after cutting. 2 experiments still are not thinned.

Task 8. Calculation of the average height of the first floor using LIDAR data. To Create a stand's 1st floor average height calculation model for ArcGIS using CHM raster layer based on LGIA LiDAR data

Digital Elevation Model (DTM) and tree height pattern (CHM) raster layers for NFI plots (2641) and their 6m buffer was prepared. A data layer has been created for calculating height differences between the heights observed in the corresponding year and the CHM data. Approximation of the relationships between the measured tree heights in NFI and the determination of the significance of the factors affecting the difference in height determined by the CHM has been made. Created an ArcGIS model builder Toolbox) prototype.

Task 9 Average height increment calculation model. Create an ArcGIS model which based on the LiDAR scanning date in combination with the dominant tree species and the age of trees, predicts the height increase average height of trees of the 1st floor according to equations elaborated in Task 2.

Model for calculation of the increment of mean height of the dominant species for pine, spruce, birch, aspen and alder is created. Model based on mean height of the dominant species at time of scanning (Task 8) and height increment model (Task 2).

1. Augšanas gaitas modeļiem nepieciešamo datu sagatavošana no 2017. gada meža statistiskās inventarizācijas (MSI) mērījumu datiem

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

Meža statistiskās inventarizācijas (MSI) parauglaukumu datu bāzē atlasīti un MS Excel datorprogrammā ievadīti dati par 2463 atkārtoti 2014.–2017. gadā pārmērītajiem parauglaukumiem, no kuriem 1084 parauglaukumu dati ievadīti 2018. gadā (1.tabula). Šie parauglaukumu dati tālāk izmantojami gan meža elementu, gan arī atsevišķu koku augšanas gaitas prognožu modeļu izstrādē.

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

Tabula 1. Parauglaukumu sadalījums pa meža tipi un pa 3. ciklā fiksētajām I stāva valdošajām koku sugām

Meža tips	2017. gadā ievadīts									2018. gadā ievadīts									Kopā
	priede	egle	bērzs	melnalksnis	apse	baltalksnis	citas sugas	izcirtumi	kopā	priede	egle	bērzs	melnalksnis	apse	baltalksnis	citas sugas	izcirtumi	kopā	
Sl	6								6	14		1						15	21
Mr	67		3						70	35	1						1	37	107
Ln	53	2	2						57	35	2			1				1	39
Dm	87	37	66	1	11	8	3	4	217	64	35	41		6	5	4	2	157	374
Vr	1	69	64	5	54	49	7	6	255	1	49	60	8	27	30	7	3	185	440
Gr	1	3	12	1	9	11	8	2	47		3	4	1	5	12	4		29	76
Gs			1						1										1
Mrs	23	3	4						30	18	4	9					1	32	62
Dms	20	20	20		5		1	1	67	17	19	12	1	2				51	118
Vrs		10	27	7	5	2	2		53	3	4	9	5	3	3		1	28	81
Grs			3	2		1			6			1	2		2		1	6	12
Pv	45		2						47	43		4						47	94
Nd	24	4	20	1	1				50	20	2	8	3				1	34	84
Db		4	20	20		1			45		2	29	17	1	3	1		53	98
Lk				2					2				1					1	3
Av	1								1	2								2	3
Am	17	1	2		1				21	16		1						17	38
As	27	49	46	2	15	10		2	151	30	41	41	7	6	2	2	2	131	282
Ap		14	22	10	9	18	2		75		11	13	6	9	13	3	2	57	132
Kv	10								10	9								9	19
Km	29	1	2					1	33	24	2	4					1	31	64
Ks	18	24	41	5	3			2	93	31	20	37	2	2	1		5	98	191
Kp		6	21	10		2	2	1	42		2	11	10	2				25	67
Kopā	429	247	378	66	113	102	25	19	1379	362	197	285	63	64	71	21	21	1084	2463

Kopumā ievadīta informācija par 87781 uzmērītajiem kokiem, tai skaitā 2018. gadā ievadīta informācija par 38262 kokiem (2. tabula).

Tabula 2. Koku skaits dalījumā pa koku sugām un meža tipi

Meža tips	2017. gadā ievadīts								2018. gadā ievadīts								Kopā
	priede	egle	bērzs	melnalksnis	apse	baltalksnis	citas sugas	kopā	priede	egle	bērzs	melnalksnis	apse	baltalksnis	citas sugas	kopā	
Sl	124	2	1					127	393	5	54		1		12	465	592
Mr	1650	133	88	2	4		1	1878	900	109	46					1055	2933
Ln	1332	351	141	4	6		12	1846	857	206	53		5	1	27	1149	2995
Dm	1701	2839	1731	58	240	343	296	7208	1474	2094	983	23	122	176	224	5096	12304
Vr	81	3099	2025	266	1473	2404	734	10082	60	2171	1637	274	784	1240	596	6762	16844
Gr	7	293	288	71	192	510	365	1726		121	115	20	220	433	259	1168	2894
Gs			6					6									6
Mrs	719	203	141	1	5			1069	529	138	172	2	1	1	4	847	1916
Dms	460	1024	676	62	84	12	26	2344	450	756	366	24	59	7	11	1673	4017
Vrs	17	544	826	222	115	94	56	1874	92	298	352	144	36	123	28	1073	2947
Grs	1	25	59	102	2	45	23	257	1	45	46	49	10	70	58	279	536
Pv	1300	9	108	7				1424	1277	32	83	5	8			1405	2829
Nd	750	255	544	66	19	6	5	1645	420	193	415	144	3		7	1182	2827
Db	31	247	734	593	10	107	28	1750	18	269	944	650	15	96	34	2026	3776
Lk		10	12	52				74		4	8	17				29	103
Av	18							18	58	1						59	77
Am	590	159	78	4	36		5	872	501	103	38		8		1	651	1523
As	597	2465	1429	121	367	445	132	5556	849	2428	1089	209	170	186	111	5042	10598
Ap	8	698	646	332	279	722	305	2990	10	526	501	252	409	449	274	2421	5411
Kv	403		5					408	215		14					229	637
Km	831	198	128			1		1158	650	210	202			7		1069	2227
Ks	622	1417	1299	207	37	53	37	3672	744	1334	1146	144	50	89	26	3533	7205
Kp	6	388	639	355	17	74	56	1535	7	300	357	338	16	9	22	1049	2584
Kopā	11248	14359	11604	2525	2886	4816	2081	49519	9505	11343	8621	2295	1917	2887	1694	38262	87781

2. Atsevišķu meža elementu augšanas gaitas prognožu modeļu pilnveidošana

2. darba uzdevums. 2016. gadā izstrādāto H, D, G augšanas gaitas vienādojumu (meža elementiem) koeficientu precizēšana, balstot uz 3. MSI cikla 4 gadu datiem, t.sk. arī kopšanas ciršu efekta atspoguļojošo modeļu pilnveidošana.

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

2.1. Vidējā augstuma augšanas gaitas modelis

2.1.1. Materiāls un metodika

Datu analīzē izmantoja datus par 3232 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paaudzes vienā stāvā esošus kokus) no 1916 MSI 2014. – 2017. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- ✓ meža elementi ir P1st (697 meža elementi), E1st (524), B1st (780), A1st (159), M1st (182), Ba1st (135), E2st (755);
- ✓ katrā uzmērīšanas ciklā augstums uzmērīts vismaz 3 dzīvajiem kokiem no viena meža elementa;
- ✓ visās uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums;
- ✓ prognozētais augstums bāzes vecumā (P, E 100 gadi; B, M, A 50 gadi; Ba 20 gadi) starp uzmērīšanas cikliem neatšķiras vairāk kā 20% vai 3 m;
- ✓ meža elementa piecu gadu augstuma tekošais periodiskais pieaugums neatšķiras vairāk kā divas standartnovirzes no tam atbilstošās vecuma desmitgades un bāzes vecuma augstuma grupas aritmētiski vidējās vērtības.

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

Augstuma augšanas gaitas aproksimācijai pilnveidots iepriekš izstrādātais vienādojums (Donis et al., 2017), 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):

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

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

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

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

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

2.1.2. Rezultāti

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

2.1. tabula

Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) 2018. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

Suga	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	95% ticamības intervāls	
				Min.	Maks.
Priede	α_1	1.09224	0.05576	1.01209	1.21017
	α_2	-48.29524	10107.610	-41899.689	-46.79503
	α_3	26.75901	4765.688	24.65610	20528.632
Egle 1. stāvs	α_1	1.14321	0.07062	1.01688	1.26129
	α_2	-47.33088	13645.027	-44713.190	-45.33777
	α_3	26.62589	6898.995	25.03596	22727.164
Bērzs	α_1	1.16426	0.03347	1.08130	1.21889
	α_2	-45.34368	4675.622	-15369.373	-44.66317
	α_3	21.35975	2122.379	20.68488	7270.548
Melnalksnis	α_1	1.14468	0.10853	0.95339	1.35271
	α_2	-44.85951	45214.795	-224935.880	-40.81245
	α_3	22.53649	20353.818	19.00158	96833.474
Apse	α_1	1.18529	0.07273	1.06839	1.32259
	α_2	-23.94582	25.82798	-124.47220	-5.64538
	α_3	12.61583	11.13131	4.03624	50.47932
Baltalksnis	α_1	1.33550	0.09537	1.16095	1.48928
	α_2	-17.69779	16.03183	-69.39234	-5.48668
	α_3	6.71405	4.86220	2.91752	21.85350
Egle 2. stāvs	α_1	1.00033	0.04762	0.89870	1.08343
	α_2	-48.31077	3570.695	-14113.184	-45.21268
	α_3	27.31166	1814.981	24.66543	6545.522

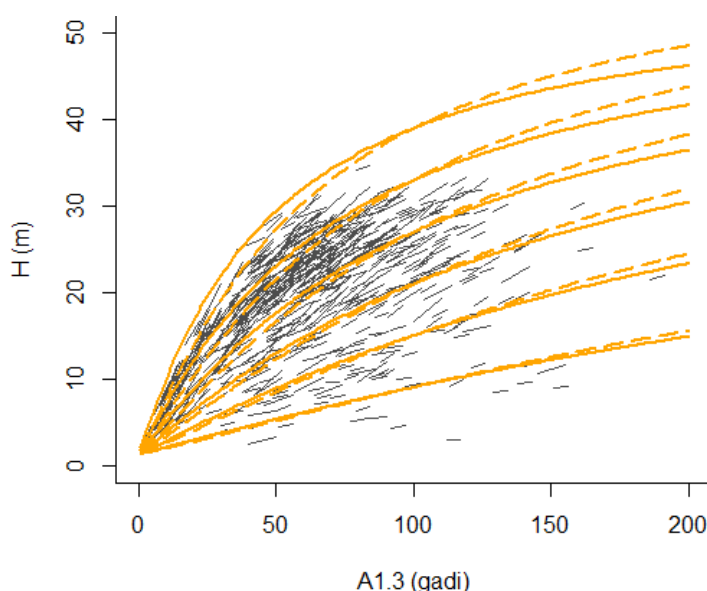
Vidējā augstuma augšanas gaitas vienādojumam ar 2018. gadā aproksimētajām vērtībām ir augsti statistiskie rādītāji (2.2. tabula). Piemēram, vidējā novirze augstuma tekošajam vidēji periodiskajam pieaugumam ir viens līdz četri centimetri, kas visos gadījumos nepārsniedz 10% no uzmērītās vidējā vērtības.

Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) prognozētā ikgadējā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji ar 2018. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām

Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	N
P	0.29	0.01	4.66	0.09	0.13	43.04	0.02	0.38	0.744	0.792	697
E 1.st.	0.38	0.02	4.10	0.12	0.16	42.31	0.03	0.45	0.717	0.752	524
B	0.39	0.02	4.33	0.14	0.18	46.38	0.03	0.45	0.670	0.745	780
M	0.41	0.01	3.00	0.13	0.17	42.43	0.03	0.47	0.671	0.737	182
A	0.53	0.04	8.07	0.18	0.23	42.84	0.05	0.58	0.801	0.694	159
Ba	0.49	0.02	4.33	0.16	0.20	40.71	0.04	0.46	0.710	0.743	135
E 2.st.	0.34	0.01	3.43	0.13	0.17	49.67	0.03	0.53	0.606	0.692	755

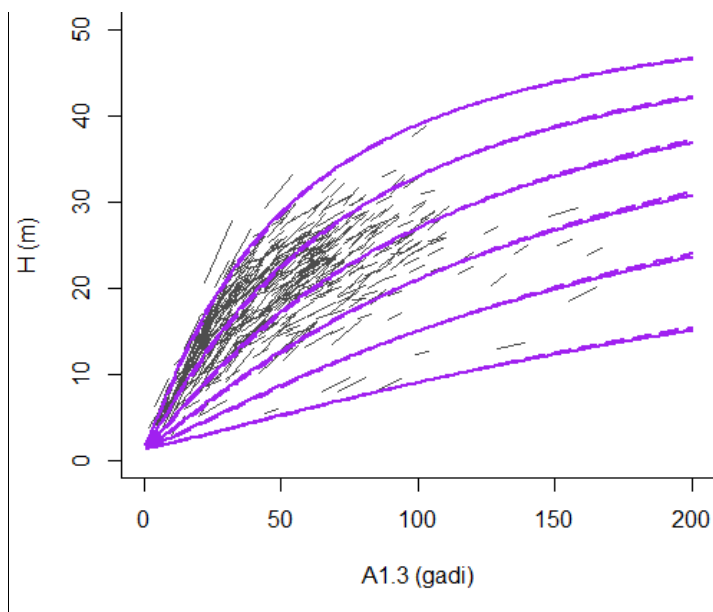
Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība;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

Ar 2018. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām vidējā augstuma augšanas gaitas modelis visām sugām prognozē mežsaimnieciski loģiskākas augstuma izmaiņas lielākā vecumā nekā ar 2017. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām (2.1. – 2.7. attēls). Tādēļ turpmākai meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas modelēšanai ieteicams izmantot Hossfeld IV vienādojuma vispārinātās algebriskās diferences pieejas modeli ar 2018. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām.



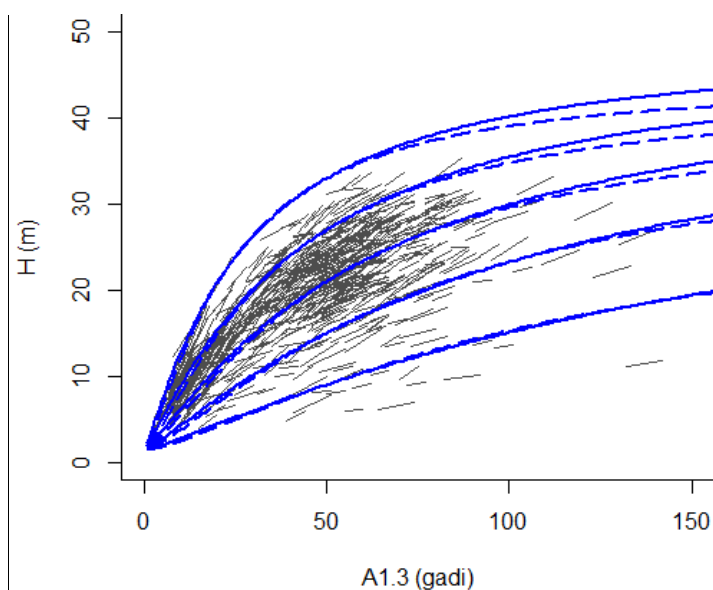
2.1. attēls. Priedes uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m):

raustītā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā ieteiktajiem koeficientiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2018. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



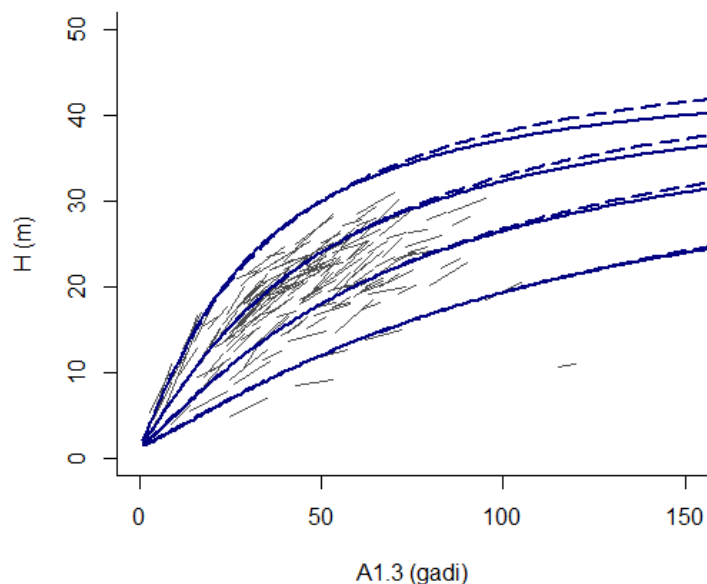
2.2. attēls. Egles uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m).

raustītā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā ieteiktajiem koeficientiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2018. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



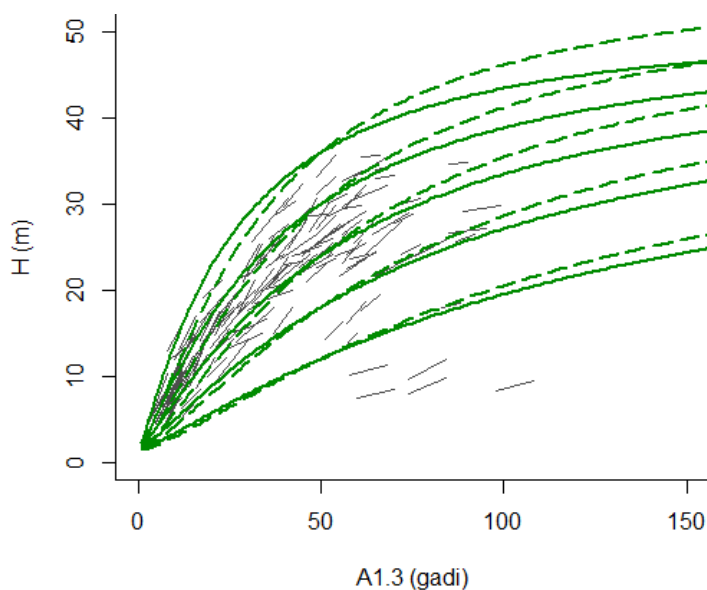
2.3. attēls. Bērza uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 33; 27; 21; 15; 9$ m).

raustītā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā ieteiktajiem koeficientiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2018. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



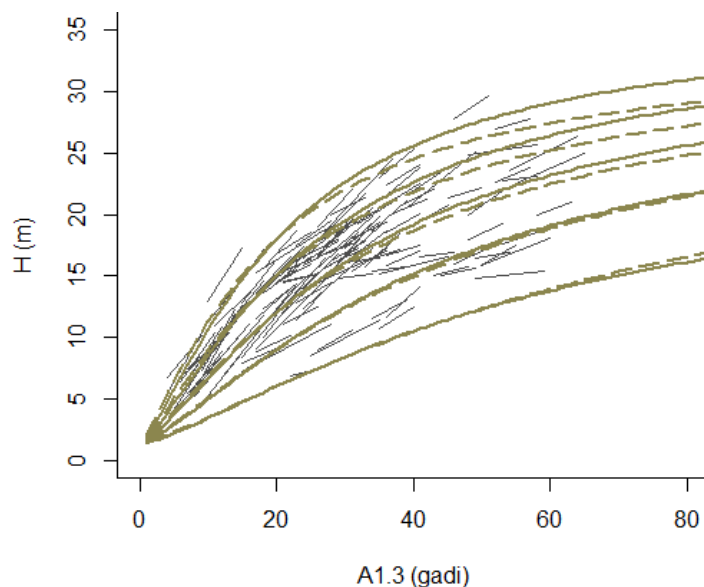
2.4. attēls. Melnalkšņa uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 30; 24; 18; 12$ m).

raustītā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā ieteiktajiem koeficientiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2018. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



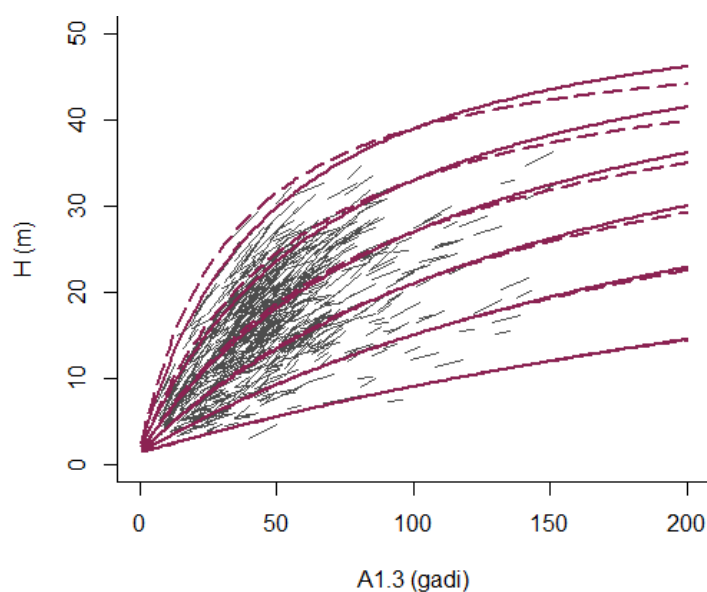
2.5. attēls. Apses uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 36; 30; 24; 18; 12$ m).

raustītā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā ieteiktajiem koeficientiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2018. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



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

raustītā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā ieteiktajiem koeficientiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2018. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



2.7. attēls. Egles 2. stāva uzmērītās vidējā augstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 36; 30; 24; 18; 12; 6$ m).

raustītā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā ieteiktajiem koeficientiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2018. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.

2.2. Virsaugstuma augšanas gaitas modelis

2.2.1. Materiāls un metodika

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

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

Datu analīzē izmantoja datus par 4501 virsaugstuma kokiem no 1835 MSI 2014. - 2017. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- ✓ koku suga ir P (1798 koki), E (1019), B (1025), A (328), M (208), Ba (123);
- ✓ visās uzmērīšanas reizēs zināms koka (meža elementa) vecums;
- ✓ kokam visās uzmērīšanas reizēs nav konstatēti galotnes bojājumi;
- ✓ koks ir virsaugstumam piederošs koks (ir starp 100 uz ha resnākajiem kokiem);
- ✓ koks ir pirmajā stāvā un ir valdaudzei (I-III Krafte klase) piederošs koks;
- ✓ koka prognozētais augstums bāzes vecumā (P, E 100 gadi; B, M, A 50 gadi; Ba 20 gadi) starp uzmērīšanas cikliem neatšķiras vairāk kā 20% vai 3 m;
- ✓ koka augstuma tekošais vidēji periodiskais pieaugums neatšķiras vairāk kā divas standartnovirzes no tam atbilstošās vecuma desmitgades aritmētiski vidējās vērtības.

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

Virsaugstuma augšanas gaitas aproksimācijai pilnveidots iepriekš izstrādātais vienādojums (Donis et al., 2017), kas balstīts uz vispārinātās algebriskās differences pieeju (GADA – generalized algebraic difference approach), kas ļauj augstuma pieaugumu prognozēt zinot tikai meža elementa virsaugstumu un vecumu, bet nav nepieciešama informācija par bonitāti.

Meža elementa virsaugstuma augšanas gaitas aproksimācijai izmantots Hossfeld IV vienādojuma vispārinātās algebriskās differences pieejas modelis (2.1. formula).

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

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

2.2.2. Rezultāti

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

Virsaugstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) 2018. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

Suga	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	95% ticamības intervāls	
				Minimums	Maksimums
Priede	α_1	1.10039	0.02890	1.05146	1.15989
	α_2	-50.99420	13148.310	-49251.113	-50.622
	α_3	24.94103	6111.182	24.370	23713.063
Egle	α_1	1.30854	0.03095	1.24793	1.39958
	α_2	-51.50511	36103.279	-118791.702	-51.494
	α_3	22.86023	14783.537	22.674	48520.154
Bērzs	α_1	1.44725	0.03649	1.38473	1.51573
	α_2	-48.36806	16.24822	-86.40848	-27.40908
	α_3	19.27172	5.99935	11.72100	33.41408
Melnalksnis	α_1	1.42846	0.06656	1.33827	1.58966
	α_2	-40.03084	12.96995	-76.95029	-25.85253
	α_3	14.44467	4.16465	9.52152	25.95870
Apse	α_1	1.38591	0.08016	1.20405	1.54571
	α_2	-58.57980	32.20567	-153.79480	-17.34722
	α_3	28.53968	14.35583	10.36609	67.26838
Baltalksnis	α_1	1.22743	0.08774	1.05989	1.39714
	α_2	-7.21183	3.23802	-16.04998	-2.38246
	α_3	2.62208	0.93940	1.13584	5.16880

Virsaugstuma augšanas gaitas vienādojumam ar 2018. gadā aproksimētajām vērtībām ir augsti statistiskie rādītāji (2.4. tabula). Vidējā novirze virsaugstuma tekošajam vidēji periodiskajam pieaugumam ir viens līdz divi centimetri, kas visos gadījumos nepārsniedz 10% no uzmērītās vidējā vērtības.

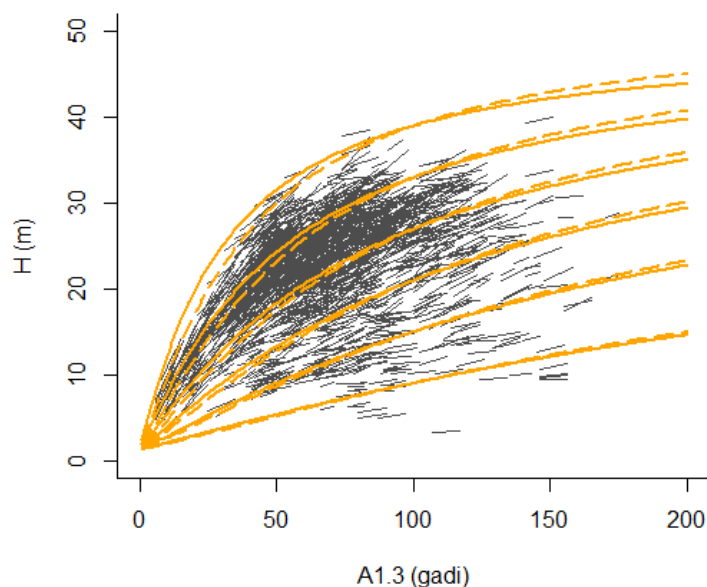
2.4. tabula

Meža elementa virsaugstuma augšanas gaitas modeļa (2.1. formula) prognozētā ikgadējā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji ar 2018. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām

Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	N
P	0.20	0.00	1.58	0.07	0.09	45.85	0.01	0.50	0.566	0.708	1798
E	0.33	0.01	3.21	0.10	0.12	37.03	0.01	0.44	0.781	0.762	1019
B	0.31	0.00	0.56	0.10	0.13	42.69	0.02	0.34	0.706	0.811	1025
M	0.31	0.01	3.21	0.09	0.11	35.98	0.01	0.36	0.823	0.806	208
A	0.41	0.02	5.13	0.14	0.18	43.53	0.03	0.42	0.736	0.770	328
Ba	0.37	0.02	6.77	0.12	0.14	39.45	0.02	0.58	0.785	0.690	123

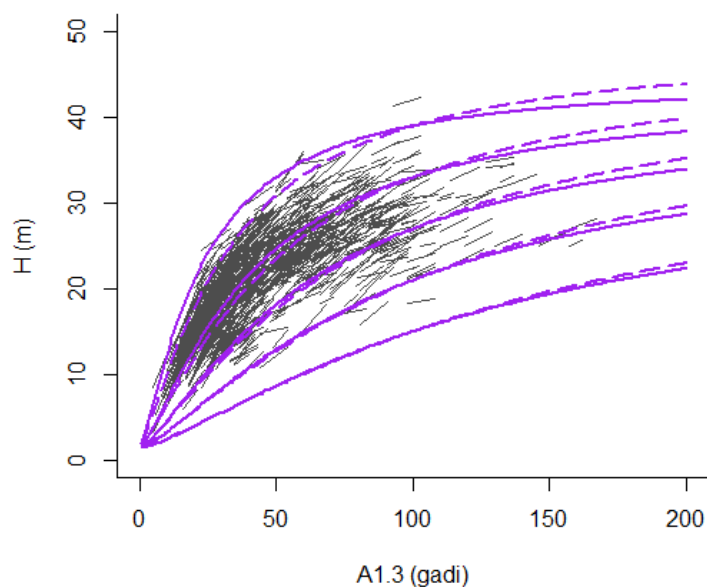
Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, m; MRES - vidējā novirze, m; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, m; RMSE – standartnovirze, m; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, m; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība;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

Ar 2018. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām virsaugstuma augšanas gaitas modelis visām sugām prognozē mežsaimnieciski loģiskākas (mazākas) augstuma izmaiņas lielākā vecumā nekā ar 2017. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām (2.8. – 2.13. attēls). Tādēļ turpmākai meža elementa virsaugstuma augšanas gaitas modelēšanai ieteicams izmantot Hossfeld IV vienādojuma vispārinātās algebriskās diferences pieejas modeli ar 2018. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām.



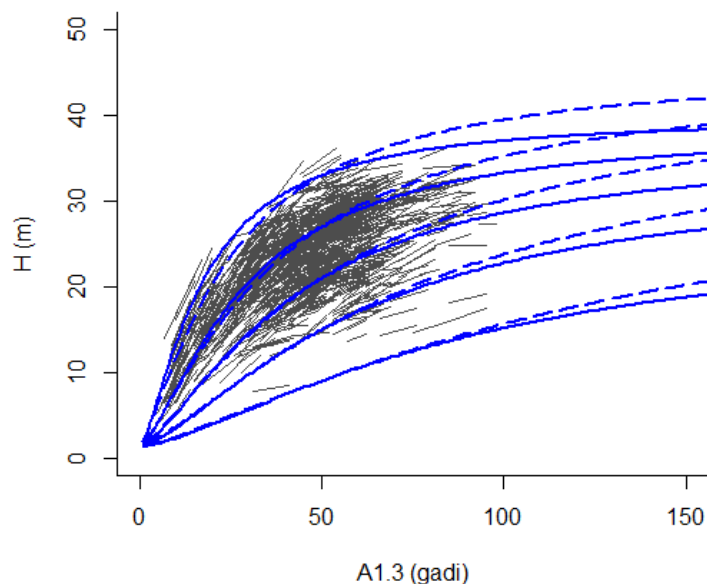
2.8. attēls. Priedes uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m):

raustītā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā ieteiktajiem koeficientiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2018. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



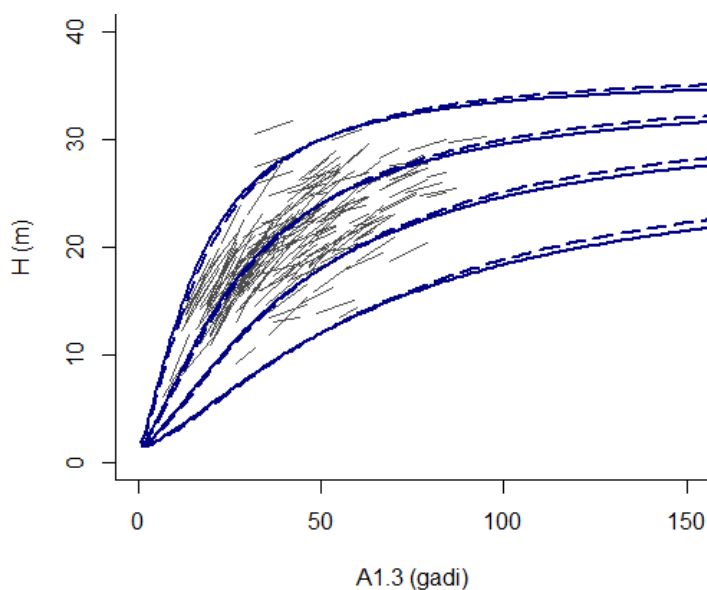
2.9. attēls. Egles uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15$ m).

raustītā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā ieteiktajiem koeficientiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2018. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



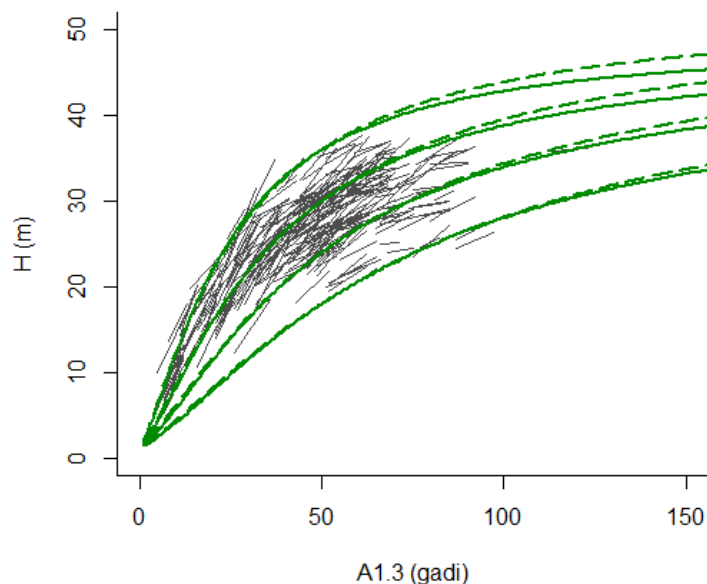
2.10. attēls. Bērza uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 33; 27; 21; 15; 9$ m).

raustītā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā ieteiktajiem koeficientiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2018. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



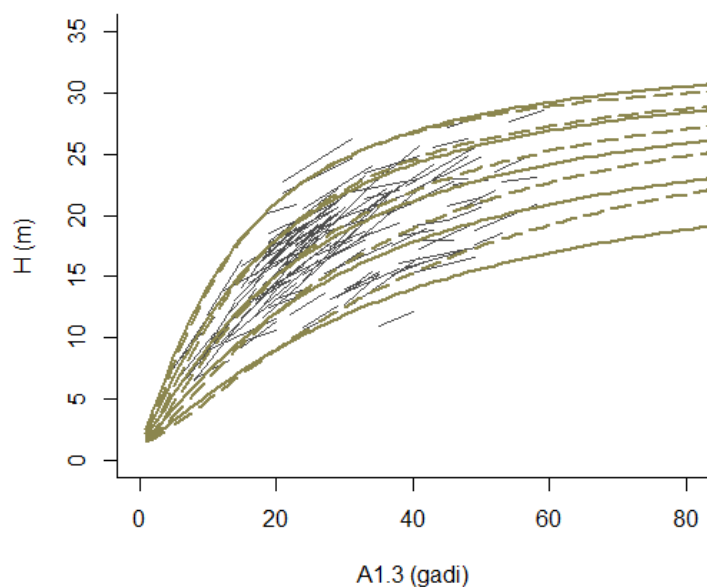
2.11. attēls. Melnalkšņa uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 30; 24; 18; 12$ m).

raustītā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā ieteiktajiem koeficientiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2018. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



2.12. attēls. Apses uzmērītās virsaugstuma (H) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 36; 30; 24; 18$ m).

raustītā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā ieteiktajiem koeficientiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2018. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



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

raustītā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā ieteiktajiem koeficientiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2018. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.

2.3. Caurmēra augšanas gaitas modelis

2.3.1. Materiāls un metodika

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

Datu analīzē izmantoja datus par 3858 meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas koku sugas vienas paaudzes vienā stāvā esošus kokus) no 1968 MSI 2014. - 2017. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kuri atbilst sekojošiem nosacījumiem:

- ✓ meža elementi ir P1st (875 meža elementi), E1st (668), B1st (968), A1st (140), M1st (228), Ba1st (192), E2st (787);
- ✓ katrā uzmērīšanas ciklā meža elementam uzmērīti vismaz 3 dzīvi koki;
- ✓ visās uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums;
- ✓ starp inventarizācijas periodā parauglaukumā nocirsto koku šķērslaukums nepārsniedz 5% no sākotnēji uzmērītā kokaudzes šķērslaukuma;
- ✓ meža elementa aprēķinātais caurmēra tekošais ikgadējais pieaugums neatšķiras vairāk kā divas standartnovirzes no meža elementa vecuma desmitgades aritmētiski vidējā caurmēra tekošā ikgadējā pieauguma.

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

Meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra izmaiņu aproksimācijai pārbaudīts iepriekš izstrādātais vienādojums, kas balstīts uz vispārinātās algebriskās diferences pieeju, tādējādi caurmēra pieaugumu var prognozēt zinot tikai meža elementa vidējo caurmēru un krūšaugstuma vecumu, bet nav nepieciešama informācija par bonitāti. Algebriskās diferences vienādojums ir papildināts vēl ar audzes I stāva biežības rādītāju, kas raksturo koku savstarpējo konkurenci (Donis et al., 2017).

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

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

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

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

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

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

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

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

Rādītāju aprēķināšanas formulas dotas 1. pielikumā.

2.3.2. Rezultāti

Balstoties uz 2018. gadā papildus ievadītajiem MSI 1., 2. un 3. cikla datiem aproksimētas jaunas koeficientu vērtības meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modelim (2.5. tabula). Jaunās koeficientu vērtības aprēķinātas kombinētajā 5 un 10 gadu cikla variantā vienlaicīgi izmantojot visu trīs ciklu datus, bet analizē no viena meža elementa izmantoti tikai viena perioda dati (dati bez auto korelācijas).

2.5. tabula

Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) 2018. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

Suga	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	95% ticamības intervāls	
				Min.	Maks.
Priede	α_1	0.73690	0.04822	0.67937	0.84759
	α_2	-2.54364	1.02141	-4.72884	-0.91905
	α_3	3.10507	0.89331	1.84355	5.24521
Egle 1. stāvs	α_1	0.89860	0.03279	0.82490	0.96430
	α_2	-9.63782	5.60881	-20.56648	-5.50204
	α_3	6.70293	3.84893	4.33502	14.08435
Bērzs	α_1	0.82454	0.07980	0.72933	0.99174
	α_2	-2.43892	115.41698	-27.81800	-1.01546
	α_3	1.68886	67.45260	0.98967	15.51690
Melnalksnis	α_1	0.91177	0.04874	0.83091	0.99967
	α_2	-1.97684	0.48163	-2.85287	-0.98665
	α_3	1.15962	0.17445	0.81005	1.49917
Apse	α_1	1.10429	0.04812	1.01914	1.20511
	α_2	-1.38699	1.64281	-5.13043	0.60824
	α_3	1.84542	0.59281	1.06589	3.19051
Baltalksnis	α_1	0.95750	0.07724	0.85429	1.15686
	α_2	-2.10653	0.48293	-3.46031	-1.18675
	α_3	0.70796	0.11670	0.51051	1.03459
Egle 2. stāvs	α_1	0.66811	0.02802	0.61289	0.71628
	α_2	-10.45544	286.71260	-978.20839	-4.01463
	α_3	5.21553	142.55628	2.09744	494.03017

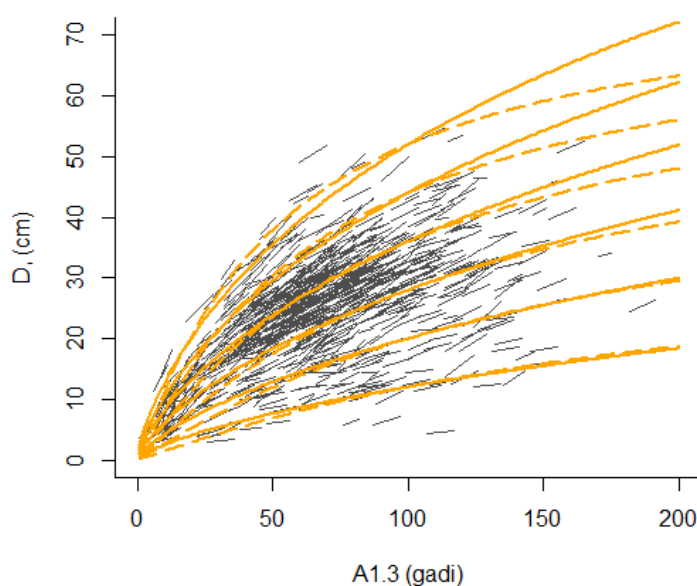
Vidējā caurmēra augšanas gaitas vienādojumam ar 2018. gadā aproksimētajām vērtībām ir augsti statistiskie rādītāji (2.6. tabula). Vidējā novirze tekošajam vidēji periodiskajam caurmēra pieaugumam visiem meža elementiem ir mazāka par vienu mm.

Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modeļa (2.2. formula) prognozētā ikgadējā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji ar 2018. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām

Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	N
Priede	0.27	0.03	9.32	0.09	0.13	48.97	0.02	0.76	0.794	0.598	875
Egle 1.stāvs	0.37	0.03	9.18	0.12	0.15	42.02	0.02	0.74	0.679	0.591	668
Bērzs	0.30	0.02	8.40	0.11	0.16	53.57	0.03	0.69	0.383	0.574	968
Melnalksnis	0.31	0.02	5.59	0.11	0.14	45.00	0.02	0.82	1.029	0.601	228
Apse	0.52	0.04	7.71	0.17	0.22	42.31	0.05	1.48	1.228	0.362	140
Baltalksnis	0.35	0.04	10.62	0.11	0.15	44.39	0.02	0.73	0.982	0.654	192
Egle 2.stāvs	0.20	0.03	15.10	0.10	0.13	67.69	0.02	1.08	0.301	0.247	787

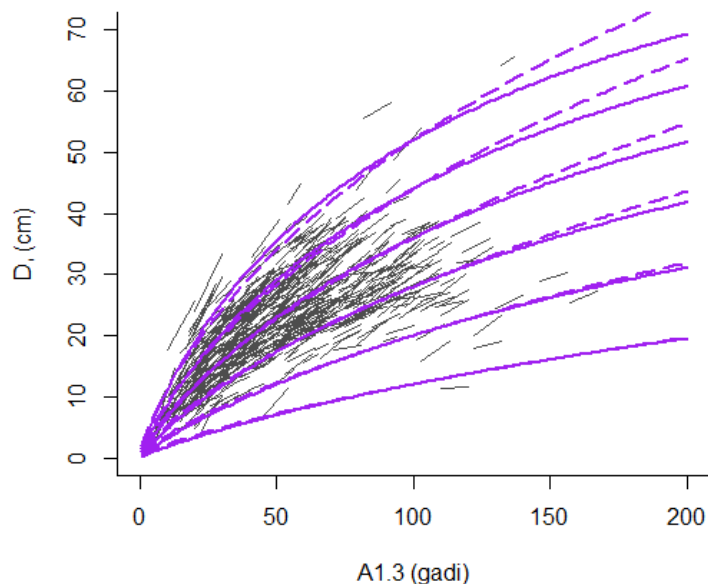
Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, cm; MRES - vidējā novirze, cm; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, cm; RMSE – standartnovirze, cm; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, cm; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība;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

Ar 2018. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām vidējā caurmēra augšanas gaitas modelis visām sugām prognozē mežsaimnieciski loģiskākas (mazākas, izņemot priedi) caurmēra izmaiņas lielākā vecumā nekā ar 2017. gadā ieteiktajām koeficientu vērtībām (2.14. – 2.20. attēls). Tādēļ turpmākai meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas modelēšanai ieteicams izmantot Hossfeld IV vienādojuma vispārinātās algebriskās differences pieejas modeli ar 2018. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām.



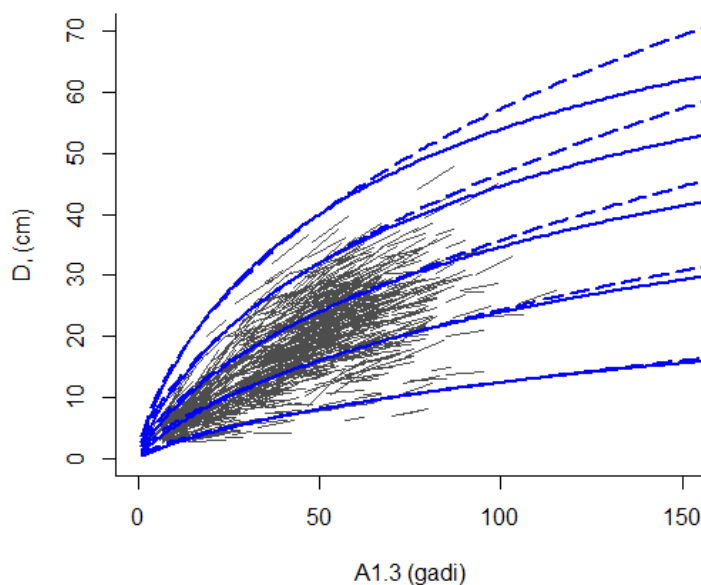
2.14. attēls. Priedes uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($D_{100} = 52; 44; 36; 28; 20; 12$ cm):

raustītā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā ieteiktajiem koeficientiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2018. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



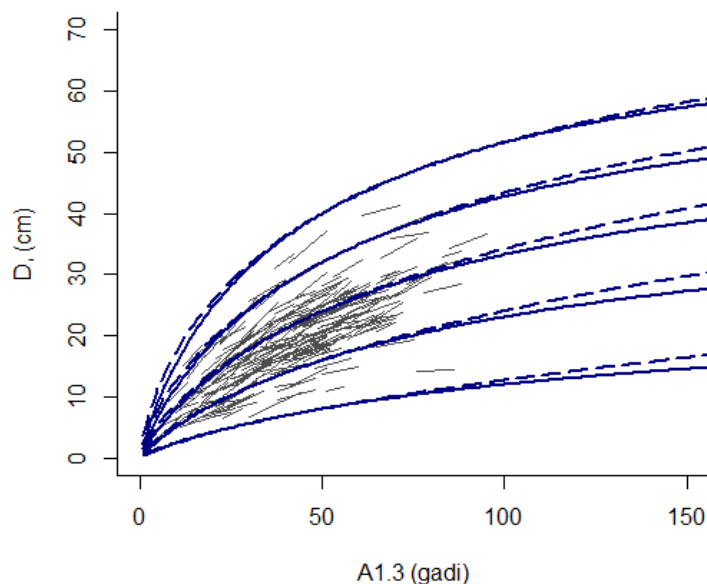
2.15. attēls. I stāva egles uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($D_{100} = 52; 44; 36; 28; 20; 12$ cm).

raustītā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā ieteiktajiem koeficientiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2018. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



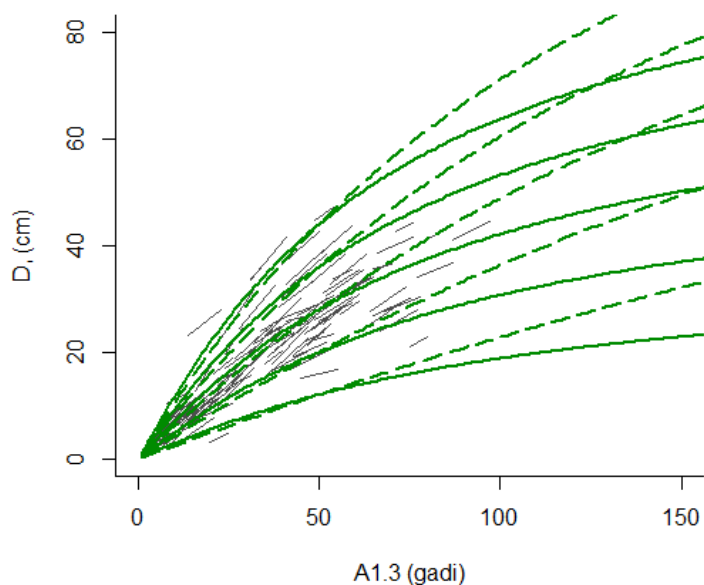
2.16. attēls. Bērza uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($D_{50} = 40; 32; 24; 16; 8$ cm).

raustītā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā ieteiktajiem koeficientiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2018. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



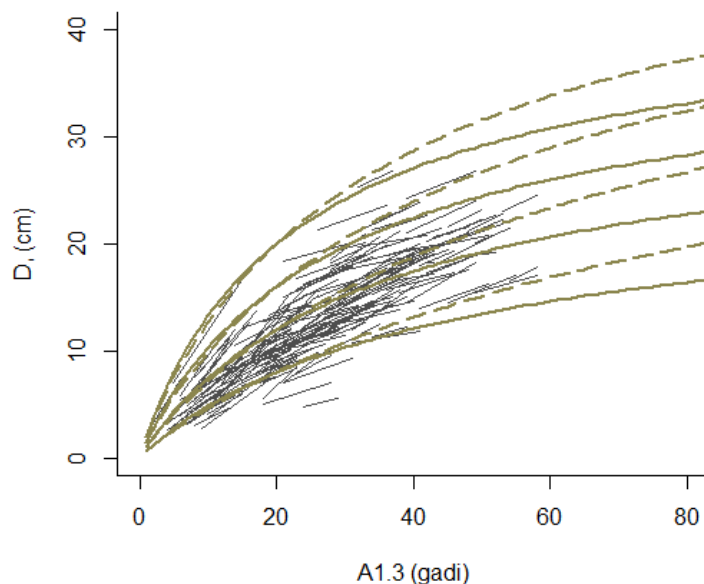
2.17. attēls. Melnalkšņa uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) caurmēra no augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($D_{50} = 40; 32; 24; 16; 8$ cm).

raustītā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā ieteiktajiem koeficientiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2018. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



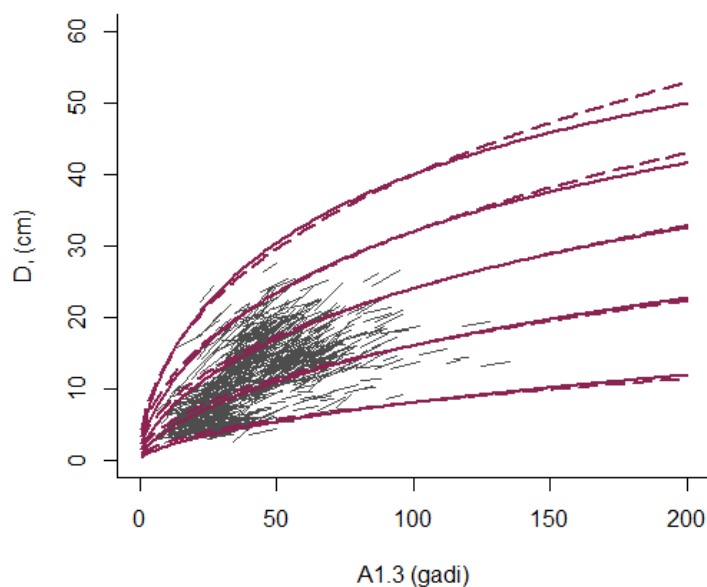
2.18. attēls. Apses uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($D_{50} = 44; 36; 28; 20; 12$ cm).

raustītā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā ieteiktajiem koeficientiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2018. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



2.19. attēls. Baltalkšņa uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 20 gadi ($D_{20} = 20; 16; 12; 8$ cm).

raustītā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā ieteiktajiem koeficientiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2018. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.



2.20. attēls. II stāva egles uzmērītās vidējā caurmēra (D) izmaiņas atkarībā no krūšaugstuma vecuma ($A_{1.3}$) un aproksimētā vidējā caurmēra augšanas gaita (2.2. formula) atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($D_{100} = 40; 32; 24; 16; 8$ cm).

raustītā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā ieteiktajiem koeficientiem, nepārtrauktā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2018. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.

2.4 Šķērslaukuma izmaiņu modelis

2.4.1. Materiāls un metodika

Meža elementa ikgadējā šķērslaukuma izmaiņu prognozēšanai, balstoties uz 2014. – 2017. gada pārmērījuma datiem, aproksimētas jaunas koeficientu vērtības iepriekšējā gadā izstrādātajam vienādojumam (Donis et al., 2017):

$$G_2 = G_1 + \left(\alpha_1 + \alpha_2 \cdot \frac{A_1}{100} + \alpha_3 \cdot A_1^{-2} + \alpha_4 \cdot \frac{G_1}{A_1} + \alpha_5 \cdot \frac{GL}{A_1} + \alpha_6 \cdot \frac{SI}{A_1} \right) (A_2 - A_1) \quad (2.3)$$

<i>kur</i>	G_2	–	meža elementa šķērslaukums perioda beigās, m ² ha ⁻¹ ;
	G_1	–	meža elementa šķērslaukums perioda sākumā, m ² ha ⁻¹ ;
	A_1	–	meža elementa krūšaugstuma vecums perioda sākumā, gadi;
	A_2	–	meža elementa krūšaugstuma vecums perioda beigās, gadi;
	GL	–	šķērslaukuma summa perioda sākumā meža elementiem, kas vienādi vai lielāki par konkrēto meža elementu (ja 1. stāva meža elements, tad 1. stāva šķērslaukums, ja 2. stāva meža elements, tad 1. un 2. stāva šķērslaukuma summa), m ² ha ⁻¹ ;
	SI	–	pēc 1. formulas prognozētais vidējais augstums krūšaugstuma bāzes vecumā (P, E 100 gadi; B, M, A 50 gadi; Ba 20 gadi), m;
	α_{1-6}	–	empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas.

Šķērslaukumu izmaiņas modelis izstrādāt gan I stāva, gan II stāva meža elementu šķērslaukuma izmaiņu modelēšanai. Datu analīzē izmanto 4798 meža elementu datus no 2014. –2017. gadā atkārtoti uzmērītajiem 1954 MSI parauglaukumiem, kas atbilst sekojošiem kritērijiem:

- ✓ meža elementa suga ir priede (963 meža elements), egļe (1759), bērzi (1332), melnalksnis (294), apse (197), baltalksnis (253);
- ✓ meža elementam pirmajā uzmērīšanas reizē konstatēti vismaz trīs dzīvie koki;
- ✓ abās uzmērīšanas reizēs zināms meža elementa vecums un pirmajā uzmērīšanas reizē krūšaugstuma vecums ir vismaz pieci gadi;
- ✓ parauglaukumā starp inventarizācijas periodā nav konstatēta koku ciršana.

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

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

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

Rādītāju aprēķināšanas formulas dotas 1. pielikumā.

2.4.2. Rezultāti

Balstoties uz 2018. gadā papildus ievadītajiem MSI 1., 2. un 3. cikla datiem aproksimētas jaunas koeficientu vērtības meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modelim (2.7. tabula). Jaunās koeficientu vērtības aprēķinātas kombinētajā 5 un 10 gadu cikla variantā vienlaicīgi izmantojot visu trīs ciklu datus, bet analīzē no viena meža elementa izmantoti tikai viena perioda dati (dati bez auto korelācijas).

Lai gan šķērslaukuma izmaiņu vienādojumam atsevišķām koku sugām atsevišķi koeficienti (faktoriālie mainīgie) ir statistiski nebūtiski (2.7. tabula), tie tik un tā tiek saglabāti vienādojumos, lai tiktu saglabāta vienveidīga vienādojuma forma, kas atvieglo šo vienādojumu praktisko pielietošanu.

Meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modeļa (2.3. formula) 2018. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

Suga	Koeficientu statistiskie rādītāji				Vienādojuma statistiskie rādītāji			
	koeficients	vērtība	SE	p	R	SE	N	Sig.
Priede	α_1	0.08049	0.02897	0.006	0.6642	0.1841	963	0.000
	α_2	-0.06445	0.02743	0.019				
	α_3	-0.21995	4.11078	0.957				
	α_4	0.71314	0.03364	0.000				
	α_5	-0.29018	0.02840	0.000				
	α_6	0.13332	0.02572	0.000				
Egle	α_1	0.13362	0.02136	0.000	0.7457	0.1843	1759	0.000
	α_2	-0.11859	0.02724	0.000				
	α_3	12.87652	2.80944	0.000				
	α_4	0.79883	0.02523	0.000				
	α_5	-0.14816	0.00864	0.000				
	α_6	0.07409	0.01506	0.000				
Bērzs	α_1	0.23657	0.02592	0.000	0.6977	0.2033	1332	0.000
	α_2	-0.31639	0.04086	0.000				
	α_3	-4.42587	2.91899	0.130				
	α_4	0.51849	0.03315	0.000				
	α_5	-0.26923	0.01056	0.000				
	α_6	0.14134	0.02076	0.000				
Melnalksnis	α_1	0.22471	0.06173	0.000	0.6959	0.1857	294	0.000
	α_2	-0.36083	0.10062	0.000				
	α_3	14.27030	6.00066	0.018				
	α_4	0.68298	0.05680	0.000				
	α_5	-0.17464	0.02110	0.000				
	α_6	0.02453	0.04250	0.564				
Apse	α_1	0.37061	0.09274	0.000	0.7406	0.2583	197	0.000
	α_2	-0.43371	0.14063	0.002				
	α_3	-14.25820	7.09898	0.046				
	α_4	0.66925	0.08319	0.000				
	α_5	-0.30387	0.03282	0.000				
	α_6	0.16718	0.05527	0.003				
Baltalksnis	α_1	0.49659	0.08155	0.000	0.6659	0.2606	253	0.000
	α_2	-1.44015	0.20705	0.000				
	α_3	0.25074	5.85862	0.966				
	α_4	0.37225	0.04882	0.000				
	α_5	-0.22532	0.02736	0.000				
	α_6	0.05173	0.06911	0.455				

SE – standartklūda, p – p vērtība, R – korelācijas koeficients, N – novērojumu skaits, Sig. – būtiskums.

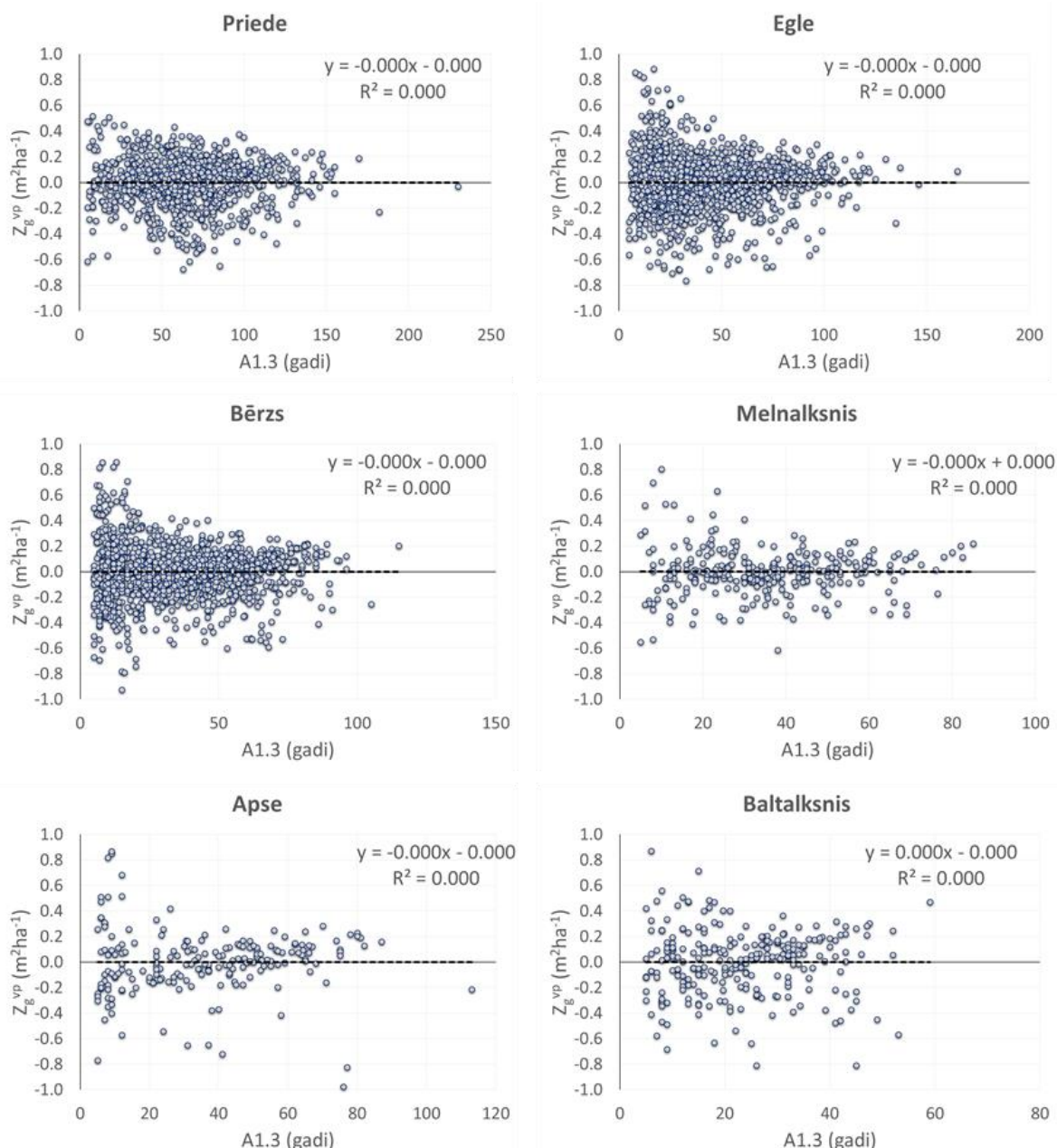
Meža elementa šķērslaukuma izmaiņu vienādojumam ar 2018. gadā aproksimētajām vērtībām ir augsti statistiskie rādītāji (2.8. tabula). Vidējā novirze tekošajam vidēji periodiskajam šķērslaukuma pieaugumam visiem meža elementiem ir $0.00 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$, kas visos gadījumos ir mazāk par 1% no aritmētiski vidējā šķērslaukuma pieauguma.

Šķērslaukuma izmaiņu modelim novirzei starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu visām koku sugām konstatēta vāja lineāra korelācija ar meža elementa krūšaugsstuma vecumu, šķērslaukumu aktualizācijas perioda sākumā un meža elementa augstumu bāzes vecumā (2.21. – 2.23. attēli). Lai gan atsevišķos gadījumos lielā novērojuma skaita dēļ šīs korelācijas ir statistiski būtiskas, tomēr nevar uzskatīt, ka vienādojumi prognozētu kādu sistemātisku novirzi atkarībā no meža elementa vecuma, šķērslaukuma vai bonitātes.

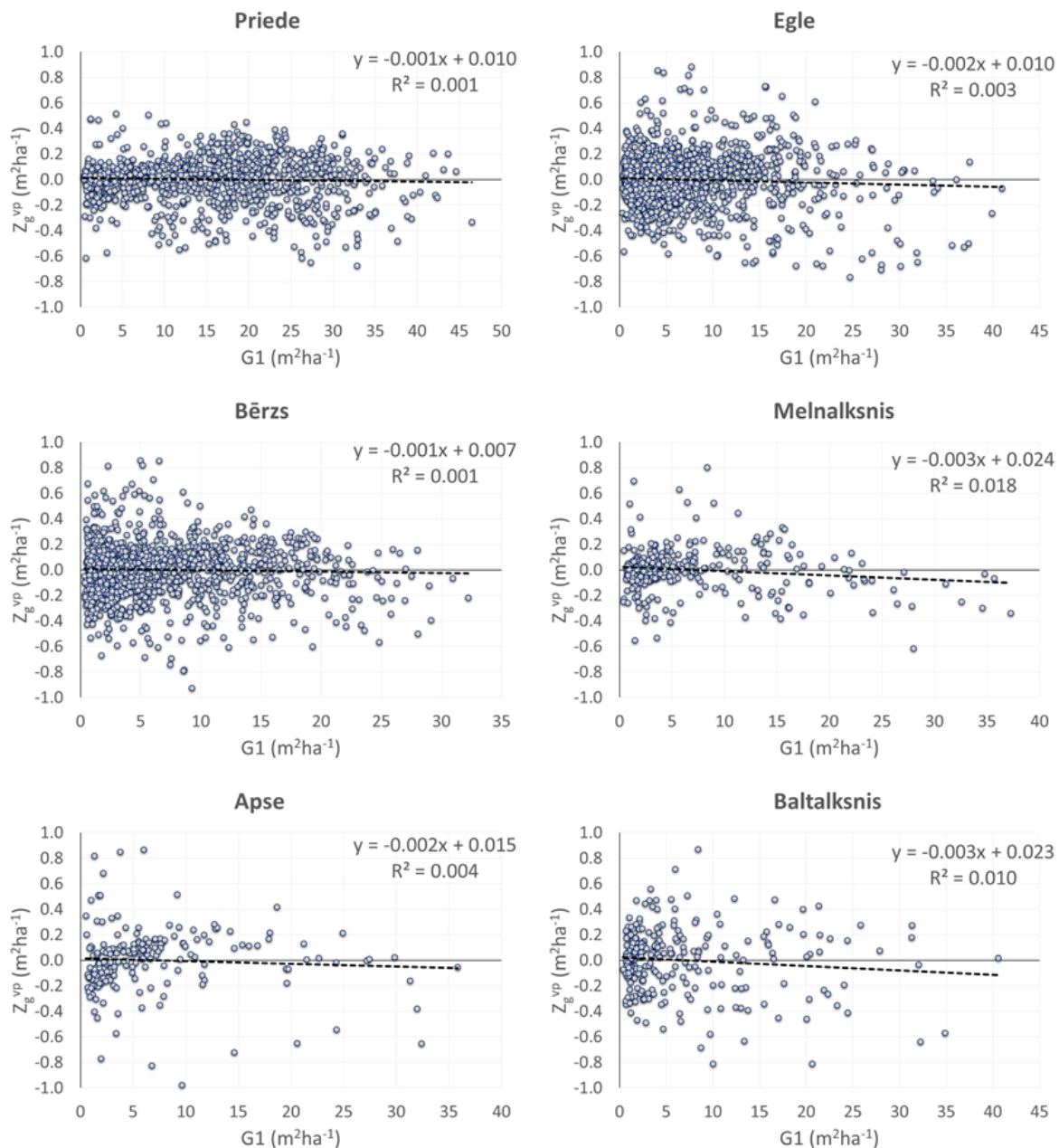
Meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modeļa (2.3. formula) prognozētā ikgadējā šķērslaukuma pieauguma statistiskie rādītāji ar 2018. gadā aproksimētajām koeficientu vērtībām

Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	N
Priede	0.18	0.00	0.00	0.14	0.18	100.43	0.03	0.56	0.441	0.664	963
Egle	0.17	0.00	-0.11	0.13	0.18	105.81	0.03	0.44	0.556	0.746	1759
Bērzs	0.14	0.00	0.00	0.15	0.20	141.06	0.04	0.51	0.487	0.698	1332
Melnalksnis	0.16	0.00	0.07	0.13	0.19	113.64	0.03	0.52	0.483	0.696	294
Apse	0.31	0.00	0.00	0.18	0.26	83.01	0.07	0.45	0.548	0.741	197
Baltalksnis	0.10	0.00	0.00	0.20	0.26	259.98	0.07	0.56	0.443	0.666	253

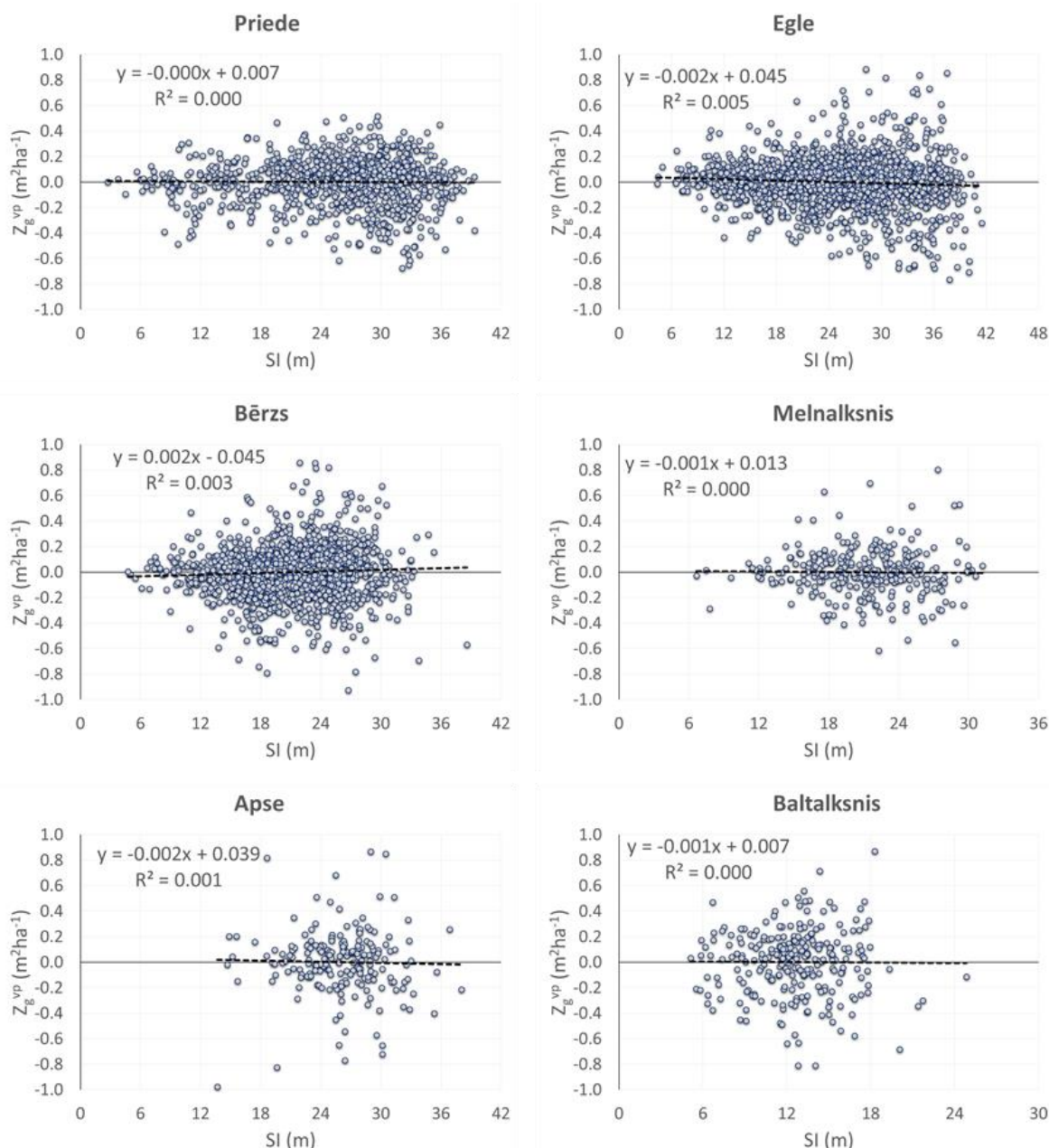
Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, cm; MRES - vidējā novirze, cm; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, cm; RMSE – standartnovirze, cm; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, cm; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība;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



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



2.22. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu (z_g^{vp}) atkarībā meža elementa sākotnējā šķērslaukuma ($G1$).



2.23. attēls. Starpība starp uzmērīto un prognozēto meža elementa šķērslaukuma vidējo periodisko pieaugumu (z_g^{vp}) atkarībā meža elementa augstuma bāzes vecumā jeb bonitātes (SI).

Līdzīgi kā iepriekš, 2.4. vienādojums ir paredzēts īslaicīgai meža elementa šķērslaukuma modelēšanai. Ja meža elementa šķērslaukums ir mazāks par $5 m^2 ha^{-1}$, vai prognozējamā perioda ilgums pārsniedz 20 gadus, vai arī meža elementa krūšaugstuma vecums pārsniedz priedei 120 gadus; eglei 100 gadus; bērzam, apsei un melnalksnim 80 gadus; baltalksnim 50 gadus, tad meža elementa šķērslaukuma izmaiņu modelēšanai izmantojams iepriekš izstrādātais vienādojums (Donis et al., 2016):

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

<i>kur</i>	G_2	—	meža elementa šķērslaukums perioda beigās, $m^2 ha^{-1}$;
	G_1	—	meža elementa šķērslaukums perioda sākumā, $m^2 ha^{-1}$;
	A_1	—	meža elementa krūšaugstuma vecums perioda sākumā, gadi;
	A_2	—	meža elementa krūšaugstuma vecums perioda beigās, gadi;
	α_{1-4}	—	empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas.

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

$$G_{maxK} = \frac{\alpha_1}{1 + \left(\frac{D}{a_2}\right)^{\alpha_3}} \quad (2.5)$$

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

$$G_{maxN} = \alpha_1 \cdot (1 - \exp(-\alpha_2 \cdot H_{dom})) \quad (2.6)$$

kur G_{maxN} – kokaudzes I stāva šķērslaukums audzēs, kurās netiek veikta starpcirte, m^2ha^{-1} ;
 H_{dom} – kokaudzes I stāva valdošās koku sugas virsaugstums, m;
 α_{1-2} – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas.

Ja audzē netiek veiktas starpcirtes (jaunaudžu kopšana, krājas kopšana), tad mežaudzes maksimālā šķērslaukuma aprēķināšanai izmantojama 2.6. formula, ja tiek apsaimniekota, tad – 2.5. formula.

Meža elementa šķērslaukuma aktualizāciju veic pēc sekojoša algoritma:

1. katram meža elementam aprēķina tā maksimālo šķērslaukumu aktualizācijas perioda beigās (2.5. vai 2.6. formula);
2. ņemot vērā meža elementa krūšaugstuma vecumu, šķērslaukumu un prognožu perioda garumu, izvēlās aktualizācijas modeli un prognozē meža elementa šķērslaukuma izmaiņas (2.3. vai 2.4. formula);
3. aktualizē meža elementa šķērslaukuma izmaiņas kā minimumu starp pirmā un otrā soļa rezultātu.

3. Individuālu koku augšanas gaitas modeļu izstrāde (balstot uz zināšanām, kuras iegūtas analizējot Somijas un Zviedrijas augšanas gaitas modeļus)

Uzsākta individuālu koku augšanas gaitas modelēšanai (d , g , h , v , a , i_d , i_g , i_h , v , a , $t_{1.3}$, sp_x , cr , izcelsme (dab., vai kultiv.), atmiršanas varbūtībai) nepieciešamo audzes un vietas papildus parametru aprēķinu algoritmu izveide P, E, B, M, A, Ba. Kā papildus parametri testēšanai iekļauti atbilstošā parauglaukuma audzes raksturošanai iekļauti – A, A_{1.3}, A_{max}, D_g, D_{dom}, G, G_{egle}, G_{lapukoki}, G_{priede}, H_{dom}, I_{Hdom}, koku, kas lielāki par mērķa koku, šķērslaukums (BAL), relatīvā biežība, N, N_{max}, vietas parametri: MT grupa (pēc auglības), SI pa sugām, edafiskā rinda; reģionam aprēķinātā aktīvo temperatūru summa (vidējā 2004.-2016. gadam). Dati iegūti no agrometeoroloģisko datu tīkla izmantojot meteoroloģiskos parametrus no meteo stacijām, interpolējot uz 25x25 km režģi. Katram parauglaukumam aprēķināti atbilstošie meža elementu parametri, kā arī mežaudžu summārie taksācijas parametri, izmantojot 1.punkta uzdevuma rezultātus. Parametru aprēķins veikts, izmantojot *nonlinear models* un veicot datu transformāciju. Notiek būtiskuma parametru pārbaude.

3.1. Audzes relatīvā biežība

Lai raksturotu koku savstarpējo konkurenci atsevišķu koku augšanas modeļos izmanto audzes vai tās daļu relatīvās biežības faktoru. Audzes relatīvās biežības faktora raksturošanai izmanto maksimālo audzes koku skaitu. Audzes relatīvās biežības faktors aprēķināms pēc sekojoša vienādojuma:

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

$$ga_i = \beta_1^{-1} \cdot d_i^{-\beta_2} \cdot h_i^{-\beta_3} \quad (3.1.1)$$

ku RDF – mežaudzes relatīvās biežības faktors;
r

ga_i – katra koka relatīvās biežības faktors;

d_i – koka krūšaugstuma caurmērs, cm;

h_i – koka augstums, m;

β₁₋₃ – koeficienti.

Relatīvās biežības faktora aprēķināšanai tiek izmantoti tie paši koeficienti (3.1. tabula), kas iepriekš izstrādātajam meža elementa maksimālā koku skaita aprēķināšanai (Donis et al., 2014).

3.1. tabula

Audzes relatīvās biežības faktora aprēķināšanai (3.1. formula) izmantotie koeficienti

Suga	β ₁	β ₂	β ₃
Priede	83570	-1.366	-0.069
Egle	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

3.2. Koku vainaga īpatsvars

3.2.1. Materiāls un metodika

Datu analizē izmantoja datus par 26773 kokiem (priedes – 6424, egles – 8563, bērzi – 7153, melnalkšņi – 1595, apses – 1431, baltalkšņi – 1607) no 2136 MSI 2014. – 2017. gadā atkārtoti uzmērītajiem

parauglaukumiem. Datu analizē izmanto tikai tos koku datus, kuriem otrajā ciklā ir uzmērīti gan koka augstums, gan vainaga sākuma augstums, kā arī tikai tos kokus, kuriem nav fiksēti galotnes bojājumi. Vainaga īpatsvara raksturošanai izmanto sekojošu modeli:

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

$$X = (\alpha_0 + \alpha_1 \cdot c_{0-5}) \cdot H_{\text{vald}}^{\alpha_2} \cdot d^{\alpha_3} \cdot \exp(-\alpha_4 \cdot RDF) \cdot \exp(-\alpha_5 \cdot RDFL) \cdot SI_i^{\alpha_6} \quad (3.2.1)$$

ku H_{vald} – mežaudzes valdaudzes augstums (koku, kas resnāki par mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo kvadrātisko caurmēru, aritmētiski vidējais augstums), m;

d – koka krūšaugstuma caurmērs, cm;

RDF – mežaudzes relatīvās biezības faktors (3.1. formula);

RDF – relatīvās biezības faktors kokiem, kas resnāki par konkrēto koku (3.1. formula);

SI_i – koka augstums bāzes vecumā (p , e – 100 gadi; b , m , a – 50 gadi; ba – 20 gadi), m;

c_{0-5} – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta koku ciršana, (0 vai 1);

α_{1-6} – koeficienti.

Atsevišķu koku vainaga īpatsvars modelēts datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows, izmantojot rīku Non-linear regression un bootstrap funkciju.

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

3.2.2. Rezultāti

Balstoties uz MSI 2014. – 2017. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukum datiem aproksimētas koeficientu vērtības modelim, kas paredzēts atsevišķu koku vainaga īpatsvara aprēķināšanai (3.2. tabula). Koku augstums bāzes vecumā jeb bonitāte kā būtisks un loģisks faktors ir tikai priedei, bet pārējām koku sugām šī faktora koeficients ir nulle, kas nozīmē ka šis faktors netiek ņemts vērā. Tāpat eglei un melnalksnim kā neloģisks un nebūtisks faktors bija relatīvās biezības faktors kokiem, kas resnāki par konkrēto koku, tādēļ šīm sugām šī faktora koeficients ir nulle.

3.2. tabula

Atsevišķu koku vainaga īpatsvara aprēķināšanas modeļa (3.2. formula) 2018. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

Suga	Koeficients	Vērtība	Standartkļūda	95% ticamības intervāls	
				Min.	Maks.
Priede	b0	0.83656	0.03293	0.77202	0.90111
	b1	-0.06109	0.01019	-0.08106	-0.04111
	b2	-0.84108	0.02099	-0.88224	-0.79993
	b3	0.25070	0.01627	0.21881	0.28259
	b4	0.25376	0.01822	0.21804	0.28948
	b5	0.24711	0.02831	0.19162	0.30260
	b6	0.45793	0.01441	0.42968	0.48618
Egle	b0	2.61633	0.10379	2.41286	2.81979
	b1	-0.32585	0.03736	-0.39910	-0.25261
	b2	-0.28071	0.01406	-0.30828	-0.25314
	b3	0.12575	0.00681	0.11241	0.13909
	b4	0.30224	0.01584	0.27120	0.33328
	b5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	b6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Bērzs	b0	2.11633	0.06326	1.99232	2.24034
	b1	-0.06556	0.02893	-0.12228	-0.00885
	b2	-0.34160	0.01866	-0.37817	-0.30503

Suga	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	95% ticamības intervāls	
				Min.	Maks.
	b3	0.09485	0.01132	0.07266	0.11704
	b4	0.33759	0.01658	0.30509	0.37009
	b5	0.27667	0.02469	0.22827	0.32507
	b6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Melnalksnis	b0	2.70987	0.21806	2.28215	3.13759
	b1	-0.02554	0.10273	-0.22704	0.17596
	b2	-0.42614	0.03757	-0.49983	-0.35245
	b3	0.05450	0.02104	0.01324	0.09576
	b4	0.53214	0.03650	0.46053	0.60374
	b5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	b6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Apse	b0	1.77711	0.09394	1.59284	1.96138
	b1	-0.16740	0.04496	-0.25559	-0.07920
	b2	-0.25352	0.03532	-0.32280	-0.18424
	b3	0.02711	0.02123	-0.01454	0.06877
	b4	0.19974	0.03478	0.13152	0.26797
	b5	0.52069	0.05404	0.41468	0.62670
	b6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Baltalksnis	b0	1.72129	0.11755	1.49073	1.95185
	b1	-0.11314	0.05484	-0.22071	-0.00557
	b2	-0.25066	0.03979	-0.32871	-0.17260
	b3	0.05275	0.02513	0.00346	0.10203
	b4	0.45722	0.04690	0.36523	0.54920
	b5	0.23001	0.06332	0.10581	0.35422
	b6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

Pārbaudot atsevišķu koku īpatsvara aprēķināšanas vienādojumu uz datu analīzē izmantotajiem datiem, konstatēts, ka tas nespēj adekvāti prognozēt koka vainaga īpatsvaru eglēm (3.3. tabula). Tādēļ turpmākajā pētījuma gaitā ir nepieciešams šo modeli vai nu papildināt ar vēl koku vainaga ietekmējošajiem faktoriem vai eglei izstrādāt atsevišķu modeli.

3.3. tabula

Atsevišķu koku vainaga īpatsvara modeļa (3.2. formula) statistiskie rādītāji

Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	N
Priede	0.40	0.00	-0.08	0.07	0.09	23.05	0.01	0.50	0.513	0.709	6424
Egle	0.70	0.35	50.26	0.35	0.38	54.79	0.15	7.17	0.678	0.331	8563
Bērzs	0.50	0.14	28.52	0.15	0.18	36.55	0.03	1.84	0.634	0.575	7153
Melnalksnis	0.46	0.10	21.20	0.12	0.16	35.76	0.03	1.21	0.399	0.489	1595
Apse	0.50	0.08	15.87	0.12	0.15	29.40	0.02	1.14	0.902	0.575	1431
Baltalksnis	0.49	0.16	33.52	0.17	0.21	42.84	0.04	2.19	0.400	0.437	1607

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

3.3. Koka caurmēra pieaugums

3.3.1. Materiāls un metodika

Datu analīzē izmantoja datus par 46405 kokiem (priedes – 13607, egles – 14639, bērzi – 10318, melnalkšņi – 2957, apses – 1875, baltalkšņi – 3009) no 2148 MSI 2014. – 2017. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem. Datu analīzē izmanto tikai tos koku datus, kas otrajā un trešajā ciklā ir uzmērīti kā dzīvi koki.

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

$$i_{g5} = \exp \left(\alpha_0 + \alpha_1 \cdot SI_i + \alpha_2 \cdot \frac{10}{H_{vald}} + \alpha_3 \cdot \frac{10}{H_{vald}^2} + \alpha_4 \cdot \ln(d) + \alpha_5 \cdot \left(\frac{d}{100} \right)^2 + \alpha_6 \cdot \ln(cr) \right. \\ \left. + \alpha_7 \cdot \ln(RDF + 1) + \alpha_8 \cdot RDFL + \alpha_9 \cdot \frac{T_{sum}}{1000} + \alpha_{10} \cdot c_{0-10} \right) \quad (3.3)$$

ku i_{g5} – koka nākošo 5 gadu šķērslaukuma pieaugums, cm²;
r

SI_i – koka augstums bāzes vecumā (p, e – 100 gadi; b, m, a – 50 gadi; ba – 20 gadi), m;

H_{vald} – mežaudzes valdaudzes augstums (koku, kas resnāki par mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo kvadrātisko caurmēru, aritmētiski vidējais augstums), m;

d – koka krūšaugstuma caurmērs, cm;

cr – koka vainaga īpatsvars (3.2. formula);

RDF – mežaudzes relatīvās biezības faktors (3.1. formula);

RDF – relatīvās biezības faktors kokiem, kas resnāki par konkrēto koku (3.1. formula);

T_{sum} – aktīvās veģetācijas ($t^\circ > 5^\circ C$) temperatūru summa, °C;

c_{0-10} – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 10 gadu laikā mežaudzē ir veikta koku ciršana, (0 vai 1);

α_{0-10} – koeficienti.

Atsevišķu koku caurmēra augšanas gaita modelēta datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows, izmantojot rīku Non-linear regression un bootstrap funkciju.

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

3.3.2. Rezultāti

Balstoties uz MSI 2014. – 2017. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumu datiem aproksimētas koeficientu vērtības atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modelim (3.4. tabula). Tā kā eglei un baltalksnim pagaidām vainaga īpatsvara modelis nespēj pietiekami precīzi raksturot vainaga īpatsvaru, tad caurmēra izmaiņas modelī šīm sugām vainaga īpatsvars netiek ņemts vērā. Tāpat no vienādojuma apsēm ir izslēgts relatīvās biezības faktors (RDF), jo šis faktors bija ne tikai nebūtisks, bet arī neloģisks, proti, biežākās audzēs tika prognozētas lielākas atsevišķa koka caurmēra pieaugums. Pārējām koku sugām atstāti visi faktori, lai arī atsevišķos gadījumos tie nav būtiski, bet ir bioloģiski loģiski.

3.4. tabula

Atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modeļa (3.3. formula) 2018. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

Suga	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	95% ticamības intervāls	
				Min.	Maks.
Priede	b0	-1.06934	.29343	-1.64451	-.49417
	b1	.04857	.00151	.04562	.05152
	b2	.66936	.11185	.45011	.88860
	b3	-.41876	.23164	-.87281	.03528
	b4	1.31130	.04891	1.21542	1.40718
	b5	-1.40833	.19163	-1.78395	-1.03271
	b6	.61443	.09783	.42267	.80618
	b7	-.50394	.04589	-.59389	-.41400
	b8	-.47626	.04894	-.57218	-.38033
	b9	.04698	.06994	-.09011	.18407
	b10	.08568	.01142	.06330	.10805

Suga	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	95% ticamības intervāls	
				Min.	Maks.
Egle	b0	-2.46855	.21926	-2.89832	-2.03878
	b1	.02751	.00127	.02503	.03000
	b2	1.85360	.09208	1.67312	2.03408
	b3	-4.58062	.42516	-5.41400	-3.74725
	b4	1.32560	.03196	1.26295	1.38825
	b5	-.15258	.13011	-.40761	.10244
	b6	.00000	.00000	.00000	.00000
	b7	-.84136	.03552	-.91099	-.77174
	b8	-.30639	.03863	-.38211	-.23067
	b9	.63548	.07256	.49326	.77770
	b10	.04960	.01138	.02728	.07191
Bērzs	b0	-3.32701	.51159	-4.32983	-2.32419
	b1	.06170	.00179	.05819	.06521
	b2	1.76015	.33943	1.09480	2.42551
	b3	-6.02585	1.35406	-8.68006	-3.37163
	b4	1.30887	.04842	1.21396	1.40379
	b5	-1.88843	.21277	-2.30550	-1.47137
	b6	.90214	.48715	-.05276	1.85705
	b7	-.41589	.18188	-.77241	-.05938
	b8	-.96642	.11760	-1.19695	-.73590
	b9	.94404	.10566	.73692	1.15116
	b10	.03267	.01765	-.00193	.06727
Melnalksnis	b0	-1.48573	.66743	-2.79441	-.17704
	b1	.04998	.00381	.04251	.05745
	b2	1.02635	.47937	.08641	1.96629
	b3	-3.21429	1.96169	-7.06072	.63213
	b4	1.35898	.09310	1.17644	1.54153
	b5	-4.86116	.66386	-6.16284	-3.55948
	b6	1.10455	.56004	.00644	2.20266
	b7	-.15893	.35642	-.85779	.53993
	b8	-1.02227	.09583	-1.21016	-.83438
	b9	.52764	.17439	.18569	.86959
	b10	.23018	.02887	.17357	.28678
Apse	b0	.35500	.78718	-1.18885	1.89885
	b1	.01400	.00302	.00807	.01993
	b2	.55759	.34069	-.11059	1.22577
	b3	-1.32544	1.44829	-4.16588	1.51500
	b4	1.33063	.08049	1.17277	1.48849
	b5	-1.42027	.26227	-1.93465	-.90589
	b6	2.20416	.33233	1.55239	2.85593
	b7	.00000	.00000	.00000	.00000
	b8	-.70189	.17073	-1.03672	-.36706
	b9	.55015	.21743	.12372	.97657
	b10	.07633	.02953	.01842	.13424
Baltalksnis	b0	-2.76314	.61440	-3.96783	-1.55845
	b1	.04373	.00496	.03402	.05345
	b2	1.45660	.23039	1.00486	1.90834
	b3	-2.22086	.92498	-4.03452	-.40720
	b4	1.35673	.09776	1.16504	1.54842
	b5	-6.24710	1.41834	-9.02812	-3.46608
	b6	.00000	.00000	.00000	.00000
	b7	-.59285	.08732	-.76406	-.42163
	b8	-1.10222	.09966	-1.29764	-.90681
	b9	.86746	.19007	.49479	1.24014
	b10	.05543	.03286	-.00899	.11986

Atsevišķa koka šķērslaukuma pieauguma modelis pietiekami precīzi spēj raksturot koka šķērslaukuma pieaugumu (3.5. tabula), visām koku sugām vidējā novirze nepārsniedz vienu procentu no uzmērītajām vērtībām. Tomēr variācijas koeficients visos gadījumos ir virs 60%, līdz ar to turpmākajā pētījumu gaitā nepieciešams šo modeli pilnveidot.

Atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modeļa (3.3. formula) statistiskie rādītāji

Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	N
Priede	44.94	-0.18	-0.39	19.93	28.86	64.22	832.87	0.57	0.420	0.656	13607
Egle	54.26	0.20	0.37	24.51	37.20	68.56	1383.71	0.53	0.482	0.688	14639
Bērzs	43.35	-0.28	-0.64	22.44	34.83	80.34	1213.03	0.56	0.430	0.664	10318
Melnalksnis	51.47	0.01	0.03	23.17	32.15	62.47	1033.14	0.57	0.429	0.654	2957
Apse	88.63	-0.31	-0.35	35.36	54.82	61.86	3003.99	0.39	0.600	0.779	1875
Baltalksnis	38.01	-0.12	-0.30	17.54	25.28	66.51	638.93	0.65	0.342	0.593	3009

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

3.4. Koka augstuma pieaugums

Koka augstuma pieaugumam pagaidām ieteicams izmantot meža elementa vidējā augstuma Hossfeld IV vienādojuma vispārinātās algebriskās diferences pieejas modeli (2.1. formula).

4. Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrādei nepieciešamo iepriekš ierīkoto parauglaukumu pārmērīšana (10 parauglaukumi)

4.1. Lauku darbu metodika

Iepriekšējās kokaudzes (mātes audzes) struktūras novērtēšana

Audzes telpiskās struktūras raksturošanai uzmērīti 10 objekti Austrumvidzemes, Rietumvidzemes un Zemgales mežsaimniecībās, lāna un damakšņa meža tipos. Šajos objektos izlases vai pakāpeniskās cirtes pirmais paņēmieni veikts laika periodā no 2009.gada līdz 2013. gadam (4.1.tabula).

Objektos iepriekšējās kokaudzes struktūra novērtēta 4 līdz 9 gab. 500m² (R=12.62 m) parauglaukumos (kopā 50). Katram kokam fiksēta – suga, pašreizējā stāvokļa klase (dzīvs, sausoknis, stumbeņis, kritala, celms), caurmērs krūšaugstumā (D1.3). 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). Koku augstumi uzmērīti izlases veidā, katram meža elementam atsevišķi, vismaz 9 kokiem katrā objektā.

4.1. tabula

2018. gadā uzmērīto objektu raksturojums un kokaudzes struktūras novērtēšanas parauglaukumu un dabiskās atjaunošanas uzskaites laukumu skaits

Objekts	PL skaits	UL skaits	Meža tips	Cirtes gads
104-162-18	4	12	Dm	2013
104-162-25_Dm	4	12	Dm	2013
104-162-25_Ln	4	12	Ln	2013
104-184-17	4	12	Ln	2013
407-347-5	4	12	Dm	2012
407-377-18	4	12	Ln/Dm	2012
601-350-12	4	12	Ln	2009
601-350-4;10	9	27	Ln	2009
601-359-1	9	27	Ln	2009
601-366-2	4	12	Ln	2009
Kopā	50	150		

(Dabiskās) atjaunošanās uzskaitē

Uzskaitē veikta 25 m² (R=1.82 m) lielos apļveida uzskaites laukumus. Dabiski atjaunojušos skujkoku koki uzskaitīti visi, neatkarīgi no to savstarpējā attāluma, bet lapu kokiem katrai sugai uzskaitīts atbilstoši viens augstākais kokš 0.25 m². Uzskaitīti koki, kas sasnieguši 5 cm augstumu. Uzskaitītie koki grupēti pa sugām un 0.1 m augstumu grupām, atsevišķi izdalot bojātos kokus. Audzēs, kur veikta vienlaidus cirte, katrā parauglaukumā ierīkoti 3 uzskaites laukumi – viens parauglaukuma centrā un divi 6 m attālumā uz Z un D no parauglaukuma centra. Kopumā atjaunošanās uzskaitē veikta 150 atjaunošanās uzskaites laukumus.

4.2. Rezultāti

Objektos mātesaudzes šķērslaukums ir no 14.5 m²ha⁻¹ līdz 30.2 m²ha⁻¹ vidēji objektā (4.2. tabula). Pietiekoša skaita priedes atjaunošanās vismaz 3000 uz ha konstatēta piecos no desmit objektiem.

4.2. tabula

Pētījuma objektu mātesaudzes struktūra un priedes dabiskā atjaunošanās

Objektos mātesaudzes šķērslaukums ir no 14,5 m²ha⁻¹ līdz 30,2 m²ha⁻¹ vidēji objektā (4.2. tabula). Pietiekoša skaita priedes atjaunošanās vismaz 3000 uz ha konstatēta piecos no desmit objektiem.

4.2. tabula

Pētījuma objektu mātesaudzes struktūra un priedes dabiskā atjaunošanās

*+/- – robežklūda ar 95% ticamību

Objekts	Sastāvs	Mātes audze					Priedes dabiskā atjaunošanās			
		D, cm	H, m	G, m ² ha ⁻¹	N, ha ⁻¹	M, m ³ ha ⁻¹	N, ha ⁻¹	+/- *	H, m	+/-
104-162-18	10P	55.4	33.8	14.5	60	220	3633	1897	0.31	0.07
104-162-25Dm	10P	57.6	32.6	17.0	65	246	4400	2039	0.37	0.06
104-162-25Ln	10P	51.5	32.6	16.6	80	243	13833	4601	0.42	0.05
104-184-17	10P	43.3	31.0	30.2	205	419	5600	2711	0.49	0.10
407-347-5	9P1E	44.7	29.2	16.4	100	216	7167	3033	0.39	0.07
407-377-18	7P3E	46.6	32.1	22.4	130	323	3567	2080	0.43	0.11
601-350-12	10P	35.7	26.6	23.0	230	277	2240	1591	0.92	0.30
601-366-2	10P	32.5	25.7	17.4	210	203	1111	412	0.91	0.15
601-350-4	10P+E	40.3	27.3	15.6	122	193	3941	1011	1.05	0.16
601-359-1	10P	38.2	26.1	15.3	133	181	5667	1477	0.70	0.15

*+/- – robežklūda ar 95% ticamību

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

5.1. Augošu koku krājas sadalījums atbilstoši caurmēra un augstuma grupām

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

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

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

Augošu koku krāja

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

Koku sadalījums pa caurmēra grupām

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

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

Tādēļ paliekošās krājas regulācijai tiek izmantoti tādi rādītāji kā:

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

- Izcērtamo koku izvēles kritēriji.

Augstāk minēto faktoru lielumi, ietekmē arī audzes atjaunošanas / atjaunošanās stratēģiju.

Vecuma/diametru sadalījums

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

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

5.2. Atjaunošanas / atjaunošanās sekmīgums

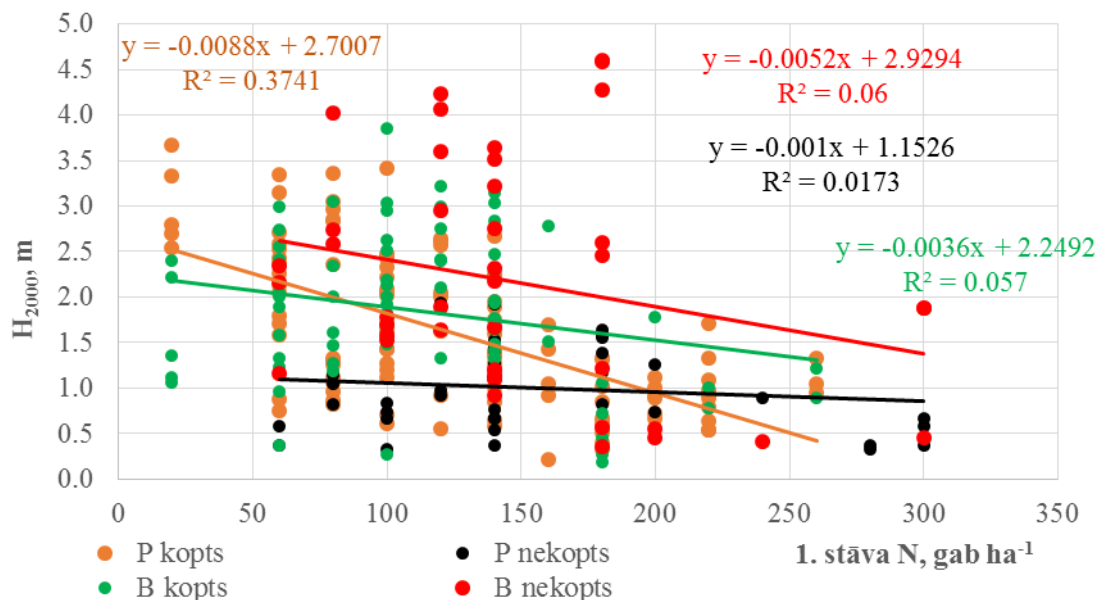
Arī izlases ciršu saimniecība var būt ilgtspējīga tikai tad, ja tiek nodrošināta koku atjaunošanās. Visbiežāk tiek pieņemts, ka izlases ciršu saimniecība atjaunošanās notiek dabiski un tā arī tiek minēta kā viena no izlases ciršu saimniecības priekšrocībām attiecībā pret kailciršu saimniecību. Tomēr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

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

Tabula 5.1. Dabiskās atjaunošanās sekmīgums vismaz 400 koki ha⁻¹ dažādos meža tipos 9-12 gadi pēc izlases cirtes 1. paņēmiena

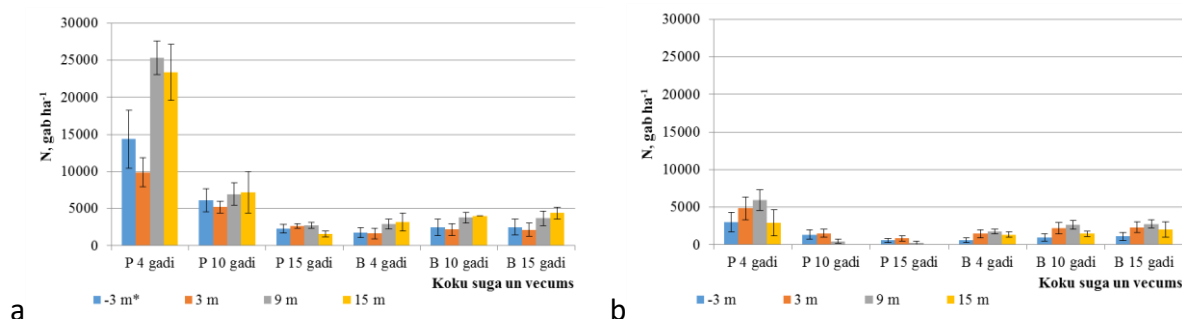
Meža tips	P		E		Lapu koki	
	% gadījumu	H, m	% gadījumu	H, m	% gadījumu	H, m
Sl, Mr	90	0.6				
Ln	90	1.4				
Dm	60	1.0	70	1.1	90	1.8
Dms, As, Ks	50	1.0	40 (P audzēs) 90 (E audzēs)	1.0 (P audzēs) 0.4 (E audzēs)	70	2.0
Mrs, Nd, Av,Am, Km	80	0.5				

Aprēķinos var pieņemt, ka priede 9-12 gadus pēc cirtes veikšanas vismaz 400 koki ha⁻¹ būs atbilstoši 5.1.tabulā atspoguļotajiem apjomiem.

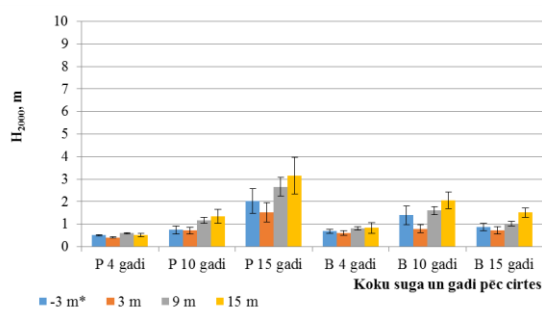


5.1. attēls. Piecu augstāko priežu vai bērzu uzskaites laukumā jeb 2000 kociņu uz ha vidējais augstums (H_{2000}) 10 gadus pēc ciršanas atkarībā no audzes 1. stāva koku skaita koptās un nekoptās jaunaudzēs

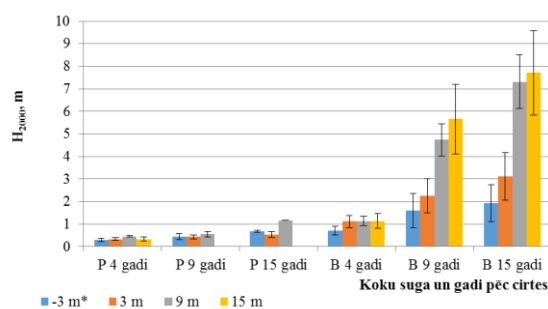
Parauglaukumos, kuros veikta paaugas sastāva kopšana, konstatēts ievērojami lielāks priežu paaugas augstums pie līdzīgā 1.stāva koku skaita uz ha (5.1.attēls). Turklāt parauglaukumos, kuros nav veikta kopšana, bērzu paaugas augstums ir ievērojami lielāks nekā priežu paaugas augstums (5.1.attēls). Līdzīga tendence parādās veidojot audzes atvērumus (5.2., 5.3. attēls). Jāatzīmē, ka 5.2. un 5.3. attēlā salīdzinātas divas audzes ar atšķirīgu apsaimniekošanas režīmu - ABA un KNP. Audzē ABA ciršanas pirmajā paņēmienā izveidoti audzē atvērumi, izretinot arī audzes daļu starp atvērumiem, kā izcirstas visas otrā stāva egles. Pēc sešiem gadiem izpildīts otrais ciršanas paņēmieni, paplašinot atvērumus. 14 gadus pēc ciršanas pirmā paņēmiena audze nocirsta pilnībā. Agrotehniskā un sastāva kopšana veikta atkārtoti un pēc mātesaudzes nociršanas veikta jaunaudzes izretināšana. Savukārt objektā KNP, izņemot sākotnējo atvērumu izciršanu, citi mežsaimnieciskie pasākumi nav veikti. 15 gadus pēc ciršanas pirmā paņēmiena KNP audzē atvērumu vidū priedes nav konstatētas (5.2.attēls b). Lielākais priežu augstums (1.16 m) novērots 9 m no atvēruma malas (5.3.attēls b), tomēr šajā attālumā priedes konstatētas tikai vienā no divpadsmit uzskaites laukumiem. Savukārt ABA audzē 15 gadus pēc ciršanas pirmā paņēmiena sākotnējo atvērumu vidū konstatētas 1600±400ha⁻¹ ar augstumu 3.16±0.82m, bet 9 m attālumā no sākotnējās atvēruma malas 2750±389ha⁻¹ ar augstumu 2.65±0.41m (5.2.attēls a, 5.3.attēls a).



5.2. attēls. Priedes un bērza skaita (\pm standartklūda) salīdzinājums četrus, desmit un piecpadsmit gadus pēc grupu ciršanas lānā dažādos attālos no atvēruma malas audzē kur veikta kopšana (a) un audzē kur nav veikta kopšana (b) (* šeit un turpmāk – negatīvs attālums no atvēruma malas apzīmē to, ka uzskaites laukums atrodas necirstajā audzes daļā)



a



b

5.3. attēls. Priedes un bērza 2000 koku uz ha (H_{2000}) vidējais augstums (\pm standartklūda) salīdzinājums četrus, desmit un piecpadsmit gadus pēc grupu ciršanas lānā dažādos attālumos no atvēruma malas audzē kur veikta kopšana (a) un audzē kur nav veikta kopšana (b)

5.3. Koksnes pieauguma un ciršanas apjoma attiecība ilgtermiņā

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

Pieauguma aprēķināšanai izmantotas sekojošas sakarības:

Caurmēra pieaugums 5 gadu (modificēts pēc Pukkala et al., 2012)

$$I_d = a_1 \cdot \exp(a_2 + a_3 \cdot \text{BAL}_{\text{citi}} + a_4 \cdot \text{BAL}_E + a_5 \cdot \ln(G) + a_6 \cdot \sqrt{d} + a_7 \cdot d^2 + a_8 \cdot I_{\text{bon}} + a_9 \cdot II_{\text{bon}} + a_{10} \cdot III_{\text{bon}}) \quad (5.1)$$

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

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

G – audzes šķērslaukums, m^2ha^{-1} ;

d - caurmēra pakāpes, cm;

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

Tabula 8.3. Koeficienti diametra pieauguma aprēķinam

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

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

Atmiršanas varbūtība p :

Eglei

$$p=1-1/(1+\exp(-(b_1+b_2*\sqrt{d})+b_3*\ln(G)+b_4*BAL_E)))^5 \quad (5.2)$$

Priedei, bērnam

$$p=1-1/(1+\exp(-(b_1+b_2*\sqrt{d})+b_3*(BAL_{citi}+BAL_E)))^5 \quad (5.3)$$

Tabula 8.4. Koeficienti atmiršanas varbūtības aprēķinam

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

Pieauguma un ciršanas apjoma modelēšanai izmantots matricu modelis.

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

Apalkoksnes apjomu sadalījumā pa sortimentu grupām modelē izmantojot prof. R.Ozoliņa izstrādāto stumbra veiduli un sortimentācijas algoritmu (Ozoliņš, 2002). Koku sadalījums pa caurmēra pakāpēm atsevišķos objektu grupās modelē balstoties uz reālo koku sadalījumu pa caurmēra pakāpēm parauglaukumos.

6. Kopšanas ciršu eksperimentālo parauglaukumu ierīkošana un sākotnējā uzmērīšana (pirms kopšanas) bērza un priedes audzēs (pieļaujams arī egļu audzēs)

Darba uzdevums. Ierīkojami 36 parauglaukumi 4 reģionos – Dienvidkurzemes, Ziemeļkurzemes, Austrumvidzemes un Vidusdaugavas trīs vecuma grupās: 20-30, 30 – 50 un 50 – 70 gados, katrā parauglaukumā ierīkojot 3-4 kopšanas ciršu intensitātes, “kopšanu no augšas” un kontroli. (Koku ciršanu parauglaukumos veic Pasūtītājs)

6.1. Objektu izvēle

No 2785 kopšanas ciršu nogabaliem sākotnēji atlasīti 516 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 516 nogabaliem atlasīti 213 nogabali (6.1. attēls), kam arī izveidotas kartes ar parauglaukumu izvietojumu nogabalā. Apsekojot dabā, vērtēts augšanas apstākļu viendabīgums, audzes sastāvs, biežība, reljefs, vēja bojājumi. Rezultātā no 213 nogabaliem kā derīgi atlasīti 83 nogabali. Dienvidkurzemē un Vidusdaugavā netika konstatētas pētījumam piemērotas zemo bonitāšu priežu audzes. Turklāt konstatēts, nevienmērīgs dažādu vecumgrupu bērzu un egļu audžu sadalījums pa mežsaimniecībā, piemēram, pētījumam piemērotās bērzu audzes vecumgrupā 21-30 gadi netika konstatētas Austrumvidzemē, bet to bija daudz Vidusdaugavā. Līdz ar to, lai aizpildītu matricu, tika pieņemts lēmums izdalīt divus reģionus – rietumu reģionu (Ziemeļkurzeme un Dienvidkurzeme) un austrumu reģionu (Vidusdaugava un Austrumvidzeme).

A-Vidzeme	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	5			5
P2	3	8	9	20
E	5		9	14
B	5	2	2	9
				48

V-Daugava	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	12			12
P2	3	4	2	9
E	11		8	19
B	11	7	2	20
				60

D-Kurzeme	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	6			6
P2	2	2	9	13
E	2		6	8
B	2	4	1	7
				34

Z-Kurzeme	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	7			7
P2	1	13	18	32
E	9		4	13
B	6	5	8	19
				71

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

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

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

6.2. 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;
- ✓ Krafra klasi;
- ✓ krūšaugstuma caurmēru ar 0,1 cm precizitāti;
- ✓ bojājumus (10.1. un 10.2. tabula).

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

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

6.1. 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

BOJĀJUMU VEIDS

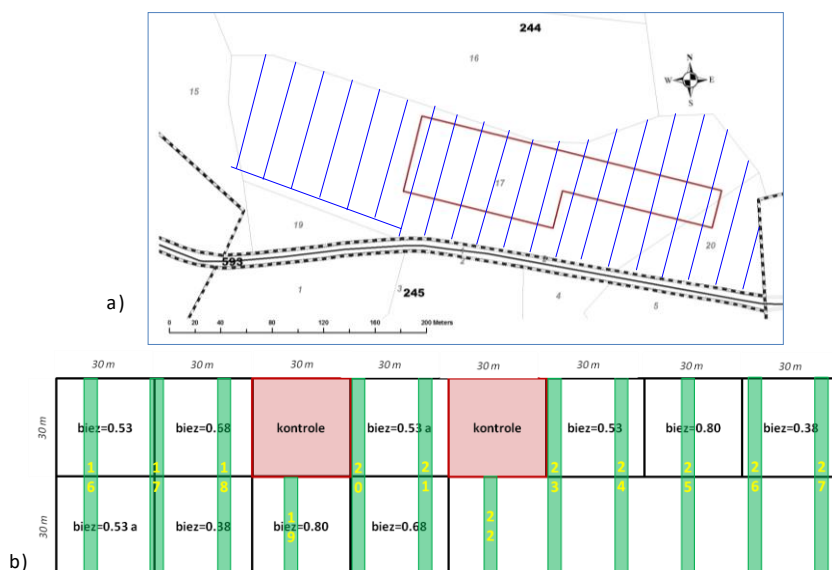
Kods	Skaidrojums
01	Vēzis
02X	Puni, augļķermeņi (021) un citi progresējušas sabrukšanas indikatori: mīksta koksne (022), plaisas (023), dobumi (024), vaļējas brūces, kas saskaras ar zemi (025)
03	Vaļējas brūces (bez mizas, bet bez redzamām trupes pazīmēm)
04	Sasveķojumi
11	Nolūzis stumbrs vai saknes 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 dzinumumi
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 parauglaukumiem (10.2. attēls).



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

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

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

- ✓ mērķa sugas koki;
- ✓ vienmērīgi izvietoti koki;
- ✓ I, II un III Krafta klases koki atbilstoši modeļos noteiktajām šķērslaukuma vērtībām pēc kopšanas;

- ✓ veseli koki ar labu pieaugumu;
- ✓ viengalotnes, mazzaraini, taisni koki bez padēliem;
- ✓ koki ar veselīgu vainaga skuojumu 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 cirtes paņēmieni "kopšana no augšas" ievēro iepriekš minētos principus, papildus izcērtot I Krafta klases kokus.

6.3. Ierīkoto objektu raksturojums

Kopā 2018. gadā ir ierīkoti 36 objekti (6.3. tabula). Ziemeļkurzemē ierīkoti 10 objekti, Dienvidkurzemē 5 objekti un Austrumvidzemē 11 objekti. Vidusdaugavā ierīkoti 10 objekti, no kuriem divos objektos (503-345-1, 509-201-11) ir nodastoti parauglaukumos esošie koki, bet nav uzmērīti koku augstumi. Savukārt vēl vienā Vidusdaugavas objektā (509-273-15) ir tikai nosprausta parauglaukuma shēma un vēl nav uzsākta parauglaukumu uzmērīšana. Šie iepriekš minētie trīs objekti līdz ar to nav iekļauti 10.3.tabulā. Pavisam kopā uzmērīti 362 parauglaukumi ar kopējo platību 32.58 hektāri, nodastoti 45260 koki, augstumi mērīti 3223 kokiem.

Pilnībā pabeigta ir parauglaukumu uzmērīšana visās mežsaimniecībās P augsto bonitāšu audzēs un E audzēs vecuma grupā 21-30 gadi un 31-50 gadi. Vismazāk objektu ir pārstāvēti priežu audzēs zemajās bonitātēs vecuma grupās 31-50 gadi (6.3. attēls), kā arī nav neviena objekta priežu audzēs vecuma grupā 21-30 gadi. Jo apsekojot dabā zemo bonitāšu priežu audzes, lielākā daļa audžu tika konstatētas ar augstāku bonitāti. Daļā atlasīto zemo bonitāšu priežu audžu (103-229-7; 105-142-8; 203-160-7) uzmērot parauglaukumus konstatēts, ka, lai gan daļā parauglaukumu bonitāte ir III, tomēr lielākajā daļā parauglaukumu bonitāte ir II, līdz ar to arī visa objekta bonitāte ir II.

Ierīkotajos objektos vidējā audzes biezība pirms ciršanas ir robežās no 0,64 līdz 1,26.

Z-Kurzeme	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	3	5	2	10
P2		3	6	9
E	3	3		6
B		3	1	4
				29

A-Vidzeme	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	3	3	4	10
P2		2	4	6
E	2	3		5
B	1	2	3	6
				27

D-Kurzeme	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	3	4	6	13
P2				0
E	3	3	2	8
B			1	1
				22

V-Daugava	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	4	3	3	10
P2				0
E	4	3	4	11
B	5	3	1	9
				30

Kopā	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	13	15	15	43
P2	0	5	10	15
E	12	12	6	30
B	6	8	6	20
				108

6.3. attēls. Ierīkto objekti sadalījumā pa reģioniem un vecuma grupām.

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

6.3. tabula

2018.gadā ierīkto objekti

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
AV	103_134_1	10	6.1	Sl	III	0.78	57	10P	15.5	15.7	24.9	195.4	1323	10P	8.4	9.0	0.2	1.3	43
AV	103_219_3	10	6.1	Sl	III	0.75	57	10P	16.4	16.7	24.5	201.1	1154	8P2E	8.4	8.6	0.1	0.5	17
AV	103_229_7	10	4.1	Sl	II	0.71	48	10P	14.3	15.0	22.2	168.0	1374	9P1E	7.5	10.0	0.1	0.7	29
AV	103_310_17	10	2.1	Mr	I	0.77	27	10P	11.1	11.7	22.0	138.9	2293						
AV	105_142_8	10	4.1	Sl	II	0.74	50	10P ats.E	14.4	16.1	23.7	193.6	1454	8P2E	6.1	8.7	0.2	1.2	66
AV	105_142_9	10	6.2	Sl	III	0.66	67	10P	17.6	16.9	21.6	178.8	890	10P	9.3	11.3	0.3	2.2	50
AV	105_396_6	10	6.1	Kp	II	0.70	47	10B ats.E	17.4	20.2	18.1	169.6	754	8E1B1G+L	11.5	8.2	0.4	2.0	43
AV	105_397_2	10	6.1	Ks	I	0.80	40	9B1E ats.A	15.0	18.8	19.7	175.9	1062	10E	11.3	9.4	0.9	5.1	89
AV	105_97_7	10	4.1	Vr	Ia	0.88	24	10E ats.P;Oz	14.4	12.6	22.2	146.7	1367						
AV	109_45_5	10	6.1	As	Ia	0.94	56	8B2E+M ats.A;P	20.5	26.4	29.3	350.8	849	8E2B+M ats.L	13.0	13.2	8.0	61.7	730
AV	110_238_5	10	4.1	Ln	Ia	0.94	28	10P+B;E	13.2	14.6	29.2	218.7	2202	9E1P+B	6.0	6.3	1.1	5.8	397
AV	111_58_2	10	6.1	Kp	Ia	0.88	24	8B1M1E ats.A	15.9	20.6	23.2	224.4	1144	8E2B ats.L;Os;M;K;G	9.5	8.0	3.1	17.3	472
DK	201_53_11	10	4.1	Ln	Ia	0.94	22	10P+Oz	16.3	12.8	27.9	179.3	1380	8Oz1E1Pl	6.5	5.6	0.1	0.2	18
DK	203_155_19	12	6.1	Mrs	I	1.18	37	10P	18.7	15.6	37.6	286.1	1367						
DK	203_160_7	10	4.1	Sl	II	0.77	37	10P	14.2	12.2	22.5	142.2	1428	10P+B	6.0	7.2	0.1	0.5	33
DK	208-4-4	10	4.1	As	II	0.91	51	10E+P ats.B;A	16.4	17.4	27.8	256.3	1298	10E+B	7.3	7.7	1.3	7.3	314
DK	212_16_13	10	6.1	Vr	Ia	1.15	57	10E ats.Bl	25.3	25.6	44.2	561.0	877						
VD	501_383_13	10	4.1	Vr	Ia	0.87	22	9B1A	14.3	20.6	23.0	224.1	1394	4B2Os2G1E1K+Oz ats.A;L;Bl	6.5	11.0	1.4	8.0	354
VD	501_400_5	10	4.1	Gr	Ia	0.86	25	10B+B;A ats.Os	13.9	19.3	21.7	195.5	1507	4B1Ba1L1Os1G1E1Bl ats.M	6.2	10.7	1.7	9.1	578
VD	502_226_3	10	4.1	Ap	Ia	1.02	28	10E+B ats.A;P;Bl	15.5	15.1	28.6	225.6	1614	10E+B ats.Ba;Bl;P;A	5.9	6.7	0.3	1.8	129
VD	504_300_5	10	4.1	Ln	Ia	0.80	26	10P ats.E;B	17.1	15.0	25.2	186.2	1150	7E1B1Oz1P ats.A	5.5	5.5	0.4	1.8	169
VD	506_151_38	10	6.1	Dm	Ia	0.93	54	10E	24.3	24.0	34.2	408.1	734	5E5L	11.5	13.4	0.3	1.9	38
VD	509_148_12	10	6.1	Ap	Ia	1.18	53	10E	28.0	26.8	46.6	606.5	754						
VD	509-255-16	10	6.1	Gr	Ia	1.04	37	10B ats.Bl	16.5	22.1	28.8	295.6	1342	6B2E1Os1Bl+L ats.K;Ba	7.6	13.5	0.8	4.9	159
ZK	702_106_16	10	4.1	Sl	IV	0.77	52	10P	11.1	10.7	21.5	126.4	2223	10P	6.5	6.5	0.3	1.1	78
ZK	702_118_10	10	6.1	Sl	IV	0.76	65	10P	16.6	14.8	23.9	176.7	1097						
ZK	703_14_17	10	4.1	Ln	Ia	0.77	29	10P ats.E;B	16.1	13.9	23.7	165.1	1204	6E3B1P ats.Oz	5.7	5.5	0.2	0.7	68
ZK	703_15_33	10	4.1	Dm	Ia	1.03	30	10P ats.B;Oz	17.9	16.1	33.0	259.7	1361	6Oz3B1E+P	6.8	7.9	0.4	1.8	116
ZK	703_276_10	10	4.1	Sl	III	0.67	37	10P	11.0	11.5	19.3	119.8	2042	9B1B+E	4.4	6.4	0.1	0.4	46
ZK	703_276_5	10	4.1	Sl	IV	0.64	50	10P	12.4	11.6	18.4	113.8	1526	9P1B	6.1	6.9	0.1	0.3	23
ZK	707_202_33	10	6.1	As	I	0.95	48	7B2E1M ats.Os	19.2	22.6	26.5	279.0	916	9E1M+B ats.Os	12.7	11.6	6.2	42.6	556
ZK	708_93_5	10	4.1	Sl	III	0.78	42	10P	13.5	12.7	23.2	153.3	1624	6P4B	8.5	8.5	0.1	0.5	23
ZK	712_135_15	10	6.1	As	Ia	1.01	28	10E	20.2	18.0	31.4	277.4	981						
ZK	712_169_6	10	4.1	As	Ia	1.26	30	10E+B ats.M	18.3	16.8	37.7	319.5	1440	9E1M	7.8	8.3	0.1	0.4	17

7. 2017. gadā ierīkoto kopšanas ciršu parauglaukumu pārmērīšana pēc mežizstrādes un parauglaukumu shēmu, raksturojošās informācijas sagatavošana

No 2017. gadā ierīkotajiem 26 objektiem, uz 25.01.2019. nav nocirsti 2 objekti Vidusdaugavā (501-149-1 un 501-149-2). Shēmas un raksturojošā informācija ir sagatavota par 14 objektiem. Dati atsevišķā pielikumā.

7.1. tabula

2017.gadā ierīkoto objektu taksācijas rādītāji

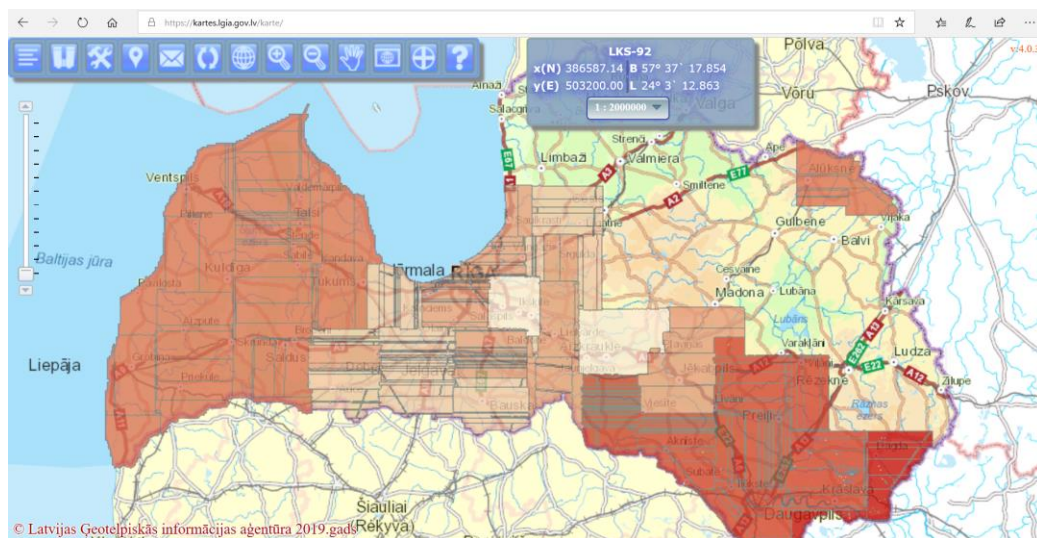
Mež-saimn.	Objekts	PL skaits	D min	MT	Bon	Biez	A	Sastāvs	D cm	H m	G m ² ha ⁻¹	M m ³ ha ⁻¹	N ha ⁻¹
AV	106-497-9	12	4.1	Mr	II	0.79	37	10P ats.B	13.0	14.0	24.3	175.5	1864
AV	109-84-7	8	2.1	SI	I	0.66	28	10P+B	10.5	11.3	18.8	116.2	2196
AV	110-74-1	10	6.1	Ks	I	0.77	48	10P ats.E	17.0	19.5	26.4	248.4	1164
AV	111-29-3	10	6.1	Kp	Ia	0.66	56	9B1A	22.7	28.0	21.5	275.9	520
AV	111-86-5	10	4.1	Dm	Ia	0.91	22	10E ats.B	15.4	13.9	24.3	175.3	1336
DK	201-473-25	10	4.1	Ln	Ia	0.81	26	10P ats.E	15.1	12.4	24.0	152.5	1358
DK	202-298-10	10	6.1	Mrs	II	0.77	67	10P	22.7	21.7	26.9	273.1	670
DK	207-15-6	12	6.1	Vr	Ia	1.22	36	10E	18.0	19.4	39.7	400.6	1569
DK	208-111-35	10	6.1	As	Ia	1.02	40	10E ats.P	20.1	19.9	33.6	338.4	1062
DK	213-479-6	10	6.1	Dm	II	0.87	54	8B2E+M ats.A	16.8	21.8	23.7	242.6	1001
VD	501-149-1	12	6.1	Vr	Ia	1.17	51	9E1B ats.Ba;A;Oz	20.2	23.6	42.9	530.2	1348
VD	501-149-2	12	4.1	Vr	Ia	1.19	26	10E ats.B	16.2	15.3	33.5	264.7	1679
VD	504-40-7	10	4.1	Dm	Ia	0.73	22	10P+E;Oz	15.7	12.8	21.7	141.5	1156
VD	505-176-13	10	4.1	Mr	I	0.68	28	10P ats.E	12.7	11.9	19.6	123.0	1559
VD	505-210-16	12	4.1	Dm	Ia	1.06	29	10E+ats.P	14.5	14.5	29.0	225.9	1755
VD	510-304-1	10	6.1	Kp	Ia	0.83	29	9B1M ats.E	15.7	21.0	22.2	218.0	1111
VD	510-356-13	10	4.1	Ap	Ia	0.85	30	10B+M;Ba	13.3	19.5	21.6	196.2	1554
VD	510-373-4	10	4.1	Dms	II	0.90	51	9B1M+BI	14.1	19.7	23.0	214.4	1463
ZK	703-407-7	10	4.1	SI	II	0.61	33	10P	11.7	10.9	17.0	100.3	1579
ZK	703-412-7	10	4.1	SI	II	0.71	44	10P	15.0	14.2	21.8	157.3	1228
ZK	705-450-9	10	6.1	Vrs	Ia	0.89	44	7B2M1E ats.Ba	18.5	24.5	26.5	296.1	998
ZK	707-10-8	10	4.1	As	II	1.14	32	7B3M+E	12.0	15.5	24.6	189.7	1976
ZK	708-256-16	10	4.1	As	Ia	1.07	25	10P+B	16.7	12.8	32.0	206.1	1560
ZK	708-262-12	12	6.1	Am	Ia	1.02	42	10P ats.E	22.3	19.4	34.8	318.8	882
ZK	711-15-3	12	4.1	As	Ia	0.97	28	9E1B ats.M;A;BI	14.0	14.7	26.9	211.5	2039

8. Vidējā augstuma aprēķins pirmajam stāvam, izmantojot LiDAR datus

Darba uzdevums - izveidot mežaudzes 1.stāva vidējā augstuma aprēķina modeli ArcGIS, izmantojot uz LĢIA LiDAR datiem veidotu CHM rastra slāni.

8.1. Problēmas pamatnostādnes

LĢIA LiDAR lauku datu ieguves kampaņa notiek laika posmā no 2013. līdz 2019. gadam. Uzlidējumi dažādās Latvijas vietās notikuši dažādos gados, bet arī dažādās sezonās, izmantojot dažādus sensorus un sensoru uzstādījumus. Ņemot vērā, ka daļā gadījumu skenēšana notikusi laikā, kad lapu koki ir bezlapotā stāvoklī, ticamākais, ka lāzerskenēšanas rezultāti ir ar sistemātisku kļūdu. CHM (Canopy height model) izveide no LAS datiem ir realizējama ar dažādām datorprogrammām, kā arī izmantojot dažādus uzstādījumus, tādēļ pat izmantojot vienus un tos pašus .las datus var iegūt atšķirīgus rezultātus.



8.1. attēls. Lāzerskenēšanas gads dažādās Latvijas teritorijas daļās

Konceptuālā pieeja balstīta uz sakarību starp virsaugstumu un vidējo augstumu, kas ir atkarīgs no koku sugas, koku dimensijām un koku skaita uz ha. Šī pētījuma kontekstā virsaugstums ir 100 lielāko vienmērīgi izvietotu koku uz ha vidējais augstums, pieņemot, ka virsaugstumam atbilstošs ir 100m² laukuma vienībā esoša lielākā koka augstums.

8.2. Materiāls un metodika

8.2.1. MSI datu atlase

ArcGIS 10.5 programmā atlasīti meža statistiskās inventarizācijas parauglaukumi, kuri atbilda sekojošiem nosacījumiem: uzmērīti no 2013. līdz 2017.g.; parauglaukums nav dalīts sektoros; zemes kategorija mežs vai mežs lauksaimniecības zemē; 1.stāva valdošās koku sugas vidējais augstums $H_{vid} \geq 5m$; 1.stāva valdošās un 1.stāva piemistrojuma sugu augstuma atšķirības nepārsniedz 5m vai 20% no H_{vid} .

8.2.2. LĢIA LAS datu atlase

Pētījumam izmantoti LVMI Silava rīcībā esošie LĢIA veidotie LAS faili, kā arī informācija par teritorijas lāzerskenēšanas datumu.

Datorprogrammā ArcGIS 10.5 ar funkciju LAS Point Statistics as Raster no LĢIA LiDAR .las datu failiem aprēķināti visu MSI parauglaukumu, par kuriem pieejami LiDAR dati, (n=2641) un to 6m buferzonas digitālā augstuma modeļi (DTM), izmantojot punktus, kas klasificēti kā “zeme”. Savukārt vainagu augstuma modeļa (CHM) rastra slānis aprēķināts kā starpība starp DTM un virsmas augstuma modeļa (DSM), balstot uz punktiem, kas klasificēti kā “zemā, vidējā vai augstā veģetācija”. Izvēlne Z_RANGE, sampling option CELLSIZE. Sampling Value – Sampling value. CHM slānis izrēķināts 2 variantos - 1m pikselis (1m²) kā starpība starp max. un min. vērtību un pēc tam pārrēķināts, izmantojot rīku “Aggregate” uz 10m pikseli (100m²) max no aprēķinātajām starpībām, vērtību noapaļojot uz veselu skaitli (integer). Pēc tam katram parauglaukumam (poligonam) aprēķināta, CHM rastra zonālā statistika (min., max, average, stdev utt.). Tāpat papildus katram poligonam aprēķināts CHM (1m) vērtību sadalījums 1m augstuma grupās. Katram MSI parauglaukuma poligonam ar funkciju “spatial join” piesaistīta LĢIA informācija (no .shp) par LiDAR skenēšanas datumu. Līdzīgi MSI parauglaukuma poligoniem līdz ar audzes I stāva taksācijas rādītājiem papildus pievienots lauks par MSI parauglaukuma pēdējo uzmērīšanas datumu (2013.-2017. gadā). Katram MSI parauglaukumam, aprēķināts pirmā stāva valdošā meža izmantojot sekojošu sakarību:

$$H_g = b_1 H_{dom}^{b_2} N^{b_3}, \text{ kur}$$

H_g = 1.stāva valdošās sugas vidējais augstums

H_{dom} – 1.stāva valdošās sugas virsaugstums

N – 1.stāva koku skaits

b_1, b_2, b_3 koeficienti, kuru vērtības atspoguļotas 8.1.tabulā.

8.1.tabula

Koeficientu vērtības virsaugstuma un vidējā augstuma sakarību aprēķinam

Suga	b1	b2	b3
Priede	1.09	1.03	-0.04
Egle	1.18	1.03	-0.06
Bērzs	1.20	1.02	-0.06
Melnalksnis	1.16	1.01	-0.04
Apse	1.05	1.04	-0.04
Baltalksnis	1.17	1.01	-0.04
Ozols	1.09	1.03	-0.04
Osis	1.18	1.03	-0.06

Izveidota datu bāze augstumu starpību aprēķinam starp MSI parauglaukumos uzmērīto vidējo augstumu, virsaugstumu un CHM datus konstatēto augstumu. Tālākajiem aprēķiniem izmantoti parauglaukumi, kuriem atšķirība starp uzmērīšanas laiku un LiDAR datu ieguves laiku nepārsniedz ±1sezonu (šādiem nosacījumiem atbilst 1021 MSI parauglaukums).

Datu analīze veikta izmantojot lineāro regresiju datorprogrammā SPSS14.

8.3. Rezultāti

8.3.1. Vispārējā sakarība starp CHM max vērtībām un aprēķināto virsaugstumu un vidējo augstumu

Salīdzinot maksimālās CHM vērtības MSI parauglaukumos ar 1.stāva uzmērīto vidējo augstumu un aprēķināto virsaugstumu (skat. 8.2.tabula), konstatēts, ka visām sugām uzmērītais koku augstums ir sistemātiski lielāks nekā augstums, kas noteikts kā CHM maksimālā vērtība četriem MSI parauglaukumam atbilstošu 10x10m pikseliem. Lai arī formāli

CHM būtu jāatbilst virsaugstumam, tomēr konstatēts, ka vidējais augstums ir tuvāks CHM vērtībai.

Salīdzinot CHM vērtības, kas iegūtas no pavasarī (līdz aprīļa beigām) un rudenī (oktobrī vai vēlāk) iegūtiem LiDAR datiem, t.i., situācijā, kad lielākā daļa lapu koki ir bezlapotā stāvoklī atšķirības ir vēl ievērojamākas. Piem., bērzu parauglaukumos uzņēmātais H_{vid} ir vidēji 2.3m lielāks par CHM nekā lapotā stāvoklī, kad atšķirība starp CHM un vidējo augstumu ir 1.4m.

8.2.tabula

Virsaugstuma un vidējā augstuma sakarības ar CHM*

Suga	Rādītājs	Kopējais				Nelapotā stāvoklī				Lapotā stāvoklī			
		Vidējais	SDEV	n	H starpība ar CHM	Vidējais	SDEV	n	H starpība ar CHM	Vidējais	SDEV	n	H starpība ar CHM
Priede	Hdom	22.4	6.9	412	2.71	21.8	7.7	172	2.76	22.8	6.2	240	2.67
	CHM_MAX10	19.7	6.9		0.0	19.0	7.7		0.0	20.1	6.2		0.0
	H_VID	21.1	6.8		1.47	20.6	7.7		1.55	21.5	6.1		1.41
Egle	Hdom	22.9	6.6	176	3.49	23.4	6.7	88	3.49	22.3	6.5	88	3.49
	CHM_MAX10	19.4	7.2		0.0	20.0	7.3		0.0	18.8	7.1		0.0
	H_VID	20.6	6.4		1.20	21.1	6.5		1.19	20.0	6.3		1.22
Bērzs	Hdom	23.1	7.1	265	4.43	22.6	7.8	115	4.75	23.4	6.4	150	4.19
	CHM_MAX10	18.6	7.3		0.0	17.9	8.4		0.0	19.2	6.3		0.0
	H_VID	20.4	6.8		1.80	20.2	7.6		2.28	20.7	6.1		1.43
Melnalksnis	Hdom	21.3	6.6	51	3.06	23.0	4.5	14	3.89	20.6	7.2	37	2.75
	CHM_MAX10	18.2	6.2		0.0	19.1	3.9		0.0	17.9	6.9		0.0
	H_VID	19.8	6.3		1.63	21.6	4.5		2.46	19.2	6.8		1.32
Apse	Hdom	25.0	9.4	65	4.15	24.6	9.4	34	4.40	25.4	9.6	31	3.88
	CHM_MAX10	20.8	9.7		0.0	20.2	9.9		0.0	21.5	9.6		0.0
	H_VID	23.8	9.7		2.99	23.4	9.8		3.24	24.2	9.8		2.72
Baltalksnis	Hdom	16.6	4.7	52	1.33	17.1	4.2	22	1.49	16.2	5.1	30	1.21
	CHM_MAX10	15.3	4.9		0.0	15.6	4.3		0.0	15.0	5.4		0.0
	H_VID	15.2	4.6		-0.08	15.8	4.1		0.16	14.8	4.9		-0.26

* Aprēķinos pieņemts, ka bezlapotā stāvoklī (leaves=off) lapu koki ir no oktobra līdz aprīlim.

8.3.2. Regresijas vienādojums CHM max vērtībām un un vidējo augstumu aproksimācijai

Vidējā augstuma sakarības (regresijas vienādojumu koeficienti) ar CHM atkarībā no valdošās koku sugas un LiDAR skenēšanas sezonas (veģetācijas periodā vai ārpus veģetācijas perioda), kas aprēķinātas kā pakāpes funkcija, atspoguļotas 8.3.tabulā.

8.3.tabula

Vidējā augstuma pakāpes regresijas koeficienti sakarības ar CHM atkarībā no valdošās koku sugas un LiDAR skenēšanas sezonas (veģetācijas periodā vai ārpus veģetācijas perioda)*

Variants	Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
a. VALD_SU = 1, LEAVES = off	ln(CHM_MAX10)	.882	.017	.971	52.247	.000
	(Constant)	1.514	.074		20.370	.000
a. VALD_SU = 1, LEAVES = on	ln(CHM_MAX10)	.866	.018	.953	48.001	.000
	(Constant)	1.601	.086		18.633	.000
a. VALD_SU = 3, LEAVES = off	ln(CHM_MAX10)	.789	.036	.922	21.800	.000
	(Constant)	2.000	.215		9.305	.000
a. VALD_SU = 3, LEAVES = on	ln(CHM_MAX10)	.809	.040	.911	20.036	.000
	(Constant)	1.854	.220		8.445	.000
a. VALD_SU = 4, LEAVES = off	ln(CHM_MAX10)	.831	.031	.938	26.855	.000
	(Constant)	1.757	.158		11.147	.000
a. VALD_SU = 4, LEAVES = on	ln(CHM_MAX10)	.831	.030	.920	27.778	.000
	(Constant)	1.767	.156		11.351	.000
a. VALD_SU = 6, LEAVES = off	ln(CHM_MAX10)	.745	.183	.761	4.064	.002

	(Constant)	2.382	1.283		1.857	.088
a. VALD_SU = 6, LEAVES = on	ln(CHM_MAX10)	.924	.050	.954	18.502	.000
	(Constant)	1.327	.190		7.001	.000
a. VALD_SU = 8, LEAVES = off	ln(CHM_MAX10)	.813	.051	.945	15.873	.000
	(Constant)	2.028	.311		6.530	.000
a. VALD_SU = 8, LEAVES = on	ln(CHM_MAX10)	.923	.055	.956	16.921	.000
	(Constant)	1.418	.238		5.969	.000
a. VALD_SU = 9, LEAVES = off	ln(CHM_MAX10)	.871	.129	.833	6.736	.000
	(Constant)	1.434	.505		2.838	.010
a. VALD_SU = 9, LEAVES = on	ln(CHM_MAX10)	.967	.095	.901	10.153	.000
	(Constant)	1.104	.284		3.885	.001

* Aprēķinos pieņemts, ka bezlapotā stāvoklī (leaves=off) lapu koki ir no oktobra līdz aprīlim.

Nemot vērā nelielo melnalkšņu parauglūkumu skaitu, iespējams, ka tā aprēķiniem izmantojami baltalkšņa vienādojumu koeficienti.

8.4. Priekšlikums modelim

Vispārējā piedāvātā nogabalu vidējā augstuma aprēķinu shēma:

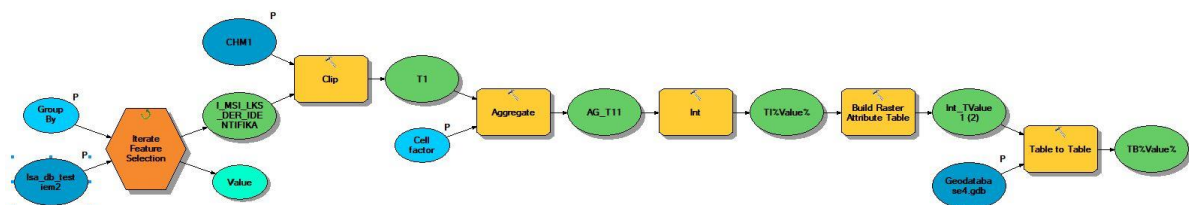
1.solis. CHM aprēķins (izmantojot .las datus) 2x2m pikseļa rastra karte (pa 1x1km vai 5x5km karšu lapām).

2.solis. Nelogisko vērtību (CHM>45m) aizstāšana ar 0.

3.solis. CHM (max) pārrēķināšana uz 10x10m pikselim no 2.solī iegūtās rastra kartes, izmantojot funkciju Aggregate (maximum).

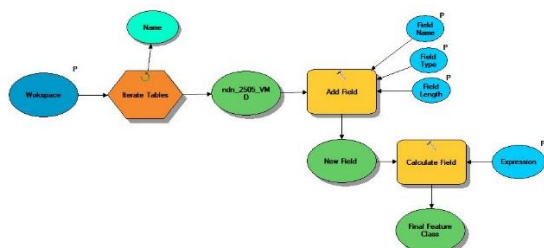
4.solis. CHM pikseļu (10x10m) vērtību sadalījums pa augstumiem tabulas aprēķins i nogabalam (toolbox).

Augstumu sadalījumu ģenerēšana

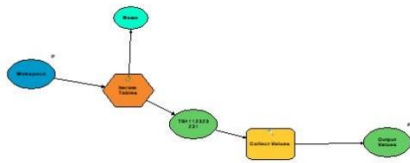


5.solis. Šķērstabulas (pivottable) izveide ArcGIS vidē

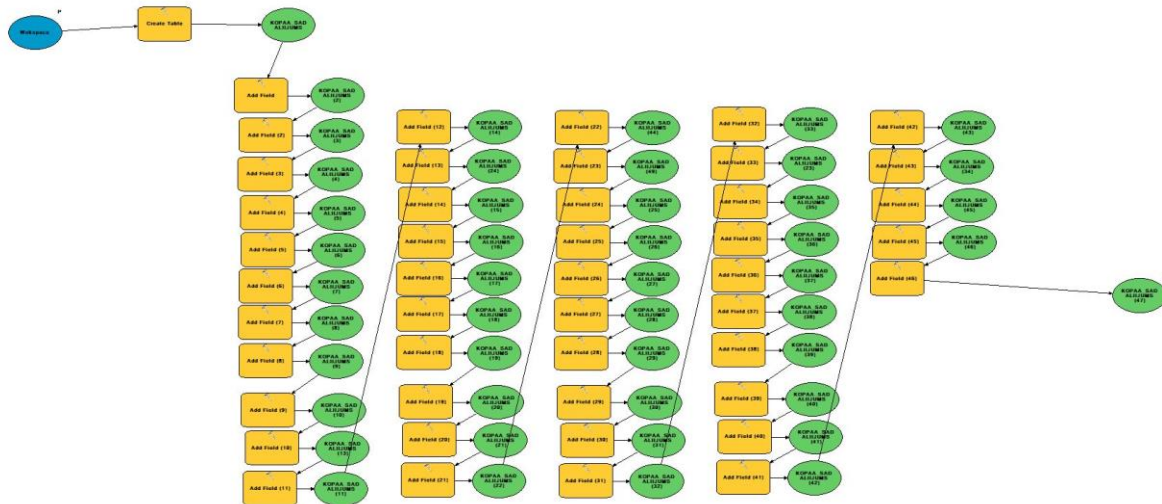
Izveidot tabulu nosaukumus



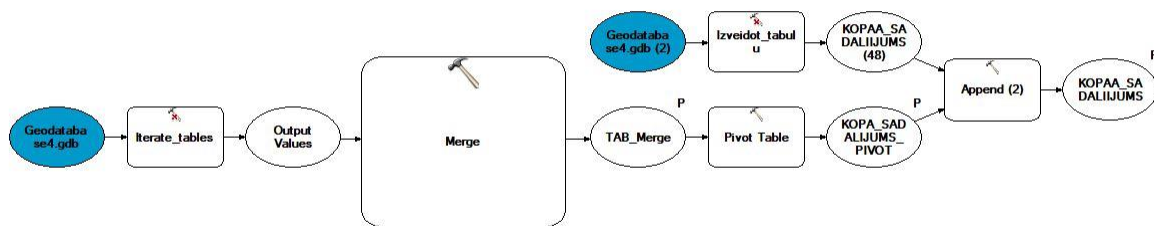
Iterēt tabulu izveidi



Tabulas izveide



Apvienot tabulas un izveidot šķērstabulu



6. solis. i-tā nogabala CHM augstumu sadalījuma kumulātas izveide no šķērstabulas datiem un 95% vērtībai atbilstošā augstuma aprēķināšana. (Realizējama datubāzē).

7.solis. Nogabalu poligonu sasaiste ar atribūtu datiem par lāzerskenēšanas datumu.

8.solis. Vidējā augstuma aprēķins atkarībā no S10 un CHM 95% kumulātas vērtībai atbilstošā augstuma un uzmērīšanas sezonas (veģetācijas periodā vai ārpus veģetācijas perioda) lāzerskenēšanas laikā.

$H_{vid} = \text{const} * CHM^{c2}$

Atbilstošie regresijas vienādojuma koeficienti constant un $\ln(CHM_MAX10)$ atspoguļoti 8.3. tabulā.

9.solis. Aprēķinātā vidējā augstuma skenēšanas laikā pievienošana datu bāzei.

Modeļa prototips izveidots uz lokāliem datiem Desktop ArcGIS 10.5 versijā. Tā izmantošanai LVM vajadzībām, nepieciešama atbilstoša pielāgošana LVM datu bāžu struktūrai.

9. Vidējā augstuma pieauguma aprēķina modelis

Darba uzdevums izveidot modeli ArcGIS, kurā, ņemot vērā aprēķina datumu un LiDAR datu iegūšanas datumu, kombinējot ar GEO doto valdošās koku sugu kodu un vecumu, prognozē augstuma pieaugumu 2. darba uzdevuma ietvaros aprēķināto 1.stāva koku vidējo augstumu.

Modelis izmantojams audzēm, kas skenēšanas laikā bija augstākas par 5m un nav nocirstas laika posmā starp skenēšanu un aktuālo datu bāzes versijas izstrādes brīdi.

1. Solis. Nogabala poligona vidējā augstuma aprēķins lāzerskenēšanas brīdī, izmantojot 8.nodaļā aprakstītās regresijas vienādojumu sakarības.
2. Solis. Laika posma, kopš LiDAR datu ieguves (aktualizācijas perioda garuma) aprēķins – veģetācijas periodu skaita starpība starp tekošo datumu un lāzerskenēšanas datumu.
3. Solis. Audzes vecuma aprēķins lāzerskenēšanas laikā.
Vecums aprēķinu veikšanas brīdī - laika posma garums (veģetācijas periodu skaits).
4. Solis. Nogabala valdošās sugas krūšaugstuma vecuma aprēķins lāzerskenēšanas laikā.

Starpība starp $A_{1.3}$ (krūšaugstuma vecumu) un A (bioloģisko vecumu) valdošajai sugai (kods A10) nosakāma atkarībā no koku sugas (S10) un audzes bonitātes (0-6).

Suga	Bon	s-b	ΔA
1	0	1-0	4
1	1	1-1	5
1	2	1-2	7
1	3	1-3	9
1	4	1-4	12
1	5	1-5	17
1	6	1-6	22
3	0	3-0	6
3	1	3-1	8
3	2	3-2	10
3	3	3-3	12
3	4	3-4	14
3	5	3-5	18
3	6	3-6	22
4	0	4-0	3
4	1	4-1	3
4	2	4-2	4
4	3	4-3	4
4	4	4-4	5
4	5	4-5	5
4	6	4-6	5
6	0	6-0	3
6	1	6-1	3
6	2	6-2	4
6	3	6-3	4
6	4	6-4	5
6	5	6-5	5
6	6	6-6	5
8	0	8-0	2
8	1	8-1	2
8	2	8-2	2
8	3	8-3	2
8	4	8-4	2

8	5	8-5	2
8	6	8-6	2
9	0	9-0	2
9	1	9-1	2
9	2	9-2	2
9	3	9-3	2
9	4	9-4	2
9	5	9-5	2
9	6	9-6	2
10	0	10-0	4
10	1	10-1	5
10	2	10-2	7
10	3	10-3	9
10	4	10-4	12
10	5	10-5	17
10	6	10-6	22
11	0	11-0	3
11	1	11-1	4
11	2	11-2	5
11	3	11-3	6
11	4	11-4	7
11	5	11-5	8
11	6	11-6	9

5. Solis. Vidējā augstuma aktualizācija izmantojot 2.darba uzdevumā aprēķinātos 2.1. formulas atbilstošo sugu koeficientus.

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

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

kur H_2 – valdošās koku sugas vidējais augstums aktualizācijas perioda beigās, m;
 H_1 – valdošās koku sugas vidējais augstums aktualizācijas perioda sākumā, m;
 A_1 – valdošās koku sugas vecums 1.3 m augstumā aktualizācijas perioda sākumā, gadi;
 A_2 – valdošās koku sugas vecums 1.3 m augstumā aktualizācijas perioda beigās, gadi;
 α_{1-3} – koeficienti.

Excel formātā

$1.3 + A_2^{\alpha_1} / (a_2 + 100 * a_3 * ((A_1^{\alpha_1} / (H_1 - 1.3) - a_2) / (100 * a_3 + A_1^{\alpha_1})) + ((A_1^{\alpha_1} / (H_1 - 1.3) - a_2) / (100 * a_3 + A_1^{\alpha_1})) * A_2^{\alpha_1})$

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

Suga	α_1	α_2	α_3
Priede	1.09224	-48.29524	26.75901
Egle	1.14321	-47.33088	26.62589
Bērzs	1.15009	-35.85197	17.54164
Melnalksnis	1.19645	-36.40651	16.75532
Apse	1.18529	-23.94582	12.61583
Baltalksnis	1.33550	-17.69779	6.71405

Literatūra

- Donis J. (projekta vad.), (2016) Augšanas gaitas modeļu pilnveidošana. Pārskats. 113 lpp:
Pieejams
https://www.lvm.lv/images/lvm/Auganas_gaitas_modei_starpatskaite_2016.pdf
- Donis J., Šņepsts G., Zdors L., (2017). Augšanas gaitas modeļu pilnveidošana. Pētījumu
projekta pārskats. 95 lpp.: Pieejams
[https://www.lvm.lv/images/lvm/Petijumi_un_publicijas/
Petijumi/agm_lvm_starpatskaite_3etaps.pdf](https://www.lvm.lv/images/lvm/Petijumi_un_publicijas/Petijumi/agm_lvm_starpatskaite_3etaps.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
- Кивисте А.К. (1988) Функции роста леса учебно-справочное пособие (приложении).
Тарту. ст. 172.

Pielikums 1. Vienādojumu atbilstības izvērtēšanas statistiskie rādītāji

Vidējā novirze (Mean Residual)

$$MRES = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad (1)$$

Procentuālā vidējā novirze (Mean Residual as %)

$$MRES\% = \frac{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)}{n}}{\bar{y}_i} 100 \quad (2)$$

Vidējā absolūtā novirze (Absolute Mean residual)

$$AMRES = \frac{\sum|y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad (3)$$

Standartnovirze (Root mean square error)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 1 - p}} \quad (4)$$

Variācijas koeficients (Root mean square error as %)

$$RMSE\% = \frac{\sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 1 - p}}}{\bar{y}_i} 100 \quad (5)$$

Vidējā kvadrātiskā kļūda (Mean square error)

$$MSE = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p} \quad (6)$$

Modeļa efektivitāte (Model efficiency)

$$MEF = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (7)$$

Dispersijas attiecība (Variance ratio)

$$VR = \frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2}{\sum(y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (8)$$

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

Pielikums 2. Atsevišķa meža elementa augšanas gaitas modeļos izmantojamie koeficienti

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

Suga	α_1	α_2	α_3
Priede	1.09224	-48.29524	26.75901
Egle	1.14321	-47.33088	26.62589
Bērzs	1.15009	-35.85197	17.54164
Melnalksnis	1.19645	-36.40651	16.75532
Apse	1.18529	-23.94582	12.61583
Baltalksnis	1.33550	-17.69779	6.71405
Egle 2. stāvs	1.00033	-48.31077	27.31166

Meža elementa virsaugstums (2.1. formula)

Suga	α_1	α_2	α_3
Priede	1.10039	-50.99420	24.94103
Egle	1.30854	-51.50511	22.86023
Bērzs	1.44725	-48.36806	19.27172
Melnalksnis	1.42846	-40.03084	14.44467
Apse	1.38591	-58.57980	28.53968
Baltalksnis	1.22743	-7.21183	2.62208

Meža elementa vidējais kvadrātiskais caurmērs (2.2. formula)

Suga	α_1	α_2	α_3	β_1	β_2	β_3
Priede	0.73690	-2.54364	3.10507	83570	-1.366	-0.069
Egle	0.89860	-9.63782	6.70293	103106	-1.381	-0.103
Bērzs	0.82454	-2.43892	1.68886	144400	-1.357	-0.302
Melnalksnis	0.91177	-1.97684	1.15962	197511	-1.314	-0.339
Apse	1.10429	-1.38699	1.84542	197511	-1.314	-0.339
Baltalksnis	0.95750	-2.10653	0.70796	197511	-1.314	-0.339
Egle 2. stāvs	0.66811	-10.45544	5.21553			

Meža elementa šķērslaukums (2.3. – 2.4. formulas)

Suga	2.3. formula						2.4. formula		
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_1	α_2	α_3
Priede	0.0805	-0.0645	-0.2200	0.7131	-0.2902	0.1333	0.018	-0.011	12.015
Egle	0.1353	-0.1200	13.0356	0.7991	-0.1487	0.0732	0.028	-0.021	12.574
Bērzs	0.2366	-0.3164	-4.4259	0.5185	-0.2692	0.1413	0.051	-0.069	8.817
Melnalksnis	0.2292	-0.3668	14.5517	0.6830	-0.1753	0.0215	0.059	-0.085	3.363
Apse	0.3706	-0.4337	-14.2582	0.6692	-0.3039	0.1672	0.057	-0.067	12.136
Baltalksnis	0.4966	-1.4401	0.2507	0.3722	-0.2253	0.0517	0.069	-0.165	6.292

Meža elementa maksimālais šķērslaukums (2.5. – 2.6. formulas)

Suga	2.5. formula			2.6. formula	
	α_1	α_2	α_3	α_1	α_2
Priede	63.459	13.466	1.514	41.083	0.0762
Egle	56.984	9.337	-1.703	42.618	0.0733
Bērzs	44.214	6.02	-1.377	47.895	0.0371
Melnalksnis	50.016	9.27	1.872	43.517	0.0698
Apse	55.631	5.971	-1.495	47.572	0.0497
Baltalksnis	39.013	3.965	-2.042	41.141	0.0739