



AS „LATVIJAS VALSTS MEŽI” pasūtītā pētījuma

AUGŠANAS GAITAS MODEĻU PILNVEIDOŠANA

1. etapa STARPATSKAITE

LĪGUMA NR.: 5-5.9_00uy_101_15_284

IZPILDES LAIKS: 22.12.2015. - 01.02.2016.

IZPILDĪTĀJS: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”

Projekta vadītājs: _____
Jānis Donis

Salaspils, 2016

Kopsavilkums

AS „LATVIJAS VALSTS MEŽI” pasūtītā pētījuma Augšanas gaitas modeļu pilnveidošana

1. etapa starpatskaite

Līguma Nr.: 5-5.9_00uy_101_15_284

Izpildes laiks: 22.12.2015. - 01.02.2016.

Izpildītājs: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”.

Projekta vadītājs: J. Donis.

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

Atbilstoši metodikai 1.etapā paredzēti sekojoši darba uzdevumi:

1.darba uzdevums **Augšanas gaitas modeļu pilnveidošanai nepieciešamo 2014. gada meža statistiskās inventarizācijas datu sagatavošana.**

Meža statistiskās inventarizācijas (MSI) parauglaukumu datu bāzē atlasīti un MS Excel datorprogrammā ievadīti dati par 814 atkārtoti 2014. gadā pārmērītajiem parauglaukumiem. Sākotnējie parauglaukumu 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).

2.darba uzdevums **Literatūras izvērtējums par augšanas gaitas modeļiem Igaunijā, Lietuvā, Zviedrijā un Somijā.**

Apkopota informācija par Igaunijā, Lietuvā, Zviedrijā un Somijā pašreiz lietotajiem augšanas gaitas prognožu modeļiem, kas paredzēti mežaudzes augstuma, caurmēra, šķērslaukuma, koku skaita un krājas prognozēšanai. Izvērtējot šo valstu augšanas gaitas modeļus, jāsecina, ka atsevišķu koku augšanas gaitas modeļi salīdzinājumā ar audžu līmeņa augšanas gaitas modeļiem ir piemērotāki mistrotu audžu augšanas gaitas modelēšanai, tomēr tie ir daudz komplicētāki un prasa lielāku laiku un darba ietilpību.

Igaunijā un Lietuvā augšanas gaitas prognožu modeļi paredzēti audzes taksācijas rādītāju prognozēšanai. Igaunijas un Lietuvas augšanas gaitas modeļi nav potenciāli labāki par iepriekš Latvijā izstrādātajiem augšanas gaitas modeļiem, tādēļ šos modeļus nav paredzēts izmantot turpmākajos pētījumos.

Somijā lietotie augšanas gaitas prognožu modeļi paredzēti atsevišķu koku taksācijas rādītāju prognozēšanai. Zviedrijā lietotie augšanas gaitas prognožu modeļi paredzēti gan audzes, gan atsevišķu koku taksācijas rādītāju prognozēšanai. Zviedrijas un Somijas atsevišķu koku augšanas gaitas modeļi ir potenciāli labāki par iepriekš Latvijā izstrādātajiem augšanas gaitas modeļiem, līdz ar to būtu nepieciešams turpmākajos pētījumos, balstoties uz Zviedrijas un Somijas modeļiem, izstrādāt atsevišķu koku augšanas gaitas modeļus Latvijai.

Tā kā projekta laikā būs pieejami jau 3. cikla (10 gadu perioda) MSI dati, tad balstoties uz garāku MSI parauglaukumu pārmērījumu laika rindu, turpmākajos pētījumos būtu nepieciešams jau iepriekš Latvijā izstrādāto modeļu (Donis, 2015) precizēšana.

3.darba uzdevums **Dažādvecuma audzēs iepriekš ierīkoto parauglaukumu pārmērīšana (10 objekti).**

Audzēs telpiskās struktūras raksturošanai pārmērīti 2006.-2012. gadā iekārtotie 10 objekti, kuros izlases vai pakāpeniskās cirtes pirmais paņēmieni (vai kopšanas cirte ar mērķi panākt pirms atjaunošanos) veikts laika periodā no 2002. līdz 2009. gadam. Šajos objektos iepriekšējās kokaudzes struktūra atkārtoti novērtēta 64 parauglaukumos (500 m²; R=12,62 m) un veikta atjaunošanās uzskaitē 192 uzskaites laukumos (25 m²; R=1,82 m).

Summary

Study commissioned by JSC "LATVIAN STATE FORESTS".

Title "Improvement of the growth models".

Phase 1 interim report.

Article NO.: 5-5.9_00uy_101_15_284

Lead Time: 12/22/2015. - 01.02.2016.

Performer: Latvian State Forest Research Institute "Silava".

Research project leader: J. Donis.

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

Tasks according to the methodology of 1st stage:

Task 1. Preparation of NFI 2014 data for growth and yield model improvement.

From NFI database were selected 814 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 cycles of 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. Literature review of the growth model in Estonia, Lithuania, Sweden and Finland.

Summarized information on currently used growth models in Estonia, Lithuania, Sweden and Finland. Modeled parameters - stand height, diameter, basal area, number of trees and yield. In assessing analyzed growth models, it appears that individual tree growth models are superior to stand level growth models and therefore are more suitable for modeling of the growth of mixed stands, but they are much more complex and require more time and work capacity.

Estonia and Lithuania, for growth projections designed stand level models. Estonian and Lithuanian growth models are not potentially better than previously developed Latvian forest growth models, so these models are not designed to be used in future studies.

Finland used the growth forecasting models designed for individual trees. Sweden used for growth projections for both the stand and individual tree inventory indicators forecasting. Sweden and Finland individual tree growth models are potentially better than previously Latvian developed growth models, so it would be necessary in future studies, based on the Swedish and Finnish models, develop individual tree growth models for Latvia.

To provide consecutiveness of modelling approaches further research would be necessary for clarification of previously developed Latvian models (Donis, 2015) based on 10 year period NFI data.

Task 3. Re-measurement of previously installed sample plots in uneven-aged stands (10 objects).

Re-measurements of stand spatial structure characterization are carried out in stands managed by selective cutting or shelterwood cutting is carried out during the period from 2002 to 2009. Previous measurements were carried out in 2006 till 2012.) Stand structure was re-evaluated in 64 plots (500 m² R = 12.62 m) and as well performed regeneration accounting in 192 sample plots (25 m²; R = 1.82 m).

Saturs

KOPSAVILKUMS	2
SUMMARY	3
IEVADS.....	5
1. MSI DATU ATLASE, IEVADE UN PRIMĀRO DATU APRĒKINS	6
2. LITERATŪRAS IZVĒRTĒJUMS PAR LIETOTAJIEM AUGŠANAS GAITAS MODEĻIEM IGAUNIJĀ, LIETUVĀ, ZVIEDRIJĀ UN SOMIJĀ	7
2.1. IGAUNIJA	7
2.1.1. Augstuma augšanas gaitas modeļi.....	7
2.1.2. Caurmēra augšanas gaitas modeļi	7
2.1.3. Šķērslaukuma izmaiņu modeļi	8
2.1.4. Koku skaita izmaiņu modeļi	9
2.1.5. Krājas izmaiņas modeļi	10
2.1.6. Augšanas gaitas modeļu lietošana	11
2.2. LIETUVA	11
2.2.1. Augstuma augšanas gaitas modeļi.....	11
2.2.2. Caurmēra augšanas gaitas modeļi	12
2.2.3. Šķērslaukuma izmaiņu modeļi	13
2.2.4. Koku skaita izmaiņu modeļi	13
2.2.5. Krājas izmaiņu modeļi.....	14
2.2.6. Atmiruma modeļi.....	14
2.2.7. Augšanas gaitas modeļu lietošana	15
2.3. ZVIEDRIJA	15
2.3.1. Augstuma augšanas gaitas modeļi.....	15
2.3.2. Caurmēra augšanas gaitas modeļi	16
2.3.3. Šķērslaukuma izmaiņas modeļi.....	17
2.3.4. Atmiruma modeļi.....	18
2.3.5. Koku sadalījuma modelēšana	19
2.3.6. Augšanas gaitas modeļu lietošana	20
2.4. SOMIJA	20
2.4.1. Augšanas gaitas modeļiem nepieciešamie papildus rādītāji	20
2.4.2. Augstuma augšanas gaitas modeļi.....	22
2.4.3. Caurmēra augšanas gaitas modeļi	22
2.4.4. Atmiruma modeļi.....	24
2.4.5. Augšanas gaitas modeļu lietošana	26
2.5. AUGŠANAS GAITAS MODEĻU IZVĒRTĒJUMS.....	26
3. DAŽĀDVECUMA AUDŽĒS IEPRIEKŠ IERĪKOTO PARAUGLAUKUMU PĀRMĒRĪŠANA.....	27
3.1. LAUKU DARBU METODIKA.....	27
3.2. REZULTĀTI	28
SECINĀJUMI UN REKOMENDĀCIJAS	30
LITERATŪRA.....	31

Ievads

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

Atbilstoši metodikai 1.etapā paredzēti sekojoši darba uzdevumi:

- 1.darba uzdevums Augšanas gaitas modeļu pilnveidošanai nepieciešamo 2014. gada meža statistiskās inventarizācijas datu sagatavošana.
- 2.darba uzdevums Literatūras izvērtējums par augšanas gaitas modeļiem Igaunijā, Lietuvā, Zviedrijā un Somijā.
- 3.darba uzdevums Dažādvecuma audzēs iepriekš ierīkoto parauglaukumu pārmērīšana (10 objekti).

1. MSI datu atlase, ievade un primāro datu aprēķins

Meža statistiskās inventarizācijas (MSI) parauglaukumu datu bāzē atlasīti un MS Excel datorprogrammā ievadīti dati par 814 atkārtoti 2014. gadā pārmērītajiem parauglaukumiem, kas tālāk izmantojami 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).

Katrā parauglaukumā aprēķināti visu trīs ciklu mežaudzes, katra atsevišķa mežaudzes stāva un katra atsevišķa mežaudzes elementa galvenie taksācijas rādītāji (vecums, vidējais kvadrātiskais caurmērs un tam atbilstošais augstums, šķērslaukums, krāja un koku skaits) kā arī izcirstās un atmirušās koksnes apjoms (krāja). Atlasīto un ievadīto MSI parauglaukumu sadalījums pa 3. ciklā konstatētajām valdošajām koku sugām un meža tipiemi un vecuma desmitgadēm atspoguļots 1.1.-1.2. tabulās.

1.1. tabula

Parauglaukumu sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām un meža tipiemi

Meža tips	2004. gads									2014. gads								
	P	E	B	M	A	Ba	Citi	Izcirt.	Kopā	P	E	B	M	A	Ba	Citi	Izcirt.	Kopā
Sl	14								14	14								14
Mr	33		2						35	32		2					1	35
Ln	28	1	1					1	31	27	2	2						31
Dm	75	18	18		5	3		6	125	65	19	30		5	2		4	125
Vr	2	46	38	5	24	26	4	1	146	2	42	35	3	32	24	4	4	146
Gr		4	11	1	3	9	6	1	35	1	3	10	1	7	10	3		35
Gs			1						1			1						1
Mrs	16	3	5						24	16	2	5					1	24
Dms	17	12	4					2	35	15	13	5			1		1	35
Vrs		7	12		4	1		1	25		6	14		3	2			25
Grs			2	1					3			2	1					3
Pv	28		1						29	27		2						29
Nd	18	2	7	1	1				29	18	2	7	1	1				29
Db		1	14	9		3	1	1	29		2	14	10		2	1		29
Lk				2					2				2					2
Av									0									0
Am	13	1							14	13				1				14
As	21	30	28	2	6	1		1	89	16	28	27	5	8	1	1	3	89
Ap		5	7	5	6	5	3	1	32		6	7	5	7	4	2	1	32
Kv	2								2	2								2
Km	16		6						22	16		5					1	22
Ks	20	13	34	3	1	1		1	73	20	13	33	3	2	1		1	73
Kp		3	5	10		1			19		2	6	9	1	1			19
Kopā	303	146	196	39	50	50	14	16	814	284	140	207	40	67	48	11	17	814

1.2. tabula

Parauglaukumu sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām un vecuma desmitgadēm

A 10-gade	2004. gads									2014. gads								
	P	E	B	M	A	Ba	Citi	Izcirt.	Kopā	P	E	B	M	A	Ba	Citi	Izcirt.	Kopā
0								16	16								17	17
1	5		10	1	15	6			37	9	11	22	3	16	7	2		70
2	7	7	17	2	3	8	1		45	4	2	14	1	11	4			36
3	9	20	12	4	2	10	2		59	8	7	14	3	4	9	1		46
4	16	31	33	5		14	1		100	10	19	12	4	5	7	3		60
5	25	16	36	8	13	8	1		107	15	28	36	4	2	11			96
6	34	16	40	3	7	3			103	22	17	38	8	12	7			104
7	44	14	34	11	7	1	5		116	32	13	31	4	7	2			89
8	40	17	9	4	2		2		74	41	14	30	9	7	1	3		105
9	29	8	5	1			1		44	40	9	6	3	3		1		62
10	27	4							31	26	5	4	1					36
11	27	3					1		31	22	4							26
12	17	7			1				25	21	2							23
13	7	2							9	13	5							18
14	6								6	6	2							8
15	4								4	5								5
16	4								4	4	1							5
17									0	4								4
18	2	1							3							1		1
19									0	2	1							3
Kopā	303	146	196	39	50	50	14	16	814	284	140	207	40	67	48	11	17	814

2. Literatūras izvērtējums par lietotajiem augšanas gaitas modeļiem Igaunijā, Lietuvā, Zviedrijā un Somijā

2.1. Igaunija

2.1.1. Augstuma augšanas gaitas modeļi

Igaunijā tiek modelēts mežaudzes vidējais augstums (Kangur et al., 2007):

$$H_2 = \frac{H_1 + dH + rH}{2 + 4 \cdot \beta H \cdot (A_2^{-b_1}) / (H_1 - dH + rH)} \quad (1)$$

$$\beta H = b_2 - 493 \cdot \ln(OHOR + 1) \quad (1.1)$$

$$dH = \beta H / 50^{b_1} \quad (1.2)$$

$$rH = ((H_1 - dH)^2 + 4 \cdot \beta H \cdot H_1 / A_1^{b_1})^{0.5} \quad (1.3)$$

H_1 – mežaudzes vidējais augstums aktualizācijas perioda sākumā, m; H_2 – mežaudzes vidējais augstums aktualizācijas perioda beigās, m; A_1 – meža elementa vecums aktualizācijas perioda sākumā, gadi; A_2 – meža elementa vecums aktualizācijas perioda beigās, gadi; $OHOR$ – organiskā slāņa (0 horizonta) biezums, cm b_1 ; b_2 – koeficienti, kas atkarīgi no sugas.

2.1.2. Caurmēra augšanas gaitas modeļi

Mežaudzes vidējā caurmēra izmaiņas iespējams modelēt trīs variantos (Kangur et al., 2007).

1. variants

$$D_2 = \frac{D_1 + dD + rD}{2 + 4 \cdot \beta D \cdot (A_2^{-b_1}) / (D_1 - dD + rD)} \quad (2)$$

$$\beta D = b_2 - 306 \cdot \ln(OHOR + 1) \quad (2.1)$$

$$dD = \beta D / 50^{b_1} \quad (2.2)$$

$$rD = ((D_1 - dD)^2 + 4 \cdot \beta D \cdot D_1 / A_1^{b_1})^{0.5} \quad (2.3)$$

D_1 – mežaudzes vidējais caurmērs aktualizācijas perioda sākumā, cm; D_2 – mežaudzes vidējais caurmērs aktualizācijas perioda beigās, cm; A_1 – meža elementa vecums aktualizācijas perioda sākumā, gadi; A_2 – meža elementa vecums aktualizācijas perioda beigās, gadi; $OHOR$ – organiskā slāņa (0 horizonta) biezums, cm b_1 ; b_2 – koeficienti, kas atkarīgi no sugas.

Vēlākos gados 2. vienādojuma prognozētajam caurmēra pieaugumam izstrādāts korekcijas koeficients (Padari et al., 2009):

$$D_2 = D_1 + z_D \cdot kD \quad (3)$$

$$z_D = D'_2 - D_1 \quad (3.1)$$

$$kD = 2 - 2 * \frac{\left(\frac{L_{mod1}}{L_1}\right)^6}{\left(\frac{L_{mod1}}{L_1}\right)^6 + 1} \quad (3.2)$$

$$L_{mod1} = b_0 + b_1 \cdot \frac{D_1^2}{H_1} \quad (3.3)$$

D_2 – mežaudzes vidējais caurmērs perioda beigās, cm; D_1 – mežaudzes vidējais caurmērs perioda sākumā, cm; Z_d – caurmēra pieaugums, cm; D'_2 – ar 2. vienādojumu prognozētais caurmērs perioda beigās, cm; kD – caurmēra pieauguma korekcijas koeficients; L_1 – vidējais attālums starp kokiem mežaudzē perioda sākumā, cm; L_{mod1} – modālais attālums starp kokiem perioda sākumā, cm; b_0 b_1 – koeficienti, kas atkarīgi no sugas.

2. variants

$$D_2 = D_1 + \Delta D \quad (4)$$

$$\Delta D = b_0 + b_1 \cdot D_1 + b_2 \cdot H_{100} + b_3 \cdot G_1 + \varepsilon \quad (4.1)$$

D_1 – mežaudzes vidējais caurmērs aktualizācijas perioda sākumā, cm; D_2 – mežaudzes vidējais caurmērs aktualizācijas perioda beigās, cm; ΔD – mežaudzes vidējais caurmērs pieaugums perioda laikā, cm; H_{100} – mežaudzes vidējais augstums 100 gadu vecumā, gadi; G_1 – mežaudzes šķērslaukums perioda sākumā, $m^2 ha^{-1}$; ε – kļūdas komponente; b_0, b_1, b_2, b_3 – koeficienti, kas atkarīgi no sugas.

3. variants

Nākošā perioda vidējo caurmēru aprēķina kā sekundāru lielumu, atkarībā no prognozētā nākošā perioda koku skaita un šķērslaukuma:

$$D = \left(\frac{40000 \cdot G}{\pi N} \right)^{0.5} \quad (5)$$

D – mežaudzes vidējais caurmērs, cm; G – mežaudzes šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$; N – mežaudzes koku skaits, ha^{-1} .

Vidējā caurmēra izmaiņu modelēšanai ieteicams 3. un 4. vienādojums, kas uzrāda augstāku precizitāti nekā 2. vienādojums (Kangur et al., 2007).

2.1.3. Šķērslaukuma izmaiņu modeļi

Mežaudzes šķērslaukuma izmaiņas iespējams modelēt trīs variantos (Kangur et al., 2007).

1. variants

$$G_2 = G_1 + \Delta G, \text{ kur} \quad (6)$$

$$\Delta G = b_1 \cdot \exp(-b_2 \cdot D_1) + b_3 \cdot H_{100} + b_4 \cdot G_1 + \varepsilon \quad (6.1)$$

G_1 – mežaudzes šķērslaukums perioda sākumā, $m^2 ha^{-1}$; G_2 – mežaudzes šķērslaukums perioda beigās, $m^2 ha^{-1}$; H_{100} – mežaudzes vidējais augstums 100 gadu vecumā, gadi; D_1 – mežaudzes vidējais caurmērs aktualizācijas perioda sākumā, cm; ε – kļūdas komponente; b_1, b_2, b_3, b_4 – koeficienti, kas atkarīgi no sugas.

2. variants

$$G_2 = G_1 \cdot N_1^{1-b_1 \cdot H_2^{b_2}} N_2^{b_1 \cdot H_1^{b_2}-1} \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^{b_3} + \varepsilon \quad (7)$$

G_1 – mežaudzes šķērslaukums perioda sākumā, $m^2 ha^{-1}$; G_2 – mežaudzes šķērslaukums perioda beigās, $m^2 ha^{-1}$; N_1 – mežaudzes koku skaits perioda sākumā, ha^{-1} ; N_2 – mežaudzes koku skaits perioda beigās, ha^{-1} ; H_1 – mežaudzes vidējais augstums aktualizācijas perioda sākumā, m; H_2 – mežaudzes vidējais augstums aktualizācijas perioda beigās, m; ε – kļūdas komponente; b_1, b_2, b_3 – koeficienti, kas atkarīgi no sugas.

3. variants

Nākošā perioda šķērslaukumu aprēķina kā sekundāru lielumu, atkarībā no prognozētā nākošā perioda koku skaita un vidējā caurmēra:

$$G = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot N}{40000} \quad (8)$$

D – mežaudzes vidējais caurmērs, cm; G – mežaudzes šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$; N – mežaudzes koku skaits, ha^{-1} .

Mežaudzes šķērslaukuma izmaiņu modelēšanai ieteicams 6. vienādojums, kas uzrāda augstāku precizitāti nekā 6. vienādojums (Kangur et al., 2007).

2.1.4. Koku skaita izmaiņu modeļi

Mežaudzes koku skaita izmaiņas iespējams modelēt četros variantos (Kangur et al., 2007; Padari et al., 2009).

1. variants

$$N_2 = N_1 \cdot P \quad (9)$$

$$P = e^x / (1 + e^x) \quad (9.1)$$

$$x = b_1 + b_2 \cdot RB + b_3 \cdot D_1 + b_4 \cdot H_{100} + \varepsilon \quad (9.2)$$

N_1 – mežaudzes koku skaits perioda sākumā, ha^{-1} ; N_2 – mežaudzes koku skaits perioda beigās, ha^{-1} ; RB – mežaudzes I stāva relatīvā biežība; H_{100} – mežaudzes vidējais augstums 100 gadu vecumā, gadi; D_1 – mežaudzes vidējais caurmērs aktualizācijas perioda sākumā, cm; ε – kļūdas komponente; b_1 ; b_2 ; b_3 ; b_4 – koeficienti, kas atkarīgi no sugas.

2. variants

$$N_2 = 1000 \cdot \left[\left(\frac{N_1}{1000} \right)^{b_1} + b_2 \left(H_2^{b_3} - H_1^{b_3} \right) \right]^{1/b_1} + \varepsilon \quad (10)$$

N_1 – mežaudzes koku skaits perioda sākumā, ha^{-1} ; N_2 – mežaudzes koku skaits perioda beigās, ha^{-1} ; H_1 – mežaudzes vidējais augstums aktualizācijas perioda sākumā, m; H_2 – mežaudzes vidējais augstums aktualizācijas perioda beigās, m; ε – kļūdas komponente; b_1 ; b_2 ; b_3 – koeficienti, kas atkarīgi no sugas.

3. variants

$$N_2 = \left(\frac{100}{L_2} \right)^2 \quad (11)$$

$$L_2 = L_1 + \Delta L \quad (11.1)$$

$$L_1 = (10000/N_1)^{0.5} \quad (11.2)$$

$$\Delta L = b_1 + b_2 \cdot D_1 + b_3 \cdot H_{100} + b_4 \cdot G_1 + \varepsilon \quad (11.3)$$

N_1 – mežaudzes koku skaits perioda sākumā, ha^{-1} ; N_2 – mežaudzes koku skaits perioda beigās, ha^{-1} ; L_1 – vidējais attālums starp kokiem perioda sākumā, m; L_2 – vidējais attālums starp kokiem perioda beigās, m; ΔL – vidējais attāluma starp kokiem izmaiņas perioda laikā, m; D_1 – mežaudzes vidējais caurmērs aktualizācijas perioda sākumā, cm; H_{100} – mežaudzes vidējais augstums 100 gadu vecumā, m; G_1 – mežaudzes šķērslaukums perioda sākumā, $m^2 ha^{-1}$; ε – kļūdas komponente; b_1 ; b_2 ; b_3 ; b_4 – koeficienti, kas atkarīgi no sugas.

Nākošā perioda attālumu starp kokiem iespējams aprēķināt arī sekojoši (Padari et al., 2009):

$$L_2 = \text{if}(L_2 < L_{\text{lim}2}; L_{\text{lim}2}; L_2) \quad (12)$$

$$L_{\text{lim}2} = b_0 + b_1 \cdot \frac{D_2^2}{H_1 \cdot 1.34} \quad (12.1)$$

$$L_2 = L_1 + K \cdot \left(\frac{D_2^2}{H_2} - \frac{D_1^2}{H_1} \right) \quad (12.2)$$

$$K = \left(1 - \frac{8 \cdot L_{\text{starp}}}{3 \cdot L_{\text{lim}1}} \right)^{0.5} \cdot \frac{b_1}{1.34} \quad (12.3)$$

$$L_{\text{starp}} = L_1 - L_{\text{lim}1} \quad (12.4)$$

$$L_{\text{lim}1} = \frac{L_{\text{mod}1}}{1.34} \quad (12.5)$$

L_1 – vidējais attālums starp kokiem mežaudzē perioda sākumā, cm; L_2 – vidējais attālums starp kokiem mežaudzē perioda beigās, cm; L_2 – sākotnēji prognozētais vidējais attālums starp kokiem mežaudzē perioda beigās, cm; $L_{\text{lim}1}$ – teorētiski minimālais iespējamais attālums starp kokiem mežaudzē perioda sākumā, cm; $L_{\text{lim}2}$ – teorētiski minimālais iespējamais attālums starp kokiem mežaudzē perioda beigās, cm; L_{starp} – starpība starp vidējo attālumu starp kokiem un minimālo vidējo attālumu starp kokiem, cm; – modālais attālums starp kokiem perioda sākumā (3.3. vienādojums), cm; D_1 – mežaudzes vidējais caurmērs aktualizācijas perioda sākumā, cm; D_2 – mežaudzes vidējais caurmērs aktualizācijas perioda beigās, cm; H_1 – mežaudzes vidējais augstums aktualizācijas perioda sākumā, m; H_2 – mežaudzes vidējais augstums aktualizācijas perioda beigās, m; b_0 b_1 – koeficienti, kas atkarīgi no sugas.

4. variants

Nākošā perioda koku skaitu aprēķina kā sekundāru lielumu, atkarībā no prognozētā nākošā perioda šķērslaukuma un vidējā caurmēra:

$$N = \frac{40000 \cdot G}{\pi \cdot D^2} \quad (13)$$

D – mežaudzes vidējais caurmērs, cm; G – mežaudzes šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$; N – mežaudzes koku skaits, ha^{-1} .

Mežaudzes koku skaita izmaiņu modelēšanai ieteicams 9., 11. un 12. vienādojums, kas uzrāda augstāku precizitāti nekā 9. vienādojums (Kangur et al., 2007).

2.1.5. Krājas izmaiņas modeļi

Mežaudzes krāju iespējams modelēt 2 variantos (Kangur et al., 2007):

1. variants

$$V_2 = \frac{V_1 + dV + rV}{2 + 4 \cdot \beta V \cdot (t_1^{-b_1}) / (V_1 - dV + rV)} \quad (14)$$

$$\beta V = b_2 - 493 \cdot \ln(OHOR + 1) \quad (14.1)$$

$$dV = \beta V / 50^{b_1} \quad (14.2)$$

$$rV = \left((V_1 - dV)^2 + 4 \cdot \beta V \cdot V_1 / t_1^{b_1} \right)^{0.5} \quad (14.3)$$

V_1 – mežaudzes krāja perioda sākumā, $m^3 ha^{-1}$; V_2 – mežaudzes krāja perioda beigās, $m^3 ha^{-1}$; t_1 – meža elementa vecums aktualizācijas perioda sākumā, gadi; t_2 – meža elementa vecums aktualizācijas perioda beigās, gadi; $OHOR$ – organiskā slāņa (0 horizonta) biezums, cm b_1 ; b_2 – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no sugas.

2. VARIANTS

Nākošā perioda krāju aprēķina kā sekundāru lielumu, atkarībā no prognozētā nākošā perioda šķērslaukuma un vidējā augstuma:

$$V = HF \cdot G \quad (15)$$

$$HF = H \cdot (b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{H} + b_2 \cdot (H)^{0.5} + b_3 \cdot \ln(H)) \quad (15.1)$$

V – mežaudzes krāja, $m^3 ha^{-1}$; G – mežaudzes šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$; HF – veidskaitlis; H – mežaudzes vidējais augstums, m .

Mežaudzes krājas izmaiņu modelēšanai ieteicams 13. vienādojums, kas uzrāda augstāku precizitāti nekā 12. vienādojums (Kangur et al., 2007).

2.1.6. Augšanas gaitas modeļu lietošana

1.solis Tiek modelētas mežaudzes vidējā augstuma izmaiņas (1. vienādojums).

2.solis Tiek modelētas mežaudzes vidējā caurmēra, šķērslaukuma un koku skaita izmaiņas. Pie tam no šiem taksācijas rādītājiem ar augšanas gaitas modeļiem tiek modelēti tikai divi brīvi izvēlēti rādītāji, bet trešais tiek aprēķināts sekundāri izmantojot šādu sakarību. Vidējā caurmēra izmaiņu modelēšanai ieteicams 3. vai 4. vienādojums, šķērslaukuma izmaiņu modelēšanai ieteicams 6. vienādojums, bet koku skaita izmaiņu modelēšanai ieteicams 9. vai 11. vienādojums.

3.solis Tiek aprēķināta mežaudzes krāja kā sekundārs parametrs, izmantojot 15. vienādojumu.

2.2. Lietuva

Visi tālāk tekstā aprakstītie Lietuvas augšanas gaitas modeļi balstīti uz A. Kuliešis (Kuliešis, 1993) izstrādātajiem regresijas modeļiem.

2.2.1. Augstuma augšanas gaitas modeļi

Mežaudzes vidējā augstuma izmaiņas iespējams prognozēt atkarībā no mežaudzes bonitātes jeb ražības, kā raksturošanai tiek izmantots mežaudzes augstums bāzes vecumā:

$$H_{ba} = \frac{H - 1.3 - b_1 \cdot (A - A_{ba})}{b_2} + 1.3 \quad (16)$$

H – mežaudzes pašreizējais vidējais augstums, m ; H_{ba} – mežaudzes vidējais augstums bāzes vecumā, m ; A – meža elementa pašreizējais vecums, gadi; A_{ba} – meža elementa bāzes vecums (bāzes vecumam būtu jābūt tuvam sugas rotācijas perioda garumam), gadi; b_1 ; b_2 – koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas.

Zinot mežaudzes bāzes vecuma augstumu, pārveidojot 16. vienādojumu, iespējams aprēķināt arī mežaudzes vidējo augstumu jebkurā vecumā:

$$H = (H_{ba} - 1.3) \cdot b_2 + b_1 \cdot (A - A_{ba}) + 1.3 \quad (17)$$

H – mežaudzes vidējais augstums, m ; H_{ba} – mežaudzes vidējais augstums bāzes vecumā, m ; A – meža elementa vecums, gadi; A_{ba} – meža elementa bāzes vecums (bāzes vecumam būtu jābūt tuvam sugas rotācijas perioda garumam), gadi; b_1 ; b_2 – koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas.

Zinot audzes vidējo augstumu un caurmēru iespējams aprēķināt arī atsevišķu koku augstumu:

$$h = H \cdot R_H \quad (18)$$

$$R_H = 1 - (a_0 + a_1 \cdot D + a_2 \cdot D^2) + \frac{b_0 + b_1 \cdot D + b_2 \cdot D^2}{R_D + d_0} + \frac{c_0 + c_1 \cdot D + c_2 \cdot D^2}{(R_D + d_0)^2} \quad (18.1)$$

h - koka augstums, m; H – mežaudzes vidējais augstums, m; D – mežaudzes vidējais caurmērs, cm; R_H – koka relatīvais augstums attiecībā pret mežaudzes vidējo augstumu; R_D – koka relatīvais caurmērs attiecībā pret mežaudzes vidējo caurmēru; a_0 ; a_1 ; a_2 ; b_0 ; b_1 ; b_2 ; c_0 ; c_1 ; c_2 ; d_0 – koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas.

Mežaudzes vidējā augstuma pieaugumu aprēķina pēc sekojoša modeļa:

$$z_H = H_2 - \frac{H_1 \cdot G_1 - H_{atm} \cdot G_{atm}}{G_1 - G_{atm}} \quad (19)$$

z_H - vidējā augstuma pieaugums, m; H_2 – prognozētais mežaudzes vidējais augstums aktualizācijas perioda beigās (17. vienādojums), m; H_1 – mežaudzes vidējais augstums aktualizācijas perioda sākumā, m; G_1 – mežaudzes šķērslaukums perioda sākumā, $m^2 ha^{-1}$; H_{atm} – atmirušo koku vidējais augstums, m; G_{atm} – prognožu perioda laikā atmirušo koku šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$.

Ar 19. vienādojumu prognozētajām vidējā augstuma pieaugumam ir nepieciešama korekcija, kas ņemtu vērā atmiruma ietekmi. Tādēļ, lai prognozētu vidējā augstuma izmaiņas, izmanto sakarību starp mežaudzes atbilstošās vidējā augstuma izmaiņu attiecību pret mežaudzes vidējā augstuma pieaugumu:

$$I_H = \frac{\Delta_H}{z_H} = 1 + \frac{G_{atm}}{G_{dz}} \cdot \left(\frac{1 - R_{Hatm}}{S_{ZH}} - 1 \right) \quad (20)$$

$$R_{Hatm} = H_{atm} / H_{dz} \quad (20.1)$$

$$S_{ZH} = z_H / H_{dz} \quad (20.2)$$

Δ_H - mežaudzes vidējā augstuma izmaiņas, m; z_H - vidējā augstuma pieaugums (19. vienādojums), m; G_{atm} – prognožu perioda laikā atmirušo koku šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$; G_{dz} – prognožu perioda laikā izdzīvojošo koku šķērslaukums perioda sākumā, $m^2 ha^{-1}$; H_{atm} – atmirušo koku vidējais augstums, m; H_{dz} – dzīvo koku vidējais augstums aktualizācijas perioda sākumā, m.

Nākošā perioda vidējo augstumu, ņemot vērā atmirumu, iespējams prognozēt pēc sekojoša vienādojuma:

$$H_2 = H_1 + \left[1 + \frac{G_{atm}}{G_{dz}} \cdot \left(\frac{1 - H_{atm} / H_{dz}}{z_h / H_{dz}} - 1 \right) \right] \cdot z_h \quad (21)$$

H_2 – mežaudzes vidējais augstums aktualizācijas perioda beigās, m; H_1 – mežaudzes vidējais augstums aktualizācijas perioda sākumā, m; z_h - vidējā augstuma pieaugums (19. vienādojums), m; G_{atm} – prognožu perioda laikā atmirušo koku šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$; G_{dz} – prognožu perioda laikā izdzīvojošo koku šķērslaukums perioda sākumā, $m^2 ha^{-1}$; H_{atm} – atmirušo koku vidējais augstums, m; H_{dz} – dzīvo koku vidējais augstums aktualizācijas perioda sākumā, m.

2.2.2. Caurmēra augšanas gaitas modeļi

Arī mežaudzes vidējā caurmēra izmaiņas iespējams prognozēt atkarībā no tā vērtības bāzes vecumā:

$$D_{ba} = \frac{D - b_1 \cdot (A - A_{ba})}{b_2} \quad (22)$$

D – mežaudzes pašreizējais vidējais caurmērs, cm; D_{ba} – mežaudzes vidējais caurmērs bāzes vecumā, cm; A – meža elementa pašreizējais vecums, gadi; A_{ba} – meža elementa bāzes vecums (bāzes vecumam būtu jābūt tuvam sugas rotācijas perioda garumam), gadi; b_1 ; b_2 – koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas.

Zinot mežaudzes bāzes vecuma caurmēru, pārveidojot 22. vienādojumu, iespējams aprēķināt arī mežaudzes vidējo caurmēru jebkurā vecumā:

$$D = D_{ba} \cdot b_2 + b_1 \cdot (A - A_{ba}) \quad (23)$$

D – mežaudzes vidējais caurmērs, cm; D_{ba} – mežaudzes vidējais caurmērs bāzes vecumā, cm; A – meža elementa vecums, gadi; A_{ba} – meža elementa bāzes vecums (bāzes vecumam būtu jābūt tuvam sugas rotācijas perioda garumam), gadi; b_1 ; b_2 – koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas.

Ja nav pilnas biežības audze (biežība 1.0), tad bāzes vecuma vidējam caurmēram ir nepieciešama korekcija:

$$D_{ba} = (b_0 + b_1 \cdot \text{biez} + b_2 \cdot H_{ba})(H_{ba} - 1.3) \quad (24)$$

D_{ba} – mežaudzes vidējais caurmērs bāzes vecumā, cm; H_{ba} – mežaudzes vidējais augstums bāzes vecumā, m; biez – mežaudzes biežība; b_0 ; b_1 ; b_2 – koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas.

Mežaudzes vidējā caurmēra pieaugumu var aprēķināt izmantojot sekojošu algoritmu:

$$z_D = a_0 \cdot D_{ba}^{a_1} \left(\frac{D}{D_{ba}} \right)^{b_0 \cdot D_{ba}^{b_1}} \exp \left(c_0 \cdot \left(\frac{D}{D_{ba}} \right) \cdot D_{ba}^{c_1} \right) \quad (25)$$

z_D – vidējā caurmēra pieaugums, cm; D – mežaudzes vidējais caurmērs, cm; D_{ba} – mežaudzes vidējais caurmērs bāzes vecumā, cm; a_1 ; a_2 ; b_1 ; b_2 ; c_1 ; c_2 – koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas.

Prognozējot nākošā perioda vidējā caurmēra izmaiņas atkal tiek izmantota sakarība starp vidējā caurmēra izmaiņām un pieaugumu:

$$I_D = \frac{\Delta_D}{z_D} = 1 - \left[\left(\frac{R_{Datm} \cdot R_{Natm} + (1 - S_{ZD})^2}{1 + R_{Natm}} \right)^{0.5} \right] \cdot S_{ZD}^{-1} \quad (26)$$

$$R_{Datm} = D_{atm} / D_{dz} \quad (26.1)$$

$$R_{Natm} = N_{atm} / N_{dz} \quad (26.2)$$

$$S_{ZD} = z_D / D_{dz} \quad (26.3)$$

Δ_D – mežaudzes vidējā caurmēra izmaiņas, cm; z_D – vidējā caurmēra pieaugums (25. vienādojums), cm; N_{atm} – prognožu perioda laikā atmirušo koku skaits, ha^{-1} ; N_{dz} – prognožu perioda laikā izdzīvojošo koku skaits perioda sākumā, ha^{-1} ; D_{atm} – atmirušo koku vidējais caurmērs, cm; D_{dz} – dzīvo koku vidējais caurmērs aktualizācijas perioda sākumā, cm.

Nākošā perioda vidējo caurmēru, ņemot vērā atmirumu, iespējams prognozēt pēc sekojoša vienādojuma:

$$D_2 = D_1 + \left[1 - \left[\left(\frac{(D_{atm}/D_{dz}) \cdot (N_{atm}/N_{dz}) + (1 - z_D/D_{dz})^2}{1 + N_{atm}/N_{dz}} \right)^{0.5} \right] \cdot (z_D/D_{dz})^{-1} \right] \cdot z_D \quad (27)$$

D_2 – mežaudzes vidējais caurmērs aktualizācijas perioda beigās, cm; D_1 – mežaudzes vidējais caurmērs aktualizācijas perioda sākumā, cm; z_D – vidējā caurmēra pieaugums (25. vienādojums), m; N_{atm} – prognožu perioda laikā atmirušo koku skaits, ha^{-1} ; N_{dz} – prognožu perioda laikā izdzīvojošo koku skaits perioda sākumā, ha^{-1} ; D_{atm} – atmirušo koku vidējais caurmērs, cm; D_{dz} – dzīvo koku vidējais caurmērs aktualizācijas perioda sākumā, cm.

2.2.3. Šķērslaukuma izmaiņu modeļi

Mežaudzes šķērslaukums tiek modelēts kā sekundārs parametrs (8. vienādojumu), izmantojot prognozēto mežaudzes vidējo caurmēru un prognozēto koku skaitu.

2.2.4. Koku skaita izmaiņu modeļi

Koku skaita prognozēšanai līdzīgi kā augstuma un caurmēram iespējams izmantot bāzes vecuma koku skaitu:

$$N_{ba} = N \cdot [\exp((X - 1) \cdot (c_0 + c_1 \cdot X + c_2 \cdot X^2 + c_3 \cdot X^3)) - b_2 \cdot (X - 1)] \quad (28)$$

$$X = D/D_{ba} \quad (28.1)$$

N_{ba} – koku skaits bāzes vecumā, ha^{-1} ; N – pašreizējais koku skaits, ha^{-1} ; D – mežaudzes pašreizējais vidējais caurmērs, cm; D_{ba} – mežaudzes vidējais caurmērs bāzes vecumā (22. vienādojums), cm; b_1 ; b_2 ; c_0 ; c_1 ; c_2 ; c_3 – koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas.

Zinot mežaudzes koku skaitu bāzes vecumā, iespējams aprēķināt arī mežaudzes koku skaitu jebkurā vecumā:

$$N_A = \frac{N_{AB}}{b_1 - b_2 \cdot (X_A - 1)} \quad (29)$$

$$X_A = D_A/D_{ba} \quad (29.1)$$

N_A – koku skaits vecumā A , ha^{-1} ; N_{ba} – koku skaits bāzes vecumā, ha^{-1} ; D_A – mežaudzes vidējais caurmērs vecumā A , cm; D_{ba} – mežaudzes vidējais caurmērs bāzes vecumā (22. vienādojums), cm; b_1 ; b_2 – koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas.

Tāpat koku skaitu iespējams modelēt arī pēc sekojoša vienādojuma:

$$N_A = \frac{M_A}{V_A} \quad (30)$$

$$M_A = M_{Ab} \cdot biez_A \quad (30.1)$$

$$M_{Ab} = b_0 + b_1 \cdot H_A + b_2 \cdot H_A^2 \quad (30.2)$$

$$V_A = f(D_A; H_A; F_{HD}) \quad (30.3)$$

N_A – koku skaits vecumā A , ha^{-1} ; M_A – audzes krāja (augošu koku krāja) vecumā A , $m^3 ha^{-1}$; M_{As} – standarta vienas biežības vienības audzes krāja (augošu koku krāja) vecumā A , $m^3 ha^{-1}$; $biez_A$ – mežaudzes biežība vecumā A ; V_A – atsevišķa koka krāja vecumā A (24. vienādojums), $m^3 ha^{-1}$.

2.2.5. Krājas izmaiņu modeļi

Mežaudzes krājas modelēšanai izmantota sekojoša sakarība:

$$z_{MA} = M_A - m_{A-n} \quad (31)$$

$$M_A = f(D_A; H_A; N_A; F_{HD}) \quad (31.1)$$

$$m_{A-n} = f(d_A; h_A; N_A; F_{hd}) \quad (31.2)$$

$$d_A = D_A - z_D \quad (31.3)$$

$$h_A = H_A - z_H \quad (31.4)$$

$$F_{HD} [Egle; Apse] = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{H} + b_2 \cdot \frac{H}{D} + b_3 \cdot \frac{H}{D^2} \quad (31.5)$$

$$F_{HD} [Citas sugas] = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{H} + b_2 \cdot \frac{1}{D} + b_3 \cdot \frac{1}{DH} + b_4 \cdot \frac{1}{D^2} + b_5 \cdot \frac{1}{D^2H} \quad (31.6)$$

z_{MA} – audzes krājas pieaugums, $m^3 ha^{-1}$; M_A – audzes krāja (augošu koku krāja) vecumā A , $m^3 ha^{-1}$; m_{A-n} – intervāla n beigās audzē augošo koku krāja $A-n$ gadu vecumā, $m^3 ha^{-1}$; D_A – mežaudzes vidējais caurmērs vecumā A , cm; d_A – vidējais caurmērs izdzīvojošiem kokiem vecumā $A-n$, cm; z_D – vidējā caurmēra pieaugums (25. vienādojums); cm, H – mežaudzes vidējais augstums vecumā A , m; h_A – vidējais augstums izdzīvojošiem kokiem vecumā $A-n$, m; z_H – vidējā augstuma pieaugums (19. vienādojums); m, F_{HD} un F_{hd} – veidskaitlis kokiem attiecīgi vecumā A un vecumā $A-n$; b_0 ; b_1 ; b_2 ... b_5 – koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas.

2.2.6. Atmiruma modeļi

Atmirušo koku vidējais augstums aprēķināms izmantojot 18. vienādojumu.

Atmirušo koku vidējais caurmērs aprēķināms sekojoši:

$$D_{atm} = \left[\frac{N_A \cdot D_A^2 - N_{A-n} \cdot d_a^2}{N_{atm}} \right]^{0.5} \quad (32)$$

D_{atm} – atmirušo koku vidējais caurmērs, cm; D_A – mežaudzes vidējais caurmērs vecumā A , cm; d_a – vidējais caurmērs izdzīvojošiem kokiem vecumā $A-n$ (31.3. vienādojums), cm; N_A – koku skaits vecumā A , ha^{-1} ; N_{atm} – atmirušo koku skaits, ha^{-1} .

Atmirušo koku skaits aprēķināms izmantojot 29. vai 30. vienādojumu.

Atmirušo koku šķērslaukums aprēķināms kā sekundārs rādītājs, izmantojot 8. vienādojumu.

Atmirušo koku krāja aprēķināma kā sekundārs rādītājs, izmantojot 31.1. vienādojumu.

2.2.7. Augšanas gaitas modeļu lietošana

- 1.solis Tiek aprēķināts mežaudzes vidējais augstums (16. vienādojums), vidējais caurmērs (22. vai 24. vienādojums) un koku skaits (28. vienādojums) izvēlētajā bāzes vecumā.
- 2.solis Tiek prognozēts mežaudzes vidējais augstums (17. vienādojums), vidējais caurmērs (23. vienādojums) un koku skaits (29. vienādojums) atbilstoši bāzes vecuma rādītājiem.
- 3.solis Aprēķina atmiruma taksācijas rādītājus.
- 4.solis Tiek prognozēts (korigēts) mežaudzes vidējais augstums (21. vienādojums), vidējais caurmērs (27. vienādojums) ņemot vērā atmirumu.
- 5.solis Ņemot vērā prognozēto mežaudzes vidējo augstumu, vidējo caurmēru un koku skaitu tiek aprēķināta mežaudzes krāja un šķērslaukums.

2.3. Zviedrija

2.3.1. Augstuma augšanas gaitas modeļi

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

$$H = \frac{SI}{\exp(Y)+1} \quad (33)$$

H – mežaudzes vidējais augstums, m; SI – virsaugstuma bonitāte (augstums 100 gadu vecumā), m; Y – rādītājs, kas atkarīgs no SI un mežaudzes vecuma (2.1. tabula).

2.1. tabula

Zviedrijā mežaudzēs līdz 7 m augstumam izmantoto vidējā augstuma aktualizācijas modeļa (33. vienādojums) koeficienti un to aprēķināšanas vienādojumi

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

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

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

$$H_{dom2} = \frac{H_{dom1} + b_2 \cdot b_1^{b_3} + \left((H_{dom1} - b_2 \cdot b_1^{b_3})^2 + 4 \cdot b_2 \cdot H_{dom1} \cdot A_1^{-b_3} \right)^{0.5}}{2 + 4 \cdot b_2 \cdot H_{dom1} \cdot A_2^{-b_3} / \left(H_1 - b_2 \cdot b_1^{b_3} + \left((H_{dom1} - b_2 \cdot b_1^{b_3})^2 + 4 \cdot b_2 \cdot H_{dom1} \cdot A_1^{-b_3} \right)^{0.5} \right)} \quad (34)$$

H_{dom1} – meža elementa virsaugstums aktualizācijas perioda sākumā, m; H_{dom2} – meža elementa virsaugstums aktualizācijas perioda beigās, m; A_1 – meža elementa krūšaugsstuma vecums aktualizācijas perioda sākumā, gadi; A_2 – meža elementa krūšaugsstuma vecums aktualizācijas perioda beigās, gadi; b_1 ; b_2 ; b_3 – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no meža elementa.

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

Atsevišķu koku augstuma aprēķināšanai izmanto sekojošu vienādojumu:

$$\ln(h) = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{d+5} + b_2 \cdot \frac{1}{(d+5)^2} + b_3 \cdot \frac{1}{a_{1.3}+10} + b_4 \cdot \frac{1}{(a_{1.3}+10)^2} + b_5 \cdot a_{1.3} + b_6 \cdot \frac{d}{a_{1.3}} + b_7 \cdot SI_p + b_8 \cdot G + b_9 \cdot G^2 + b_{10} \cdot \frac{d}{d_{max}} + b_{11} \cdot \left(\frac{d}{d_{max}}\right)^2 + b_{12} \cdot LAT + b_{13} \cdot LAT^2 + b_{14} \cdot \left(\frac{H_{vijl}}{100}\right)^2 + b_{15} \cdot P_p + b_{16} \cdot P_e + b_{17} \cdot att_k + b_{18} \cdot rob + b_{19} \cdot pkl \quad (35)$$

h – koka augstums, m; d – koka caurmērs, cm; $a_{1.3}$ – koka krūšaugstuma vecums, gadi; SI_p – priedes virsaugstuma bonitāte, m; G – mežaudzes šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$; d_{max} – maksimālais koka caurmērs mežaudzē, cm; LAT – platuma grādi, °; H_{vijl} – augstums virs jūras līmeņa, m; P_p – priežu īpatsvars (pēc šķērslaukuma); P_e – egļu īpatsvars (pēc šķērslaukuma); att_k – fiktīvais mainīgais, kas raksturo attālumu līdz krastam, ja attālums mazāks par 50km, tad 1, ja nē, tad 0; rob – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai koks (parauglaukums) atrodas pie mežaudzes robežas; pkl – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai mežaudze atrodas piejūras klimata zonā; $b_0; b_1; b_2 \dots b_{19}$ – koeficienti.

2.3.2. Caurmēra augšanas gaitas modeļi

Caurmēra augšanas gaitas aproksimēšanai izmanto atsevišķu koku šķērslaukuma pieauguma modeli:

$$z_{g5} = \exp \left(b_0 + b_1 \cdot \ln(d+1) + b_2 \cdot \frac{d}{10} + b_3 \cdot \frac{BAL}{d+1} + b_4 \cdot \frac{BAL}{d+1} \cdot \frac{G}{G-G_e} + b_5 \cdot \frac{BAL}{d+1} \cdot \frac{(D_g - (\sum d^2 / \sum n))^{0.5}}{D_g^3} + b_6 \cdot \ln(a+20) + b_7 \cdot ost + b_8 \cdot \frac{D_g}{10} + b_9 \cdot \frac{D_g^2}{1000} + b_{10} \cdot \ln(G+3) + b_{11} \cdot G_{citi}^2 + b_{12} \cdot G_i^2 + b_{13} \cdot Gotland + b_{14} \cdot \frac{T_{sum}}{1000} + b_{15} \cdot \left(\frac{T_{sum}}{1000}\right)^2 + b_{16} \cdot \frac{1}{T_{sum}-0.3} + b_{17} \cdot \frac{1}{att_k+3} + b_{18} \cdot LAT + b_{18} \cdot \frac{H_{vijl}}{100} + b_{19} \cdot \left(\frac{H_{vijl}}{100}\right)^2 + b_{20} \cdot \frac{SI}{10} + b_{21} \cdot \frac{SI^2}{100} + b_{22} \cdot rich + b_{23} \cdot ort + b_{24} \cdot fer + b_{25} \cdot c_{0-10} + b_{26} \cdot c_{11-25} + b_{27} \cdot dal + b_{28} \cdot kant + b_{29} \cdot \frac{\ln(G+1)}{\ln(G_{apk}+1)} \right) \quad (36)$$

z_{g5} – vidējā kvadrātiskā koka nākošo piecu gadu šķērslaukuma periodiskais pieaugums, cm^2 ; d – koka krūšaugstuma caurmērs (cm); BAL – resnāku koku šķērslaukuma summa ($m^2 ha^{-1}$); G – mežaudzes šķērslaukums ($m^2 ha^{-1}$); G_e – egļu šķērslaukums ($m^2 ha^{-1}$); D_g – vidējais kvadrātiskais mežaudzes caurmērs (cm); a – koka krūšaugstuma vecums (gadi); ost – rādītājs, kas raksturo koka vecuma aprēķināšanu; G_{citi} – citu koku sugu šķērslaukums mežaudzē ($m^2 ha^{-1}$); G_i – kokam atbilstošās sugas koku šķērslaukums mežaudzē ($m^2 ha^{-1}$); $Gotland$ – mainīgais, kas raksturo vai mežaudze atrodas uz Gotlandes salas; T_{sum} – aktīvo temperatūru summa ($>5^\circ C$) veģetācijas periodā; att_k – attālums līdz krastam (km/10); LAT – platuma grādi, °; H_{vijl} – augstums virs jūras līmeņa (m); SI – virsaugstuma bonitāte (m); $rich$ – indikators, kas raksturo veģetācijas tipu (meža tips); fer – mēslošanas raksturojošs rādītājs (0-1); c_{0-10} – rādītājs, kas raksturo vai pēdējo 10 gadu laikā mežaudzē ir veikta kopšanas cirte (0-1); c_{11-25} – rādītājs, kas raksturo vai pēdējo 11-25 gadu laikā mežaudzē ir veikta kopšanas cirte (0-1); dal – rādītājs, kas raksturo vai blakus esošā zeme ir mežaudze; $kant$ – rādītājs, kas raksturo vai blakus esošā zeme nav mežaudze; G_{apk} – apkārt esošās audzes šķērslaukums ($m^2 ha^{-1}$).; $b_0; b_1; b_2 \dots b_{29}$ – koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas.

Nākošā perioda vidējo caurmēru iespējams aprēķināt sekojošu sakarību:

$$D_2 = \left(\frac{0.7854 \cdot D_1 + z_{g5}}{0.7854} \right)^{0.5} \quad (37)$$

D_1 – mežaudzes vidējais caurmērs aktualizācijas perioda sākumā, cm; D_2 – mežaudzes vidējais caurmērs aktualizācijas perioda beigās, cm; z_{g5} – vidējā kvadrātiskā koka nākošo piecu gadu šķērslaukuma periodiskais pieaugums (17. vienādojums), cm^2 .

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

$$d = \left[\exp \left(b_0 + b_1 \cdot \ln(h - k) + b_2 \cdot h + b_3 \cdot (h - k)^2 + b_4 \cdot (1 - h) \cdot \text{dat} + b_5 \cdot \text{sh} + b_6 \cdot \ln(\text{sh} + 0.1) + b_7 \cdot \ln(1 + 10 \cdot \Delta h \cdot (\text{sh} + 0.1)) + b_8 \cdot \sin(\text{Idel}) + b_9 \cdot \text{Izc} + b_{10} \cdot h^{0.5} \cdot \text{Izc} + b_{11} \cdot \frac{c_{0-10}}{1+pc} + b_{12} \cdot c_{0-10} \cdot \ln(10 + pc) + b_{13} \cdot n_{\text{atv}} \cdot h^2 + b_{14} \cdot \text{LAT} + b_{15} \cdot \frac{H_{\text{vj1}}}{100} + b_{16} \cdot \left(\frac{H_{\text{vj1}}}{100} \right)^2 + b_{17} \cdot \text{att}_k + b_{18} \cdot \text{SI}_p + b_{19} \cdot \text{veg}_z + b_{20} \cdot \text{veg}_{\text{kr}} + k_{\text{CMRES}} \right) \right]^{0.5} \quad (38)$$

h – koka augstums, m; k – konstante, priedei un eglei 1.0, bērzam 1.1; dat – fiktīvais mainīgais, kas raksturo audzes uzmērīšanas laiku, ja audze uzmērīta līdz 20. jūlijam, tad 1, ja vēlāk, tad 0; sh – koku augstumu kvadrātu summa, $\text{m}^2 10^{-5} \text{ha}^{-1}$; Δh – augstuma starpība starp mežaudzes maksimālo augstumu un koka augstumu ($H_{\text{max}} - h$), ja starpība mazāka par 0.1, tad $\Delta h = 0.1$, m; Idel – lapu koku īpatsvars (pēc sh) reizināts ar 1.5708 un izteikts radiānos; Izc – mežaudzes izcelsme, 0-ja mākslīga, 1-ja dabīga; c_{0-10} – rādītājs, kas raksturo vai pēdējo 10 gadu laikā mežaudzē ir veikta kopšanas cirte (0-1); pc – veģetācijas sezonu skaits pēc kopšanas cirtes veikšanas; n_{atv} – atvašu skaits pudurī, kas augstākas par pusi no augstākās atvases pudurī; LAT – platuma grādi, °; H_{vj1} – augstums virs jūras līmeņa, m; att_k – fiktīvais mainīgais, kas raksturo attālumu līdz krastam, ja attālums mazāks par 5 km, tad 1, ja nē, tad 0; SI_p – priedes virsaugstuma bonitāte, m; veg_z – fiktīvais mainīgais, kas raksturo mežaudzes zemsedzes veģetāciju, ja zemsedzes veģetācijā dominē zālaugi, tad 1, ja nē, tad 0; veg_{kr} – fiktīvais mainīgais, kas raksturo mežaudzes zemsedzes veģetāciju, ja zemsedzes veģetācijā dominē krūmi, tad 1, ja nē, tad 0; k_{CMRES} – korekcijas koeficients, kas atkarīgs no modeļa vidējās novirzes; $b_1; b_2 \dots b_{20}$ – koeficienti.

2.3.3. Šķērslaukuma izmaiņas modeļi

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

$$Z_{G5} = \exp \left(b_0 + b_1 \cdot \ln(A) + b_2 \cdot \frac{G_{\text{SK}}/G}{A} + b_3 \cdot \frac{G_p}{G} \cdot \text{vg} + b_4 \cdot G_B^2 + b_5 \cdot \exp \left(-\frac{T_{\text{sum}} - 300}{100} \right) + b_6 \cdot \ln(G - G_{\text{izc}}) + b_7 \cdot G + b_8 \cdot \frac{N_{\text{izc}}}{N_{\text{izc}} + 80} + b_9 \cdot \text{vg} + b_{10} \cdot \text{vg} \cdot k + b_{11} \cdot m + b_{12} \cdot s + b_{13} \cdot \text{SI} + b_{14} \cdot \text{gr}_{25} + b_{15} \cdot \text{fer} + b_{16} \cdot \text{kant} + b_{17} \cdot \text{dal} + b_{18} \cdot c_{0-10} + b_{19} \cdot c_{11-25} + b_{20} \cdot \ln \left(\frac{G}{G_{\text{apk}}} \right) + b_{21} \cdot i_{83} + b_{22} \cdot i_{84} + b_{23} \cdot i_{86} \right) \quad (39)$$

z_{G5} – nākamo 5 gadu šķērslaukuma periodiskais pieaugums, $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$; A – mežaudzes vecums, gadi; G – mežaudzes šķērslaukums, $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$; G_{SK} – skuju koku šķērslaukums, $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$; G_p – priedes šķērslaukums, $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$; G_B – bērza šķērslaukums, $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$; G_{izc} – nākošajā piecu gadu periodā izcērtamo koku šķērslaukums, $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$; N_{izc} – nākošajā piecu gadu periodā izcērtamo koku skaits, ha^{-1} ; vg – veģetācijas veids (1-18); T_{sum} – aktīvo temperatūru summa ($>5^\circ\text{C}$) veģetācijas periodā; k – fiktīvais mainīgais kūdras augšņu raksturošanai: ja ir kūdras augsnes, tad 1, ja nav kūdras augsnes, tad 0; m – fiktīvais mainīgais augsnes mitruma raksturošanai: ja ir mitras augsnes, tad 1, ja nav mitras augsnes, tad 0 (mitra augsne – ja gruntsūdens līmenis pastāvīgi mazāks par 1m); s – fiktīvais mainīgais augsnes mitruma raksturošanai: ja ir slapjas augsnes, tad 1, ja nav slapjas augsnes, tad 0 (slapja augsne – ja ūdens līmenis pastāvīgi virs augsnes virskārtas); SI – mežaudzes virsaugstuma bonitāte, m; gr_{25} – ja attālums līdz grāvim ≤ 25 m, tad 1, ja lielāks, tad 0; fer – mēslošanas raksturojošs rādītājs (0 vai 1) audzēs līdz 12 m augstumam; kant – rādītājs, kas raksturo vai blakus esošā zeme nav mežaudze (ja nav, tad 1, ja ir tad 0); dal – rādītājs, kas raksturo mežaudzes viendabīgumu (ja mežaudze viendabīga, tad 0; ja mežaudze nav viendabīga, tad 1); c_{0-10} – rādītājs, kas raksturo vai pēdējo 10 gadu laikā mežaudzē ir veikta kopšanas cirte (0-1); c_{11-25} – rādītājs, kas raksturo vai pēdējo 11-25 gadu laikā mežaudzē ir veikta kopšanas cirte (0-1); G_{apk} – apkārt esošās mežaudzes šķērslaukums, $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$; i_{83} – vērtība 1, ja parauglaukums ierīkots 1983. gadā, citiem 0; i_{84} – vērtība 1, ja parauglaukums ierīkots 1984. gadā, citiem 0; i_{86} – vērtība 1, ja parauglaukums ierīkots 1986. gadā, citiem 0; $b_0; b_1; b_2 \dots b_{23}$ – koeficienti.

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

$$G = \exp \left(b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{A+10} + b_2 \cdot \frac{1}{(A+10)^2} + b_3 \cdot SI_e + b_4 \cdot SI_p + b_5 \cdot N + b_6 \cdot N^2 + b_7 \cdot P_e + b_8 \cdot P_e^2 + b_9 \cdot P_b + b_{10} \cdot P_b^2 \right) \quad (40)$$

G – mežaudzes šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$; A – mežaudzes vecums, gadi; SI_e – virsaugstuma bonitāte eglēm (ja izmanto virsaugstuma bonitāti priedēm, tad vērtība 0), m ; SI_p – virsaugstuma bonitāte priedēm (ja izmanto virsaugstuma bonitāti eglēm, tad vērtība 0), m ; N – mežaudzes koku skaits, ha^{-1} ; P_e – egļu īpatsvars (pēc šķērslaukuma); P_b – bērzu īpatsvars (pēc šķērslaukuma); $b_0; b_1; b_2...b_{10}$ – koeficienti.

2.3.4. Atmiruma modeļi

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

Söderberg modelis

$$PG_{atm} = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{A+10} + b_2 \cdot \frac{1}{(A+10)^2} + b_3 \cdot G + b_4 \cdot \ln(G) + b_5 \cdot SI_e + b_6 \cdot SI_p + b_7 \cdot P_e + b_8 \cdot P_e^2 + b_9 \cdot P_b + b_{10} \cdot P_b^2 \quad (41)$$

PG_{atm} – atmirušās koksnes šķērslaukuma ikgadējais procents, %; A – mežaudzes vecums, gadi; G – mežaudzes šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$; SI_e – virsaugstuma bonitāte eglēm (ja izmanto virsaugstuma bonitāti priedēm, tad vērtība 0), m ; SI_p – virsaugstuma bonitāte priedēm (ja izmanto virsaugstuma bonitāti eglēm, tad vērtība 0), m ; P_e – egļu īpatsvars (pēc šķērslaukuma); P_b – bērzu īpatsvars (pēc šķērslaukuma); $b_0; b_1; b_2...b_{10}$ – koeficienti.

Bengtsson modelis

$$PV_{atm} = b_0 + b_1 \cdot D + b_2 \cdot D^2 + b_3 \cdot A + b_4 \cdot A^2 + b_5 \cdot z_{Gvp} \quad (42)$$

PV_{atm} – atmirušās koksnes krājas ikgadējais procents, %; D – mežaudzes vidējais caurmērs, cm ; A – mežaudzes vecums, gadi; z_{Gvp} – mežaudzes vidējais periodiskais šķērslaukuma pieaugums, $m^2 ha^{-1} gadā$; $b_0; b_1; b_2...b_5$ – koeficienti.

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

Fridman & Stahl modelis

Izmantots 3-pakāpju atmiruma modeļi.

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

$$p = \frac{\exp(b_0 + b_1 \cdot \ln(S) + b_2 \cdot LK + b_3 \cdot D + b_4 \cdot LK_{10} + b_5 \cdot \ln(G) + b_6 \cdot H_{vj} + b_7 \cdot G + b_8 \cdot k + b_9 \cdot ms)}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot \ln(S) + b_2 \cdot LK + b_3 \cdot D + b_4 \cdot LK_{10} + b_5 \cdot \ln(G) + b_6 \cdot H_{vj} + b_7 \cdot G + b_8 \cdot k + b_9 \cdot ms)} \quad (43)$$

p – varbūtība, ka nākošajā periodā atmirs koki; S – parauglaukuma (audzes) platība, m^2 ; LK – fiktīvais mainīgais lapu koku esamības raksturošanai: ja parauglaukumā (audzē) ir lapu koki, tad 1, ja nav, tad 0; LK_{10} – fiktīvais mainīgais lapu koku īpatsvara raksturošanai: ja parauglaukumā (audzē) lapu koku šķērslaukums vismaz 10% no kopējā mežaudzes šķērslaukuma, tad 1, ja nav, tad 0; D – mežaudzes vidējais caurmērs, m ; G – mežaudzes šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$; H_{vj} – augstums virs jūras līmeņa, m ; k – fiktīvais mainīgais kūdras augšņu raksturošanai: ja ir kūdras augsnes, tad 1, ja nav kūdras augsnes, tad 0; ms – fiktīvais mainīgais augsnes mitruma raksturošanai: ja ir mitras vai slapjas augsnes, tad 1, ja nav, tad 0 (mitra augsne – ja gruntsūdens līmenis pastāvīgi mazāks par 1m; slapja augsne – ja ūdens līmenis pastāvīgi virs augsnes virskārtas); $b_0; b_1; b_2...b_9$ – koeficienti.

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

$$PG_{atm} = \exp \left(b_0 + (b_1 + b_2 \cdot S + b_3 \cdot \ln(G) + b_4 \cdot D + b_5 \cdot A^2 + b_6 \cdot D^2 + b_7 \cdot \ln(N) + b_8 \cdot ms + b_9 \cdot att_{kailc} + b_{10} \cdot P_{LK} + b_{11} \cdot c_{kop}) \right) \quad (44)$$

PG_{atm} – atmirušās koksnes šķērslaukuma procents, %; S – parauglaukuma (audzes) platība, m^2 ; G – mežaudzes šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$; D – mežaudzes vidējais caurmērs, m ; A – mežaudzes vecums, gadi; N – mežaudzes koku skaits, ha^{-1} ; ms – fiktīvais mainīgais augsnes mitruma raksturošanai: ja ir mitras vai slapjas augsnes, tad 1, ja nav, tad 0 (mitra augsne – ja gruntsūdens līmenis pastāvīgi mazāks par 1m; slapja augsne – ja ūdens līmenis pastāvīgi virs augsnes virskārtas); att_{kailc} – fiktīvais mainīgais, kas raksturo kailcirtes klātbūtnes esamību, ja tuvāk par 20 m pēdējo piecu gadu laikā ir veikta kailcorte, tad 1, ja nē, tad 0; P_{LK} – lapu koku īpatsvars (pēc šķērslaukuma); c_{kop} – fiktīvais mainīgais kopšanas ciršu ietekmes raksturošanai, ja perioda laikā veikta kopšana, tad 1, ja nē, tad 0; b_0 ; b_1 ; $b_2 \dots b_{11}$ – koeficienti.

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

$$\text{Priede} \quad p_P = \frac{\exp(b_0 + b_1 \cdot k_{P70} + b_2 \cdot d + b_3 \cdot \ln(G) + b_4 \cdot ms + b_5 \cdot D + b_6 \cdot d^2 + b_7 \cdot BAL + b_8 \cdot D^2)}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot k_{P70} + b_2 \cdot d + b_3 \cdot \ln(G) + b_4 \cdot ms + b_5 \cdot D + b_6 \cdot d^2 + b_7 \cdot BAL + b_8 \cdot D^2)} \quad (45)$$

$$\text{Egle} \quad p_E = \frac{\exp(b_0 + b_1 \cdot D + b_2 \cdot G + b_3 \cdot att_{kailc} + b_4 \cdot BAL + b_5 \cdot k_{P70} + b_6 \cdot c_{kop} + b_7 \cdot d^{-1})}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot D + b_2 \cdot G + b_3 \cdot c_{kailc} + b_4 \cdot BAL + b_5 \cdot k_{P70} + b_6 \cdot c_{kop} + b_7 \cdot d^{-1})} \quad (46)$$

$$\text{Bērzs} \quad p_B = \frac{\exp(b_0 + b_1 \cdot D + b_2 \cdot G + b_3 \cdot H_{vijl} + b_4 \cdot d + b_5 \cdot d^2 + b_6 \cdot BAL)}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot D + b_2 \cdot G + b_3 \cdot H_{vijl} + b_4 \cdot d + b_5 \cdot d^2 + b_6 \cdot BAL)} \quad (47)$$

$$\text{Citi lapu koki} \quad p_C = \frac{\exp(b_0 + b_1 \cdot BAL + b_2 \cdot G + b_3 \cdot H_{vijl} + b_4 \cdot att_{<H20} + b_5 \cdot LAT + b_6 \cdot d^{-1})}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot BAL + b_2 \cdot G + b_3 \cdot H_{vijl} + b_4 \cdot att_{<H20} + b_5 \cdot LAT + b_6 \cdot d^{-1})} \quad (48)$$

p – varbūtība, ka nākošajā periodā atmirs koki; k_{P70} – fiktīvais mainīgais priedes īpatsvara raksturošanai: ja priede ir vismaz 70%, tad 1, ja nav, tad 0; d – koku caurmēra grupa, m ; G – mežaudzes šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$; ms – fiktīvais mainīgais augsnes mitruma raksturošanai: ja ir mitras vai slapjas augsnes, tad 1, ja nav, tad 0 (mitra augsne – ja gruntsūdens līmenis pastāvīgi mazāks par 1m; slapja augsne – ja ūdens līmenis pastāvīgi virs augsnes virskārtas); D – mežaudzes vidējais caurmērs, m ; BAL – resnāku koku šķērslaukuma summa, $m^2 ha^{-1}$; att_{kailc} – fiktīvais mainīgais, kas raksturo kailcirtes klātbūtnes esamību, ja tuvāk par 20 m pēdējo piecu gadu laikā ir veikta kailcorte, tad 1, ja nē, tad 0; c_{kop} – fiktīvais mainīgais kopšanas ciršu ietekmes raksturošanai, ja perioda laikā veikta kopšana, tad 1, ja nē, tad 0; H_{vijl} – augstums virs jūras līmeņa, m ; $att_{<H20}$ – fiktīvais mainīgais, kas raksturo blakus audžu augstumu, ja tuvāk par 20 m ir audze, kas zemāka par konkrēto audzi, tad 1, ja nē, tad 0; LAT – platuma grādi, $^\circ$; b_0 ; b_1 ; $b_2 \dots b_7$ – koeficienti.

2.3.5. Koku sadalījuma modelēšana

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

$$f(x) = \frac{\lambda}{\beta} \cdot \left[\left(\frac{h-\alpha}{\beta} \right)^{\lambda-1} \cdot \exp \left(- \left(\frac{h-\alpha}{\beta} \right)^{\lambda} \right) \right] \quad (49)$$

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

Weibull sadalījuma kumulāta izsakāma ar sakarību:

$$f(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x-\alpha}{\beta} \right)^{\lambda} \right] \quad (50)$$

$$CVH = \exp(b_0 + b_1 \cdot H + b_2 \cdot \ln(H) + b_3 \cdot \ln(1 + P_{LK}) + b_4 \cdot Izc) \quad (50.1)$$

$$\lambda = \exp(b_0 + b_1 \cdot H + b_2 \cdot CVH + b_3 \cdot \ln(CVH)) \quad (50.2)$$

$$\beta = b_0 + b_1 \cdot H + b_2 \cdot CVH \quad (50.3)$$

CVH – koku augstuma variācijas koeficients; H – mežaudzes vidējais augstums, m ; P_{LK} – lapu koku īpatsvars; Izc – mežaudzes izcelsme, 1-ja mākslīga, 0-ja dabīga; $\alpha=0.1$; b_0 ; b_1 ; $b_2 \dots b_4$ – koeficienti.

2.3.6. Augšanas gaitas modeļu lietošana

Mežaudzes taksācijas rādītāju modelēšana iespējama 2 variantos:

1. atsevišķu koku līmenī – atsevišķu koku taksācijas rādītāju modelēšana;
2. audzes līmenī – audzes taksācijas rādītāju modelēšana.

Atsevišķu koku taksācijas rādītāju modelēšana

- 1.*solis* Atkarībā no audzes taksācijas rādītājiem, izmantojot *Weibull* vienādojumu (49. un 50. vienādojums), tiek ģenerēti atsevišķi koki un to augstumi.
- 2.*solis* Ģenerētajiem kokiem aprēķina caurmēru (38. vienādojums).
- 3.*solis* Prognozē atsevišķu koku caurmēra pieaugumu (37. vienādojums), un pēc tam tiem atbilstošos augstumus (35. vienādojums).
- 4.*solis* Prognozē atsevišķu koku atmiršanu (45-48. vienādojums).
- 5.*solis* No nomodelētajām atsevišķu koku taksācijas rādītāju vērtībām aprēķina mežaudzes taksācijas rādītājus.

Mežaudzes taksācijas rādītāju modelēšana

- 1.*solis* Tiek modelētas mežaudzes vidējā augstuma vai virsaugstuma izmaiņas (33. un 34. vienādojums).
- 2.*solis* Tiek modelētas mežaudzes vidējā caurmēra (38. vienādojums) un šķērslaukuma (39. vienādojums) izmaiņas, kā arī atmirums (41. un 42. vienādojums).
- 3.*solis* Tiek aprēķināta mežaudzes krāja kā sekundārs parametrs, izmantojot jebkuru mežaudzes krājas aprēķināšanas vienādojumu.

2.4. Somija

Mežaudzes taksācijas rādītāju modelēšana notiek atsevišķu koku līmenī.

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

2.4.1. Augšanas gaitas modeļiem nepieciešamie papildus rādītāji

2.4.1.1. Audzes relatīvā biežība

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

Relatīvo audzes biežības faktoru aprēķina pēc sekojoša vienādojuma:

$$RDF = \sum_{i=1}^n ga_i \quad (51)$$

$$ga_i = b_0^{-1} \cdot d_i^{-b_1} \quad (51.1)$$

RDF – relatīvā biežības faktors; *ga_i* – atsevišķa koka minimālā augšanas telpa; *d_i* – atsevišķa koka krūšaugstuma caurmērs, cm, *b₀*; *b₁* – koeficienti.

2.4.1.2. Koku vainaga īpatsvars

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

$$cr = 1 - \exp(-X) \quad (52)$$

Priede

$$X = (b_0 + b_1 \cdot c_{0-5} + b_2 \cdot c_{6-10}) \cdot H_{dom}^{-b_3} \cdot d^{b_4} \cdot \exp(-b_5 \cdot RDFL) \cdot T_{sum}^{b_6} \cdot \exp(-b_7 \cdot RDF) \quad (52.1)$$

Egle

$$X = (b_0 + b_1 \cdot c_{0-5}) \cdot H_{dom}^{-b_2} \cdot d^{b_3} \cdot \exp(-b_4 \cdot RDF) \cdot T_{sum}^{b_5} \cdot SI_e^{b_6} \quad (52.2)$$

Bērzs

$$X = (b_0 + b_1 \cdot PLANT) \cdot \ln(H_{dom})^{-b_2} \cdot d^{b_3} \cdot \ln(h)^{-b_4} \cdot \exp(-(b_4 + b_6 \cdot PLANT) \cdot RDF) \quad (52.3)$$

cr – vainaga īpatsvars (zaļā vainaga garums attiecībā pret koka garumu); H_{dom} – mežaudzes virsaugstums, m; *d* – koka krūšaugstuma caurmērs, cm; *RDFL* – lielāku koku relatīvā biežības faktors; *RDF* – relatīvā biežības faktors; T_{sum} – aktīvās veģetācijas ($t^0 > 5^0C$) temperatūru summa; SI_e – egles virsaugstuma bonitāte (dominējošo koku augstums 50 gadu krūšaugstuma vecumā), m; *PLANT* – fiktīvais mainīgais audzes izcelsmes raksturošanai, ja audze stādīta, tad 1, ja nē, tad 0; c_{0-5} – rādītājs, kas raksturo vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta kopšanas cirte (0-1); c_{6-10} – rādītājs, kas raksturo vai pēdējo 6 līdz 10 gadu laikā mežaudzē ir veikta kopšanas cirte (0-1); b_0 ; b_1 ; $b_2 \dots b_7$ – koeficienti.

2.4.1.3. Audzes virsaugstuma bonitāte

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

Mežaudzes virsaugstuma aprēķināšanai izmantojams sekojošs vienādojums:

$$SI = \exp(\beta_0 + \beta_1 \cdot A^c) + 1.3 \quad (53)$$

$$\beta_0 = b_0 + b_1 \cdot T_{sum} + b_2 \cdot H_{vj} + b_3 \cdot LAKE + b_4 \cdot SEA + b_5 \cdot SC_1 + b_6 \cdot SC_2 + b_7 \cdot SC_3 + b_8 \cdot SC_4 + b_9 \cdot SC_5 + b_{10} \cdot STONY + b_{11} \cdot PALU + b_{12} \cdot HUMUS + b_{13} \cdot RDF^{0.5} + b_{14} \cdot \ln\left(\frac{d}{D_{dom}}\right) + b_{15} \cdot \ln\left(\frac{d}{D_{dom}}\right) \cdot RDF + b_{16} \cdot PLANT \quad (53.1)$$

SI – mežaudzes virsaugstuma bonitāte (augstums 50 gadu krūšaugstuma vecumā), m; *A* – mežaudzes krūšaugstuma vecums (rēķinot virsaugstuma bonitāti $A=50$ gadi), gadi; T_{sum} – aktīvās veģetācijas ($t^0 > 5^0C$) temperatūru summa; H_{vj} – augstums virs jūras līmeņa, m; *LAKE* – 20 km rādiusā ezeru proporcionālais segums; *SEA* – 20 km rādiusā jūras proporcionālais segums; SC_x – fiktīvais mainīgais, kas raksturo kādai meža tipa auglības grupai pieder mežaudze (2.2. tabula); *STONY* – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai augsne ir akmeņaina; *PALU* – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai augsne ir pārpurvojusies; *HUMUS* – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai augsnes virskārtā ir biezs rohumusa slānis; $\frac{d}{D_{dom}}$ – atsevišķa koka caurmēra attiecība pret dominējošo koku vidējo caurmēru (šajā gadījumā 1); *RDF* – relatīvā biežības faktors (rēķinot virsaugstuma bonitāti $RDF=0.75$); *PLANT* – fiktīvais mainīgais audzes izcelsmes raksturošanai, ja audze stādīta, tad 1, ja nē, tad 0; β_1 ; c ; b_0 ; b_1 ; $b_2 \dots b_{16}$ – koeficienti.

2.2. tabula

Somijas augšanas gaitas modeļos izmantotās meža auglības grupas

SC ₁	SC ₂	SC ₃	SC ₄	SC ₅	SC ₆	SC ₇	SC ₈
ļoti auglīgs	auglīgs	mēreni auglīgs	mēreni nabadzīgs	nabadzīgs	ļoti nabadzīgs	akmeņainas zemes, smiltāji un palienas	kalni un pakalni

Ar 53. vienādojumu iespējams aprēķināt arī mežaudzes dominējošo koku vidējo augstumu jebkurā vecumā un līdz ar to ir iespējams arī prognozēt šī rādītāja pieaugumu:

$$iH_{dom5} = H_{domA+5} - H_{domA} \quad (54)$$

iH_{dom5} – dominējošo koku nākošo 5 gadu augstuma pieaugums, m; H_{domA} – mežaudzes dominējošo koku vidējais augstums vecumā *A*, m; H_{domA+5} – dominējošo koku vidējais augstums vecumā $A+5$ (51. vienādojums), m.

2.4.2. Augstuma augšanas gaitas modeļi

2.4.2.1. Mežaudzes minerālās augsnēs

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

$$\text{Priede; Egle} \quad ih_5 = iH_{dom5} \cdot \left(\frac{d}{D_{dom}} \right)^{b_1 \cdot iH_{dom5}^{b_2 + b_3 \cdot \frac{cr}{CR_{dom}}} + b_4 \cdot cr + b_5 \cdot RDFL} \quad (55)$$

$$\text{Bērzs} \quad ih_5 = iH_{dom5} \cdot \left(\frac{d}{D_{dom}} \right)^{(b_1 + b_2 \cdot PLANT) \cdot RDFL} \quad (56)$$

ih_5 – koka nākošo 5 gadu augstuma pieaugums, m; iH_{dom5} – dominējošo koku nākošo 5 gadu augstuma pieaugums (53. vienādojums), m; d – koka krūšaugstuma caurmērs, cm; D_{dom} – dominējošo koku krūšaugstuma caurmērs, cm; cr – vainaga īpatsvars (zaļā vainaga garums attiecībā pret koka garumu); CR_{dom} – dominējošo koku vidējais vainaga īpatsvars; $RDFL$ – lielāku koku relatīvā biežības faktors; $PLANT$ – fiktīvais mainīgais audzes izcelsmes raksturošanai, ja audze stādīta, tad 1, ja nē, tad 0; b_0 ; b_1 ; $b_2 \dots b_4$ – koeficienti.

2.4.2.2. Mežaudzes kūdras augsnēs

Modelis izstrādāts, lai atbilstoši aktualizētajam koka caurmēram (59. vienādojums) aprēķinātu atsevišķu koku augstumu:

$$h = \exp(A_k + B_k \cdot x + e) + 1.3 \quad (57)$$

$$x = \frac{d^{-a_1} - 30^{-a_1}}{10^{-a_1} - 30^{-a_1}} \quad (57.1)$$

$$A_k = b_0 + b_1 \cdot \ln(DM) + b_2 \cdot \ln(G) + b_3 \cdot \ln\left(\frac{P_b}{100} + 1\right) + b_4 \cdot LAT + b_5 \cdot H_{vij} + b_6 \cdot c_{0-5} + b_7 \cdot SQ_{2-4} \quad (57.2)$$

$$B_k = c_0 + c_1 \cdot \ln(DM) + c_2 \cdot \ln(G) \quad (57.3)$$

h – koka augstums, m; d – koka krūšaugstuma caurmērs, cm; DM – mežaudzes mediānais caurmērs, cm; G – mežaudzes šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$; P_b – bērzu šķērslaukuma īpatsvars mežaudzē, %; LAT – ziemeļu platums, km; H_{vij} – augstums virs jūras līmeņa, m; c_{0-5} – rādītājs, kas raksturo vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta kopšanas cirte (0-1); SQ_{2-4} – fiktīvais mainīgais augsnes auglības raksturošanai, ja mežaudze ir mezotrofiskās, oligomezotrofiskās vai oligotrofiskās augsnēs, tad 1, ja nē, tad 0; a_1 ; b_0 ; b_1 ; b_2 ; b_3 ; b_4 ; b_5 ; b_6 ; b_7 ; c_0 ; c_1 ; c_2 – koeficienti.

2.4.3. Caurmēra augšanas gaitas modeļi

Caurmēra augšanas gaitas aproksimēšanai izmanto atsevišķu koku šķērslaukuma pieauguma modeli.

2.4.3.1. Mežaudzes minerālās augsnēs

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

$$i_{g5} = \exp(b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n) \quad (58)$$

Priede

$$i_{g5} = \exp \left(b_0 + b_1 \cdot SI_p + b_2 \cdot SC_{1-2} + b_3 \cdot SC_3 + b_4 \cdot SC_{5-8} + b_5 \cdot \frac{1}{H_{dom}} + b_6 \cdot \frac{1}{H_{dom}^2} + b_7 \cdot \ln(d) + b_8 \cdot d^2 + b_9 \cdot \frac{1}{d+0.1} + b_{10} \cdot \ln(cr) + b_{11} \cdot RDF_L + b_{12} \cdot \ln(RDF_p + 1) + b_{13} \cdot \ln(RDF_e + 1) + b_{14} \cdot \ln(RDF_b + RDF_{citi} + 1) + b_{15} \cdot \frac{cr \cdot T_{sum}}{1000} + b_{16} \cdot c_{0-5} + b_{17} \cdot c_{6-10} \right) \quad (58.1)$$

Egle

$$i_{g5} = \exp \left(b_0 + b_1 \cdot SI_e + b_2 \cdot SC_1 + b_3 \cdot SC_2 + b_4 \cdot SC_{4-8} + b_5 \cdot \frac{1}{H_{dom}} + b_6 \cdot \frac{1}{H_{dom}^2} + b_7 \cdot \ln(d) + b_8 \cdot d^2 + b_9 \cdot (\ln(d))^2 + b_{10} \cdot \ln(cr) + b_{11} \cdot RDF_L + b_{12} \cdot \ln(RDF_p + 1) + b_{13} \cdot \ln(RDF_e + 1) + b_{14} \cdot \ln(RDF_b + 1) + b_{15} \cdot \frac{cr \cdot T_{sum}}{1000} + b_{16} \cdot c_{0-5} \right) \quad (58.2)$$

Bērzs

$$i_{g5} = \exp \left(b_0 + b_1 \cdot SI_b + b_2 \cdot \frac{1}{H_{dom}} + b_3 \cdot \frac{1}{H_{dom}^2} + b_4 \cdot \ln(d) + b_5 \cdot d^2 + b_6 \cdot \ln(cr) + b_7 \cdot RDF_L + b_8 \cdot \ln(RDF + 1) + b_9 \cdot \frac{T_{sum}}{1000} + b_{10} \cdot PLANT + b_{11} \cdot c_{0-10} + b_{12} \cdot SP \right) \quad (58.3)$$

i_{g5} – koka nākošo 5 gadu šķērslaukuma pieaugums, cm^2 ; SI_p – priedes virsaugstuma bonitāte (augstums 50 gadu vecumā), m; SI_e – egles virsaugstuma bonitāte (augstums 50 gadu vecumā), m; SI_b – bērza virsaugstuma bonitāte (augstums 50 gadu vecumā), m; SC_x – fiktīvais mainīgais, kas raksturo kādai meža tipa auglības grupai pieder mežaudzei; H_{dom} – mežaudzes virsaugstums, m; d – koka krūšaugstuma caurmērs, cm; cr – koka vainaga īpatsvars; RDF_L – lielāku koku relatīvās biežības faktors; RDF_p – priedes relatīvās biežības faktors; RDF_e – egles relatīvās biežības faktors; RDF_b – bērza relatīvās biežības faktors; RDF_{citi} – citu koku sugu (bez p;e;b) relatīvās biežības faktors; T_{sum} – aktīvās veģetācijas ($t^\circ > 5^\circ C$) temperatūru summa; c_{0-5} – rādītājs, kas raksturo vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta kopšanas cirte (0-1); c_{6-10} – rādītājs, kas raksturo vai pēdējo 6 līdz 10 gadu laikā mežaudzē ir veikta kopšanas cirte (0-1); $PLANT$ – fiktīvais mainīgais audzes izcelsmes raksturošanai, ja audze stādīta, tad 1, ja nē, tad 0; SP – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 10 gadu laikā mežaudzē ir sagatavota augsne (1 vai 0); b_0 ; b_1 ; b_2 ... b_{17} – koeficienti.

2.4.3.2. Mežaudzes kūdras augsnes

Mežaudzēs kūdras augsnēs tiek prognozēts atsevišķu koku šķērslaukuma pieaugums:

$$i_g = \exp(b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n) - \text{const} \quad (59)$$

Priede

$$i_g = \exp(b_0 + b_1 \cdot g + b_2 \cdot BAL + b_3 \cdot BAL^2 + b_4 \cdot \ln(BAL) + b_5 \cdot (T_{sum} \cdot d^{0.5})^{0.5} + b_6 \cdot Y1 + b_7 \cdot Y2 + b_8 \cdot Y1 \cdot \ln(d) + b_9 \cdot Y2 \cdot 4 \cdot \ln(d) + b_{10} \cdot Y3 \cdot \ln(d) + b_{11} \cdot DR_{0-5} + b_{12} \cdot DR_{11-25} + b_{13} \cdot PDR + b_{14} \cdot c_{0-5} + b_{15} \cdot FUSC) - 1 \quad (59.1)$$

Egle

$$i_g = \exp(b_0 + b_1 \cdot d^{2.9} + b_2 \cdot BAL + b_3 \cdot P_e + b_4 \cdot Y1 \cdot d^{0.5} + b_5 \cdot Y2 \cdot d^{0.5} + b_6 \cdot DR_{0-5} + b_7 \cdot DR_{25-} + b_8 \cdot PDR + b_9 \cdot c_{0-5}) - 7 \quad (59.2)$$

Bērzs

$$i_g = \exp(b_0 + b_1 \cdot d^2 + b_2 \cdot BAL + b_3 \cdot T_{sum} + b_4 \cdot P_e + b_5 \cdot P_b + b_6 \cdot SEA + b_7 \cdot Y1 \cdot \ln(d) + b_8 \cdot Y2 \cdot \ln(d) + b_9 \cdot Y3 \cdot \ln(d) + b_{10} \cdot DR_{0-5} + b_{11} \cdot DR_{11-25} + b_{12} \cdot PDR + b_{14} \cdot c_{0-5}) - 3 \quad (59.3)$$

i_g – koka šķērslaukuma pieaugums, cm^2 ; d – koka krūšaugstuma caurmērs, cm; g – koka šķērslaukums, cm^2 ; BAL – šķērslaukuma summa kokiem, kas lielāki par konkrēto koku, $m^2 ha^{-1}$; T_{sum} – aktīvās veģetācijas ($t^\circ > 5^\circ C$) temperatūru summa; P_e – egļu šķērslaukuma īpatsvars mežaudzē, %; P_b – bērzu šķērslaukuma īpatsvars mežaudzē, %; SEA – 20 km rādiusā jūras proporcionālais segums; Y_{1-4} – fiktīvais mainīgais, kas raksturo koku sugai atbilstošo ražības grupu (2.3. tabula); DR_{0-5} – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta nosusināšana; DR_{11-25} – fiktīvais mainīgais, kas raksturo vai pēdējo 11 līdz 25 gadu laikā mežaudzē ir veikta nosusināšana; DR_{25-} – fiktīvais mainīgais, kas raksturo, ka mežaudzē ir veikta nosusināšana vairāk kā 25 gadus atpakaļ; PDR – fiktīvais mainīgais, kas raksturo nosusināšanas nepieciešamību, ja vajag

nosusināt, tad 1, ja nevajag, tad 0; $c_{0.5}$ – rādītājs, kas raksturo vai pēdējo 5 gadu laikā mežaudzē ir veikta kopšanas cirte (0-1); b_0 ; b_1 ; $b_2 \dots b_{15}$ – koeficienti.

2.3. tabula

Somijas caurmēra augšanas gaitas modeļos kūdras augsnēs (59. vienādojums) izmantotās koku sugu ražības grupas atkarībā no meža augšnes grupas un mežaudzes valdošās koku sugas

Valdošā koku suga	Koka suga	Eitrofās augšnes	Mezotrofās augšnes	Oligo-mezotrofās augšnes	Oligotrofās augšnes	Ombro-oligotrofās augšnes	Ombro-rofās augšnes
Priede	Priede	Y1	Y1	Y3	Y3	Y4	Y4
	Egle	Y2	Y2	Y1	Y3		
	Bērzs	Y1	Y1	Y1	Y2	Y2	
Egle, bērzs	Priede	Y1	Y1	Y1	Y1		
	Egle	Y1	Y1	Y1	Y1		
	Bērzs	Y1	Y1	Y1	Y2		

2.4.4. Atmiruma modeļi

Atsevišķa koka atmiršanas modelēšanā tiek ņemts vērā gan kokaudzes konkurences ietekme, gan koka vecuma ietekme. Atsevišķa koka atmiršanas varbūtība, ka tas atmirs nākošo piecu gadu laikā, tiek modelēta sekojoši:

$$p_5 = 1 - (1 - p_{comp5}) \cdot (1 - p_{old5}) \quad (60)$$

p_5 – varbūtība, ka koks atmirs nākošo piecu gadu laikā; p_{comp5} – varbūtība, ka koks konkurences dēļ atmirs nākošo piecu gadu laikā; p_{old5} – varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs nākošo piecu gadu laikā.

2.4.4.1. Konkurences izraisītais atsevišķu koku atmirums

Atsevišķu koku konkurences izraisītā atmiruma varbūtība tiek modelēta sekojoši:

Priede, egle

$$p_{comp5} = \frac{1}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot G + b_3 \cdot BAL)} \quad (61)$$

Lapu koki

$$p_{comp5} = \frac{1}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot d_c + b_2 \cdot RDFL + b_3 \cdot d_c \cdot RDFL)} \quad (62)$$

p_{comp5} – varbūtība, ka koks konkurences dēļ atmirs nākošo piecu gadu laikā; d – koka krūšaugstuma caurmērs, cm; G – mežaudzes šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$; BAL – šķērslaukuma summa kokiem, kas lielāki par konkrēto koku, $m^2 ha^{-1}$; d_c – koka celma augstuma caurmērs, cm; $RDFL$ – lielāku koku relatīvās biežības faktors; b_0 ; b_1 ; b_2 ; b_3 – koeficienti.

2.4.4.2. Vecuma izraisītais atsevišķu koku atmirums

Atsevišķu koku vecuma izraisītā atmiruma varbūtība tiek modelēta sekojoši:

$$p_{old} = \frac{\exp\left(-10 + 10 \cdot \left(\frac{10 \cdot a_c}{0.82 \cdot A_{max}}\right)\right)}{1 + \exp\left(-10 + 10 \cdot \left(\frac{10 \cdot a_c}{0.82 \cdot A_{max}}\right)\right)} \quad (63)$$

p_{old} – varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs; a_c – koka celma augstuma vecums, gadi; A_{max} – koku sugas teorētiski maksimālais vecums, gadi.

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

$$p_{old5} = \frac{p_{old(A+5)} - p_{old(A)}}{1 - p_{old(A)}} \quad (64)$$

p_{old5} – varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs nākošo piecu gadu laikā; $p_{old(A)}$ – varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs vecumā A ; $p_{old(A+5)}$ – varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs vecumā $A+5$.

2.4.4.3. Mežaudzes maksimālais koku skaits

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

$$N_{max} = \exp(b_0 + b_1 \cdot \ln(D_c)) \quad (65)$$

$$N_{max} = \exp(b_0 + b_1 \cdot \ln(SI) + b_2 \cdot \ln(D_c)) \quad (66)$$

N_{max} – mežaudzes maksimālais koku skaits, ha^{-1} ; D_c – mežaudzes vidējais celma augstuma caurmērs, cm; SI – mežaudzes virsaugstuma bonitāte (dominējošo koku augstums 50 gadu vecumā), m.

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

- 1) Koku sugas sakārto pēc to gaismas prasības dilstošā secībā. *Piemēram: egles; priedes; bērzs.*
- 2) Aprēķina ģenētiskās sugas maksimālo koku skaitu.

$$N_{maxE} = N'_{maxE} \quad (67)$$

- 3) Aprēķina nākošās ģenētiskās sugas maksimālo koku skaitu.

$$N_{maxP} = \frac{RDF_p + RDF_b}{RDF} \cdot N'_{maxp} + \frac{RDF_e}{RDF} \cdot N'_{maxE} \quad (68)$$

- 4) Aprēķina nākošās ģenētiskās sugas maksimālo koku skaitu.

$$N_{maxB} = \frac{RDF_b}{RDF} \cdot N'_{maxb} + \frac{RDF_p}{RDF} \cdot N'_{maxp} + \frac{RDF_e}{RDF} \cdot N'_{maxE} \quad (69)$$

N_{maxE} – egles korigētais maksimālais koku skaits, ha^{-1} ; N_{maxP} – priedes korigētais maksimālais koku skaits, ha^{-1} ; N_{maxB} – bērza korigētais maksimālais koku skaits, ha^{-1} ; N'_{maxi} – atsevišķu sugu maksimālais koku skaits, kas aprēķināts ar 65. vai 66. vienādojumu, ha^{-1} ; RDF – audzes relatīvās biežības faktors; RDF_p – priedes relatīvās biežības faktors; RDF_e – egles relatīvās biežības faktors; RDF_b – bērza relatīvās biežības faktors.

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

2.4.4.6. Atmiruma korekcija

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

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

$$C_{kor} = \frac{N_{max}}{N'} \quad (70)$$

C_{kor} – koku skaita korekcijas koeficients; N' – ar atmiruma modeļiem prognozētais koku skaits, ha^{-1} ; N_{max} – maksimālais koku skaits, ha^{-1} .

Ar 70. vienādojumu koku skaita korekcijas koeficients aprēķināms mežaudzēm, kurās koku skaits mazāks par 2000 kokiem uz hektāra. Ja mežaudzes koku skaits pārsniedz 5000 kokus uz hektāra, tad korekcijas koeficients aprēķināms pēc šķērslaukuma:

$$C_{kor} = \frac{G_{max}}{G} \quad (71)$$

C_{kor} – koku skaita korekcijas koeficients; G – ar atmiruma modeļiem prognozētais šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$; G_{max} – maksimālais šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$.

Šķērslaukuma aprēķināšanai izmanto 8. vienādojumu, kur maksimālā mežaudzes maksimālā šķērslaukuma aprēķināšanā izmanto mežaudzes vidējo kvadrātisko caurmēru. Ja koku skaits ir 2000-5000 koki uz hektāra, tad koku skaita korekcijas koeficients tiek aprēķināts kombinēti:

$$c_{kor} = \varphi \cdot \frac{G_{max}}{G} + (1 - \varphi) \cdot \frac{N_{max}}{N} \quad (72)$$

$$\varphi = \frac{1}{3} \cdot \frac{N}{1000} - \frac{2}{3} \quad (72.1)$$

c_{kor} – koku skaita korekcijas koeficients; N – ar atmiruma modeļiem prognozētais koku skaits, ha^{-1} ; N_{max} – maksimālais koku skaits, ha^{-1} ; G – ar atmiruma modeļiem prognozētais šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$; G_{max} – maksimālais šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$.

Nākošā perioda koriģēto koku skaitu aprēķina sekojoši:

$$N_{kor} = c_{kor} \cdot N \quad (73)$$

N_{kor} – koriģētais koku skaits, ha^{-1} ; c_{kor} – koku skaita korekcijas koeficients; N – ar atmiruma modeļiem prognozētais koku skaits, ha^{-1} .

2.4.4.5. Atmiruma modeļa lietošana

1. Aprēķina atsevišķu koku atmiruma-izdzīvošanas varbūtību (60.-64. vienādojums).
2. Aprēķina nākošās perioda koku skaitu.
3. Aprēķina maksimālo koku skaitu (65.-69. vienādojums).
4. Salīdzina maksimālo koku skaitu ar prognozēto koku skaitu:
 - 4.1. ja prognozētais koku skaits mazāks par maksimālo koku skaitu, tad nākošā perioda koku skaits netiek koriģēts un ir vienāds ar 2. punktā aprēķināto vērtību;
 - 4.2. ja prognozētais koku skaits lielāks par maksimālo koku skaitu, tad nākošā perioda koku skaits tiek koriģēts (70-73. vienādojums).

2.4.5. Augšanas gaitas modeļu lietošana

5. Aprēķina mežaudzes un atsevišķu koku relatīvo biežību (51. vienādojums), koku vainaga īpatsvaru (52. vienādojums) un virsaugstuma bonitāti (53. vienādojums).
6. Aprēķina dominējošo koku augstuma pieaugumu (54. vienādojums).
7. Aprēķina atsevišķu koku augstuma (55. 56. un 57. vienādojums) un caurmēra (58. un 59. vienādojums) pieaugumu.
8. Aprēķina atsevišķu koku atmirumu (60. - 73. vienādojums).
9. Balstoties uz prognozētajām atsevišķu koku vērtībām, aprēķina audzes taksācijas rādītājus.

2.5. Augšanas gaitas modeļu izvērtējums

Visi apskatītie modeļi izstrādāti Ziemeļeiropas boreālo un hemiboreālo mežu augšanas gaitas prognozēšanai, tādēļ ir pamats uzskatīt, ka tie ir piemērojami Latvijas mežaudžu attīstības modelēšanai.

Visām valstīm lielākā daļa modeļos iekļauto mainīgo ir pieejami MSI datu bāzē (tieši uzmērīti vai sekundāri aprēķināmi) vai tiem var piemērot līdzvērtīgus (Latvijai raksturīgus) rādītājus, tādēļ ir pamats uzskatīt, ka tie ir piemērojami izstrādāšanai uz MSI datu bāzes. Tomēr jāatzīmē, ka atsevišķos modeļos ir rādītāji, kurus pašreiz MSI datu bāzē esošajiem datiem nav iespējams iegūt, piemēram, organiskā slāņa biezums (Igaunija), blakus esošo audžu raksturojums vai informācija par mēslošanu (Zviedrija), saimnieciskās darbības raksturojums vairāk nekā pirms desmit gadiem (Zviedrija, Somija). Zviedrijas un Somijas modeļos plaši tiek lietoti tādi rādītāji kā ziemeļu platums (*latitude*) un augstums virs jūras līmeņa, kas neapšaubāmi šajās zemēs ir audzes augšanas gaitas reglamentējoši faktori, bet Latvijā šo rādītāju amplitūdas ir nelielas un tie noteikti nav būtiski ietekmējoši audžu augšanas gaitas

faktori. Bez iepriekš pieminētajiem mainīgajiem ir arī virkne citu faktoru, kas balstot modeļu izstrādi uz MSI datu bāzi neuzrādīs būtisku ietekmi, piemēram, attālums līdz jūras krastam, ezeru īpatsvars.

Igaunijas un Lietuvas modeļi paredzēti taksācijas rādītāju izmaiņas prognozēšanai audzes līmenī, kas nozīmē, ka šie modeļi nav piemēroti mistrotu audžu augšanas gaitas prognozēšanai, jo tie neņem vērā dažādu sugu augšanas īpatnības (ātrumu un ilgumu), līdz ar to nespēj prognozēt audzes sastāva (sugu) mainību. Līdz ar to ir pamats uzskatīt, ka **Igaunijas un Lietuvas augšanas gaitas modeļi nav potenciāli labāki par iepriekš Latvijā izstrādātajiem augšanas gaitas modeļiem** (Donis, 2015). Bez tam Lietuvas modeļos ir ielikts pieņēmums, ka audzes būtiski nemaina biežību, kā arī neatkarīgi no apsaimniekošanas režīma gan koku skaits, gan vidējais caurmērs konverģē uz vēsturiski apsaimniekošanas rezultāta konstatēto koku skaitu un caurmēru. Tomēr gribētos atzīmēt, ka būtu nepieciešams pārbaudīt uz Latvijas MSI datiem Igaunijas modeļos izmantoto pieeju, ka tiek modelēta mežaudzes biežība, bet koku skaits un šķērslaukums tiek aprēķināts kā sekundārs parametrs.

Zviedrijas un Somijas augšanas gaitas modeļi izstrādāti atsevišķu koku līmenī (Zviedrijai ir arī audžu līmenī). Augšanas gaitas modelēšanai atsevišķu koku līmenī galvenā priekšrocība ir spēja adekvātāk prognozēt koku savstarpējās konkurences ietekmi uz dažādu koku sugu pieaugumu, kā arī uz atmiršanu, līdz ar to šie modeļi ir ievērojami piemērotāki mistrotu audžu augšanas gaitas modelēšanai. Kā lielākais trūkums atsevišķu koku augšanas gaitas modeļiem ir to komplicētība, kas prasa lielāku resursu ieguldījumu, ar to saprotot lielāku laika un darba ietilpību datu ievākšanā, ievadē, apstrādē un modelēšanā. Ir pamats uzskatīt, ka **Zviedrijas un Somijas atsevišķu koku augšanas gaitas modeļi ir potenciāli labāki par iepriekš Latvijā izstrādātajiem augšanas gaitas modeļiem**, līdz ar to būtu nepieciešams turpmākajos pētījumos, balstoties uz Zviedrijas un Somijas modeļiem, izstrādāt atsevišķu koku augšanas gaitas modeļus Latvijai.

Rezumējot visu iepriekš minēto:

- atsevišķu koku augšanas gaitas modeļi salīdzinājumā ar audžu līmeņa augšanas gaitas modeļiem ir piemērotāki mistrotu audžu augšanas gaitas modelēšanai, tomēr tie ir daudz komplicētāki un prasa lielāku laika un darba ietilpību;
- Igaunijas un Lietuvas augšanas gaitas modeļi nav potenciāli labāki par iepriekš Latvijā izstrādātajiem augšanas gaitas modeļiem, tādēļ šos modeļus nav paredzēts izmantot turpmākajos pētījumos;
- Zviedrijas un Somijas atsevišķu koku augšanas gaitas modeļi ir potenciāli labāki par iepriekš Latvijā izstrādātajiem augšanas gaitas modeļiem, līdz ar to būtu nepieciešams turpmākajos pētījumos, balstoties uz Zviedrijas un Somijas modeļiem, izstrādāt atsevišķu koku augšanas gaitas modeļus Latvijai.

Tā kā projekta laikā būs pieejami jau 3. cikla (10 gadu perioda) MSI dati, tad balstoties uz garāku MSI parauglaukumu pārmērījumu laika rindu, turpmākajos pētījumos būtu nepieciešams jau iepriekš Latvijā izstrādāto modeļu (Donis, 2015) precizēšana.

3. Dažādvecuma audzēs iepriekš ierīkoto parauglaukumu pārmērīšana

3.1. Lauku darbu metodika

Iepriekšējās kokaudzes (mātes audzes) struktūras novērtēšana

Audzēs telpiskās struktūras raksturošanai pārmērīti 2006.-2012. gadā iekārtotie objekti, kuros izlases vai pakāpeniskās cirtes pirmais paņēmiens (vai kopšanas cirte ar mērķi panākt pirms atjaunošanos) veikts laika periodā no 2002. līdz 2009. gadam (3.1. tabula). Kopumā iepriekšējā kokaudze atkārtoti novērtēta 10 objektos – 5 objektos mētrājā, 4 objektos lānā un 1 objektā šaurlapju kūdrenī. Objektos kopā iepriekšējās kokaudzes struktūra atkārtoti novērtēta 64 parauglaukumos (500 m²; R=12,62 m).

Katram kokam atkārtoti fiksēta suga, kā arī pašreizējā stāvokļa klase (dzīvs, sausoknis, stumbeņis, kritāls, celms). Atmirušajai koksnei novērtēta tā sadalīšanās pakāpe 5 grupās:

1. svaigi;
2. bez mizas, bet cietu koksni;
3. trupējis, ārējais slānis <2cm mīksts;
4. trupējis, mīksts, pacelts sabrūk sava svara dēļ;
5. trupējis, mīksts, vairs nav sākotnējā forma.

3.1. tabula

Pārmērīto objektu raksturojums

Objekts	PL skaits	Meža tips	Cirtes gads	Pirmās uzmērīšanas gads	Otrās uzmērīšanas gads
601-350-4-10	9	Ln	2009	2012	
601-358-4	9	Ln	2003	2012	
601-359-1	9	Ln	2009	2012	
Engure308-5	6	Ln	2003	2008	2012
Engure371	11	Mr	2003	2008	2012
Garkalne112-8	4	Mr	2002	2006	2012
Garkalne113-10	4	Mr	2002	2006	2012
Garkalne128-1-3	4	Mr	2002	2006	2012
Garkalne128-1-5	4	Mr	2002	2006	2012
Garkalne128-5	4	Ks	2002	2006	2012

(Dabiskās) atjaunošanās uzskaitē

Uzskaitē veikta 25 m² (R=1,82 m) lielos aplveida uzskaites laukumus. Dabiski atjaunojušos skujkoku kociņi uzskaitīti visi, neatkarīgi no to savstarpējā attāluma, bet lapu koki katrā sugai uzskaitīti atbilstoši viens augstākais kociņš 0,25 m². Uzskaitīti kociņi, kas sasnieguši 5 cm augstumu. Uzskaitītie kociņi grupēti pa sugām un 0,1 m augstumu grupām, atsevišķi izdalot bojātos kociņus. Katrā parauglaukumā ierīkoti 3 uzskaites laukumi – viens parauglaukuma centrā un divi 6 m attālumā uz Z un D no parauglaukuma centra. Kopumā atjaunošanās uzskaitē veikta 192 atjaunošanās uzskaites laukumus.

3.2. Rezultāti

Iepriekšējās kokaudzēs (mātes audzes) struktūras uzmērīšana

Kopumā apsekoti 707 iepriekš uzmērītie koki, no kuriem atmiruši vai izcirsti ir 51 koki (7,2%) (3.2. tabula). Triju objektu saglabātās (mātes) audzes iepriekš uzmērītajos parauglaukumos nav konstatēti bojāgājuši koki (4 veģetācijas sezonu laikā). Sešos objektos konstatēti atsevišķi (1,5-3,8 % no parauglaukumos bijušo koku skaita) sausi vai krituši (vējgāzti) koki, kā arī celmi. Vienā no objektiem daļā no parauglaukumiem (6 no 11) veikta krājas kopšanas cirte, izcērtot vidēji 28,6% parauglaukumos esošo koku.

3.2. tabula

Iepriekš uzmērīto koku stāvokļa raksturojums

Objekts	Dzīvs	Sausoknis	Kritāls	Celms	Beigtie kopā, %	Kopā
601-350-4-10	57				0	57
601-358-4	51	1		1	3.8	53
601-359-1	60		1		1.6	61
Engure308-5	35				0	35
Engure371	248	1	1	43	15.4	293
Garkalne112-8	31	1			3.1	32
Garkalne113-10	35				0	35
Garkalne128-1-3	44			1	2.2	45
Garkalne128-1-5	29				0	29
Garkalne128-5	66		1		1.5	67
Kopā	656	3	3	45	7.2	707

Dabiskās atjaunošanās uzskaitē

Šaurlapju kūdrē 13 gadus pēc circes nav novērots neviens atjaunojies priedes kociņš (3.3. tabula). Tomēr jāatzīmē, ka šajā meža tipā ir uzmērīts tikai 1 objekts.

Lānā salīdzinot 6 gadus ar 3 gadiem pēc circes abos uzmērītajos objektos ir uzskaitīti vairāk priedes kociņi, attiecīgi $3200 \pm 1209 \text{ ha}^{-1}$ un $1933 \pm 999 \text{ ha}^{-1}$. Līdzīgā situācija ir novērojama Engure308-5 objektā, kur 12 gadus pēc circes ir uzskaitīti vairāk kociņi nekā 9 gadus pēc circes. Pēdējā gadījumā tas ir izskaidrojams ar pirmā stāva koku atkārtotu (3. circes paņēmieni) izretināšanu, kas veikta starpposmā starp abiem uzmērījumiem un ir veicinājusi jaunu kociņu parādīšanos.

Mētrajā 12 vai 13 gadus pēc circes četros no pieciem objektiem novērojams normatīvajos aktos noteiktais minimālais nepieciešamais kociņu skaits (3000 kociņu uz ha), lai platību atzītu par atjaunotu. Tomēr tikai 2 objektos (Garkalne112-8; Garkalne128-1-5) kociņu izvietojums ir vienmērīgs (vismaz 70% no uzskaites laukumiem ir minimāli nepieciešamais kociņu skaits).

3.3. tabula

Dabiskās atjaunošanās novērtējums uzmērītajos objektos pa pēccirces periodiem un meža tipiem

Meža tips	Objekts	3 gadi		4 vai 5 gadi		6 gadi		9 vai 10 gadi		12 vai 13 gadi	
		N	+/- *	N	+/-	N	+/-	N	+/-	N	+/-
Ks	Vidēji			0	0			50	118	0	0
	Garkalne128-5			0	0			50	118	0	0
Ln	Vidēji	1933	999			2756	694	2926	1603	3823	914
	601-350-4-10	889	734			1259	484				
	601-358-4							5156	2778	3970	1079
	601-359-1	2978	1754			4252	1048				
	Engure308-5			5700	1804			920	739	3575	1821
Mr	Vidēji			7322	1735			6558	2150	6761	1701
	Engure371			2874	1610			1844	1497	3037	1539
	Garkalne112-8			14700	5152			13950	5076	10267	3915
	Garkalne113-10			3160	2321			2850	3700	5833	4529
	Garkalne128-1-3			7867	4358			10400	9116	10044	6956
	Garkalne128-1-5			9700	4458			10600	6953	10100	5850

Vienā no objektiem (601-350-4-10) ir veikta priedes stādīšana un uzmērot atjaunošanās uzskaites laukumus stādītie kociņus uzskaitīti atsevišķi. Trīs gadus pēc circes konstatēti 1467 ± 595 stādītie kociņi ha^{-1} , bet sešus gadus pēc circes konstatēti nedaudz mazāk – 1289 ± 154 kociņi ha^{-1} (3.4. tabula). Savukārt dabiski atjaunojušos kociņu skaits ir nedaudz palielinājies – $889 \pm 734 \text{ ha}^{-1}$ 3 gadus pēc circes un $1259 \pm 484 \text{ ha}^{-1}$ sešus gadus pēc circes. Jāatzīmē, ka konstatēta būtiska atšķirība stādīto un dabiski atjaunojušos kociņu augstumā – stādītie kociņi jau trīs gadus pēc circes veikšanas ir būtiski lielāki par kociņiem, kas atjaunojušies dabiski, attiecīgi $0,30 \pm 0,07 \text{ m}$ un $0,13 \pm 0,05 \text{ m}$. Sešus gadus pēc circes veikšanas starpība ir vēl izteiktāka attiecīgi $1,09 \pm 0,10 \text{ m}$ un $0,46 \pm 0,09 \text{ m}$.

3.4. tabula

Dabiskās atjaunošanās un stādīto priedes kociņu raksturojums 3 un 6 gadus pēc circes

	3 gadi		6 gadi	
	vid.	+/-	vid.	+/-
$N_{\text{dabiskā}}, \text{gab. ha}^{-1}$	889	734	1259	484
$N_{\text{stādīts}}, \text{gab. ha}^{-1}$	1467	595	1289	154
$H_{\text{dabiskā}}, \text{m}$	0.13	0.04	0.43	0.07
$H_{\text{stādīts}}, \text{m}$	0.30	0.07	1.09	0.10
$H_{2000 \text{ dabiskā}}, \text{m}$	0.13	0.05	0.46	0.09
$H_{2000 \text{ stādīts}}, \text{m}$	0.30	0.07	1.09	0.10

+/- – robežklūda ar 95% ticamību; H_{2000} – 2000 kociņu uz ha (5 kociņu 25 m^2 uzskaites laukumā) vidējais augstums.

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

Secinājumi un rekomendācijas

1. Atsevišķu koku augšanas gaitas modeļi salīdzinājumā ar audžu līmeņa augšanas gaitas modeļiem ir piemērotāki mistrotu audžu augšanas gaitas modelēšanai, tomēr tie ir daudz komplicētāki un prasa lielāku laika un darba ietilpību.
2. Igaunijas un Lietuvas augšanas gaitas modeļi nav potenciāli labāki par iepriekš Latvijā izstrādātajiem augšanas gaitas modeļiem, tādēļ šos modeļus nav paredzēts izmantot turpmākajos pētījumos.
3. Zviedrijas un Somijas atsevišķu koku augšanas gaitas modeļi ir potenciāli labāki par iepriekš Latvijā izstrādātajiem augšanas gaitas modeļiem, līdz ar to būtu nepieciešams turpmākajos pētījumos, balstoties uz Zviedrijas un Somijas modeļiem, izstrādāt atsevišķu koku augšanas gaitas modeļus Latvijai.
4. Balstoties uz garāku MSI parauglaukumu pārmērījumu laika rindu, turpmākajos pētījumos būtu nepieciešams jau iepriekš Latvijā izstrādāto modeļu (Donis, 2015) precizēšana.

Literatūra

- Donis J. (projekta vad.), (2015) Mežaudžu augšanas gaitas un pieauguma noteikšana, izmantojot pārmērītos meža statistiskās inventarizācijas datus. Pārskats. 75 lpp: Pieejams http://www.lvm.lv/images/lvm/Petijumi_un_publicācijas/Petijumi/AGM_gala_ataskaite.pdf
- Elfving, B. 2010. Growth modelling in the Heureka system. Swedish University of Agricultural Sciences, Faculty of Forestry. 99 p.
[http://heurekaslu.org/wiki/Special:Search/Heureka_prognossystem_\(Elfving_rapportutkast\).pdf](http://heurekaslu.org/wiki/Special:Search/Heureka_prognossystem_(Elfving_rapportutkast).pdf). (skatīts 04.01.2016.)
- Fridman, J. Ståhl, G. 2001. A three-step approach for modelling tree mortality in Swedish forests. Scan. J. For. Res. 16: 455-466.
- Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Siipilehto, J., Salminen, H., Haapala, P. 2002. Models for predicting stand development in MELA System. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja. The Finnish Forest Research Institute. Research papers 835. 116 p.
- Liepa, I. (1996) Pieauguma mērība. Jelgava. 123 lpp
- Kangur, A., Sims, A., Jõgiste, K., Kiviste, A., Korjus, H., Gadow, K.v. 2007. Comparative modeling of stand development in Scots pine dominated forests in Estonia. *Forest Ecology and Management*. 250:109-118.
- Kuliešis A., 1993. Lietuvos medynų prieaugio panaudojimo normatyvai. [Forest yield models and tables in Lithuania]. Kaunas, Girios Aidas, 384 p.
- Matuzānis, J. (1983) Audžu augšanas gaitas un produktivitāte s modeļi. Rīga. LatZTIZPI. 32 lpp
- Padari, A., Muiste, P., Mitt, R. and Pärn, L. 2009. Estimation of Estonian Wood Fuel Resources. *Baltic Forestry*, 15 (1): 77-85.
- Матузанис, Я.К. (ред.) (1988). Нормативы для таксации леса Латвийской ССР. Рига, 176 с