



AS „LATVIJAS VALSTS MEŽI” pasūtītā pētījuma

AUGŠANAS GAITAS MODEĻU PILNVEIDOŠANA

GALA PĀRSKATS

LĪGUMA NR.: 5-5.9_00uy_101_15_284

IZPILDES LAIKS: 01.02.2016. - 01.12.2020.

IZPILDĪTĀJS: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”

Pētījuma vadītājs: _____

Jānis Donis

PĒTĪJUMA GALVENIE IZPILDĪTĀJI

Jānis Donis, Guntars Šņepsts, Agita Treimane,
Juris Zariņš, Leonīds Zdors, Pauls Zeltiņš

Pētījums veikts a/s “Latvijas valsts meži” un LVMI Silava
2011. gada 11. oktobra memoranda
“Par sadarbību zinātniskajā izpētē” ietvaros



Salaspils, 2020

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

Līguma NR.: 5-5.9_00uy_101_15_284

Izpildes laiks: 01.02.2016. - 01.12.2020.

Izpildītājs: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”

Pētījuma vadītājs: J. Donis

Pārējie galvenie izpildītāji: G. Šņepsts, A. Treimane, J.Zariņš, L. Zdors, P. Zeltiņš

Atbilstoši metodikai Pētījuma gaitā atsevišķos gados vai katru gadu veikti sekojoši darba uzdevumi:

1. 2016.-2020. Augšanas gaitas modeļiem nepieciešamo datu sagatavošana no 2015.- 2019. gada meža statistiskās inventarizācijas (MSI) mērījumu datiem.

Meža statistiskās inventarizācijas (MSI) parauglaukumu datu bāzē atlasīti un MS Excel datorprogrammā, turpmākajai apstrādei piemērotā formātā, kas ļauj analizēt datus individuāla koka līmenī, ievadīti dati par 5077 pirmā cikla parauglaukumu pārmērījumiem 2. un 3. ciklā, kā arī 1021 ceturtajā ciklā atkārtoti pārmērīta parauglaukuma dati. Šī informācija tālāk izmantojama gan parauglaukumu, gan meža elementu, gan atsevišķu koku augšanas gaitas prognožu modeļu izstrādē.

2. 2017.-2020. 2017. gadā izstrādāto H, D, G augšanas gaitas vienādojumu (meža elementiem) koeficientu precizēšana, balstot uz 3. MSI cikla 5 gadu datiem, t.sk. arī kopšanas ciršu efekta atspoguļojošo modeļu pilnveidošana.

Iepriekšējos pētījumu posmos pārbaudīti virkne dažādu zinātniskajā literatūrā publicētu vienādojumu. Vienojoties ar LVM pārstāvjiem, pieņemts lēmums, ka šī pētījuma ietvaros jauni vienādojumi netiek pārbaudīti, bet tikai precizēti koeficienti vienādojumiem, kuri pētījuma pirmajos gados bija ar labākajiem statistiskajiem rādītājiem. Pakāpeniski iegūstot informāciju par 3. MSI ciklā uzmērītajiem parauglaukumiem, katru gadu precizēti koeficienti uz lielāku parauglaukumu datu bāzi. 2019. g. aprēķini veikti jau izmantojot visu 5 gadu trešā cikla datu bāzi. Šādi aprēķināti 2017. gadā izstrādātie atsevišķa meža elementa vidējā augstuma, vidējā caurmēra un šķērslaukuma aktualizācijas modeļu koeficienti. Ik gadus veikts vienādojumu statistisks izvērtējums. Izmantojot 4. cikla 1.gada parauglaukumu 1.cikla datus, aprēķini veikti atsevišķi starpinventarizācijas periodā koptiem un nekoptiem MSI parauglaukumiem. Veikts vienādojumu statistisks izvērtējums. Konstatēts, ka pēc vienādojumu sistēmas, kas izmantota augšanas gaitas testēšanai, prognozētie D, H un G pieaugumi 15 g. laikā ir kopumā piesardzīgāki nekā pārmērījumos konstatētie, bet nav konstatētas ievērojamas sistemātiskas atšķirības. 15 gadu prognozes procentuālā vidējā novirze H dažādām sugām ir no -1 līdz+5%, caurmēram no 0,8-6,7%, bet šķērslaukumam no -8 līdz +6,4%. Atsevišķi vērtējot koptās audzes, konstatēts, ka paraugkopai P, un E audzēs vienādojumi prognozē mazāku šķērslaukuma pieaugumu nekā konstatēts dabā parauglaukumus pārmērot 4. ciklā. Tomēr tā kā pārbaudes datu kopā ir tikai viena gada mērījumi, pašreiz nerekomendējam veikt korekcijas/kalibrācijas koeficientu lietošanu esošajā vienādojumu sistēmā.

3. 2017. Audžu modālo (biežāk sastopamo) šķērslaukuma vērtību noteikšana relatīvi ilgi neapsaimniekotām audzēm

Tā kā virknē gadījumu LVM plānošanas sistēmā nepieciešams modelēt arī audžu attīstību bez saimnieciskās darbības ietekmes, bet izvērtējot augšanas gaitas vienādojumu prognozes, konstatēts, ka tās ekstrapolējot garākā laika posmā, sistēmā tiek ģenerēta visu parauglaukumu šķērslaukumu konverģēšana uz pilnu biežību un atbilstošu augšanu gar pašizretināšanās līniju. Balstoties uz MSI parauglaukumu, kuros nav konstatēta saimnieciskā darbība nevienā no MSI cikliem, datiem, aprēķināts mediānais šķērslaukums pa valdošajām sugām un augstuma grupām. Izstrādāts vienādojums kokaudzes I stāva mediānā šķērslaukuma aprēķināšanai, kas izmantojams neapsaimniekotu audžu šķērslaukuma modelēšanai.

4. 2018. Detalizēta formulu mijiedarbības apraksta sagatavošana atbilstoši pieejai formulu testēšanas excel (bez jaunāko audžu formulām)

Sākotnēji pētījumā bija paredzēta tikai atsevišķu audžu taksācijas rādītāju prognozēšanas vienādojumu izstrāde (2.uzdevums). Taču veicot LVM prognozēšanas rīka izstrādi tika konstatēts, ka bez vienādojumiem, nepieciešama arī prognozēšanas rīka prototipa izveide, kurš ļautu LVM pārbaudīt sistēmas funkcionalitāti. Tā kā jaunāko audžu prognozēšanas rīka izstrādi jau ir veicis LVM, tad bija nepieciešams veikt formulu mijiedarbību apraksta sagatavošana tikai audžu augšanas gaitas modeļiem, kas pārsniegušas vecumu, kurš atbilst 1. vecumklasē mērķtiecīgi koptu audžu vadlīnijām. Pētījuma ietvaros sagatavots gan apraksts, gan izveidotas atbilstošās Flowchart diagrammas.

5. 2017. Pieauguma, atmiruma un krājas diferences prognožu modeļu pilnveidošana un statistisko rādītāju izvērtēšana, aprēķinus balstot uz 3. MSI cikla 3 gadu datiem

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

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

6. 2016.-2020. Individuālu koku augšanas gaitas modeļu izstrāde (balstot uz zināšanām, kuras iegūtas analizējot Somijas un Zviedrijas augšanas gaitas modeļus). Izstrādāt individuālu koku augšanas gaitas modeļus un veikt to validāciju un verificēšanu. Iegūto rezultātu statistika analīze

2016.g. Veikta pieaugumu aprēķināšana balstot uz Somijas un Zviedrijas meža resursu modelēšanas sistēmās izmantotajiem vienādojumiem un modeļu noklusētajiem parametriem. Konstatēts, ka virkne parametru nav tieši attiecināmi uz Latvijas apstākļiem, un to piemērošana balstīta uz pieņēmumiem par atbilstību meža tipiem, piemēram, tādi rādītāji kā rohumusa slāņa biezums, akmeņainība, pārpurošanās. Savukārt citi rādītāji tiek ekstrapolēti salīdzinājumā ar šo rādītāju diapazonu Somijā. Secināts, ka oriģinālās vienādojumu koeficientu vērtības nav izmantojamas Latvijas mežaudžu augšanas gaitas modelēšanai. Pārbaudot Zviedrijas augšanas gaitas modeļu atbilstību, konstatēts, ka līdzīgi nepieciešama oriģinālo (Zviedrijā lietoto meža tipu raksturojošo parametru sasaiste ar Latvijas meža tipoloģiju. Īsā termiņā (5 gadi) oriģinālās formulas, tās adaptējot Latvijas apstākļiem, dod labu vērtējumu, taču ilgākā termiņā nepieciešama koeficientu vērtību adaptācija/ kalibrācija Latvijas apstākļiem.

2017.g. izstrādāta vienkāršota vienādojumu sistēma kokaudzes I stāva, II stāva koku augstuma, caurmēra pieauguma aprēķināšanai, kā arī atmiršanas varbūtības aprēķināšanai. Metodika balstīta uz Zviedrijā un Somijā izstrādāto individuālu koku augšanas gaitas modeļu pamatprincipiem, pielāgojot tos Latvijā izmantotajiem taksācijas rādītājiem un meža tipoloģijai, kā arī klimatiskajiem apstākļiem. Vienādojumi precizēti izmantojot visu 5 trešā cikla datu paraugkopu.

2020.g. veikta vienādojumu validācija, izmantojot 3. un 4. cikla pārmērīto parauglūkumu datus, kā arī statistisko parametru izvērtēšana. Nav konstatētas būtiskas sistemātiskas atšķirības pieauguma novērtējumā, tomēr variācijas koeficients augstuma pieaugumam ir 40-65%, tādēļ meklējams cits risinājums, lai izkliedi samazinātu. Atmiruma modelis pašlaik iekļauj tikai konkurences un vecuma komponenti, bet tajā nav iekļauti dabiskie traucējumi, tādējādi modelis neapsaimniekotās audzēs, ilgākā laika periodā varētu pārvērtēt koku izdzīvošanas varbūtības.

7. 2018. 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 parauglūkumu (2641) un to 6m buferzonas digitālā augstuma modeļa (DTM), koku augstuma modeļa (CHM) rastra slāni. Izveidots datu slānis augstumu starpību aprēķinam starp atbilstošajā gadā uzņemto un CHM datus konstatētajiem augstumiem. Veikta sakarību aproksimācija starp uzņemto un CHM konstatēto augstumu atšķirību ietekmējošo faktoru nozīmīguma noteikšanai. Izveidots ArcGIS model builder prototips (Toolbox) aprēķinu veikšanai.

8. 2018. 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.

9. 2016-2020. Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrādei nepieciešamo iepriekš ierīkoto parauglaukumu pārmēršana 50 objektos.

Audzēs telpiskās struktūras raksturošanai, koku augšanas gaitas novērtēšanai pētījuma gaitā uzmērīti 50 pētījumu objekti, kas ierīkoti 2004.-2016. gadam, un kuros izlases vai pakāpeniskās cirtes pirmais paņēmiens veikts laika periodā no 1995.g. līdz 2013. gadam. Kopā uzmērīti 288 (500m²) laukumi, t.sk. uzskaitīta atjaunošanās 878 (25m²) uzskaites laukumos.

10. 2016-2020. Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrāde, izmantojot 2019.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 un tas jāievada lietotājam. Šī pētījuma laika rinda dod precīzāku informāciju par vēsturisko atjaunošanos sekmīgu pie dažādām apsaimniekošanas alternatīvām.

11. 2016-2020. Vienādojumu sistēmas izstrāde antropogēnās meža atjaunošanas ietekmes (selekcijas efekts) novērtēšanai uz priežu, egļu un bērzu kokaudžu augšanas gaitu, datu analīze un tajos pamatotu secinājumu izstrāde

2016.g. selekcijas ietekmes uz parastās priedes augšanu novērtēts balstot uz 5 eksperimentālo stādījumu (vecums 31-43 gadi) pārmērījumu datiem. Konstatēts, ka eksperimentos iekļautais selekcionētais materiāls augstumā aug atbilstoši par vienu vienību augstākai bonitātei.

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

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

2020.g. Selekcijas efekts kvantitatīvi novērtēts izmantojot datus no 1975.g. stādījumiem, kuros līdzīgos apstākļos audzētas selekcionēta (kontrolēti krustotu pluskoku pēcnācēji) un vietējo proveniencu priedes pēcnācēji, kā arī no 1975. un 1982.g. stādījumiem, kuros līdzīgos apstākļos audzēti, plantāciju pēcnācēji un mežaudžu pēcnācēji.

Aprēķināti korekcijas koeficienti augstuma pieauguma izmaiņām GADA modelī priedes, egles un bērza reprodūktīvajam materiālam ar kvalitāti "uzlabots" un "pārāks". Tā kā caurmēra pieaugums, šķērslaukuma pieaugums, t.sk., normālais šķērslaukums ir atkarīgs no augstuma, tad vienādojumu sistēma paredz arī augstāku ražību pēc pārējiem parametriem.

12.2016-2020 Kopšanas ciršu eksperimentālo parauglaukumu ierīkošana

Pētījuma gaitā no 2016. g. līdz 2019. g. parauglaukumi iekārtoti 107 objektos, kuros valdošā suga ir priede, egle vai bērzs. Pamatā tās ir I-II bonitātes audzēs, priedei arī III-IV bonitātes audzēs, kopā priedei 58 objekti, eglei 30 objekti un bērzam 19 objekti. Objekti iekārtoti 4 reģionos – Dienvidkurzemes, Ziemeļkurzemes,

Austrumvidzemes, Vidusdaugavas, 3 vecuma grupās 20 – 30, 31 – 50, 51 – 70 gados, katrā objektā ierīkojot parauglaukumus ar 3-4 kopšanas intensitātēm, “kopšanu no augšas” un kontroli. Kopā visās sērijās ir 1145 parauglaukumi un uzmērīti 151404 koki. Visos pētījumu objektos veikta koku uzmērīšana pēc cirtes,; daļā objektu, kuri, potenciāli izmantojami arī kā demonstrācijas objekti, ārējās robežām stūrus fiksējot ar plastmasas caurulēm. 65 objektos detālākai analīzei, koki uzmērīti arī vietējā koordinātu sistēmā.

13. 2020. Kopšanas ciršu ietekmes modeļu izstrāde

Tā kā pašreizējā pētījumu stadijā ir tikai uzmērīti parauglaukumi pirms cirtes un tūlīt pēc kopšanas cirtes, iegūtie dati izmantoti, lai precizētu Dg izmaiņas dažādu cirtes pakāpju ietekmē atkarībā no valdošās sugas. Iegūtā informācija izmantojama augšanas gaitas simulatoru pilnveidē. Ieteikts sistēmā iekļauto parametru NG, kas nosaka, izcērtamo koku skaita un šķērslaukuma attiecību aizstāt ar vienādojumu, kur tā lielumu nosaka kopšanas pakāpe. Kopšanas ietekme uz saglabāto koku dimensiju pieaugumu, koku skaita izmaiņām tiks gūta attiecīgi pārmērot parauglaukumus pēc 5 un 10 gadiem.

Summary

Study commissioned by JSC "LATVIAN STATE FORESTS".

Title "Improvement of the growth models".

Phase 5 report.

Article NO.: 5-5.9_00uy_101_15_284

Lead Time: 01.02.2016. - 02.11.2020.

Performer: Latvian State Forest Research Institute "Silava".

Research project leader: J. Donis.

The other main performers: G. Šņepsts, A. Treimane, J.Zariņš, L. Zdors, P. Zeltiņš.

Task 1. Preparation of NFI 2019 data for growth and yield model improvement.

From NFI database were selected 5077 sample plots remeasured in the 2nd and 3rd NFI cycle, as well as 1021 re-measured NFI plots from 4th NFI cycle 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 5 years measurement data of 3rd NFI cycle, including a thinning effect in the models.

In previous phases, a number of different equations published in scientific literature have been examined. In agreement with the representatives of the LVM, it was decided that new equations were not examined within the scope of this study, but merely specified the coefficients for the equations that were best statistical in the first years of the study (2017). Gradually obtaining information on plots measured in the 3rd NFI cycle, the coefficients on a larger plot database are specified each year. 2019 estimates have already been made using the entire 5-year third cycle database. The average height, average DBH and basal area growth models for a separate forest element developed based. A statistical assessment of equations has been carried out annually. Using the data for first year of cycle 4 plots, the calculations have been carried out separately for during the inter-inventory period thinned and unthinned NFI plots. A statistical evaluation of equations has been carried out. According to the system of equations used to test growth rate, projected D, H and G increases over 15 years are generally more cautious than those observed in the remeasurements, but no significant systematic differences have been identified. A separate assessment of thinned stands showed that for the sample set Pine and Spruce the equations are expected to produce a smaller increase in the basal area than it was measured in the same plots in cycle 4. However, since the test data set contains only one-year measurements, we are currently not recommending the use of correction/calibration factors in the existing equations system.

Task 3. Model for modal values of basal area growth for un-managed stands

In a number of cases, it is also necessary to model the development of the groves without the effects of economic activity, but when assessing the growth rate equations forecasts, it has been found that extrapolating them the longer time, the system generates a convergence of the basal area of all plots to full stocking and corresponding growth along the self-thinning line. Based on the data of the NFI plots where no economic activity has been established in any of the NFI cycles, the median basal area development model for main prevailing species and groups of height has been calculated. Because of bimodal distribution, the equation for modelling of the median basal area of the dominant tree layer, was designed to model the basal area growth of uncultivated stands.

Task 4. Preparing description of detailed formula interaction according to the approach in the formula testing excel file (without the young stand formulae)

Initially, the study provided only for the development of forecasting equations for growth models (task 2). However, the development of the LVM forecasting tool revealed that without equations, a prototype of the forecasting tool was also needed, which would allow LVM to verify the functionality of the system. Since the development of the newest stock forecasting tool has been carried out by LVM. As part of the study, both the description and the corresponding Flowchart charts have been created.

Task 5. Development of the forecasting model of growth, mortality and net change based on NFI 3rd cycle 3 years' data.

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

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

Task 6. Development of individual tree growth model. Validation and verification of individual tree growth developed models. Statistics analysis of the results obtained

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. Validation was based on NFI 3rd and 4th cycle tree data. There is no systematic bias in DBH and height growth, yet variation reached 40-65%. Mortality model at the moment is lacking natural disturbance component therefore it could overestimate survival in the longer time periods.

Task 7. 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 8 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 7) and height increment model (Task 2).

Task 9. Re-measurement of previously installed sample plots in uneven-aged stands (50 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 1995 to 2013. Stand structure was evaluated in 288 plots (500 m² R = 12.62 m) and as well performed regeneration accounting in 878 sample plots (25 m²; R = 1.82 m).

Task 10: Development of multilevel stand growth models using data collected in 2019 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 and to be imputed by user. Data from this study gives user more data for choice of the initial conditions.

Task 11: Development of a system of equations for assessing the effects of anthropogenic forest regeneration (breeding effect) on the growth rate of pines, spruce and birch stands, analysis of data and drawing up sound conclusions

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

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

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

Calculated correction factors for changes in height growth GADA model for pine, spruce and birch reproductive material of quality “enhanced” and “superior”.

Task 12. Establishment and Renovation of the sites of the established thinning experiment plots. Tree measurements in local coordinate system in the established permanent sample plots

In the course of the study from 2016 to 2019, plots are arranged at 107 sites where the dominant species is pines, fir or birch. They are based on Ia-II bonity stands, pines in III-IV bonity stands, a total of 58 objects for pine, 30 objects for the tree and 19 objects for birch. Sites are located in 4 regions – DK, ZK, AV, VD, 3 age groups 20-30, 30-50, 50-70 years, installing plots with 3-4 thinning rates, “thinning from above” and control at each site. Together, all series have 1145 plots and measured 151404 trees. A survey of trees after felling has been carried out at all study sites, the outer borders of the plots have been restored; in the part of the objects, which are potentially also used as demonstration sites, the corners of the external borders being fixed with plastic pipes. In 65 objects for more detailed analysis, the trees are also measured in the local coordinate system.

Task 13: Development of the thinning felling impact models

Since the current phase of the studies has only measured plots prior to felling and immediately after felling, the data obtained has been used to clarify the changes in D_g in the different felling stages, depending on the prevailing species. The information obtained shall be used in the development of growth rate simulators. It is recommended that the NG parameter included in the system, which determines the ratio between the number of trees to be felled and the cross-area, be replaced by an equation where its size is determined by the degree of care. The effects of thinning on the increased dimensions of preserved trees, changes in the number of trees, will result in a corresponding rescheduling of plots after 5 and 10 years.

Saturs

Kopsavilkums	2
Summary	6
1. Augšanas gaitas modeļiem nepieciešamo datu sagatavošana no meža statistiskās inventarizācijas (MSI) mērījumu datu bāzes	10
2. 2017. gadā izstrādāto H, D, G augšanas gaitas vienādojumu (meža elementiem) koeficientu precizēšana, balstot uz 3. MSI cikla 5 gadu datiem, t.sk. arī kopšanas ciršu efekta atspoguļojošo modeļu pilnveidošana	11
3. Audžu modālo (biežāk sastopamo) šķērslaukuma vērtību noteikšana relatīvi ilgi neapsaimniekotām audzēm	22
4. Detalizēta formulu mijiedarbības apraksta sagatavošana atbilstoši pieejai formulu testēšanas excel (bez jaunāko audžu formulām)	24
5. Pieauguma, atmiruma un krājas diferences prognožu modeļu pilnveidošana	36
6. Izstrādāto individuālu koku augšanas gaitas modeļu validācija un verificēšana. Iegūto rezultātu statistika analīze.....	40
7. Vidējā augstuma aprēķins pirmajam stāvam, izmantojot LGIA LiDAR datus.....	46
8. Vidējā augstuma pieauguma aprēķina modelis balstot uz LiDAR datiem	50
9. Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrādei nepieciešamo iepriekš ierīkoto parauglaukumu pārmērīšana 50 objektos	51
10. Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrāde, izmantojot 2019.gadā un iepriekšējos gados ievāktos datus	54
11. Vienādojumu sistēmas izstrāde antropogēnās meža atjaunošanas ietekmes (selekcijas efekts) novērtēšanai uz priežu, egļu un bērzu kokaudžu augšanas gaitu, datu analīze un tajos pamatotu secinājumu izstrāde (P.Zeltiņš, Ā.Jansons, J.Donis)	62
12. Kopšanas ciršu eksperimentālo parauglaukumu ierīkošana	72
13. Kopšanas ciršu ietekmes modeļu izstrāde	74
Secinājumi un Rekomendācijas	78
Literatūra.....	79
Pielikums 1. Vienādojumu atbilstības izvērtēšanas statistiskie rādītāji	80

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

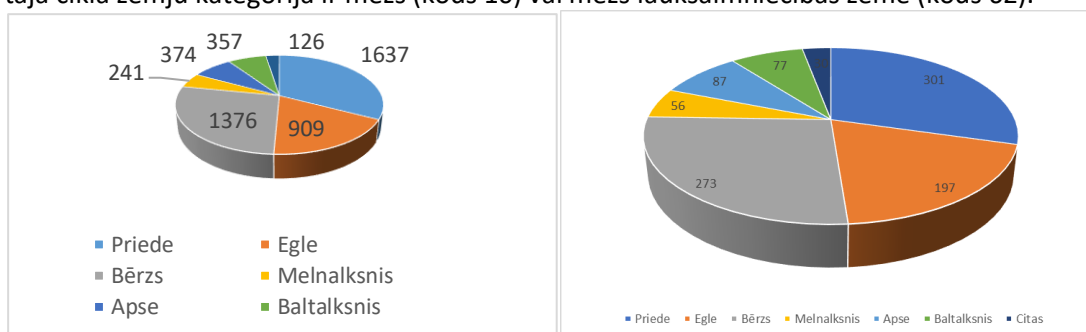
Meža statistiskās inventarizācijas (MSI) metodika – dizains, lauku datu ievākšanas un datu apstrādes metodes ir optimizētas, lai efektīvi varētu iegūt ticamu informāciju par meža resursiem un to izmaiņām valstī. Oriģinālā metodika nav paredzēta augšanas gaitas analīzei atsevišķa parauglaukuma līmenī.

Tā kā pētījuma gaitā ir paredzēta augšanas gaitas prognozēšana atsevišķa koka līmenī, ir nepieciešams pārveidot visu MSI ciklu 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 izcirtās un atmirušās koksnes apjomu (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 1., 2., un 3. ciklā uzmērītiem/pārmērītiem parauglaukumiem. Galvenie sākotnējie atlasē 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), iznikusi audze (11), degums (12), vējgāzes (13), izcirtums (14) vai mežs lauksaimniecības zemē (62). Atlasīto un ievadīto MSI parauglaukumu sadalījums pa 1. ciklā konstatētajām valdošajām koku sugām, atspoguļots un 1.1. attēlā

Papildus tam pārveidoti nepieciešamajā formātā arī dati par 1021 atkārtoti 2019. gadā pārmērītiem 4.cikla parauglaukumiem, kas tālāk izmantoti augšanas gaitas prognožu modeļu izstrādē un verifikācijā.

Galvenie sākotnējie atlasē kritēriji audzēm, kuras izmantos validācijai un verifikācijai ir: 1) ceturtajā ciklā parauglaukums nav sadalīts sektoros, kas nozīmē, ka viss parauglaukums ir vienas audzes robežās; 2) ceturtajā ciklā zemju kategorija ir mežs (kods 10) vai mežs lauksaimniecības zemē (kods 62).



1.1.att. Parauglaukumu sadalījums pa I stāva valdošajām koku sugām a)(pēc 1.cikla datiem)

2. 2017. gadā izstrādāto H, D, G augšanas gaitas vienādojumu (meža elementiem) koeficientu precizēšana, balstot uz 3. MSI cikla 5 gadu datiem, t.sk. arī kopšanas ciršu efekta atspoguļojošo modeļu pilnveidošana

Pētījuma sākotnējos posmos tika pārbaudīti virkne dažādu vienādojumu, kas izmantoti citos pētījumos, vai meža augšanas gaitas modelēšanas sistēmās citās valstīs. 2017.g. tika pieņemts lēmums, ka pašreizējā posmā jauni vienādojumi vairs netiek meklēti, bet gan, balstoties uz iespējas lielāku parauglaukumu datu apjoma, tiek aproksimēti no iepriekšējos pētījumu posmos par atbilstošākajiem atzītie vienādojumi. T.i., precizējami ir tikai vienādojumu koeficienti, nevis maināmi vienādojumi, kuri izmantoti augšanas gaitas simulāciju modelī. 2019. g. pētījuma ietvaros H, D, G augšanas gaitas vienādojumu koeficientu aprēķināšanai jau tika izmantoti visu 3 ciklu (2004-2008, 2009-2013, 2014-2018) visu gadu dati. Vienādojumu koeficienti tika aprēķināti nedalot atsevišķi starpinventarizācijas periodos nekoptās audzes un kādā no periodiem koptās audzes. Šāda pieeja balstījās uz iepriekšējos pētījumos konstatēto, ka papildus efekts (caurmēra un šķērslaukuma papildus pieaugums), kas rodas atbrīvojot augšanas telpu pēc kopšanas cirtes saglabātajiem kokiem, jau tiek ietverts augšanas vienādojumos, tajā skaitā arī apsvērumā, ka veicot kopšanas cirti no apakšas / kombinēti vai no augšas matemātiski izmainās meža elementu vidējās vērtības un atbilstoši arī augšanas gaitas prognoze. Savukārt virsaugstuma izmaiņas atbilstoši literatūrā aprakstītajam relatīvi plašā audzes biežības diapazonā tiek uzskatīts par relatīvi stabili, t.i., virsaugstuma izmaiņas nav būtiski atkarīgas kopšanas ciršu intensitātes, ja vien netiek veikta kopšana no augšas. Lai izvērtētu pieņemumu atbilstību tika veikti atbilstošie modeļu prognožu un reāli fiksēto augšanas gaitu (D,G, H) izmaiņas atsevišķi koptām un nekoptām audzēm, salīdzinot stāvokli MSI parauglaukumos 1. periodā un stāvokli 4. periodā (t.i., uz 1. darba uzdevuma ietvaros sagatavotajiem datiem).

2.1. Materiāls un metodika

2.1.1. Vidējais augstums

Datu analīzē izmantoja datus par 1542 elementiem (priedes – 322, egles 1. stāvs – 252, bērzi – 428, melnalkšņi – 117, apses – 63, baltalkšņi – 79, egles 2. stāvs - 281) no 580 MSI 2019. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukiem.

Meža elementu augšanas gaitas validācija un verificēšana veikta kompleksi, novērtējot meža elementa krājas izmaiņas, izmantojot iepriekš izstrādātos atsevišķu meža elementu augstuma, caurmēra un šķērslaukuma augšanas gaitas modeļus.

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

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

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

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 (Donis u.c., 2019).

Empīriskie koeficienti meža elementa vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošais augstums (2.1. formula)

<i>Suga</i>	α_1	α_2	α_3
<i>Priede</i>	1.15697	-27.04027	16.45120
<i>Egle</i>	1.28394	-47.34926	23.60081
<i>Bērzs</i>	1.25408	-47.47483	21.72593
<i>Melnalksnis</i>	1.18211	-53.17079	22.47218
<i>Apse</i>	1.27556	-9.73380	6.22262
<i>Baltalksnis</i>	1.23228	-54.67036	16.48957
<i>Egle 2. stāvs</i>	1.22259	-49.18146	18.69587

2.1.2. Vidējais caurmērs

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

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

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

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

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

- kur
- 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 (Donis u.c., 2019).

Empīriskie koeficienti Meža elementa vidējais kvadrātiskais caurmērs (2.2. formula)

<i>Suga</i>	α_1	α_2	α_3	β_1	β_2	β_3
<i>Priede</i>	0.86267	-10.63411	6.05073	83570	-1.366	-0.069
<i>Egle</i>	0.95192	-38.54007	16.34919	103106	-1.381	-0.103
<i>Bērzs</i>	1.01405	-5.46916	2.23418	144400	-1.357	-0.302
<i>Melnalksnis</i>	0.89065	-4.74233	1.86825	197511	-1.314	-0.339
<i>Apse</i>	1.09180	-148.50053	63.99224	197511	-1.314	-0.339
<i>Baltalksnis</i>	1.03987	-2.31845	0.93416	197511	-1.314	-0.339
<i>Egle 2. stāvs</i>	0.82973	-64.75073	27.32699			

2.1.3. Šķērslaukums

Meža elementu šķērslaukuma diferences raksturošanai izmantots iepriekš izstrādātais modelis:

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

- G_2 – meža elementa šķērslaukums perioda beigās, m^2ha^{-1} ;
 G_1 – meža elementa šķērslaukums perioda sākumā, m^2ha^{-1} ;
 A_1 – meža elementa krūšaugstuma vecums perioda sākumā, gadi;
 A_2 – meža elementa krūšaugstuma vecums perioda beigās, gadi;
 GL – šķērslaukuma summa perioda sākumā meža elementiem, kas vienādi vai lielāki par konkrēto meža elementu (ja 1. stāva meža elements, tad 1. stāva šķērslaukums, ja 2. stāva meža elements, tad 1. un 2. stāva šķērslaukuma summa), m^2ha^{-1} ;
 SI – pēc 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 (Donis u.c. 2019).

Empīriskie koeficienti 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	0.0883	-0.0579	0.1134	0.8695	-0.4042	0.1516	0.018	-0.011	12.015
Egle	0.2596	-0.2363	24.1147	0.9082	-0.2127	0.0255	0.028	-0.021	12.574
Bērzs	0.3071	-0.4068	-2.4536	0.7136	-0.3435	0.1393	0.051	-0.069	8.817
Melnalksnis	0.2449	-0.3381	12.4653	0.7984	-0.2241	0.0330	0.059	-0.085	3.363
Apse	0.1696	-0.0644	-28.9677	0.7855	-0.2842	0.2371	0.057	-0.067	12.136
Baltalksnis	0.4246	-1.1530	16.6197	0.6478	-0.3256	0.0503	0.069	-0.165	6.292

Tā kā caurmēra pieaugums, šķērslaukuma pieaugums, t.sk., normālais šķērslaukums ir atkarīgs no augstuma, tad vienādojumu sistēma paredz arī augstāku ražību pēc pārējiem parametriem.

Līdzīgi kā iepriekš, 2.3. vienādojums ir paredzēts īslaicīgai meža elementa šķērslaukuma modelēšanai. Ja meža elementa šķērslaukums ir mazāks par $5 m^2ha^{-1}$, 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):

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

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

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

$$G_{max} = \frac{\alpha_1}{1 + \left(\frac{D}{\alpha_2}\right)^{\alpha_3}} \quad (2.5)$$

- kur
- G_{max} – 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.

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

- kur
- G_{max} – kokaudzes I stāva mediānais šķērslaukums, m^2ha^{-1} ;
 - H_{dom} – kokaudzes I stāva valdošās koku sugas virsāugstums, m;
 - α_{1-2} – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no koku sugas.

Ja audze netiek apsaimniekota, tad mežaudzes maksimālā šķērslaukuma aprēķināšanai izmantojama 2.6. formula, ja tiek apsaimniekota, tad – 2.5. formula.

2.6. formula nodrošina to, ka neapsaimniekotu audžu šķērslaukums nepārsniedz statistiski vidējo (mediāno) šķērslaukumu, tādējādi iekļaujot aprēķinu sistēmā dabisko traucējumu ietekmi un novēršot, situāciju, ka visas neapsaimniekotās audzes “tiecas sasniegt pilnu biežību”.

Meža elementa šķērslaukuma prognozi 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 prognožu modeli un prognozē meža elementa šķērslaukuma izmaiņas (2.3. vai 2.4. formula);
3. prognozē meža elementa šķērslaukuma izmaiņas kā minimumu starp pirmā un otrā soļa rezultātu.

Empīriskie koeficienti 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

Augšanas gaita simulēta atbilstoši 2019.g. izstrādātajam augšanas gaitas simulatora prototipam, kurš paredz sekojošus nosacījumus:

- Meža elementu augšanas gaita (atbilstoši augstāk minētajiem vienādojumiem),
- Kopšanas ciršu gadījumā tiek prognozēts, ka kopšana tiek veikta ievērojot, ka izcirsto koku šķērslaukuma un koku skaita attiecība ir 1.15, t.i., tiek veikta kopšana no apakšas.
- Visām sugām parauglaukumā ir vienlīdz liela varbūtība tikt nocirstām kopšanas cirtē.
- Valdošā koku suga parauglaukumā nemainās.

2.1.4. Krāja

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

$$m = \psi * h^{\alpha} * d^{(\beta * \log_{10}(h) + \varphi)} * n \quad (2.7)$$

- m – meža elementa krāja, m³ha⁻¹;
h – meža elementa vidējais augstums, m;
d – meža elementa vidējais krūšaugstuma caurmērs, cm;
n – meža elementa koku skaits, ha⁻¹;
ψ; α; β; φ – koeficienti (Liepa, 1996)

Meža elementa krājas aprēķināšanas vienādojuma koeficienti (2.7. formula)

Koku suga	Koku sugas kods	ψ	α	β	φ
Priede	1	0.00016541	0.56582	0.25924	1.59689
Egle	3	0.00023106	0.78193	0.34175	1.18811
Bērzs	4	0.00009090	0.71677	0.16692	1.75701
Melnalksnis	6	0.00007950	0.77095	0.13505	1.80715
Apse	8	0.00005020	0.92625	0.02221	1.95538
Baltalksnis	9	0.00007450	0.81295	0.06935	1.85346
Ozols	10	0.00013818	0.56512	0.14732	1.81336
Osis	11	0.00008530	0.73077	0.06820	1.91124

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. Lai noskaidrotu dažādu faktoru (vecuma, šķērslaukuma un bonitātes) ietekmi uz prognožu rezultātiem izmantota lineārā regresijas analīze.

2.2. Rezultāti

2.2.1. Augstums

Meža elementa vidējā augstuma modeļi pietiekami precīzi spēj raksturot meža elementa vidējā augstuma pieaugumu (2.1.tabula), visām koku sugām vidējā augstuma pieauguma novirze 15 gadu periodā nepārsniedz $\pm 1,2$ m, bet procentuālā vidējā novirze nepārsniedz $\pm 5,3\%$. Vidējā augstuma novirzes variācijas koeficients ir robežās 6% – 19%. Līdzīgi statistiskie rādītāji ir gan atlasot tikai tos elementus, kuros starpinventarizācijā nav konstatēta koku ciršana, gan arī atlasot tikai tos elementus, kuriem starpinventarizācijā ir konstatēta koku ciršana (2.1. tabula).

Kopumā meža elementa vidējā augstuma modelēšanā izmantotais iepriekš izstrādātais Hossfeld IV vienādojuma vispārinātās algebriskās diferences pieejas modelis sistemātiski prognozē piesardzīgāku augstuma augšanas gaitu.

2.1. tabula

Ar meža elementa augšanas gaitas modeļiem 15 gadu laikā prognozētā augstuma (m) statistiskie rādītāji

Cirte	Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R2	N
Visi kopā	P	21.3	0.5	2.4	1.2	1.5	6.8	2.1	0.038	0.934	0.967	300
	E 1.st.	22.5	1.1	5.0	1.8	2.3	10.3	5.4	0.210	1.127	0.860	244
	B	20.7	-0.1	-0.4	1.6	2.1	10.0	4.3	0.099	0.856	0.902	385
	M	18.9	-0.2	-0.8	1.6	2.0	10.6	4.0	0.121	0.839	0.880	109
	A	26.2	0.5	1.9	1.8	2.3	8.7	5.1	0.105	1.034	0.905	56
	Ba	18.1	0.2	0.9	1.9	2.4	13.5	5.9	0.274	1.024	0.749	56
	E 2.st.	14.3	0.4	3.1	1.8	2.2	15.5	4.9	0.338	1.119	0.720	269
Nav cirsts	P	20.2	0.4	2.2	1.1	1.4	7.0	2.0	0.033	0.912	0.972	231
	E 1.st.	22.7	1.2	5.3	1.8	2.3	10.2	5.3	0.198	1.091	0.868	202
	B	20.4	-0.2	-0.8	1.6	2.1	10.1	4.3	0.097	0.853	0.904	344
	M	18.6	-0.2	-1.0	1.5	1.9	10.5	3.8	0.117	0.845	0.885	102
	A	26.3	0.4	1.6	1.8	2.3	8.6	5.0	0.104	0.978	0.902	52
	Ba	17.8	0.2	1.0	1.9	2.6	14.4	6.4	0.275	0.996	0.744	47
	E 2.st.	14.3	0.5	3.4	1.8	2.2	15.4	4.9	0.331	1.126	0.729	248
Ir cirsts	P	24.9	0.7	3.0	1.3	1.6	6.4	2.5	0.125	1.219	0.923	69
	E 1.st.	21.9	0.9	4.0	1.8	2.5	11.4	6.1	0.288	1.378	0.823	42
	B	23.1	0.6	2.4	1.6	2.2	9.4	4.6	0.137	0.953	0.875	41
	E 2.st.	14.3	-0.2	-1.1	1.8	2.7	18.6	6.7	0.419	1.016	0.629	21

P – priede, E 1.st. – egle 1. stāvs, B – bērzs, M – melnalksnis, A – apse, Ba – baltalksnis, E 2.st. – egle 2. stāvs.

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; R2 - determinācijas koeficients; N - elementu skaits.

Starpībai starp uzmērīto un prognozēto augstumu 15 gadus periodam visām koku sugām konstatētas vājas lineāras sakarības ar meža elementa krūšaugstuma vecumu, mežaudzes šķērslaukumu un koka prognozēto augstumu bāzes vecumā jeb bonitāti. Lai gan atsevišķos gadījumos lielā novērojumu skaita dēļ augstuma novirzei ar vecumu, šķērslaukumu un bonitāti ir statistiski būtiskas sakarības ($\alpha=0,05$), bet visos gadījumos datu jeb punktu izvietojums atgādina “skrošu šāvienu” jeb haotisku punktu kopu. Tādēļ mēs varam apgalvot, ka modelis vienlīdz precīzi prognozē vērtības gan jaunās, gan vecās audzēs, gan retās gan biežās audzēs, gan auglīgās, gan mazāk auglīgās audzēs.

2.2.2. Caurmērs

Meža elementa vidējā caurmēra modeļi priedei, bērzam, melnalksnim un baltalksnim pietiekami precīzi spēj raksturot meža elementa vidējā caurmēra izmaiņas (2.2. tabula), visām šīm koku sugām vidējā caurmēra pieauguma novirze 15 gadu periodā nepārsniedz $\pm 0,5$ cm, bet procentuālā vidējā novirze nepārsniedz $\pm 2,5\%$. Savukārt eglei un apsei vidējā caurmēra augšanas modelis prognozē piesardzīgāku jeb mazāku caurmēra pieaugumu. Šīm sugām vidējā caurmēra pieauguma novirze 15 gadu periodā ir 1,4-1,8 cm, bet procentuālā vidējā novirze ir robežās 5-8%. Līdzīgi statistiskie rādītāji ir atlasot tikai tos elementus, kuros starpinventarizācijā nav konstatēta koku ciršana. Savukārt, atlasot tikai tos elementus, kuriem starpinventarizācijā ir konstatēta koku ciršana modeļa statistiskie rādītāji ir zemāki (2.2. tabula). Tātad 15 gadu laikā (precīzāk 5-15 gadu laikā pēc ciršanas) izvēlētais modelis modelē sistemātiski mazāku caurmēru. Tas tāpēc, ka šis modelis ir būvēts, tā lai kompensētu papildus pieaugumu, kas rodas pēc kopšanas ciršanas, nevis pirmajos 5-15 gados, bet ilgākā periodā (uz galvenās ciršanas brīdi). Saistībā ar kopšanu un caurmēra izmaiņām pēc kopšanas ciršanas ir jāizveido jauns vai jāmodificē esošais modelis, kas modelē caurmēra izmaiņas uzreiz pēc ciršanas. Esošais pieņēmums, ka izcirsto koku skaita un šķērslaukuma attiecība ir 1,15 īsti nedarbojas (skat. 7.nodaļa). Šim rādītājam noteikti būtu jābūt atkarīgam no ciršanas pakāpes (izcirstā šķērslaukuma proporcijas) un iespējams arī no audzes vecuma.

Kopumā meža elementa vidējā caurmēra modelēšanā izmantotais iepriekš izstrādātais Hossfeld IV vienādojuma vispārinātās algebriskās diferences pieejas modelis sistemātiski prognozē piesardzīgāku caurmēra augšanas gaitu.

2.2. tabula

Ar meža elementa augšanas gaitas modeļiem 15 gadu laikā prognozētā caurmēra (cm) statistiskie rādītāji

Cirte	Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R2	N
Visi kopā	P	26.7	0.4	1.6	1.2	1.5	5.7	2.3	0.024	1.006	0.978	300
	E 1.st.	27.6	1.4	5.0	1.9	2.4	8.8	5.9	0.091	0.999	0.940	244
	B	20.8	0.4	2.0	1.6	2.2	10.4	4.7	0.053	0.901	0.950	385
	M	21.0	0.5	2.4	1.8	2.3	10.9	5.2	0.086	0.905	0.919	109
	A	32.3	1.8	5.4	3.0	3.7	11.6	13.7	0.066	0.913	0.950	56
	Ba	17.7	0.3	1.9	1.7	2.1	11.8	4.3	0.126	0.908	0.878	56
	E 2.st.	15.5	1.2	7.5	1.7	2.2	14.3	4.9	0.190	0.805	0.865	269
Nav cirsts	P	25.9	0.2	0.8	1.1	1.3	5.2	1.8	0.016	0.987	0.984	231
	E 1.st.	27.9	1.3	4.7	1.8	2.3	8.4	5.4	0.078	0.986	0.947	202
	B	20.5	0.3	1.4	1.6	2.1	10.1	4.3	0.048	0.896	0.954	344
	M	20.6	0.5	2.4	1.8	2.3	11.2	5.3	0.086	0.896	0.918	102
	A	32.9	1.8	5.4	2.9	3.7	11.2	13.2	0.062	0.892	0.955	52
	Ba	17.1	0.3	1.8	1.6	2.0	11.9	4.1	0.113	0.848	0.890	47
	E 2.st.	15.5	1.2	7.9	1.7	2.2	14.2	4.8	0.188	0.823	0.872	248
Ir cirsts	P	29.3	1.1	3.9	1.7	2.1	7.1	4.3	0.128	1.360	0.949	69
	E 1.st.	26.4	1.8	6.7	2.3	3.0	11.4	8.8	0.202	1.074	0.884	42
	B	23.6	1.4	5.9	2.3	3.0	12.9	9.0	0.109	1.001	0.918	41
	E 2.st.	15.1	0.5	3.4	1.7	2.6	16.9	6.2	0.215	0.582	0.815	21

P – priede, E 1.st. – egle 1. stāvs, B – bērzs, M – melnalksnis, A – apse, Ba – baltalksnis, E 2.st. – egle 2. stāvs.

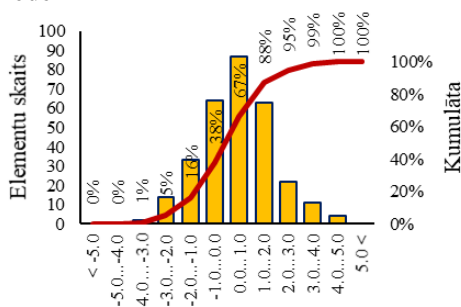
Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, cm; MRES - vidējā novirze, cm; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, cm; RMSE – standartnovirze, cm; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, cm; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība;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

Starpībai starp uzmērīto un prognozēto caurmēru 15 gadus periodam visām koku sugām konstatētas vājas lineāras sakarības ar meža elementa krūša augstuma vecumu, mežaudzes šķērslaukumu un koka prognozēto augstumu bāzes vecumā jeb bonitāti. Lai gan atsevišķos gadījumos lielā novērojumu skaita dēļ caurmēra novirzei ar vecumu, šķērslaukumu un bonitāti ir statistiski būtiskas sakarības ($\alpha=0,05$), bet visos gadījumos datu jeb punktu izvietojums atgādina “skrošu šāvienu” jeb haotisku punktu kopu. Tādēļ varam apgalvot, ka modelis vienlīdz precīzi prognozē vērtības gan jaunās, gan vecās audzēs, gan retās gan biežās audzēs, gan auglīgās, gan mazāk auglīgās audzēs.

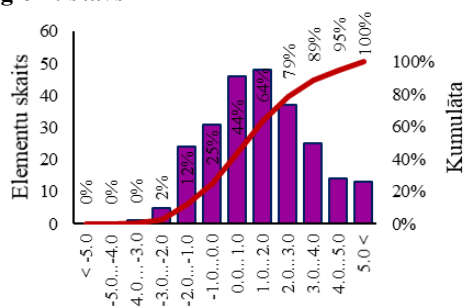
Meža elementa vidējā caurmēra novirze 15 gadu periodā ± 1 cm priedei ir 50% gadījumu, 1. stāva eglei – 32%, bērzam – 41%, melnalksnis 35%, apsei – 14%, baltalksnim – 34% un 2. stāva eglei – 44%. Savukārt šī novirze ± 2 cm priedei ir 82% gadījumu, 1. stāva eglei – 61%, bērzam – 69%, melnalksnis 61%, apsei – 27%, baltalksnim

– 61% un 2. stāva eglei – 68%. Apsei izteikti modelis prognozē mazāku vidējā caurmēra pieaugumu. Visām koku sugām, izņemot apsi, vidējā caurmēra novirze atgādina normālo sadalījumu (2.1. attēls).

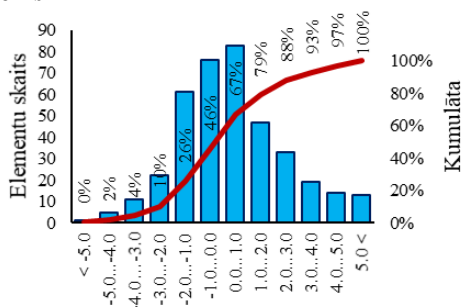
Priede



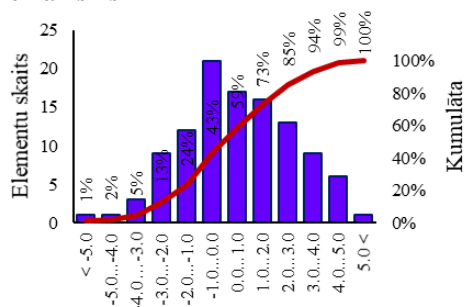
Egle 1. stāvs



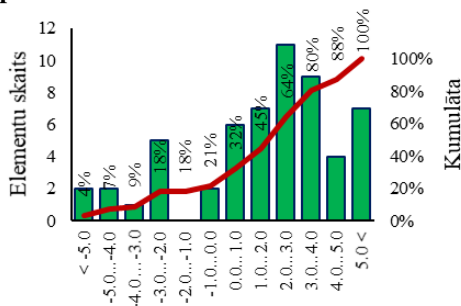
Bērzs



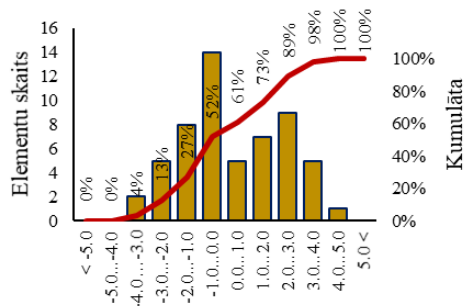
Melnalksnis



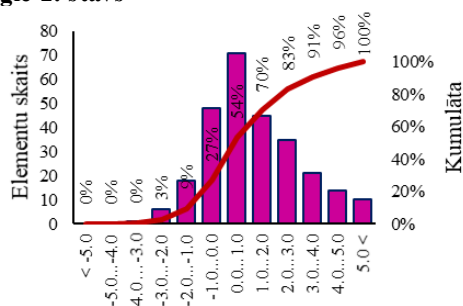
Apsi



Baltalksnis



Egle 2. stāvs



2.1. attēls. Atsevišķu meža elementu caurmēra novirzes sadalījums 15 gadu periodam visiem meža elementiem.

2.2.3. Šķērslaukums

Meža elementa šķērslaukuma modeļi pietiekami precīzi spēj raksturot meža elementa vidējā šķērslaukuma izmaiņas (2.3. tabula), visām šīm koku sugām šķērslaukuma pieauguma novirze 15 gadu periodā nepārsniedz $\pm 0,5 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$, bet procentuālā vidējā novirze nepārsniedz $\pm 8,5\%$. Līdzīgi statistiskie rādītāji ir gan atlasot tikai

tos elementus, kuros starpinventarizācijā nav konstatēta koku ciršana, gan atlasot tikai tos elementus, kuriem starpinventarizācijā ir konstatēta koku ciršana (2.3. tabula).

Kopumā meža elementa šķērslaukuma modelēšanā izmantotā vienādojumu sistēma prognozē pietiekami precīzi šķērslaukuma izmaiņas, bet sistemātiski prognozē nedaudz piesardzīgāku šķērslaukuma pieaugumu.

2.3. tabula

Ar meža elementa augšanas gaitas modeļiem 15 gadu laikā prognozētā šķērslaukuma (m^2ha^{-1}) statistiskie rādītāji

Cirte	Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R2	N
Visi kopā	P	14.7	0.3	1.8	1.4	1.8	12.4	3.3	0.025	0.945	0.975	322
	E 1.st.	8.9	0.5	5.3	1.3	1.8	20.4	3.2	0.049	1.005	0.955	252
	B	5.9	-0.1	-1.3	1.2	1.7	28.6	2.9	0.072	0.957	0.929	428
	M	6.1	0.1	2.0	1.1	1.6	26.4	2.6	0.044	0.914	0.957	117
	A	5.4	0.3	6.4	1.1	1.6	29.0	2.4	0.069	0.843	0.938	63
	Ba	4.8	-0.4	-8.4	1.6	2.3	48.0	5.3	0.085	0.846	0.920	79
	E 2.st.	4.2	0.0	1.2	1.0	1.4	32.9	1.9	0.152	0.971	0.852	281
Nav cirsts	P	13.2	0.1	0.6	1.2	1.7	12.5	2.7	0.020	0.959	0.980	251
	E 1.st.	8.3	0.4	4.8	1.3	1.8	21.4	3.1	0.048	1.007	0.956	209
	B	5.7	-0.1	-1.9	1.1	1.6	28.7	2.7	0.066	0.953	0.934	385
	M	5.7	0.1	1.5	1.1	1.6	28.8	2.7	0.048	0.917	0.952	110
	A	5.3	0.3	6.3	1.1	1.5	29.1	2.3	0.065	0.807	0.943	59
	Ba	4.0	-0.5	-13.2	1.5	2.2	54.5	4.7	0.099	0.878	0.908	70
	E 2.st.	4.2	0.1	1.5	1.0	1.4	33.2	2.0	0.156	0.962	0.848	258
Ir cirsts	P	20.0	0.9	4.7	2.0	2.4	11.9	5.6	0.080	0.946	0.934	71
	E 1.st.	11.7	0.8	7.0	1.4	2.1	17.8	4.2	0.061	1.035	0.951	43
	B	7.7	0.2	2.9	1.6	2.2	28.5	4.7	0.152	1.040	0.859	43
	E 2.st.	3.9	-0.1	-3.3	0.9	1.2	30.9	1.4	0.104	1.086	0.905	23

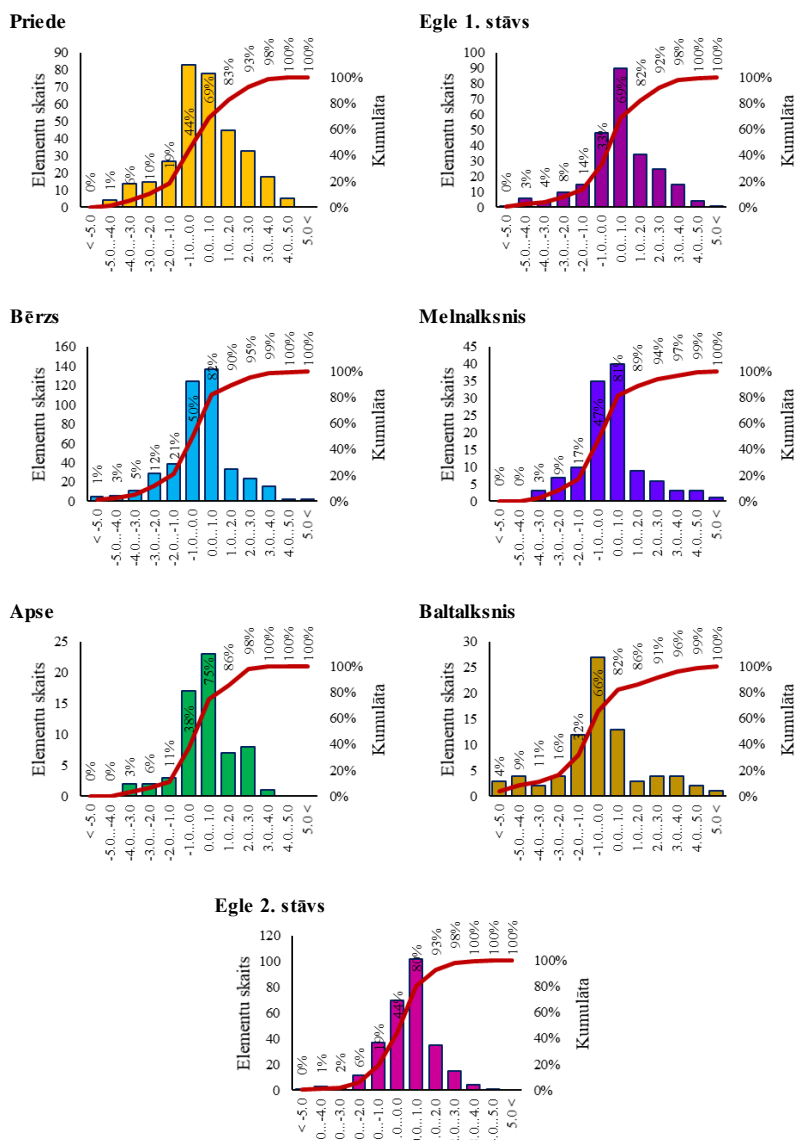
P – priede, E 1.st. – egle 1. stāvs, B – bērzs, M – melnalksnis, A – apse, Ba – baltalksnis, E 2.st. – egle 2. stāvs.

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; R2 - determinācijas koeficients; N - elementu skaits.

Starpībai starp uzmērīto un prognozēto šķērslaukumu 15 gadus periodā visām koku sugām konstatētas vājas lineāras sakarības ar meža elementa krūšaugstuma vecumu, mežaudzes šķērslaukumu un koka prognozēto augstumu bāzes vecumā jeb bonitāti. Lai gan atsevišķos gadījumos lielā novērojumu skaita dēļ šķērslaukuma novirzei ar vecumu, šķērslaukumu un bonitāti ir statistiski būtiskas sakarības ($\alpha=0,05$), bet visos gadījumos datu jeb punktu izvietojums atgādina “skrošu šāvienu” jeb haotisku punktu kopu. Tādēļ varam apgalvot, ka modelis vienlīdz precīzi prognozē vērtības gan jaunās, gan vecās audzēs, gan retās gan biežās audzēs, gan auglīgās, gan mazāk auglīgās audzēs.

Tomēr atsevišķi vērtējot audzes, kurās ir veikta ciršana, konstatēts, ka paraugkopai P, E un B audzēs vienādojumi prognozē mazāku šķērslaukuma pieaugumu nekā konstatēts dabā. It īpaši audzēs ar sākotnējo šķērslaukumu līdz $\sim 20m^2ha^{-1}$. Tā kā pārbaude ir veikta uz viena gada datiem (ar visai nelielu cirsto parauglaukumu skaitu), pirms ieviest kalibrācijas/ korekcijas koeficientus esošajā vienādojumu sistēmā, būtu nepieciešams veikt papildus pārbaudi uz vismaz 2 gadu datiem.

Meža elementa šķērslaukuma novirze 15 gadu periodā $\pm 1 m^2ha^{-1}$ priedei ir 50% gadījumu, 1. stāva eglei – 55%, bērzam – 61%, melnalksnis 64%, apsei – 63%, baltalksnim – 51% un 2. stāva eglei – 61%. Savukārt šī novirze $\pm 2 m^2ha^{-1}$ priedei ir 72% gadījumu, 1. stāva eglei – 74%, bērzam – 78%, melnalksnis 80%, apsei – 79%, baltalksnim – 70% un 2. stāva eglei – 87%. Visām koku sugām šķērslaukuma novirze atgādina normālo sadalījumu (2.2. attēls).



2.2. attēls. Atsevišķu meža elementu šķērslaukuma novirzes sadalījums 15 gadu periodam visiem meža elementiem.

2.2.4. Krāja

Ar iepriekš izstrādātajiem augstuma, caurmēra un šķērslaukuma modeļiem jeb modeļu sistēmu visām koku sugām krājas novirze 15 gadu periodā nepārsniedz $\pm 11 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, bet procentuālā vidējā novirze nepārsniedz $\pm 11\%$. Līdzīgi statistiskie rādītāji ir atlasot tikai tos elementus, kuros starpinventarizācijā nav konstatēta koku ciršana. Bet atlasot tikai tos elementus, kuriem starpinventarizācijā ir konstatēta koku ciršana, statistiskie rādītāji ir krietni zemāki (2.4. tabula).

Kopumā meža elementa krāja, izmantojot iepriekš izstrādātos augstuma, caurmēra un šķērslaukuma vienādojumus, tiek prognozēta pietiekami precīzi, bet sistemātiski tiek prognozēts nedaudz piesardzīgāks krājas pieaugums.

Ar meža elementa augšanas gaitas modeļiem 15 gadu laikā prognozētās krājas (m^3ha^{-1}) statistiskie rādītāji

Cirte	Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R2	N
Visi kopā	P	161	10.0	6.2	18.0	24.8	15.4	615	0.030	0.878	0.977	161
	E 1.st.	101	10.9	10.8	18.0	25.0	24.7	623	0.059	0.891	0.953	101
	B	65	2.6	4.0	13.7	20.0	30.5	398	0.066	0.856	0.937	65
	M	66	3.8	5.8	12.7	19.9	30.1	391	0.046	0.875	0.958	66
	A	76	7.4	9.7	16.5	23.9	31.3	562	0.069	0.821	0.943	76
	Ba	45	-0.9	-2.0	14.2	21.0	46.7	434	0.069	0.785	0.939	45
	E 2.st.	35	1.6	4.7	9.6	13.7	39.4	188	0.180	0.893	0.824	35
Nav cirsts	P	140	7.4	5.3	15.5	22.4	16.0	499	0.025	0.881	0.981	251
	E 1.st.	96	9.6	10.1	17.1	23.7	24.8	561	0.052	0.902	0.958	209
	B	63	2.1	3.4	13.1	19.2	30.5	366	0.060	0.853	0.943	385
	M	60	3.0	4.9	12.3	19.2	31.8	365	0.047	0.903	0.955	110
	A	75	7.7	10.2	16.3	24.0	31.8	567	0.068	0.776	0.948	59
	Ba	37	-2.2	-6.1	12.9	19.5	53.3	373	0.085	0.814	0.920	70
	E 2.st.	35	1.9	5.3	9.6	13.9	39.7	191	0.189	0.869	0.816	258
Ir cirsts	P	234	19.2	8.2	26.8	32.9	14.0	1065	0.078	0.921	0.950	71
	E 1.st.	129	17.2	13.3	22.4	31.8	24.7	988	0.110	0.856	0.926	43
	B	87	6.8	7.8	19.8	27.3	31.3	729	0.155	0.920	0.857	43
	E 2.st.	34	-1.0	-3.0	8.9	13.5	39.7	174	0.109	1.084	0.900	23

P – priede, E 1.st. – egle 1. stāvs, B – bērzs, M – melnalksnis, A – apse, Ba – baltalksnis, E 2.st. – egle 2. stāvs.

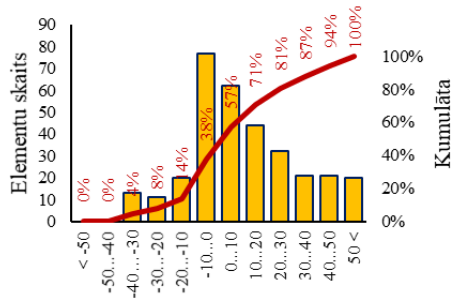
Vid - aritmētiski vidējā uzmērītā vērtība, cm; MRES - vidējā novirze, cm; MRES% - procentuālā vidējā novirze; AMRES - vidējā absolūtā novirze, cm; RMSE – standartnovirze, cm; RMSE% - variācijas koeficients; MSE - vidējā kvadrātiskā kļūda, cm; MEF - modeļa efektivitātes indekss; VR - dispersijas attiecība;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

Starpībai starp uzmērīto un prognozēto krāju 15 gadus periodā visām koku sugām konstatētas vājas lineāras sakarības ar meža elementa krūšaugstuma vecumu, mežaudzes šķērslaukumu un koka prognozēto augstumu bāzes vecumā jeb bonitāti. Lai gan atsevišķos gadījumos lielā novērojumu skaita dēļ krājas novirzei ar vecumu, šķērslaukumu un bonitāti ir statistiski būtiskas sakarības ($\alpha=0,05$), bet visos gadījumos datu jeb punktu izvietojums atgādina “skrošu šāvienu” jeb haotisku punktu kopu. Tādēļ var apgalvot, ka modeļi (D, H, G) vienlīdz precīzi (ar vienādu precizitāti) prognozē vērtības gan jaunās, gan vecās audzēs, gan retās, gan biežās audzēs, gan auglīgās, gan mazāk auglīgās audzēs.

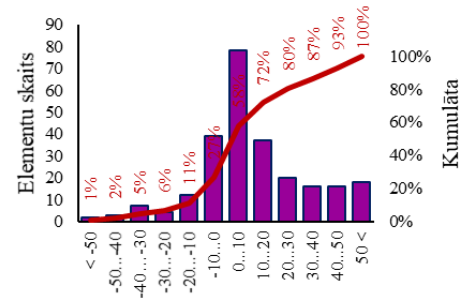
Tomēr atsevišķi vērtējot audzes, kurās ir veikta ciršana, konstatēts, ka paraugkopai P, E un B audzēs vienādojumi prognozē mazāku krāju nekā konstatēts dabā. It īpaši audzēs ar sākotnējo šķērslaukumu līdz $\sim 20\text{m}^2\text{ha}^{-1}$. Tā kā pārbaude ir veikta uz viena gada datiem (ar visai nelielu cirsto parauglaukumu skaitu), pirms ieviest kalibrācijas/ korekcijas koeficientus esošajā vienādojumu sistēmā, būtu nepieciešams veikt papildus pārbaudi uz vismaz 2 gadu datiem.

Meža elementa krājas novirze 15 gadu periodā $\pm 10\text{m}^3\text{ha}^{-1}$ priedei ir 43% gadījumu, 1. stāva eglei – 46%, bērzam – 56%, melnalksnis 63%, apsei – 51%, baltalksnim – 54% un 2. stāva eglei – 62%. Savukārt šī novirze $\pm 20\text{m}^3\text{ha}^{-1}$ priedei ir 63% gadījumu, 1. stāva eglei – 66%, bērzam – 75%, melnalksnis 73%, apsei – 65%, baltalksnim – 75% un 2. stāva eglei – 85%. Visām koku sugām krājas novirze atgādina normālo sadalījumu (2.3. attēls).

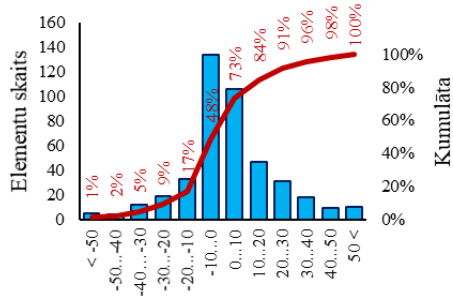
Priede



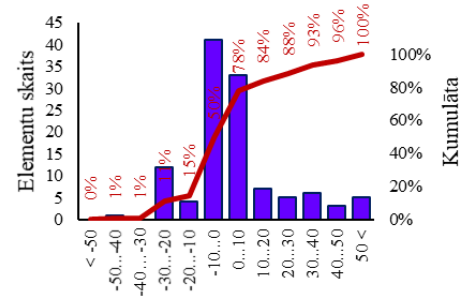
Egle 1. stāvs



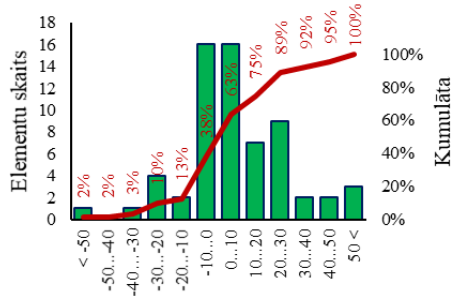
Bērzs



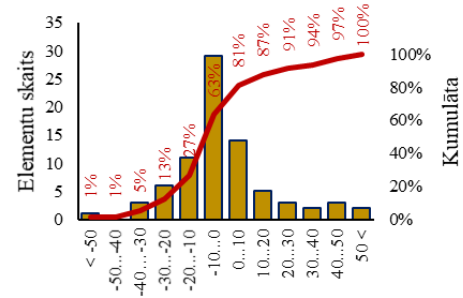
Melnalksnis



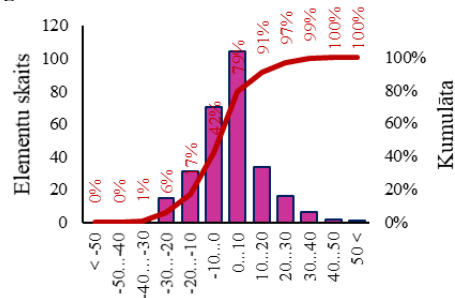
Apse



Baltalksnis



Egle 2. stāvs



2.3. attēls. Atsevišķu meža elementu krājas novirzes sadalījums 15 gadu periodam visiem meža elementiem.

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

Tā kā virknē gadījumu LVM plānošanas sistēmā nepieciešams modelēt arī audžu attīstību bez saimnieciskās darbības ietekmes, bet izvērtējot augšanas gaitas vienādojumu prognozes, konstatēts, ka tās ekstrapolējot ārpus garākā laika posmā, sistēmā tiek ģenerēta visu parauglaukumu šķērslaukumu konverģēšana uz pilnu biezību un atbilstošu augšanu gar pašizretināšanās līniju. Balstoties uz MSI parauglaukumu, kuros nav konstatēta saimnieciskā darbība nevienā no MSI cikliem, datiem, aprēķināts mediānais šķērslaukums pa valdošajām sugām un augstuma grupām. Izstrādāts vienādojums kokaudzes I stāva mediānā šķērslaukuma aprēķināšanai, kas izmantojams neapsaimniekotu audžu šķērslaukuma modelēšanai.

3.1. Materiāls un metodika

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

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

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

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

- kur
- G – kokaudzes I stāva mediānais šķērslaukums, m²ha⁻¹;
 - H – kokaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošais augstums, m;
 - α_{1-2} – koeficienti (3.1. tabula).

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

3.2. Rezultāti

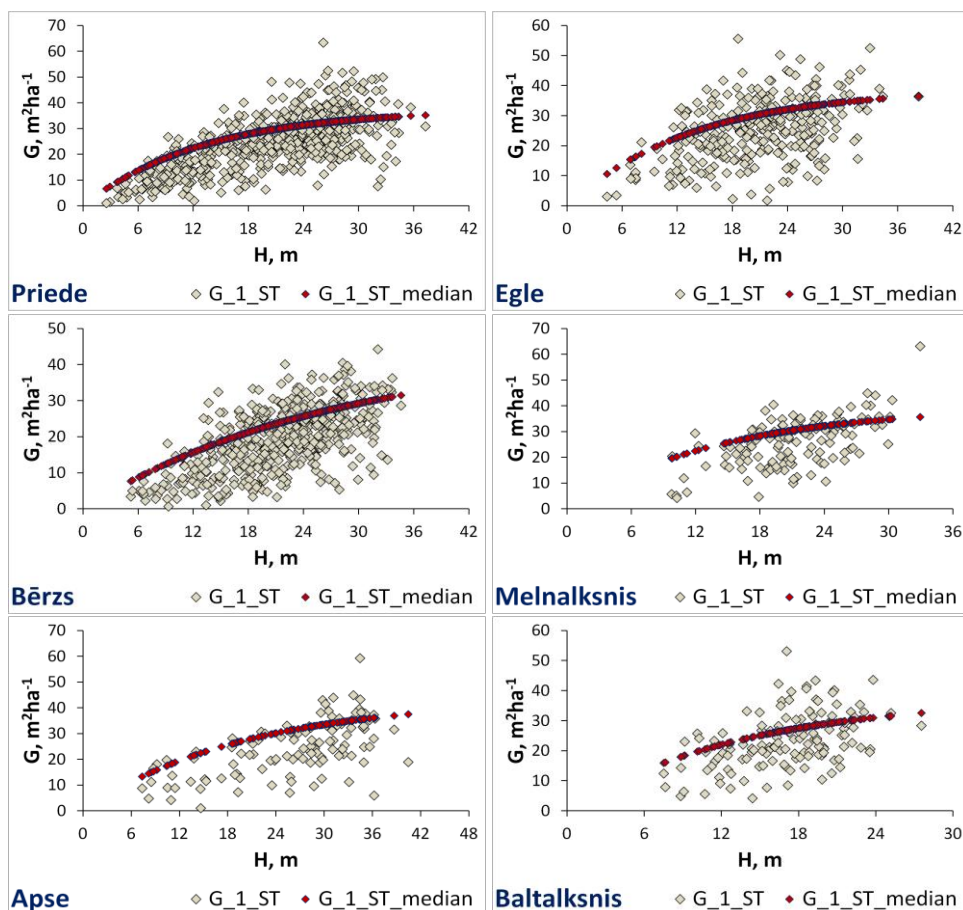
Sākotnēji darba uzdevumā tika definēts modālā šķērslaukuma vērtību aprēķināšana, bet veicot datu pirmsapstrādi tika konstatēts, ka modālās vērtības blakus esošajās gradācijas klasēs ir nestabilākas salīdzinājumā ar mediānajām vērtībām. (Atsevišķās grupās pat tika konstatēts bimodāls sadalījums).

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

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

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

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



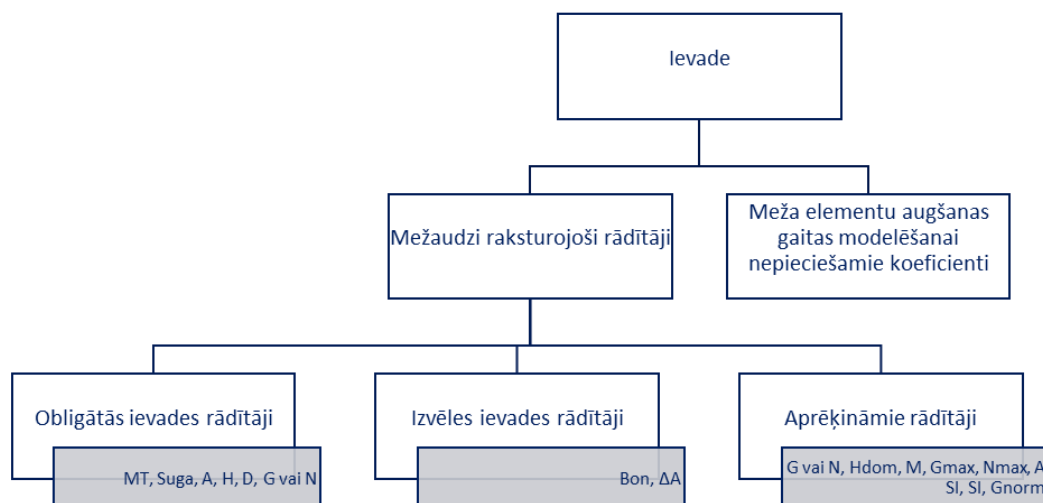
3.1.attēls. MSI parauglaukumos konstatētais kokaudzes I stāva šķērslaukums (G_{1_ST}) un ar 3.1. vienādojumu prognozētais kokaudzes I stāva mediānais šķērslaukums ($G_{1_ST_median}$).

4. Detalizēta formulu mijiedarbības apraksta sagatavošana atbilstoši pieejai formulu testēšanas excel (bez jaunāko audžu formulām)

Sākotnēji pētījumā bija paredzēta tikai atsevišķu audžu taksācijas rādītāju prognozēšanas vienādojumu izstrāde (2.uzdevums). Taču veicot LVM prognozēšanas rīka izstrādi tika konstatēts, ka bez vienādojumiem, nepieciešama arī prognozēšanas rīka prototipa izveide, kurš ļautu LVM pārbaudīt sistēmas funkcionalitāti. Tā kā jaunāko audžu prognozēšanas rīka izstrādi ir veicis LVM, tad bija nepieciešams veikt formulu mijiedarbību apraksta sagatavošana tikai audžu augšanas gaitas modeļiem, kas pārsniegušas vecumu, kurš atbilst 1. vecumklasē mērķtiecīgi koptu audžu vadlīnijām. Pētījuma ietvaros sagatavots gan apraksts, gan izveidotas atbilstošās Flowchart diagrammas, atbilstoši LVM sniegtajai informācijai par uzņēmumā izmantoto resursu izmaiņu modelēšanas koncepciju. LVM rīcībā nodots citos LVMI Silava pētījumos izstrādāts atsevišķas audzes augšanas gaitas simulatora prototips, kurš pārveidots atbilstoši LVM definētajām prasībām.

4.1. Datu ievade

Datu ievades lapā ir informācija, kas nepieciešama tālākajai audzes augšanas gaitas modelēšanai. Šajā lapā informāciju var dalīt divās lielās grupās: 1) kokaudzes raksturojošā informācija un 2) kokaudzes elementu koeficienti. Kokaudzes raksturojošos rādītājus var iedalīt trīs grupās, proti, obligātās ievades rādītāji, izvēles ievades rādītāji, izvēles ievades rādītāji un aprēķināmie rādītāji (4.1. attēls).



4.1. attēls. Datu ievade.

Svarīgākais pie datu ievades:

1. visiem kokaudzes elementiem (suga, stāvs) ir jābūt definētiem un jābūt definētiem vienādi gan datu ievades tabulā, gan koeficientu tabulā,
2. visiem obligātās ievades laukiem jābūt ievadītiem katram elementam,
3. ir jāievada vai nu elementa šķērslaukums vai koku skaits, abus vienlaicīgi ievadīt nedrīkst,
4. kā pirmais elements jāievada I stāva valdošais meža elements.

Kādā secībā ievada datus nav nozīmes. Ja izvēles ievades datus neievada, tad tie tiek aprēķināti.

Obligātie ievades lauki

Meža tips (MT) un meža elementa suga (Suga) jāievada atbilstoši MSI klasifikatoram (4.2 tabula). Pārējie meža elementa taksācijas rādītāji jāievada vispārpieņemtajās mērvienībās:

- A – meža elementa bioloģiskais vecums, gadi
- D – meža elementa vidējais kvadrātiskais krūšaugstuma caurmērs, cm
- H – meža elementa vidējā kvadrātiskā krūšaugstuma caurmēra kokam atbilstošais augstums, m
- G – meža elementa šķērslaukums, m²ha⁻¹
- N – meža elementa koku skaits, gab·ha⁻¹.

Bonitātes aprēķins (Bon)

Ja bonitāte netiek ievadīta, tad to aprēķina katram meža elementam pēc sekojoša vienādojuma:

$$B = (h - (\alpha_1 + \alpha_2 * LN(a_0) + \alpha_3 * LN(a_0)^2 + \alpha_4 * LN(a_0)^3)) / (\beta_1 + \beta_2 * LN(a_0) + \beta_3 * LN(a_0)^2 + \beta_4 * LN(a_0)^3) \quad (4.1)$$

- a₀ – meža elementa bioloģiskais vecums (0 iterācijā MSI norādītais vecums, visās nākošajās aprēķinātais bioloģiskais vecums), gadi;
- h – meža elementa vidējais augstums, m
- α_i; β_i – koeficienti (4.1. tab.).

Ar 4.1. vienādojumu aprēķinātās vērtības noapaļo veselos skaitļos, ja aprēķinātās bonitātes vērtība negatīva, to pielīdzina 0. bonitātei, ja aprēķinātās bonitātes vērtība lielāka par 6, to pielīdzina 6. bonitātei.

Vienādojumi lietojami:

- ✓ dižmeža audzēs ar vidējo vecumu 21 – 160 gadiem:
priede, egle, ozols, osis;
- ✓ atvasāju (izņemot baltalksni) audzēs ar vidējo vecumu 11 – 100 gadiem:
bērzs, melnalksnis, apse;
- ✓ baltalkšņu audzēs vidējo vecumu 6 – 100 gadiem:

Ja valdošās sugas vecums pārsniedz ierobežojumu, aprēķinā pieņem maksimālo vecumu.

4.1. tabula

Koeficientu vērtības kokaudzes bonitātes aprēķināšanai (4.1. formula)

Koku suga	Koku sugas kods	α ₁	α ₂	α ₃	α ₄	β ₁	β ₂	β ₃	β ₄	A _{min}	A _{max}
Priede	1	70.64	-66.567	20.659	-1.7359	-2.02	2.294	-0.995	0.0897	21	160
Egle	3	70.64	-66.567	20.659	-1.7359	-2.02	2.294	-0.995	0.0897	21	160
Bērzs	4	29.38	-33.38	13.138	-1.2396	-5.264	5.855	-2.263	0.231	11	100
Melnalksnis	6	29.38	-33.38	13.138	-1.2396	-5.264	5.855	-2.263	0.231	11	100
Apse	8	29.38	-33.38	13.138	-1.2396	-5.264	5.855	-2.263	0.231	11	100
Baltalksnis	9	29.38	-33.38	13.138	-1.2396	-5.264	5.855	-2.263	0.231	6	100
Ozols	10	70.64	-66.567	20.659	-1.7359	-2.02	2.294	-0.995	0.0897	21	160
Osis	11	70.64	-66.567	20.659	-1.7359	-2.02	2.294	-0.995	0.0897	21	160

Meža elementa krūšaugstuma vecums (A1.3)

Meža elementiem līdz 1.3 m augstumam krūšaugstuma vecums ir nulle.

Meža elementiem, kuru vidējais augstums lielāks par 1.3 m, krūšaugstuma vecumu aprēķina atņemot koku sugai noteiktu gadu skaitu:

$$a_{1.3} = a - \Delta a_0 \quad (4.2)$$

- a_{1.3} – meža elementa krūšaugstuma vecums, gadi;
- a – meža elementa vecums, gadi;
- Δa₀ – vecuma starpība starp bioloģisko un krūšaugstuma vecumu (4.2. tab.), gadi.

4.2. tabula

Vecuma starpība starp bioloģisko vecumu un krūšaugstuma vecumu (4.2. formula)

Koku suga	Koku sugas kods	Bonitāte						
		0	1	2	3	4	5	6
Priede	1	4	5	7	9	12	17	22

Koku suga	Koku sugas kods	Bonitāte						
		0	1	2	3	4	5	6
Egle	3	6	8	10	12	14	18	22
Bērzs	4	3	3	4	4	5	5	5
Melnalksnis	6	3	3	4	4	5	5	5
Apse	8	2	2	2	2	2	2	2
Baltalksnis	9	2	2	2	2	2	2	2
Ozols	10							
Osis	11							

Meža elementa virsaugstums (H_{dom})

Meža elementa virsaugstuma aprēķināšanai, izmanto sekojošu sakarību:

$$h_{\text{dom}} = (h/(\alpha_1 * n^{\alpha_3}))^{1/\alpha_2} \quad (4.3)$$

- h_{dom} – meža elementa virsaugstums, m;
- h – meža elementa vidējais augstums, m;
- n – meža elementa koku skaits, ha⁻¹;
- α_{1-3} – koeficienti (4.3. tab.).

Ja meža elementa koku skaits mazāks par 120 kokiem uz ha, tad virsaugstums ir vienāds ar vidējo augstumu.

4.3. tabula

Koeficientu vērtības sakarībai starp meža elementa vidējo augstumu un virsaugstumu (4.3. formula)

Koku suga	Koku sugas kods	α_1	α_2	α_3
Priede	1	1.0935	1.0279	-0.0395
Egle	3	1.1756	1.0285	-0.0558
Bērzs	4	1.1962	1.0242	-0.0553
Melnalksnis	6	1.1590	1.0100	-0.0390
Apse	8	1.0446	1.0438	-0.0408
Baltalksnis	9	1.1684	1.0107	-0.0410
Ozols	10	1.0935	1.0279	-0.0395
Osis	11	1.1756	1.0285	-0.0558

Meža elementa šķērslaukums (G) un koku skaits (N)

Ja nav ievadīts meža elementu šķērslaukums, tad līdz 1.3 m augstuma sasniegšanai tas ir 0 m²ha⁻¹, bet pēc 1.3 m augstuma sasniegšanas šķērslaukums nosakāms atbilstoši koku skaitam un vidējam caurmēram:

$$g = \pi() * d^2 * n / 40000 \quad (4.4)$$

$$n = 40000 * g / \pi() / d^2 \quad (4.4')$$

- g – meža elementa šķērslaukums, m²ha⁻¹;
- d – meža elementa vidējais krūšaugstuma caurmērs, cm;
- n – meža elementa koku skaits, ha⁻¹.

Ja ir ievadīts šķērslaukums, tad koku skaits aprēķināms pārveidojot šo pašu sakarību (4.4'. formula)

Meža elementa krāja (M)

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

$$m = \psi * h^{\alpha} * d^{(\beta * \log_{10}(h) + \phi)} * n \quad (4.5)$$

- m – meža elementa krāja, m³ha⁻¹;
- h – meža elementa vidējais augstums, m;
- d – meža elementa vidējais krūšaugstuma caurmērs, cm;
- n – meža elementa koku skaits, ha⁻¹;
- ψ; α; β; φ – koeficienti (4.4. tab.)

4.4. tabula

Meža elementa krājas aprēķināšanas vienādojuma koeficienti (4.5. formula) (Liepa, 1996)

Koku suga	Koku sugas kods	ψ	α	β	φ
Priede	1	0.00016541	0.56582	0.25924	1.59689
Egle	3	0.00023106	0.78193	0.34175	1.18811
Bērzs	4	0.00009090	0.71677	0.16692	1.75701
Melnalksnis	6	0.00007950	0.77095	0.13505	1.80715
Apse	8	0.00005020	0.92625	0.02221	1.95538
Baltalksnis	9	0.00007450	0.81295	0.06935	1.85346
Ozols	10	0.00013818	0.56512	0.14732	1.81336
Osis	11	0.00008530	0.73077	0.06820	1.91124

Meža elementa maksimālais šķērslaukums (G_{max})

Meža elementu maksimālā šķērslaukuma modelis MS Excel formātā:

$$g_{\max} = \alpha_1 / (1 + (d/\alpha_2)^{\alpha_3}) * ip \quad (4.6)$$

$$g_{\max} = \beta_1 * (1 - \exp(-\beta_2 * h)) * ip \quad (4.7)$$

- g_{max} – meža elementa maksimālais šķērslaukums, m²ha⁻¹;
- d – meža elementa prognozētais vidējais krūšaugstuma caurmērs, cm;
- h – meža elementa prognozētais vidējais augstums, m.
- ip – meža elementa īpatsvars;
- α_i; β_i – koeficienti (4.5. tab.).

Ar 4.6. formulu tiek aprēķināts maksimālais šķērslaukums apsaimniekotās mežaudzēs, kurās tiek modelēta kopšana, bet, ja kopšana netiek modelēta, tad maksimālais šķērslaukums tiek aprēķināts ar 4.7. formulu.

4.5. tabula

Virs 1.3 m augstiem meža elementiem maksimālā šķērslaukuma modeļu (4.6. un 4.7. formulas) koeficientu vērtības

Koku suga	Koku sugas kods	α ₁	α ₂	α ₃	β ₁	β ₂
Priede	1	63.45877	13.46633	-1.51447	37.34807	0.07615
Egle	3	56.98437	9.33710	-1.70296	38.74357	0.07334
Bērzs	4	44.21425	6.02039	-1.37711	43.54122	0.03710
Melnalksnis	6	50.01593	9.26982	-1.87173	39.56055	0.06983
Apse	8	55.63098	5.97114	-1.49469	43.24735	0.04973
Baltalksnis	9	39.01299	3.96501	-2.04227	37.40094	0.07388
Ozols	10	63.45877	13.46633	-1.51447	37.34807	0.07615
Osis	11	56.98437	9.33710	-1.70296	38.74357	0.07334

Meža elementa maksimālais koku skaits (N_{max})

Maksimālais meža elementa koku skaits tiek aprēķināts tikai I stāva meža elementiem.

Atsevišķu I stāva meža elementu maksimālā koku skaita aprēķināšanai izmanto sekojošu vienādojumu:

$$n_{\max} = \alpha_1 * d^{\alpha_1} * h^{\alpha_1} * ip \quad (4.8)$$

- n_{max} – meža elementa maksimālais koku skaits, ha⁻¹;
- h – meža elementa vidējais augstums, m;
- ip – meža elementa īpatsvars;
- α₁₋₃ – koeficienti (4.6. tab.).

Koeficientu vērtības maksimālā koku skaita aprēķināšanai (4.8. formula)

Koku suga	Koku sugas kods	α_1	α_2	α_3
Priede	1	83570	-1.366	-0.069
Egle	3	103106	-1.381	-0.103
Bērzs	4	144400	-1.357	-0.302
Melnalksnis	6	197511	-1.314	-0.339
Apse	8	197511	-1.314	-0.339
Baltalksnis	9	197511	-1.314	-0.339
Ozols	10	83570	-1.366	-0.069
Osis	11	103106	-1.381	-0.103

Meža elementa normālais šķērslaukums

Atsevišķa I stāva meža elementa normālais šķērslaukums tiek aprēķināts izmantojot sekojošu vienādojumu:

$$g_{\text{norm}} = ip \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot h \cdot h^{\alpha_3} \quad (4.9)$$

- g_{norm} – kokaudzes I stāva atsevišķu meža elementi normālais šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$;
 h – meža elementa vidējais augstums, m;
 ip – meža elementa īpatsvars;
 α_i – koeficienti (4.7. tab.).

Atsevišķa meža elementa normālā šķērslaukuma (4.9. formula) vienādojumu koeficienti

Koku suga	Koku sugas kods	G_{norm}		
		α_1	α_2	α_3
Priede	1	9.90686	0.99015	0.48135
Egle	3	6.28821	1.00308	0.53391
Bērzs	4	3.01668	0.99796	0.72995
Melnalksnis	6	3.65344	0.99972	0.71034
Apse	8	3.65344	0.99972	0.71034
Baltalksnis	9	3.65344	0.99972	0.71034
Ozols	10	3.19604	0.99548	0.75766
Osis	11	0.72374	0.95709	1.46528

Meža elementa bāzes vecums (A SI)

Bāzes vecums ir krūšaugstuma vecums un tas ir atkarīgs no koku sugas:

- priedei, eglei, ozolam un osim – 100 gadi,
- bērzam, melnalksnim un apsei – 50 gadi,
- baltalksnim – 20 gadi.

Meža elementa augstums bāzes vecumā (SI)

Meža elementa augstuma bāzes vecumā aprēķināšanai izmanto meža elementa augstuma augšanas gaitas prognožu modeli:

$$h_2 = 1.3 + a_2 \cdot \alpha_1 / (\alpha_2 + \alpha_3 \cdot 100 \cdot ((a_1 \cdot \alpha_1 / (h_1 - 1.3) - \alpha_2) / (\alpha_3 \cdot 100 + a_1 \cdot \alpha_1)) + ((a_1 \cdot \alpha_1 / (h_1 - 1.3) - \alpha_2) / (\alpha_3 \cdot 100 + a_1 \cdot \alpha_1)) \cdot a_2 \cdot \alpha_1) \quad (4.10)$$

- 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 augstumā aktualizācijas perioda sākumā, gadi
 a_2 – meža elementa vecums 1.3 augstumā aktualizācijas perioda beigās, gadi
 α_{1-3} – koeficienti (4.8. tab.).

Vir 1.3 m augstiem meža elementiem vidējā augstuma augšanas gaitas prognožu modeļa (4.10. formula) koeficientu vērtības

Koku suga	Koku sugas kods	I stāvs			II un III stāvs			H _{max}
		α_1	α_2	α_3	α_1	α_2	α_3	
Priede	1	1.18111	-42.59724	21.10918	1.18111	-42.59724	21.10918	45
Egle	3	1.29005	-38.14248	20.15906	1.20905	-34.00184	12.99559	45
Bērzs	4	1.33418	-35.78521	16.11630	1.33418	-35.78521	16.11630	39
Melnalksnis	6	1.13922	-32.09572	15.97676	1.13922	-32.09572	15.97676	39
Apse	8	1.32442	-26.07775	15.64465	1.32442	-26.07775	15.64465	45
Baltalksnis	9	1.32873	-23.04796	7.32721	1.32873	-23.04796	7.32721	30
Ozols	10	1.18111	-42.59724	21.10918	1.18111	-42.59724	21.10918	39
Osis	11	1.29005	-38.14248	20.15906	1.29005	-38.14248	20.15906	39

4.2. Scenārija definēšana

Lietotājam jādefinē viena augšanas gaitas modelēšanas perioda (Δt) garums, kas nedrīkst pārsniegt piecus gadus.

Tāpat lietotājam jādefinē krājas kopšanas ciršu režīms (KKC režīms). Lietotājs var izvēlēties vienu no septiņiem krājas kopšanas ciršu režīmiem:

- xxx – krājas kopšanas cirtes netiek veiktas,
- 3xx – krājas kopšanas cirtes tiek plānotas 26–30 gadu vecumā,
- x5x – krājas kopšanas cirtes tiek plānotas 46–50 gadu vecumā,
- xx7 – krājas kopšanas cirtes tiek plānotas 65–70 gadu vecumā,
- 35x – krājas kopšanas cirtes tiek plānotas 26–30 un 46–50 gadu vecumā,
- x57 – krājas kopšanas cirtes tiek plānotas 46–50 un 66–70 gadu vecumā,
- 3x7 – krājas kopšanas cirtes tiek plānotas 26–30 un 66–70 gadu vecumā,
- 357 – krājas kopšanas cirtes tiek plānotas 26–30, 46–50 un 66-70 gadu vecumā.

Šeit gan jāatzīmē, ka lietotājs izvēlas, kādos vecumos un cik reižu audzi paredz kopt, bet datore modelēs audzē izvēlētajos vecumos kopšanu vienīgi tad, ja tā atbilst kopšanas cirtes kritērijiem. Lietotājam atkarībā no valdošās koku sugas un tās vidējā augstuma ir iespēja definēt pie kāda šķērslaukuma tiek veikta krājas kopšanas cirte un kāds ir palikušās audzes šķērslaukums pēc kopšanas.

4.3. Augšanas gaitas modelēšana bez kopšanas cirtēm

4.3.1. Pirmais etaps – datu sagatavošana modelēšanai

Šajā etapā tiek ievadīti meža elementu raksturojošie rādītāji, aprēķināti modelēšanai nepieciešamie rādītāji un aprēķināti modelēšanai nepieciešamie audzes raksturojošie rādītāji.

Šajā etapā vispirms tiek ievadīt 0 perioda jeb ievades dati par katru meža elementu:

- k – meža elementa sastāva koeficients,
- a – meža elementa bioloģiskais vecums, gadi
- a1.3 – meža elementa krūšaugstuma vecums, gadi
- d – meža elementa vidējais kvadrātiskais krūšaugstuma caurmērs, cm
- h – meža elementa vidējā kvadrātiskā krūšaugstuma caurmēra kokam atbilstošais augstums, m
- hdom – meža elementa virsaugstums, m
- g – meža elementa šķērslaukums, m²ha⁻¹
- m – meža elementa krāja, m³ha⁻¹
- n – meža elementa koku skaits, gab·ha⁻¹.

Nākošajā solī aprēķina katram meža elementam maksimālo šķērslaukumu (4.6. un 4.7. formulas) un maksimālo koku skaitu (4.8. formula).

Pēc tam tiek aprēķināti kokaudzes taksācijas rādītāji, kas nepieciešami tālākai augšanas gaitas modelēšanai:

- I stāva valdošā koku suga (s_{10}) un tai atbilstošie taksācijas rādītāji:
 - vecums (As_{10}),
 - bonitāte ($Bon s_{10}$),
 - augstums (Hs_{10}),
 - caurmērs (Ds_{10}),
- I stāva taksācijas rādītāji:
 - šķērslaukums (G),
 - koku skaits (N),
 - krāja (M),
 - maksimālais šķērslaukums (G_{max}),
 - maksimālais koku skaits (N_{max}),
 - relatīvā biežība pēc šķērslaukuma ($RelativBiez_G$),
 - relatīvā biežība pēc koku skaita ($RelativBiez_N$),
 - koku skaita attiecība pret normālo koku skaitu ($Biez_N/Norm$),
 - šķērslaukuma attiecība pret normālo šķērslaukumu ($Biez_G/Gnorm$).

Tā kā šis augšanas gaitas modelis būvēts bez valdošās koku sugas maiņas, tad I stāva valdošās koku sugas taksācijas ņem tieši no pirmā elementa (tādēļ arī ir svarīgi, ievadot datus, kā pirmo ievadīt valdošo elementu).

Pirmā stāva taksācijas rādītāji tiek aprēķināti kā summas vai summu attiecības no elementu datiem.

4.3.2. Otrais etaps – augšanas gaitas modelēšana

Augšanas gaitu modelē pa nedefinētajiem periodiem, pie tam pirmais periods ir puse no definētā perioda. Augšanas gaitas modelēšanas algoritms mainās atkarībā no tā vai elements ir sasniedzis vai nav sasniedzis piecu gadu krūšaugstuma vecumu. Pēc katra atsevišķa meža elementa augšanas gaitas modelēšanas beigām aprēķina arī audzes taksācijas rādītājus, kas nepieciešami nākamā perioda augšanas gaitas modelēšanai.

Meža elementa vecums

Katrā periodā gan meža elementa bioloģiskajam vecumam, gan krūšaugstuma vecumam pieskaita definēto perioda garumu, izņemot, pirmo modelēšanas periodu, kur pieskaita pusi no definētā perioda garuma.

Meža elementa augstums un virsaugstums

Vienā augšanas modelēšanas periodā tiek modelēts vai nu vidējais augstums vai virsaugstums, bet attiecīgi otrs rādītājs tiek aprēķināts sekundāri.

Ja meža elementa krūšaugstuma vecums mazāks par pieciem gadiem, augstuma pieaugums tiek modelēts katrai sugai pēc definētās vai meža tipam atbilstošās bonitātes.

Meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas prognožu modelis MS Excel formātā:

$$h_2 = h_1 + (\alpha_1 + (\alpha_2 * B^{\alpha_3}) / (\alpha_4^{\alpha_3} + B^{\alpha_3})) * \Delta t / (\Delta a + 5) \quad (4.11)$$

- | | | |
|----------------|---|--|
| h_2 | – | meža elementa vidējais augstums aktualizācijas perioda beigās, m; |
| h_1 | – | meža elementa vidējais augstums aktualizācijas perioda sākumā, m; |
| B | – | meža elementa bonitātes kods (0–6); |
| Δt | – | aktualizācijas perioda garums, gadi; |
| Δa | – | meža elementa vecuma starpība starp bioloģisko un krūšaugstuma vecumu (4.3. tab.), gadi; |
| α_{1-3} | – | koeficienti (4.9. tab.). |

Līdz 1.3 m augstiem meža elementiem vidējā augstuma augšanas gaitas prognožu modeļa (4.11. formula) koeficientu vērtības

Koku suga	Koku sugas kods	α_1	α_2	α_3	α_4
Priede	1	4.71974	-5.35203	0.99450	4.87410
Egle	3	3.71000	-3.40971	1.00456	3.52752
Bērzs	4	4.33958	-5.50837	0.94706	6.16190
Melnalksnis	6	5.03930	-6.88795	0.97118	6.49472
Apse	8	5.02983	-7.69748	0.99068	8.22900
Baltalksnis	9	4.88003	-11.24780	0.99298	15.12452
Ozols	10	4.71974	-5.35203	0.99450	4.87410
Osis	11	3.71000	-3.40971	1.00456	3.52752

Ja meža elementa krūšaugstuma vecums vismaz pieci gadi, meža elementam modelē virsaugstuma izmaiņas bet vidējo augstumu aprēķina sekundāri. Meža elementa virsaugstuma modelēšanai izmanto to pašu vienādojumu, ko vidējā augstuma aproksimācijai (4.10. formula), vienīgi ar virsaugstuma augšanas gaitas modelēšanai paredzētajām koeficientu vērtībām (4.10. tabula).

Meža elementiem virsaugstuma augšanas gaitas prognožu modeļa (4.10. formula) koeficientu vērtības

Suga	α_1	α_2	α_3
Priede	1.1004	-50.9942	24.9410
Egle	1.3085	-51.5051	22.8602
Bērzs	1.4472	-48.3681	19.2717
Melnalksnis	1.4285	-40.0308	14.4447
Apse	1.3859	-58.5798	28.5397
Baltalksnis	1.2274	-7.2118	2.6221
Ozols	1.0852	-20.6891	11.1191
Osis	1.1373	-16.3273	9.5466

Meža elementa virsaugstuma un vidējā augstuma sakarībai, izmanto sekojošu sakarību:

$$h_{\text{dom}} = (h/(\alpha_1 * n^{\alpha_3}))^{1/\alpha_2} \quad (4.12)$$

jeb

$$h = \alpha_1 * h_{\text{dom}}^{\alpha_2} * n^{\alpha_3} \quad (4.13)$$

- h_{dom} – meža elementa virsaugstums, m;
- h – meža elementa vidējais augstums, m;
- n – meža elementa koku skaits, ha⁻¹;
- α_{1-3} – koeficienti (4.11. tab.).

Ja meža elementa koku skaits mazāks par 120 kokiem uz ha, tad virsaugstums ir vienāds ar vidējo augstumu.

Koeficientu vērtības sakarībai starp meža elementa vidējo augstumu un virsaugstumu (4.12. formula)

Koku suga	Koku sugas kods	α_1	α_2	α_3
Priede	1	1.0935	1.0279	-0.0395
Egle	3	1.1756	1.0285	-0.0558
Bērzs	4	1.1962	1.0242	-0.0553
Melnalksnis	6	1.1590	1.0100	-0.0390
Apse	8	1.0446	1.0438	-0.0408
Baltalksnis	9	1.1684	1.0107	-0.0410
Ozols	10	1.0935	1.0279	-0.0395
Osis	11	1.1756	1.0285	-0.0558

Ja meža elementa krūšaugstuma vecums vismaz pieci gadi, vidējais krūšaugstuma caurmērs tiek modelēts atkarībā no sākotnējā vidējā caurmēra, vecuma un relatīvās I stāva biežības.

Meža elementa vidējā caurmēra aprēķināšanas modelis MS Excel formātā:

$$d_2 = 1.3 + a_2 \alpha_1 / (\alpha_2 * RB + \alpha_3 * 100 * ((a_1 \alpha_1 / (d_1 - 1.3) - \alpha_2 * RB) / (\alpha_3 * 100 + a_1 \alpha_1)) + ((a_1 \alpha_1 / (d_1 - 1.3) - \alpha_2 * RB) / (\alpha_3 * 100 + a_1 \alpha_1)) * a_2 \alpha_1) \quad (4.14)$$

- 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 augstumā aktualizācijas perioda sākumā, gadi
 a_2 – meža elementa vecums 1.3 augstumā aktualizācijas perioda beigās, gadi
 RB – mežaudzes I stāva relatīvā biežība
 α_{1-3} – koeficienti (4.12. tab.).

4.12. tabula

Virš 1.3 m augstiem meža elementiem vidējā caurmēra augšanas gaitas prognožu modeļa (4.14. formula) koeficientu vērtības

Koku suga	Koku sugas kods	α_1	α_2	α_3
Priede	1	1.06700	-9.98500	5.03500
Egle	3	1.08900	-5.69800	4.61700
Bērzs	4	1.04300	-7.79300	3.65200
Melnalksnis	6	0.91200	-1.44400	1.38800
Apse	8	1.29000	-13.95300	9.78600
Baltalksnis	9	0.92400	-8.15200	2.78100
Ozols	10	1.06700	-9.98500	5.03500
Osis	11	1.08900	-5.69800	4.61700

Kokaudzes I stāva relatīvā biežība tiek aprēķināta kā attiecība starp kokaudzes I stāva koku skaitu un aprēķināto maksimālo koku skaitu:

$$RB = N / N_{max} \quad (4.15)$$

- RB – Kokaudzes I stāva relatīvā biežība;
 N – Kokaudzes I stāva koku skaits, ha⁻¹;
 N_{max} – Kokaudzes I stāva maksimālais koku skaits, ha⁻¹.

Kokaudzes maksimālais koku skaits ir atsevišķu I stāva meža elementu maksimālā koku skaita (4.8. formula) summa.

Meža elementu koku skaits

Ja meža elementa krūšaugstuma vecums mazāks par pieciem gadiem, tad tiek modelēts, ka katru gadu dabiskais koku skaita atmirums ir viens procents.

Meža elementa koku skaita izmaiņu modelis MS Excel formātā:

$$n_2 = (1 - 0.01 * t) * n_1 \quad (4.16)$$

- n_2 – meža elementa koku skaits aktualizācijas perioda beigās, ha⁻¹;
 n_1 – meža elementa koku skaits aktualizācijas perioda sākumā, ha⁻¹.

Ja meža elementa krūšaugstuma vecums vismaz pieci gadi, meža elementa koku skaits tiek aprēķināts kā sekundārs parametrs atkarībā no prognozētā meža elementa šķērslaukuma un caurmēra.

Meža elementa koku skaita aprēķināšanas modeļa algoritms MS Excel formātā:

$$n = 40000 * g / \pi() / d^2 \quad (4.17)$$

- n – meža elementa koku skaits, ha⁻¹.
 g – meža elementa šķērslaukums, m²ha⁻¹;
 d – meža elementa vidējais krūšaugstuma caurmērs, cm;

Meža elementa šķērslaukums

Ja meža elementa krūšaugstuma vecums mazāks par pieciem gadiem, mežaudzes (meža elementu) šķērslaukums līdz 1.3 m augstuma sasniegšanai ir $0 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$, bet pēc 1.3 m augstuma sasniegšanas šķērslaukums nosakāms atbilstoši prognozētajam koku skaitam un caurmēram (4.4. formula).

Ja meža elementa krūšaugstuma vecums vismaz pieci gadi, meža elementa šķērslaukuma izmaiņas atkarīgas no meža elementa prognozētās šķērslaukuma diferences un maksimālā šķērslaukuma.

Meža elementu šķērslaukuma diferenci aprēķins mainās atkarībā no prognozes perioda garuma, meža elementa šķērslaukuma un vecuma. Ja meža elementa šķērslaukums mazāk kā $10 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$ vai krūšaugstuma vecums lielāks par 4.14. tabulā norādīto šķērslaukuma aktualizācijas robežvecumu (A_{lim}), vai arī aktualizācijas ilgums pārsniedz 20 gadus, tad izmanto 4.18.2. formulu, bet pārējos gadījumos izmanto 4.18.1. formulu.

Meža elementu šķērslaukuma diferences modelis MS Excel formātā:

$$g_2 = g_1 + (\alpha_0 + \alpha_1 * a_1 / 100 + \alpha_2 / (a_1 / 10)^2 + \alpha_3 * g_1 / a_1 + \alpha_4 * GL / a_1 + \alpha_5 * SI / a_1) * (a_2 - a_1) \quad (4.18.1)$$

$$g_2 = g_1 + g_1 * (\alpha_0 + \alpha_1 * a_1 / 100 + \alpha_2 / a_1^2) * (a_2 - a_1) \quad (4.18.2)$$

- g_2 – prognozētais meža elementa šķērslaukums perioda beigās, m^2ha^{-1} ;
 g_1 – meža elementa šķērslaukums aktualizācijas perioda sākumā, m^2ha^{-1} ;
 a_1 – meža elementa vecums 1.3 augstumā aktualizācijas perioda sākumā, gadi
 a_2 – meža elementa vecums 1.3 augstumā aktualizācijas 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), ja 3. stāva meža elements, tad kokaudzes kopējais šķērslaukums), m^2ha^{-1} ;
 SI – prognozētais meža elementa augstums (9.10. formula) noteiktā krūšaugstuma vecumā (9.15. tab. A_{SI}), m
 $\alpha_i; \beta_i$ – koeficienti (4.13. un 4.14. tab.).

4.13. tabula

Virš 1.3 m augstiem meža elementiem šķērslaukuma diferences modeļu 4.18.1. formulas koeficientu vērtības

Koku suga	Koku sugas kods	α_0	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5
Priede	1	0.12790	-0.05718	0.02512	0.83096	-0.36719	0.15517
Egle	3	0.19233	-0.11625	0.04781	0.82474	-0.23711	0.12125
Bērzs	4	0.23598	-0.25059	-0.06415	0.60903	-0.24720	0.16372
Melnalksnis	6	0.19929	-0.23874	-0.08695	0.84685	-0.18952	0.07761
Apse	8	0.45672	-0.46009	0.24801	0.96946	-0.23032	0.00000
Baltalksnis	9	0.66125	-1.72237	0.05124	0.96525	-0.46311	0.12640
Ozols	10	0.12790	-0.05718	0.02512	0.83096	-0.36719	0.15517
Osis	11	0.19233	-0.11625	0.04781	0.82474	-0.23711	0.12125

4.14. tabula

Virš 1.3 m augstiem meža elementiem šķērslaukuma diferences modeļu 4.18.2. formulas koeficientu vērtības un šķērslaukuma aktualizācijā nepieciešamie raksturvecumi

Koku suga	Koku sugas kods	α_0	α_1	α_2	A_{lim}	A_{SI}
Priede	1	0.01800	-0.01139	12.01519	120	100
Egle	3	0.02787	-0.02145	12.57435	100	100
Bērzs	4	0.05146	-0.06896	8.81694	80	50
Melnalksnis	6	0.05924	-0.08500	3.36282	80	50
Apse	8	0.05660	-0.06663	12.13606	80	50
Baltalksnis	9	0.06862	-0.16547	6.29221	50	20
Ozols	10	0.01800	-0.01139	12.01519	120	100
Osis	11	0.02787	-0.02145	12.57435	100	100

A_{lim} – krūšaugstuma robežvecums šķērslaukuma diferences vienādojuma izvēlei,

A_{SI} – krūšaugstuma vecums, pie kura tiek rēķināts kokaudzes produktivitātes raksturojošais augstums.

Ar 4.18.1. un 4.18.2. formulām tiek prognozēts potenciālais meža elementa šķērslaukums, tomēr tas nedrīkst pārsniegt teorētiski maksimālo šķērslaukumu.

Meža elementu maksimālā šķērslaukuma modelis MS Excel formātā:

$$g_{max} = \alpha_1 / (1 + (d/\alpha_2)^{\alpha_3}) * ip \quad (4.19.1)$$

$$g_{max} = \beta_1 * (1 - \exp(-\beta_2 * h)) * ip \quad (4.19.2)$$

- g_{max} – meža elementa maksimālais šķērslaukums, m^2ha^{-1} ;

- d – meža elementa prognozētais vidējais krūšaugstuma caurmērs, cm;
- h – meža elementa prognozētais vidējais augstums, m.
- ip – meža elementa īpatsvars;
- $\alpha_i; \beta_i$ – koeficienti (4.15. tab.).

Ar 4.19.1. formulu tiek aprēķināts maksimālais šķērslaukums apsaimniekošanas variantos, kuros tiek plānotas veikt kopšanas, bet, ja kopšana nav plānotas, tad maksimālais šķērslaukums tiek aprēķināts ar 4.19.2. formulu.

4.15. tabula

Virš 1.3 m augstiem meža elementiem maksimālā šķērslaukuma modeļu (4.19.1. un 4.19.2. formulas) koeficientu vērtības

Koku suga	Koku sugas kods	α_1	α_2	α_3	β_1	β_2
Priede	1	63.45877	13.46633	-1.51447	37.34807	0.07615
Egle	3	56.98437	9.33710	-1.70296	38.74357	0.07334
Bērzs	4	44.21425	6.02039	-1.37711	43.54122	0.03710
Melnalksnis	6	50.01593	9.26982	-1.87173	39.56055	0.06983
Apse	8	55.63098	5.97114	-1.49469	43.24735	0.04973
Baltalksnis	9	39.01299	3.96501	-2.04227	37.40094	0.07388
Ozols	10	63.45877	13.46633	-1.51447	37.34807	0.07615
Osis	11	56.98437	9.33710	-1.70296	38.74357	0.07334

Atsevišķa meža elementa šķērslaukums tiek prognozēts kā minimālais šķērslaukums no prognozētā potenciālā meža elementa šķērslaukuma un no aprēķinātā maksimālā meža elementa šķērslaukuma:

$$g_2 = \min(g'_2; g_{\max}) \quad (4.20)$$

- g_2 – meža elementa šķērslaukums perioda beigās, $m^2 ha^{-1}$;
- g'_2 – prognozētais meža elementa šķērslaukums perioda beigās (4.18.1. vai 4.18.2. formula), $m^2 ha^{-1}$;
- g_{\max} – meža elementa maksimālais šķērslaukums (4.19.1. vai 4.19.2. formula), $m^2 ha^{-1}$;

Meža elementa krāja

Meža elementu krāju līdz 1,5 m augstuma sasniegšanai aprēķina kā konusa tilpumu:

$$m = \pi(d)^2 \cdot h / 3 \cdot n / 40000 \quad (4.21)$$

- m – meža elementa krāja, $m^3 ha^{-1}$;
- d – meža elementa prognozētais vidējais krūšaugstuma caurmērs, cm;
- h – meža elementa prognozētais vidējais augstums, m.
- n – meža elementa koku skaits, ha^{-1} .
- ip – meža elementa īpatsvars.

Pēc 1,5 m augstuma sasniegšanas krājas aprēķināšanai izmanto I. Liepas atsevišķa koka tilpuma formulu (Liepa, 1996), ņemot vērā, koku skaitu, koku vidējo augstumu un vidējo kvadrātisko caurmēru (4.5 formula).

4.4. Kopšanas ciršu modelēšana

Mežaudzē kopšanas cirtes tiek modelētas atbilstoši lietotāja izvēlētajam kopšanas ciršu režīmam, protams, ja tās atbilst lietotāja definētajam kopšanas ciršu kritērijiem – mežaudze ir sasniegusi noteikto šķērslaukumu.

Kopšanas cirtes veida un pakāpes (intensitātes) raksturošanai izmanto sekojošus rādītājus (von Gadow, Hui, 1999):

- ✓ Kopšanas cirte pakāpe

$$rG = G_{izc} / G_{kop} \quad (4.22)$$

- rG – kopšanas cirtes pakāpe;
- G_{izc} – izcirstais šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$;
- G_{kop} – kopējais šķērslaukums, $m^2 ha^{-1}$.

- ✓ Kopšanas cirtes tips

ja neitrāla atlase, tad $NG = 1.0$; ja kopšana no apakšas, tad $NG > 1.0$; ja kopšana no augšanas, tad $NG < 1.0$;

šajā aprēķinu modelī paredz, ka kopšanas cirtes tips nemainās un visos gadījumos tas ir 1,15.

Izcirsto koku skaitu aprēķina sekojoši:

$$N_{izc} = N_{kop} * rG * NG \quad (4.23)$$

- NG – kopšanas cirtes tips;
- rG – kopšanas cirtes intensitāte;
- N_{izc} – izcirstais koku skaits, koki ha^{-1} ;
- N_{kop} – kopējais koku skaits, koki ha^{-1} .

Pēc tam, kad ir aprēķināti kopšanas cirtes raksturojošie rādītāji un izcērtamais apjoms, tiek aktualizēti meža elementu taksācijas dati.

Meža elementa šķērslaukumu aprēķina kā starpību starp sākotnējo šķērslaukumu un modelēto izcirsto šķērslaukumu:

$$g_{pec} = g_{pirms} - g_{izc} \quad (4.24)$$

- g_{pec} – meža elementa šķērslaukums pēc krājas kopšanas cirtes, m^2ha^{-1} ;
- g_{pirms} – meža elementa šķērslaukums pirms krājas kopšanas cirtes, m^2ha^{-1} ;
- g_{izc} – meža elementa krājas kopšanas cirtē izcirstais šķērslaukums, m^2ha^{-1} .

Meža elementa koku skaitu aprēķina kā starpību starp sākotnējo koku skaitu un modelēto izcirsto koku skaitu:

$$n_{pec} = n_{pirms} - n_{izc} \quad (4.25)$$

- n_{pec} – meža elementa koku skaits pēc krājas kopšanas cirtes, ha^{-1} ;
- n_{pirms} – meža elementa koku skaits pirms krājas kopšanas cirtes, ha^{-1} ;
- n_{izc} – meža elementa krājas kopšanas cirtē izcirstais koku skaits, ha^{-1} .

Vidējā caurmēra pēc kopšanas cirtes aprēķināšanai izmanto sekojošu vienādojumu:

$$d = \sqrt{40000 * g_{pec} / \pi() / n_{pec}} \quad (4.26)$$

- d – vidējais caurmērs pēc kopšanas cirtes, cm;
- g_{pec} – meža elementa šķērslaukums pēc krājas kopšanas cirtes, m^2ha^{-1} ;
- n_{pec} – meža elementa koku skaits pēc krājas kopšanas cirtes, ha^{-1} ;

Meža elementa virsaugstums (h_{dom}) pēc krājas kopšanas cirtes nemainās.

Meža elementa vidējais augstums pēc krājas kopšanas cirtes tiek aprēķināts atkarībā no meža elementa virsaugstuma un koku skaita (4.12. formula).

Krājas aprēķināšanai izmanto I. Liepas atsevišķa koka tilpuma formulu (Liepa, 1996), ņemot vērā, koku skaitu, koku vidējo augstumu un vidējo kvadrātisko caurmēru (4.5. formula).

Bonitātes, meža elementa īpatsvara, maksimālā koku skaita un audzes taksācijas rādītāju aprēķināšana aprakstīta iepriekšējās nodaļās.

Papildus pieaugums pēc krājas kopšanas cirtes netiek modelēts ne augstumam, ne caurmēram. Caurmēram neliels papildus pieaugums rodas no tā, ka samazinās audzes biežība un palielinās mehāniski meža elementa caurmērs (aptuveni 10-15% 10 gadu laikā).

5. Pieauguma, atmiruma un krājas diferences prognožu modeļu pilnveidošana

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

5.1. Faktiskās audzes tekošā pieauguma modelis

5.1.1. Materiāls un metodika

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

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

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

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

$$Z_M = \alpha_1 \cdot A^{\alpha_2} \cdot \alpha_3^B \cdot G^{\alpha_4} \quad (5.1)$$

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

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

$$Z_m = \frac{M_A - m_{A-n}}{n} \quad (5.2)$$

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

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

5.1.2. Rezultāti

Aprēķināti jauni koeficienti faktiskās audzes krājas tekošā vidēji periodiskā krājas pieauguma aprēķināšanai (5.1. tabula). Tomēr jāatzīmē ka atsevišķām koku sugām atsevišķi koeficienti ir mežsaimnieciski nelogiski. Piemēram, apsei α_3 koeficients ir lielāks par vienu, kas nozīmē ka pie zemākām bonitātēm tiek prognozēts lielāks krājas pieaugums, vai piemēram, melnalksnim α_1 koeficients ir nelogiski liels, līdz ar to jaunaudžu vecumā tiek modelēts nelogiski liels krājas pieaugums.

Kokaudzes faktiskās audzes tekošā krājas pieauguma modeļa (5.1. formula) 2017. gadā aproksimētās koeficientu vērtības

Taksācijas vienība	Valdošā suga	koeficienti			
		α_1	α_2	α_3	α_4
Kokaudzes 1.stāvs	Priede	9.59324	-0.54686	0.9231	0.6611
	Egle	16.45754	-0.60332	0.99521	0.59361
	Bērzs	22.46105	-0.77898	0.93454	0.6648
	Melnalksnis	63.5254	-0.84074	0.94843	0.41877
	Apse	10.12483	-0.32692	1.11677	0.48058
	Baltalksnis	15.85952	-0.50955	0.94413	0.49384
Kokaudze kopā	Priede	6.07253	-0.40441	0.90495	0.65807
	Egle	16.15446	-0.53991	0.98205	0.5303
	Bērzs	16.10331	-0.61973	0.94109	0.60349
	Melnalksnis	29.68387	-0.7609	0.92986	0.58962
	Apse	9.36317	-0.2652	1.10034	0.4501
	Baltalksnis	13.27573	-0.41181	0.95065	0.46178

Visām koku sugām krājas pieauguma modelim, pārbaudot to uz datu analizē izmantotajiem datiem, ir salīdzinoši augsti statistiskie rādītāji (5.2. tabula).

Kokaudzes faktiskās audzes tekošā krājas pieauguma modeļa (5.1. formula) statistiskie rādītāji

Stāvs	Suga	Vid	MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R	R2	N	AIC
1. stāvs	Priede	6.13	-0.02	-0.37	1.52	2.01	32.74	4.02	0.37	0.601	0.792	0.628	264	370.2
	Egle	11.00	-0.01	-0.13	2.70	3.45	31.33	11.75	0.40	0.589	0.774	0.599	96	239.4
	Bērzs	7.52	0.01	0.19	1.98	2.58	34.34	6.62	0.32	0.686	0.822	0.675	152	290.2
	Melnalksnis	10.38	0.00	-0.05	2.33	3.12	30.09	9.30	0.46	0.532	0.733	0.538	24	56.3
	Apse	12.51	-0.03	-0.23	2.29	2.99	23.92	8.54	0.26	0.709	0.858	0.736	24	54.3
	Baltalksnis	13.17	-0.08	-0.58	3.62	5.08	38.56	25.07	0.56	0.392	0.666	0.443	38	125.3
Visi	Priede	7.02	-0.02	-0.35	1.72	2.27	32.37	5.14	0.35	0.621	0.804	0.646	264	435.2
	Egle	11.71	-0.02	-0.14	2.78	3.57	30.51	12.63	0.44	0.547	0.749	0.561	96	246.4
	Bērzs	8.91	-0.02	-0.17	2.47	3.13	35.16	9.75	0.38	0.613	0.790	0.624	152	349.2
	Melnalksnis	11.39	-0.03	-0.28	2.63	3.73	32.72	13.23	0.56	0.409	0.667	0.445	24	64.8
	Apse	14.03	-0.05	-0.36	2.25	3.00	21.37	8.56	0.23	0.722	0.875	0.766	24	54.3
	Baltalksnis	13.98	-0.08	-0.59	3.79	5.23	37.41	26.59	0.56	0.388	0.665	0.443	38	127.5

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

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

Tā kā 2017.g. ir mainījušies MSI datu atlasē kritēriji, kas ir samazinājis šobrīd analizē izmantojamo datu apjomu, izstrādātajam krājas pieauguma modelim (5.1. formula) ir vairāk informatīvi-ilustratīva nozīme un tas pagaidām ar šīm koeficientu vērtībām nav piemērojams izmantošanai modelēšanā. Šobrīd krājas pieauguma modelēšanā ieteicams lietot iepriekš izstrādātos uz piecu gadu pārmērījuma datiem balstītos vienādojumus (Donis et al., 2015).

5.2. Atmiruma modelis

5.2.1. Materiāls un metodika

Analīzē izmantoti dati par 598 MSI 2014. – 2016. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem, kas atbilst 5.1. apakšnodalā minētajiem kritērijiem.

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

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

$$Z_M(-) = \alpha_1 \cdot A^{\alpha_2} \cdot \alpha_3 \left(\frac{A}{100}\right) \cdot G^{\alpha_4} \quad (5.3)$$

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

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

5.2.2. Rezultāti

Aprēķināti jauni koeficienti audzes tekošā vidēji periodiskā atmiruma aprēķināšanai (5.3. tabula). Atmiruma modelim, pārbaudot to uz datu analīzē izmantotajiem datiem, ir salīdzinoši augsti statistiskie rādītāji (5.4. tabula).

5.3. tabula

Kokaudzes atmiruma modeļa (5.3. formula) 2017. gadā aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie

Taksācijas vienība	Valdošā suga	koeficienti			
		α_1	α_2	α_3	α_4
Kokaudzes 1.stāvs	Priede	0.00207	0.53081	0.27876	1.58921
	Egle	0.03151	-0.43955	4.3597	1.56564
	Bērzs	0.00009	0.08432	19.11998	2.51721
	Melnalksnis	0.01178	1.0647	0.09354	0.74855
	Apse	0.00057	2.68184	0.00023	0.7157
	Baltalksnis	0.0098	0.16378	2.86983	1.48818
Kokaudze kopā	Priede	0.01278	-0.01587	0.64647	1.54347
	Egle	0.00607	0.33078	1.00003	1.42782
	Bērzs	0.00578	-0.11764	3.12035	1.76347
	Melnalksnis	0.00534	1.6565	0.03553	0.46903
	Apse	0.00139	2.118	0.0012	0.86789
	Baltalksnis	0.01215	-0.02592	3.79699	1.58313

Visām koku sugām atmiruma modelim, pārbaudot to uz datu analīzē izmantotajiem datiem, ir salīdzinoši augsti statistiskie rādītāji (5.4. tabula).

5.4. tabula

Kokaudzes atmiruma modeļu (5.3. formula) statistiskie rādītāji

Stāvs	Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R	R ²	N	AIC
1. stāvs	Priede	1.10	-0.01	-1.27	1.00	1.41	128.26	1.97	0.80	0.191	0.446	0.199	264	181.7
	Egle	1.45	-0.03	-2.38	1.05	1.50	103.60	2.23	0.62	0.352	0.619	0.383	96	80.0
	Bērzs	0.97	0.14	14.57	0.71	1.20	123.65	1.43	0.52	0.511	0.695	0.484	152	57.6

	Melnalksnis	2.42	-0.01	-0.42	1.35	1.82	75.32	3.16	0.86	0.126	0.377	0.142	24	30.4
	Apse	1.93	-0.11	-5.71	1.18	1.98	102.67	3.74	0.46	0.434	0.741	0.549	24	34.5
	Baltalksnis	1.98	-0.02	-0.80	0.74	1.03	51.87	1.03	0.25	0.734	0.867	0.751	38	3.9
Visi	Priede	1.26	-0.01	-0.49	0.99	1.42	112.57	2.01	0.74	0.240	0.509	0.259	264	186.9
	Egle	1.91	-0.02	-0.83	1.17	1.64	85.81	2.66	0.58	0.410	0.650	0.423	96	97.0
	Bērzs	1.43	0.06	4.53	0.80	1.32	92.62	1.74	0.51	0.520	0.703	0.495	152	87.1
	Melnalksnis	2.74	-0.02	-0.88	1.20	1.69	61.87	2.73	0.80	0.163	0.447	0.200	24	26.9
	Apse	2.41	-0.06	-2.51	1.29	2.16	89.32	4.43	0.45	0.505	0.744	0.554	24	38.5
	Baltalksnis	2.21	0.02	0.84	0.70	0.98	44.36	0.94	0.21	0.808	0.888	0.789	38	0.4

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

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

Līdzīgi kā faktiskās audzes krājas pieaugumam tā arī atmiruma modelis nelielā datu apjoma dēļ pagaidām nav īsti piemērojams atmiruma modelēšanā, jo atsevišķos gadījumos tiek prognozētas neloģiskas atmiruma vērtības. Šobrīd atmiruma modelēšanā ieteicams lietot iepriekš izstrādātos uz piecu gadu pārmērījuma datiem balstītos vienādojumus (Donis et al., 2015).

5.3. Krājas diferences modelis

Krājas diference aprēķināma atbilstoši 5.4. formulai.

$$Z_{dab} = Z_M - Z_{Matm} - Z_{Mizc} \quad (5.4)$$

- kur Z_{dab} – kokaudzes krājas diference, m^3ha^{-1} ;
 Z_M – faktiskās kokaudzes krājas pieaugums, m^3ha^{-1} ;
 Z_{Matm} – kokaudzes krājas dabiskais atmirums, m^3ha^{-1} ;
 Z_{Mizc} – izcirstās kokaudzes krāja, m^3ha^{-1} ;

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

Piem., vēsturiskā (2004.-2009.) g. starpciršu intensitāte aproksimēta ar 5.5. tabulā atspoguļotajām sakarībām.

5.5.tabula

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

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

Atbilstoši 5.5. tabulas vienādojumiem var aproksimēt 5 gadu kopējais izcirstais apjomu. Lai aprēķinātu vidējo periodisko ciršanas apjomu izcirstā apjoma vērtība jādala ar 5.

6. Izstrādāto individuālu koku augšanas gaitas modeļu validācija un verificēšana. Iegūto rezultātu statistika analīze

Pētījuma ietvaros tika veikta pieaugumu aprēķināšana balstot uz Somijas un Zviedrijas augšanas gaitas modeļu noklusētajiem parametriem. Konstatēts, ka virkne parametru nav tieši attiecināmi uz Latvijas apstākļiem, un to piemērošana balstīta uz pieņēmumiem par atbilstību meža tipi, piemēram, tādi rādītāji kā rohumusa slāņa biezums, akmeņainība, pārpurvošanās. Savukārt citi rādītāji tiek ekstrapolēti salīdzinājumā ar šo rādītāju diapazonu Somijā. Piemēram, gada aktīvās veģetācijas temperatūru summa (dienakts vidējā temperatūra virs 5°C) modeļos ir no 800 līdz 1300 grādiem, bet Latvijā tā pārsniedz pat 2100 grādiem. Secināts, ka oriģinālās vienādojumu koeficientu vērtības nav izmantojamas Latvijas mežaudžu augšanas gaitas modelēšanai. Pārbaudot Zviedrijas augšanas gaitas modeļu atbilstību, konstatēts, ka līdzīgi nepieciešama oriģinālo (Zviedrijā lietoto meža tipu raksturojošo parametru sasaiste ar Latvijas meža tipoloģiju. Īsā termiņā oriģinālās formulas dod labu vērtējumu, taču ilgākā termiņa nepieciešama koeficientu vērtību adaptācija Latvijas apstākļiem. Tādēļ, izmantojot saīsinātu formulu (6.1.), kura tika aproksimēta šī pētījuma gaitā (2016.g.) 2020.g. tika veikta modeļa izvērtēšana. Augšanas gaitas modelēšanas novērtēšanā ir vairāki soļi, divus no kuriem sauc par verifikāciju un validāciju, t.i., atbilstoši par kvalitatīvo un kvantitatīvo novērtēšanu. Tās iesaka saukt arī par modeļa kritiku un salīdzinošo novērtēšanu.

Modeļa verifikācijā tiek pārbaudīts vai atbilstošajiem parametriem ir pareizas zīmes un vai izmaiņas ir loģiskas, t.i., atbilstošas sagaidāmajam.

Modelis var tikt validēts, i) salīdzinot tā augšanas funkcijas ar citu modeļu augšanas funkcijām, ii) salīdzinot tā prognozes ar citām prognozēm, kas veiktas attiecībā uz tiem pašiem mežiem un iii) modeļa izmantošana pēc vēsturiskiem datiem un rezultātu salīdzināšana ar pašreizējo meža stāvokli.

Šajā gadījumā modelis tika validēts, izmantojot iii) pieeju, proti, modeļa izmantošana pēc vēsturiskiem datiem un rezultātu salīdzināšana ar pašreizējo meža stāvokli.

6.1. Materiāls un metodika

6.1.1. Koku augstuma pieaugums

Datu analīzē izmantoja datus par 6648 kokiem (priedes – 1729, egles – 2450, bērzi – 1586, melnalkšņi – 473, apses – 193, baltalkšņi – 217) no 637 MSI 2019. gadā atkārtoti uzņēmētajiem parauglaukumiem. Datu analīzē izmanto tikai tos koku datus, kas trešajā un ceturtajā ciklā ir uzņēmēti kā dzīvi koki.

Atsevišķa koka augstuma augšanas gaitas pārbaudei izmanto iepriekš izstrādāto meža elementa vidējā augstuma un virsaugstuma pieauguma modeļus, kas paredzēti nākamo 5 gadu augstuma aprēķināšanai (skat. 2.1.1. nodaļu).

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.

6.1.2. Koku caurmēra pieaugums

Vienādojumu izstrāde izmantoja datus par 13965 kokiem (priedes – 4211, egles – 4849, bērzi – 2998, melnalkšņi – 949, apses – 365, baltalkšņi – 593) no 640 MSI 2019. gadā atkārtoti uzņēmētajiem parauglaukumiem. Datu analīzē izmanto tikai tos koku datus, kas trešajā un ceturtajā ciklā ir uzņēmēti kā dzīvi koki.

Caurmēra augšanas gaitas pārbaudei izmanto iepriekš izstrādāto atsevišķu koku šķērslaukuma pieauguma modeli, kas paredzēti nākamo 5 gadu caurmēra pieauguma aprēķināšanai:

$$i_{g5} = \exp \left(\alpha_0 + \alpha_1 \cdot SI_i + \alpha_2 \cdot \frac{10}{H_{\text{vald}}} + \alpha_3 \cdot \frac{10}{H_{\text{vald}}^2} + \alpha_4 \cdot \ln(d) + \alpha_5 \cdot \left(\frac{d}{100} \right)^2 + \alpha_6 \cdot \ln(cr) + \alpha_7 \cdot \ln(RDF + 1) + \alpha_8 \cdot RDF + \alpha_9 \cdot \frac{T_{\text{sum}}}{1000} + \alpha_{10} \cdot c_{0-10} \right) \quad (6.1)$$

- kur*
- i_{g5} – koka nākošo 5 gadu šķērslaukuma pieaugums, cm²;
 - SI_i – koka augstums bāzes vecumā (p, e – 100 gadi; b, m, a – 50 gadi; ba – 20 gadi), m;
 - H_{vald} – mežaudzes valdaudzes augstums (koku, kas resnāki par mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo kvadrātisko caurmēru, aritmētiski vidējais augstums), m;
 - d – koka krūšaugstuma caurmērs, cm;
 - cr – koka vainaga īpatsvars;
 - RDF – mežaudzes relatīvās biežības faktors;
 - RDF – relatīvās biežības faktors kokiem, kas resnāki par konkrēto koku (6.2. formula);
 - L
 - T_{sum} – aktīvās veģetācijas ($t^\circ > 5^\circ\text{C}$) 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 gaitas modeļa (6.1. formula) 2019. gadā aproksimētās koeficientu vērtības

Valdošā suga	koeficienti										
	α_0	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	α_9	α_{10}
Priede	-1.102	0.056	0.562	0.124	1.182	-1.323	0.966	-0.556	-0.077	0.295	0.077
Egle	-1.246	0.03	1.425	-2.364	1.092	-0.662	0	-0.922	-0.356	0.514	0.155
Bērzs	-2.551	0.075	3.598	-13.478	1.195	-0.249	0.133	-0.778	-0.552	0.151	0.002
Melnalksnis	-0.014	0.051	0.517	-1.276	0.859	-2.545	0.339	-0.713	-1.114	0.48	0
Apse	-2.492	0.044	3.656	-14.96	1.404	-1.029	0.661	-0.15	-0.515	0.365	0.09
Baltalksnis	-0.864	0.053	1.508	-3.116	1.126	-3.977	0.04	-0.465	-1.031	0.253	0

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:

$$RDF = \sum_{i=1}^n ga_i \quad (6.2)$$

$$ga_i = \beta_1^{-1} \cdot d_i^{-\beta_2} \cdot h_i^{-\beta_3} \quad (6.2.1)$$

- kur*
- RDF – mežaudzes relatīvās biežības faktors;
 - ga_i – katra koka relatīvās biežības faktors;
 - d_i – koka krūšaugstuma caurmērs, cm;
 - h_i – koka augstums, m;
 - β_{1-3} – koeficienti.

Relatīvās biežības faktora aprēķināšanai tiek izmantoti tie paši koeficienti (4.6. tabula), kas iepriekš izstrādātajam meža elementa maksimālā koku skaita aprēķināšanai (Donis et al., 2014).

6.1. 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

Vainaga īpatsvara raksturošanai izmanto sekojošu modeli:

$$cr = 1 - \exp(-X) \quad (6.3)$$

$$X = (\alpha_0 + \alpha_1 \cdot c_{0-5}) \cdot H_{\text{vald}}^{\alpha_2} \cdot d^{\alpha_3} \cdot \exp(-\alpha_4 \cdot RDF) \cdot \exp(-\alpha_5 \cdot RDFL) \cdot SI_i^{\alpha_6} \quad (6.3.1)$$

- kur 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 biežības faktors (6.2. formula);
 $RDFL$ – relatīvās biežības faktors kokiem, kas resnāki par konkrēto koku (6.2. 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.

6.2. tabula

Atsevišķu koku vainaga īpatsvara aprēķināšanas modeļa (6.3. formula) 2018. gadā aproksimētās koeficientu vērtības

Suga	Koeficienti						
	b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6
Priede	0.83656	-0.06109	-0.84108	0.2507	0.25376	0.24711	0.45793
Egle	2.61633	-0.32585	-0.28071	0.12575	0.30224	0	0
Bērzs	2.11633	-0.06556	-0.3416	0.09485	0.33759	0.27667	0
Melnalksnis	2.70987	-0.02554	-0.42614	0.0545	0.53214	0	0
Apse	1.77711	-0.1674	-0.25352	0.02711	0.19974	0.52069	0
Baltalksnis	1.72129	-0.11314	-0.25066	0.05275	0.45722	0.23001	0

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.

6.1.3. Koku atmirums

Vienādojumu izstrādē izmantoja datus par 15294 kokiem (priedes – 4418, egles – 5177, bērzi – 3403, melnalkšņi – 1135, apses – 423, baltalkšņi – 738) no 561 MSI 2019. gadā atkārtoti uzmērītajiem parauglaukumiem. Analīzē neiekļauj iepriekšējās paaudzes jeb eko kokus, kā arī raksturkokus. Analīzē iekļauti tie koki, kas trešajā ciklā uzmērīti kā dzīvi, bet ceturtajā ciklā fiksēti kā dzīvi vai nokaltuši. Nav iekļauti tie koki, kas ir izgāzti, nolauzti vai tos nograuzis bebrs. Jo šāda veida bojāeju modelis neparedz. Tāpat analīzē neiekļauj parauglaukumus, kuros starp inventarizācijas periodā ir notikusi koku ciršana.

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

$$p = 1 - (1 - p_{\text{comp}5}) \cdot (1 - p_{\text{old}5}) \quad (6.4)$$

- kur p – varbūtība, ka koks atmirs nākošo piecu gadu laikā;
 $p_{\text{comp}5}$ – varbūtība, ka koks konkurences dēļ atmirs nākošo piecu gadu laikā;
 $p_{\text{old}5}$ – varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs nākošo piecu gadu laikā.

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

$$p_{comp5} = \frac{1}{1 + \exp(-(\alpha_0 + \alpha_1 \cdot d + \alpha_2 \cdot G + \alpha_3 \cdot BAL))} \quad (6.5)$$

- kur p_{comp5} – varbūtība, ka koks konkurences dēļ atmirs nākošo piecu gadu laikā;
 d – koka krūšaugstuma caurmērs perioda sākumā, cm
 G – mežaudzes šķērslaukums perioda sākumā, m²ha⁻¹;
 BAL – šķērslaukuma summa kokiem, kas lielāki par konkrēto koku, m²ha⁻¹;
 $\alpha_0 - \alpha_3$ – koeficienti.

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

$$p_{old} = \frac{\exp\left(-10 + \frac{10 \cdot a}{0.82 \cdot A_{max}}\right)}{1 + \exp\left(-10 + \frac{10 \cdot a}{0.82 \cdot A_{max}}\right)} \quad (6.6)$$

- kur p_{old} – varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs;
 a – koka vecums, gadi;
 A_{max} – koka sugas maksimālais vecums (P-500, E-300, B,M,A-200, Ba-100), gadi.

Varbūtība, ka koks vecuma dēļ atmirs nākošo piecu gadu laikā, aprēķināta pēc sekojoša vienādojuma:

$$p_{old5} = \frac{p_{old(a+5)} - p_{old(a)}}{1 - p_{old(a)}} \quad (6.7)$$

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

Atsevišķu koku atmiruma modeļa (6.5. formula) 2019. gadā aproksimētās koeficientu vērtības

Valdošā suga	koeficienti			
	α_0	α_1	α_2	α_3
Priede	-1.93898	-0.12357	-0.01722	0.09858
Egle	-2.32687	-0.05696	-0.07032	0.09103
Bērzs	-1.65877	-0.09902	-0.08416	0.1395
Melnalksnis	-1.61398	-0.11819	-0.07651	0.13553
Apse	-0.88444	-0.14818	-0.04931	0.12536
Baltalksnis	-1.53374	-0.09677	-0.10318	0.18633

6.2. Rezultāti

6.2.1. Koku augstuma pieaugums

Meža elementa vidējā augstuma un virsaugstuma modeļi pietiekami precīzi spēj raksturot koka augstuma pieaugumu (6.3. tabula), visām koku sugām vidējā periodiskā augstuma pieauguma novirze nepārsniedz ± 5 cm. Tomēr visām sugām šis rādītājs pamatā svārstās ± 50 cm robežās, un variācijas koeficients ir robežās 40% – 65%, līdz ar to turpmākajā pētījumā gaitā nepieciešams šo modeļi pilnveidot, lai samazinātu šo datu izkliedi. Ņemot vērā statistiskos rādītājus, atsevišķa koka augstuma modelēšanā šobrīd skuju kokiem ir ieteicams izmantot meža elementa vidējā augstuma modeļi, bet lapu kokiem meža elementa virsaugstuma modeļi.

Atsevišķu koku vidējā periodiskā augstuma pieauguma (cm gadā) statistiskie rādītāji

Modelis	Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R2	N
Hg	P	0.21	0.01	4.83	0.10	0.12	55.64	0.01	0.53	0.35	0.48	1729
	E 1.st.	0.32	0.03	10.42	0.12	0.14	43.31	0.02	0.60	0.50	0.44	1212
	B	0.26	-0.01	-3.65	0.13	0.16	60.98	0.03	0.71	0.38	0.29	1586
	M	0.26	0.01	3.16	0.12	0.15	56.56	0.02	0.64	0.28	0.37	473
	A	0.39	0.03	7.12	0.15	0.18	45.48	0.03	0.69	0.59	0.35	193
	Ba	0.29	0.04	12.93	0.13	0.17	57.35	0.03	0.83	0.44	0.24	217
	E 2.st.	0.21	0.01	5.42	0.11	0.13	62.96	0.02	0.86	0.42	0.19	1238
Hdom	P	0.21	0.04	16.57	0.10	0.12	57.89	0.02	0.58	0.32	0.49	1729
	E 1.st.	0.32	0.04	13.69	0.12	0.14	43.92	0.02	0.62	0.50	0.45	1212
	B	0.26	-0.01	-2.45	0.13	0.16	62.36	0.03	0.75	0.47	0.28	1586
	M	0.26	0.01	4.24	0.12	0.14	56.39	0.02	0.63	0.33	0.37	473
	A	0.39	0.02	6.04	0.15	0.18	46.17	0.03	0.71	0.63	0.34	193
	Ba	0.29	0.02	6.73	0.14	0.17	58.84	0.03	0.87	0.64	0.24	217
	E 2.st.	0.21	-0.02	-10.86	0.11	0.14	65.16	0.02	0.92	0.56	0.20	1238

Hg – meža elementa vidējā augstuma modelis, Hdom – meža elementa virsaugstuma modelis.

P – priede, E 1.st. – egle 1. stāvs, B – bērzs, M – melnalksnis, A – apse, Ba – baltalksnis, E 2.st. – egle 2. stāvs.

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; R2 - determinācijas koeficients; N - elementu skaits.

Starpībai starp uzmērīto un prognozēto vidējā periodiskā augstuma pieaugumu visām koku sugām konstatētas vājas lineāras sakarības ar meža elementa krūšaugstuma vecumu, mežaudzes šķērslaukumu un koka prognozēto augstumu bāzes vecumā jeb bonitāti. Lielā datu apjoma dēļ atsevišķos gadījumos šīs sakarības no matemātikas viedokļa ir statistiski būtiskas ($\alpha=0,05$), bet visos gadījumos datu jeb punktu izvietojums atgādina “skrošu šāvienu” jeb haotisku punktu kopu. Tādēļ mēs varam apgalvot, ka modelis vienlīdz precīzi prognozē vērtības gan jaunās, gan vecās audzēs, gan retās gan biežās audzēs, gan auglīgās, gan mazāk auglīgās audzēs.

6.2.2. Koku caurmēra pieaugums

Atsevišķa koka šķērslaukuma pieauguma modelis pietiekami precīzi spēj raksturot koka caurmēra pieaugumu (6.4. tabula), visām koku sugām vidējā periodiskā caurmēra pieauguma novirze nepārsniedz \pm vienu milimetru. Tomēr visām sugām šis rādītājs svārstās \pm 0,6 cm robežās, un variācijas koeficients ir robežās 38% – 61%, līdz ar to turpmākajā pētījumu gaitā nepieciešams šo modeli pilnveidot, lai samazinātu šo datu izkliedi.

Atsevišķu koku caurmēra augšanas gaitas modeļa (6.1. formula) vidējā periodiskā caurmēra pieauguma (cm gadā) statistiskie rādītāji

Suga	Vid	MRES	MRES %	AMRES	RMSE	RMSE %	MSE	MEF	VR	R2	N
Priede	0.23	-0.03	-12.43	0.10	0.13	55.68	0.02	0.62	0.61	0.431	4211
Egle	0.31	-0.04	-12.22	0.14	0.17	55.21	0.03	0.67	0.51	0.373	4849
Bērzs	0.26	0.00	0.58	0.11	0.15	57.68	0.02	0.54	0.45	0.463	2998
M-alksnis	0.31	0.00	1.21	0.13	0.16	51.14	0.03	0.63	0.36	0.370	949
Apse	0.54	0.04	7.79	0.17	0.21	38.85	0.04	0.57	0.41	0.451	365
B-alksnis	0.24	-0.01	-5.26	0.11	0.15	60.87	0.02	0.76	0.22	0.250	593

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; R2 - determinācijas koeficients; N - elementu skaits.

Starpībai starp uzmērīto un prognozēto vidējā periodiskā caurmēra pieaugumu visām koku sugām konstatētas vājas lineāras sakarības ar meža elementa krūšaugstuma vecumu, mežaudzes šķērslaukumu un koka prognozēto augstumu bāzes vecumā jeb bonitāti. Protams, lielā datu apjoma dēļ vairumā gadījumu šīs

sakarības no matemātikas viedokļa ir statistiski būtiskas ($\alpha=0,05$), bet visos gadījumos datu jeb punktu izvietojums atgādina “skrošu šāvienu” jeb haotisku punktu kopu. Tādēļ mēs varam apgalvot, ka modelis vienlīdz precīzi prognozē vērtības gan jaunās, gan vecās audzēs, gan retās gan biežās audzēs, gan auglīgās, gan mazāk auglīgās audzēs.

6.2.3. Koku atmirums

Vispirms jāatzīmē, ka ar atsevišķa koka atmiruma modeli tiek prognozēta varbūtība vai koks aizies bojā konkurences vai vecuma dēļ. Ar šo modeli nav iespējams prognozēt vēja, dzīvnieku, kukaiņu vai uguns dēļ bojā gājušos kokus. Tāpat jāatzīmē, ka rezultāts ko ar modeli iegūst ir varbūtība, nevis binomināls rezultāts – koks ir dzīvs vai miris. Tādēļ lietotājam pašam ir jāvērtē pie kādas prognozētās vērtības koku atzīt vai neatzīt par bojā gājušu vai kādā veidā šo aprēķināto varbūtību iekļaut modelēšanas rīkā. Ja vienādojumu izmantotu augšanas gaitas simulatorā, tad sistēma ar atbilstošu varbūtību “izdzestu” koku no dzīvo koku saraksta.

Prognozētā koku atmiruma varbūtība attiecībā pret koka likteni apkopota 6.5. tabulā.

6.5. tabula

Atsevišķu koku stāvoklis un prognozēta atmiruma varbūtība

Suga	Uzmērītais stāvoklis	Aprēķinātā atmiršanas varbūtība										Kopā
		<0.05	0.05-0.14	0.15-0.24	0.25-0.34	0.35-0.44	0.45-0.54	0.55-0.64	0.65-0.74	0.75-0.84	0.85-1.00	
Priede	dzīvs	3138	980	155	30	8	2	1				4314
	beigts	39	26	26	10	2	1					104
	kopā	3177	1006	181	40	10	3	1				4418
Egle	dzīvs	3561	1449	26					1	1		5038
	beigts	59	77	3								139
	kopā	3620	1526	29					1	1		5177
Bērzs	dzīvs	2172	817	247	68	28	4	4			4	3344
	beigts	25	18	7	6	2	1					59
	kopā	2197	835	254	74	30	5	4			4	3403
Melnalksnis	dzīvs	825	207	49	29	9	1					1120
	beigts	5	5	3	2							15
	kopā	830	212	52	31	9	1					1135
Apse	dzīvs	290	70	27	12	10	4	1			1	415
	beigts	1	3	1	2			1				8
	kopā	291	73	28	14	10	4	2			1	423
Baltalksnis	dzīvs	322	183	95	49	35	10	9				703
	beigts	5	6	6	3	4	7	2	1	1		35
	kopā	327	189	101	52	39	17	11	1	1		738

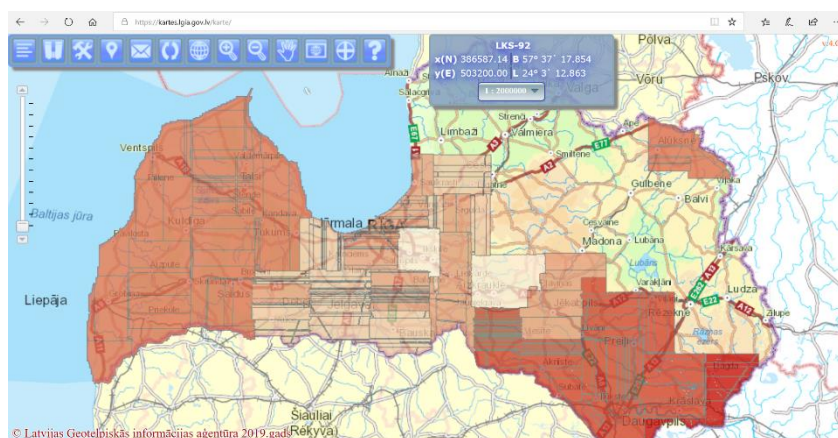
legūtos rezultātus ir salīdzinoši grūti analizēt, bet no rezultātiem var secināt, ka ir gana daudz koku, kuriem ir aprēķināta salīdzinoši liela varbūtība, ka tie atmirīs, bet tie spēj izdzīvot. Turpmākajos pētījumos nepieciešams uzlabot atmiruma prognožu modeli, iekļaujot tajā vēl papildus rādītājus. Atmiruma modeli noteikti būtu jāpapildina ar mainīgo, kas raksturotu cik ilgi koks atrodas “nomākts” vai pārlietu lielā konkurencē. Jo koks neilgu laiku spēj izdzīvot šādos apstākļos, bet ilgstoši nē.

7. Vidējā augstuma aprēķins pirmajam stāvam, izmantojot LĢIA LiDAR datus

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

7.1. Problēmas pamatnostādnes

LĢIA LiDAR lauku datu ieguves kampaņa notiek laika posmā no 2013. līdz 2019. gadam. Uzlidojumi dažādās Latvijas vietās notikuši dažādos gados (7.1.att.), 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.



7.1. attēls. Lāzerskenēšanas gads dažādās Latvijas teritorijas daļās attēlots ar dažādiem toņiem

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.

7.2. Materiāls un metodika

7.2.1. 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} .

7.2.2. 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 modeli (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

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

pirmā stāva valdošā meža izmantojot sekojošu sakarību: , 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 7.1.tabulā.

7.1.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.

7.3. Rezultāti

7.3.1. 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. 7.2.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 uzmērītais H_{vid} ir vidēji 2.3m lielāks par CHM nekā lapotā stāvoklī, kad atšķirība starp CHM un vidējo augstumu ir 1.4m.

7.2.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.

7.3.2. Regresijas vienādojums CHM max vērtībām 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 7.3.tabulā.

7.3.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.

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

7.4. 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
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 7.3. 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.

8. Vidējā augstuma pieauguma aprēķina modelis balstot uz LiDAR datiem

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

9. Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrādei nepieciešamo iepriekš ierīkoto parauglaukumu pārmērīšana 50 objektos

Darba uzdevums. **Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrādei nepieciešamo iepriekš ierīkoto parauglaukumu pārmērīšana (50 objekti).**

9.1. Lauku darbu metodika

9. darba uzdevums. **Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrādei nepieciešamo iepriekš ierīkoto parauglaukumu pārmērīšana (50 objekti).**

Iepriekšējās kokaudzes (mātes audzes) struktūras novērtēšana

Audzēs telpiskās struktūras raksturošanai pārmērīti 2004.-2016. gadā iekārtotie 50 objekti mētrāja (14 objekti), lāna (19 objekti), damakšņa (13 objekti), mētru āreņa (2 objekti) un šaurlapu kūdreņa (2 objekti) meža tipos. 49 objekti izvietoti priežu audzēs, viens objekts egļu audzē. Šajās audzēs izlases vai pakāpeniskās cirtes pirmais paņēmiens veikts laika periodā no 1995. līdz 2013. gadam. Sešās audzēs veikta grupu cirte, bet 44 audzēs vienlaidus cirte.

Objektos iepriekšējās kokaudzes struktūra novērtēta 2 līdz 12 gab. 500m² (R=12.62 m) parauglaukumos (kopā 288 PL). Katram kokam fiksēta – suga, pašreizējā stāvokļa klase (dzīvs, sausoknis, stubenis, kritala, celms), caurmērs krūšaugstumā (D_{1.3}). Audzēs, kur pirmais uzmērījums veikts 2012. gadā, 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). Pārējās audzēs visā PL uzmērīti koki, kuru caurmērs krūšaugstumā pārsniedza 6.0 cm. Koki, kuru caurmērs no 2.1 cm līdz 6.0 cm, uzmērīti 3.99 m lielā rādiusā (50 m²). Koku augstumi uzmērīti izlases veidā, katram meža elementam atsevišķi, vismaz 9 kokiem katrā objektā.

(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 koks 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 (izņemot Cēsis-Dm, kur mērīti arī UL 6 m attālumā uz A un R no parauglaukuma centra). Audzēs, kur veikta grupu cirte uzskaites laukumi izvietoti atvērumu centrā un 6, 12 un 18 m attālumā no atvērumu centra četros debespūšu virzienos (Z, D, A, R). Kopumā atjaunošanās uzskaitē veikta 878 atjaunošanās uzskaites laukumus.

9.2. Rezultāti

Kopējais ierīkoto objektu apjoms un taksācijas rādītāju dati atspoguļoti 9.1.tabulā.

Kopumā pārmērīti vai apsekoti 3899 koki, bet no jauna uzmērīti 1349 ieaugušies koki. Pirmā stāva koku atmirums objektiem, kas pārmērīti 3-5 gadus pēc iepriekšējā uzmērījuma ir 2.6±0.4% no pirmā stāva koku šķērslaukuma, bet objektiem kas pārmērīti 6-8 gadus pēc iepriekšējā uzmērījuma - 3.5±0.7%. 16 objektos nav konstatēts neviens atmiris pirmā stāva koks. Četros grupu ciršu objektos ir veikts otrais cirtes paņēmiens nocērtot 17.0-52.8% no pirmā stāva koku šķērslaukuma. Vienā grupu ciršu objektā ir veikts trešais noslēdzošais cirtes paņēmiens un vienā vienlaidus ciršu objektā ir veikts otrais noslēdzošais cirtes paņēmiens, nocērtot praktiski visus mātesaudzes kokus. Vēl vienā vienlaidus ciršu objektā ir paredzēts cirst otro noslēdzošo cirtes paņēmienu 2020/2021.g. ziemā.

Uzmērīto objektu raksturojums

Objekts	Cirtes veids	Cirtes gads	MT	Sastāvs	D, cm	H, m	G, m ² ha ⁻¹	M, m ³ ha ⁻¹	N, ha ⁻¹
102-441-10	vienlaidus	2007	Dm	9P1E	35,5	31,3	29,6	418,3	307
104-162-18	vienlaidus	2013	Dm	10P	55,4	33,8	14,5	219,6	60
104-162-25Dm	vienlaidus	2013	Dm	10P	57,6	32,6	17,0	245,6	65
104-162-25Ln	vienlaidus	2013	Ln	10P	51,5	32,6	16,6	242,5	80
104-184-17	vienlaidus	2013	Ln	10P	43,3	31,0	30,2	418,8	205
306-12-16	vienlaidus	2006	Ks	8P2E	31,5	26,7	20,2	235,2	264
310-250-3	vienlaidus	2009	Mr	10P	32,3	27,0	19,6	242,9	240
407-347-5	vienlaidus	2012	Dm	9P1E	44,7	29,2	16,4	215,8	100
407-377-18	vienlaidus	2012	Ln	7P3E	46,6	32,1	22,4	323,3	130
408-195-3	vienlaidus	2002	Mr	10P	46,0	27,2	16,6	202,2	100
408-523-2	vienlaidus	2006	Dm	7E2P1B	38,8	31,0	37,7	532,7	311
601-350-12	vienlaidus	2009	Ln	10P	35,7	26,6	23,0	277,2	230
601-350-4-10	vienlaidus	2009	Ln	10P	39,0	27,6	13,8	171,8	116
601-358-4	vienlaidus	2003	Ln	10P	47,1	29,9	18,6	248,9	107
601-359-1	vienlaidus	2009	Ln	10P	35,8	26,1	13,4	158,4	133
601-366-2	vienlaidus	2009	Ln	10P	32,5	25,7	17,4	202,6	210
604-68-11	grupu	2002	Ln	7P3E	37,2	28,3	24,3	313,9	253
710-153-19	vienlaidus	2011	Ln	10P	36,9	25,4	16,6	190,0	155
710-153-21	vienlaidus	2011	Am	10P	34,6	23,3	14,1	149,4	150
710-153-28	vienlaidus	2011	Mr	10P	37,1	24,6	8,6	96,1	80
710-188-4	vienlaidus	2011	Am	10P	31,9	20,8	18,8	178,4	235
710-96-18	grupu	1999	Mr	10P	32,3	22,0	13,1	133,3	160
714-226-17	vienlaidus	2006	Dm	10P	40,2	30,6	18,6	255,3	147
714-278-19	vienlaidus	2000	Mr	10P	38,3	25,6	15,6	179,9	136
714-56-1	vienlaidus	2002	Dm	10P	49,6	31,9	13,3	196,3	69
Abava220	grupu	2001	Mr	10P	36,7	25,2	12,2	138,3	115
Akmensrags19	grupu	2003	Ln	9P1E	46,8	30,6	43,1	578,5	340
Akmensrags77	grupu	2003	Mr	10P	40,4	25,9	29,6	341,1	270
Cesis	vienlaidus	1995	Ln	10P	53,1	29,7	13,4	177,4	60
Cesis-Dm	vienlaidus	1995	Dm	10P	49,6	33,7	10,6	159,7	55
Engure308-5	vienlaidus	2003	Ln	10P	37,5	28,3	12,3	157,3	110
Engure371	vienlaidus	2003	Ln	10P	24,3	20,1	21,9	205,5	460
Garkalne112-8	vienlaidus	2002	Mr	10P	39,7	25,3	19,8	225,1	160
Garkalne113-10	vienlaidus	2002	Mr	10P	39,6	26,5	21,6	257,3	175
Garkalne128-1-3	vienlaidus	2002	Mr	10P	37,6	25,9	25,0	291,8	225
Garkalne128-1-5	vienlaidus	2002	Mr	10P	39,6	26,2	17,9	210,3	145
Garkalne128-5	vienlaidus	2002	Ks	10P	41,1	28,1	28,4	351,5	295
Garkalne170-5	vienlaidus	2002	Mr	10P	40,2	23,8	8,5	83,0	185
Garkalne239-2	vienlaidus	2002	Mr	10P	37,3	26,3	17,1	202,6	160
Garkalne240	vienlaidus	2002	Mr	10P	37,0	24,4	18,2	197,9	230
KNP-111-11	vienlaidus	2001	Dm	10P	50,3	31,0	28,9	399,0	145
KNP-111-17	vienlaidus	2001	Dm	7P3E	45,6	31,2	31,3	440,9	180
KNP-137-2log	grupu	2001	Ln	10P	37,7	29,2	29,9	376,4	437

Objekts	Cirtes veids	Cirtes gads	MT	Sastāvs	D, cm	H, m	G, m²ha⁻¹	M, m³ha⁻¹	N, ha⁻¹
KNP-137-7;8	vienlaidus	2001	Dm	7P2B1E	37,3	27,7	13,7	166,6	155
KNP-137-7-2gat	vienlaidus	2001	Ln	10P	44,2	30,2	26,5	358,3	175
KNP-137-7-2neg	vienlaidus	2001	Ln	10P	46,2	30,1	21,8	293,5	130
Mezole126	vienlaidus	2005	Ln	10P	37,9	28,5	19,2	249,2	156
Taurkalne23-5	vienlaidus	2005	Ln	10P	41,4	31,9	36,9	527,7	285
Valmiera	vienlaidus	1995	Dm	8P2E	53,5	32,5	14,8	211,0	70
Vijciems	vienlaidus	2005	Dm	10P	45,9	31,1	31,2	431,1	200

10. Dažādvecuma audžu augšanas gaitas modeļu izstrāde, izmantojot 2019.gadā un iepriekšējos gados ievāktos datus

10.1. Augošu koku krājas sadalījums atbilstoši caurmēra un augstuma grupām

Plānojot meža apsaimniekošanu ar nekailciršu metodēm (izlases cirtes), būtiski ir nodalīt vai konkrētājā 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 vai konkrētā gadījumā atbilstoši veiktajiem mērījumiem dabā.
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 jau kādu laiku 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 uz mērīto koku sadalījumu rezultātus. Tomēr praktiskai izmantošanai var arī sākotnējos parametros ievadīt lauku datus empīrisko koku sadalījumu pa caurmēra pakāpēm, kas iegūts parauglaukumos vai vienlaidus dastojumā. 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.

10.2. Atjaunošanas / atjaunošanās sekmīgums

Aprēķinos var pieņemt, ka priede 9-12 gadus pēc cirtes veikšanas vismaz 400 koki ha⁻¹ būs atbilstoši 10.1.tabulā atspoguļotajiem apjomiem.

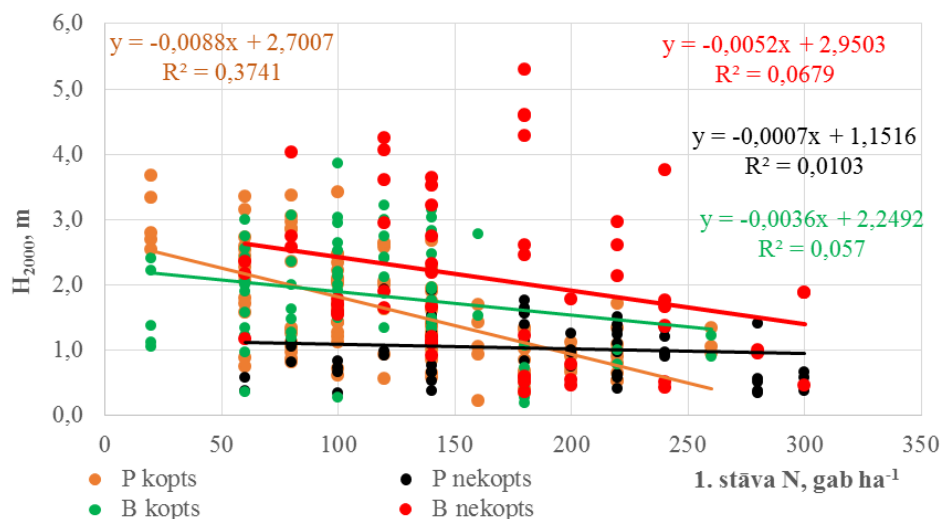
10.1.tabula

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

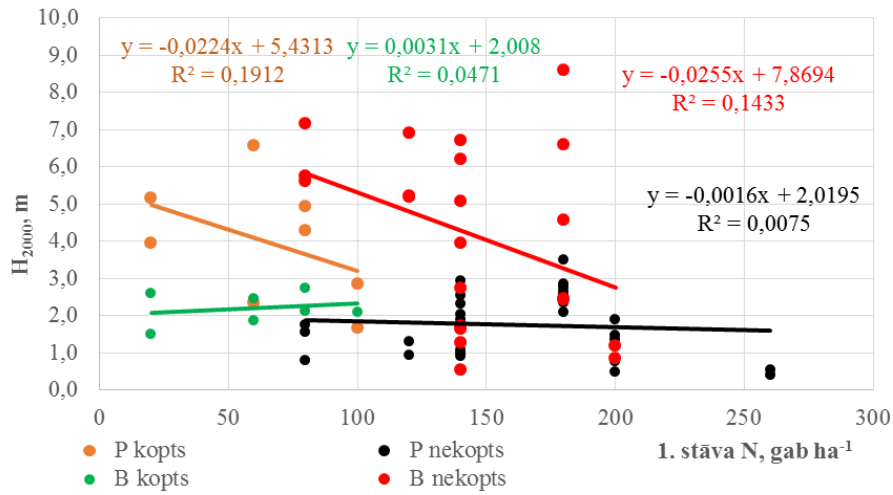
Meža tips	P		E		Lapu koki	
	% gadījumu	H, m	% gadījumu	H, m	% gadījumu	H, m
Sl, Mr	90	0.6				
Ln	90	1.4				
Dm	60	1.0	70	1.1	90	2.7
Dms, As, Ks	40	0.5	40 (P audzēs) 90 (E audzēs)	1.0 (P audzēs) 0.4 (E audzēs)	70	2.0
Mrs, Nd, Av,Am, Km	70	0.5				

Vienlaidus cirtes

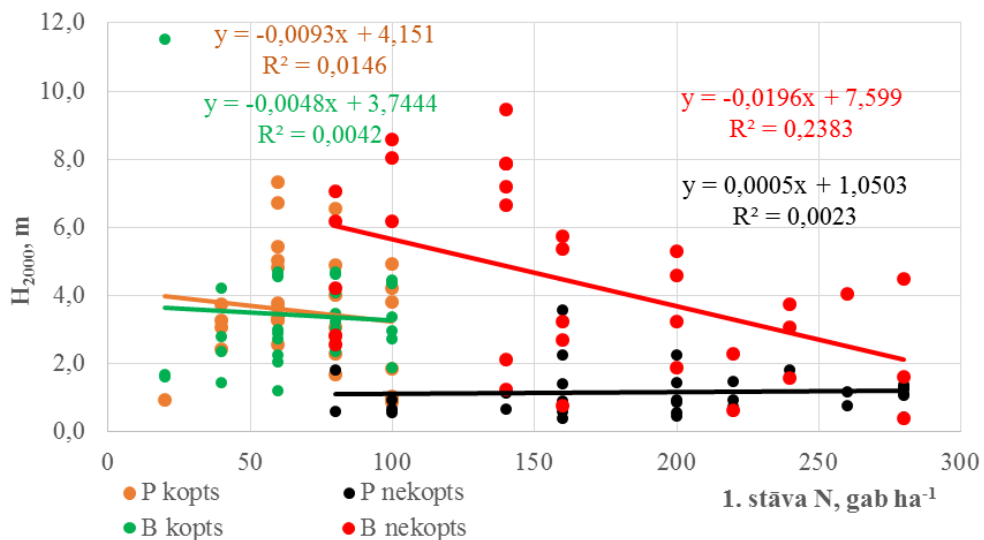
Pēc vienlaidus pakāpeniskās cirtes lānā un damaksnī, parauglaukumos, kuros veikta paaugas sastāva kopšana, konstatēts ievērojami lielāks priežu paaugas augstums pie līdzīgā 1.stāva koku skaita uz ha (10.1., 10.2., 10.3.attēls). Turklāt parauglaukumos, kuros nav veikta kopšana, bērzu paaugas augstums ir ievērojami lielāks nekā priežu paaugas augstums. Jāatzīmē, ka datus par audzēm, kurās cirtes pirmais paņēmieni veikts pirms 15 gadiem, agrotehniskā kopšanas dati pieejami tikai par audzēm, kuros iepriekšējās paaudzes koku skaits nepārsniedz 100 kokus uz ha (10.2., 10.3.attēls). Savukārt audzēs, kurās ir atstāts lielāks iepriekšējās paaudzes koku skaits agrotehniskā kopšana nav veikta.



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



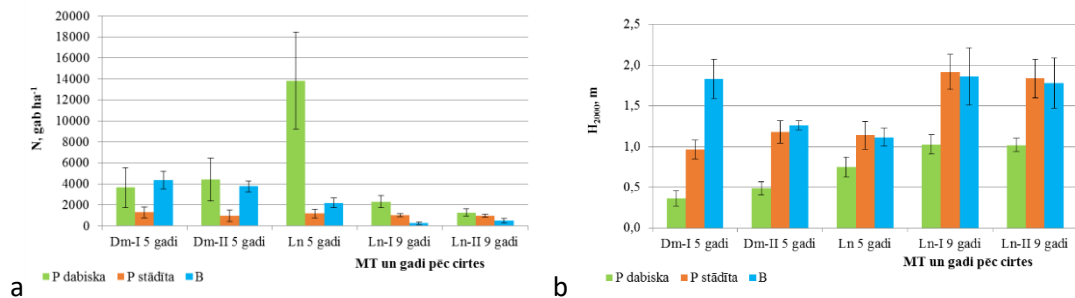
10.2. attēls. Piecu augstāko priežu vai bērzu uzskaites laukumā jeb 2000 kociņu uz ha vidējais augstums (H_{2000}) Ln 15 gadus pēc cirtes atkarībā no audzes 1. stāva koku skaita koptās un nekoptās jaunaudzēs



10.3. attēls. Piecu augstāko priežu vai bērzu uzskaites laukumā jeb 2000 kociņu uz ha vidējais augstums (H_{2000}) Dm 15 gadus pēc cirtes atkarībā no audzes 1. stāva koku skaita koptās un nekoptās jaunaudzēs

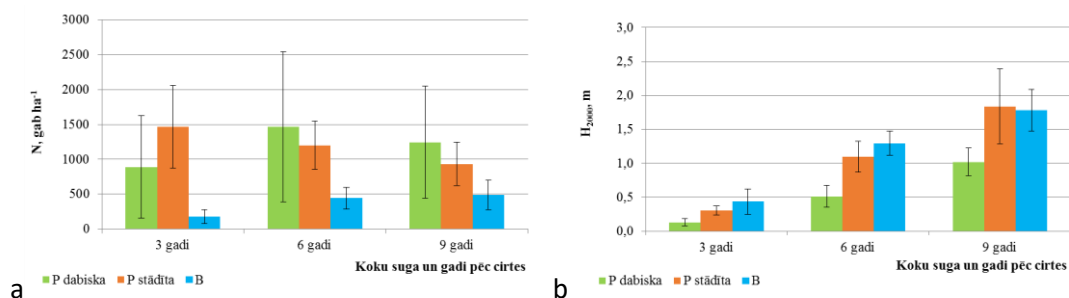
Stādīto un dabiski atjaunojušos priežu salīdzinājums

Uzmērot stādītu un dabiski atjaunojušās priedes trijās audzēs damaksnī un lānā piecus gadus, kā arī divās audzēs lānā deviņus gadus pēc cirtes, konstatēts, ka stādīto priežu H_{2000} visos gadījumos ir būtiski lielāks nekā dabiski atjaunojušos priežu H_{2000} (10.4.attēls b). Deviņus gadus pēc cirtes stādīto priežu H_{2000} lānā sasniedz 1.92 ± 0.22 m. Stādīto (izdzīvojušo) priežu skaits audzēs ir no 933 ± 535 līdz 1267 ± 506 ha⁻¹ (10.4.attēls a).



10.4. attēls. Stādīto priežu un dabiski atjaunojušos priežu un bērzu skaits (a) un 2000 koku uz ha (H_{2000}) vidējais augstums (\pm robežklūda ar 95 % varbūtību)(b) salīdzinājums dažādās audzēs damaksnī un lānā piecus gadus pēc vienlaidus cirtes, un lānā deviņus gadus pēc vienlaidus cirtes

Viena no audzēm lānā, kur veikts uzmērījums deviņus gadus pēc vienlaidus cirtes, ir uzmērīta arī trīs gadus un sešus gadus pēc cirtes. Konstatēts, ka jau trīs un sešus gadus pēc cirtes stādīto priežu augstums ir būtiski lielāks nekā dabiski atjaunojušos priežu augstums (10.5.attēls b).



10.5. attēls. Stādītu priežu un dabiski atjaunojušos priežu un bērzu skaits (a) un 2000 koku uz ha (H_{2000}) vidējais augstums (\pm robežklūda ar 95 % varbūtību) (b) trīs, sešus un deviņus gadus pēc vienlaidus cirtes lānā

Jāatzīmē, ka audzes, kur veikta priežu stādīšana, pēc vienlaidus cirtes veikšanas ir veikta augsnes sagatavošana un regulāri tiek veikta kopšana, uz ko norāda arī tas, ka bērzu H_{2000} četros no pieciem objektiem nav būtiski lielāks par stādīto priežu H_{2000} (10.4.attēls b).

25 gadus pēc cirtes

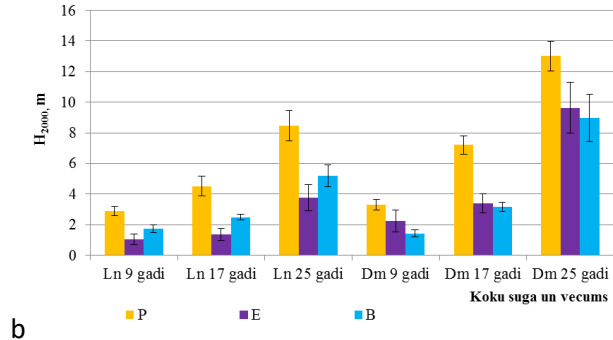
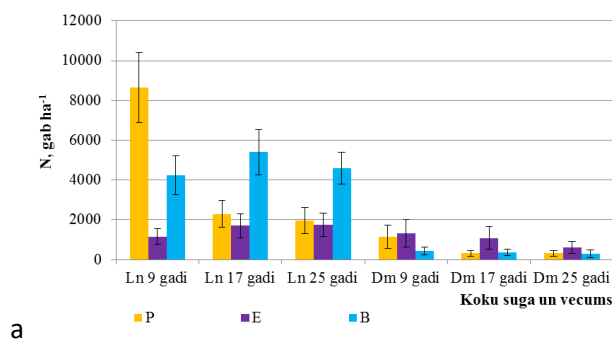
Trīs objekti, kuros laiks pēc pirmā cirtes paņēmiena veikšanas ir 25 gadi, apsaimniekoti līdzīgi – pēc cirtes veikšanas sagatavota augsne, vairākas reizes veiktas agrotehniskās un sastāva kopšanas (pēdējoreiz 15 gadus pēc cirtes). Līdzīgs ir arī saglabājušos mātesaudzes koku skaits – 50 - 70 koki ha^{-1} ar šķērslaukumu 10.5-14.4 m^2ha^{-1} (10.2.tabula). Valdošā mātesaudzes koku suga bijusi priede. Tomēr tikai lāna meža tipā objektā Cēsis ir izveidojusies priežu jaunaudze ar pietiekošu koku skaitu 1050 ha^{-1} ar vidējo augstumu 10.3 m un vidējo caurmēru 9.1 cm (10.2.tabula).

10.2. tabula

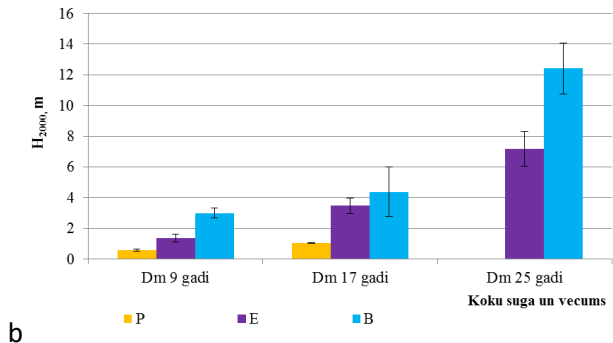
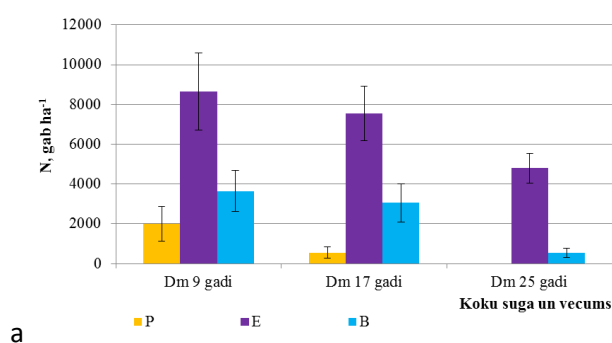
Pētījuma objektu audzes struktūra dažādos laika periodos pēc cirtes veikšanas

Objekts	Gadi pēc cirtes	I stāvs					II stāvs					III stāvs				
		D	H	G	M	N	D	H	G	M	N	D	H	G	M	N
		cm	m	m^2ha^{-1}	m^3ha^{-1}	ha^{-1}	cm	m	m^2ha^{-1}	m^3ha^{-1}	ha^{-1}	cm	m	m^2ha^{-1}	m^3ha^{-1}	ha^{-1}
Cēsis	11	52,2	29,5	12,9	168,8	60						3,5	2,2	2,3	5,5	2450
	17	53,1	29,7	13,4	177,4	60						6,0	7,4	3,9	17,0	1385
	25	54,4	30,0	13,9	186,0	60						9,1	10,3	6,8	40,5	1050
Cēsis-Dm	11	49,0	33,5	12,2	183,0	65						4,3	6,7	0,4	1,7	270
	17	49,6	33,7	10,6	159,7	55						6,3	10,1	2,7	16,4	860
	25	51,7	34,1	10,5	159,5	50						15,3	13,3	6,4	43,2	350
Valmiera	11	51,9	32,3	14,6	208,4	70	17,2	19,9	0,3	3,4	15	3,3	4,1	0,6	1,8	695
	17	53,5	32,5	14,8	211,0	70	14,1	16,7	0,6	5,8	40	5,4	7,5	5,7	25,4	2455
	25	59,2	33,0	14,4	212,9	53	12,2	16,9	5,2	42,4	445	7,6	8,7	11,1	71,2	2465

Cēsis-Dm objektā damaksna meža tipā jau uzmērījumā, kas veikts 11 gadus pēc cirtes, atjaunojušos priežu skaits bija vairākas reizes mazāks nekā Cēsis-Ln objektā, attiecīgi $1160\pm 589 ha^{-1}$ un $8650\pm 1765 ha^{-1}$ (10.4.attēls). Savukārt 25 gadus pēc cirtes priedes, kuru $D_{1,3}$ vismaz 2.1 cm, ir tikai 350 koki ha^{-1} ar vidējo augstumu 13.3 m un vidējo caurmēru 15.3 cm (10.2.tabula). Tomēr objektā ir konstatētas arī egles - 360 koki ha^{-1} ar vidējo augstumu 11.6 m vidējo caurmēru 13.5 cm, un bērzi - 160 koki ha^{-1} ar vidējo augstumu 13.1 m vidējo caurmēru 7.5 cm.



10.4. attēls. Priedes, egles un bērzu skaits (\pm standartklūda)(a) un 2000 koku uz ha (H_{2000}) vidējais augstums (\pm standartklūda) (b) deviņus, 17 un 25 gadus pēc grupu cirtes lānā un damaksnī Cēsis objektā



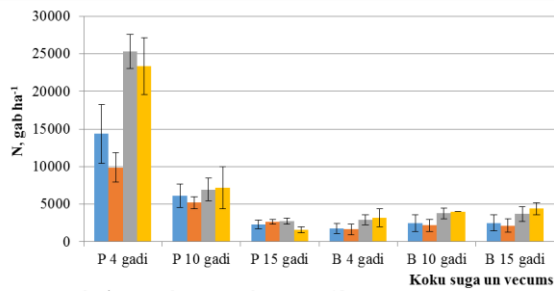
10.5. attēls. Priedes, egles un bērzu skaits (\pm standartklūda)(a) un 2000 koku uz ha (H_{2000}) vidējais augstums (\pm standartklūda) (b) deviņus, 17 un 25 gadus pēc grupu cirtes damaksnī Valmieras objektā

Valmieras objektā damaksna meža tipā 11 gadus pēc cirtes tika konstatētas 2000 ± 885 priedes ha^{-1} ar vidējo augstumu $0,58 \pm 0,06$ m (10.5.attēls). 17 gadus pēc cirtes priežu skaits samazinājās līdz $550 \pm 282 \text{ ha}^{-1}$, bet 25 gadus pēc cirtes nav konstatēta neviena priede. Tomēr Valmieras objektā sekmīgi atjaunojās egle. 11 gadus pēc cirtes egļu skaits bija $8650 \pm 1924 \text{ ha}^{-1}$ ar 2000 koku uz ha vidējo augstumu (H_{2000}) $0,58 \pm 0,06$ m. Savukārt 25 gadus pēc cirtes egļu skaits, kuru $D_{1,3}$ vismaz 2.1 cm ir 2465 ha^{-1} ar vidējo augstumu 8.7 m un vidējo caurmēru 7.6 cm (10.2.tabula). Eglēm vietām traucē bērzi 445 koki ha^{-1} , kas izveidojuši audzes otro stāvu ar vidējo augstumu 16.9 m un vidējo caurmēru 12.2 cm.

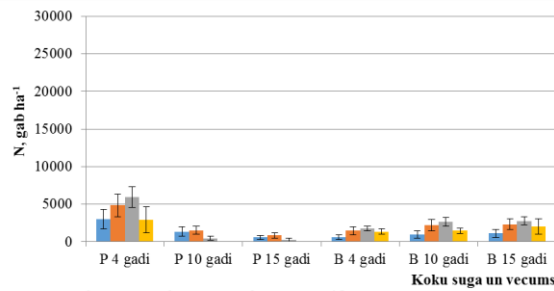
Grupi cirtes

Lāns

Līdzīga tendence, ka parauglaukumos, kuros veikta paaugas sastāva kopšana, konstatēts ievērojami lielāks priežu paaugas augstums, parādās analizējot audzes, kurās izveidoti atvērumi (10.6., 10.7. attēls). Jāatzīmē, ka 10.6. un 10.7. 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 cirtes 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 cirtes pirmā paņēmiena KNP audzē atvērumu vidū priedes nav konstatētas (10.6.attēls b), bet bērzu skaits atvēruma vidū $2000 \pm 1007 \text{ ha}^{-1}$ ar augstumu 7.70 ± 1.88 m. Lielākais priežu augstums (1.16 m) novērots 9 m no atvēruma malas (10.7.attēls b), tomēr šajā attēlā priedes konstatētas tikai vienā no divpadsmit uzskaites laukumiem. Bērzu skaits 9 m no atvēruma malas $2767 \pm 524 \text{ ha}^{-1}$ ar augstumu 7.31 ± 1.19 m. Savukārt ABA audzē 15 gadus pēc cirtes pirmā paņēmiena sākotnējo atvērumu vidū konstatētas $2267 \pm 706 \text{ ha}^{-1}$ ar augstumu 3.46 ± 0.56 m, bet 9 m attālumā no sākotnējās atvēruma malas $2933 \pm 416 \text{ ha}^{-1}$ ar augstumu 2.76 ± 0.28 m (10.6.attēls a, 10.7.attēls a). Bērzu augstums vairākkārtēju kopšanu ciršu rezultātā nepārsniedz 1.41 ± 0.16 m.

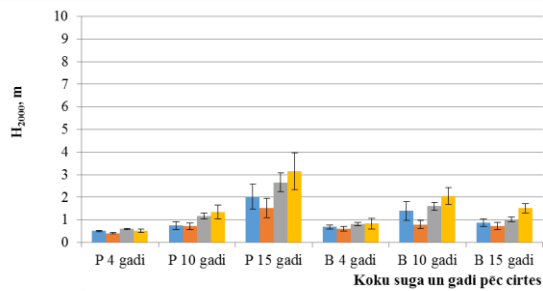


a

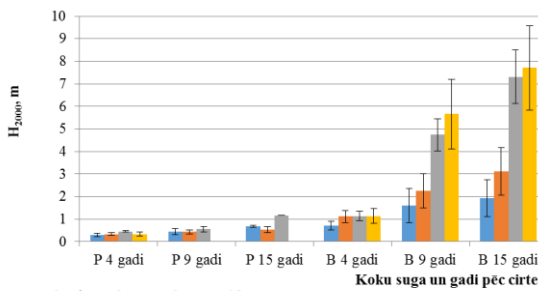


b

10.6. attēls. Priedes un bērza skaita (\pm standartklūda) salīdzinājums četrus, desmit un piecpadsmit gadus pēc grupu cirtes 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 atradies necirstajā audzes daļā)



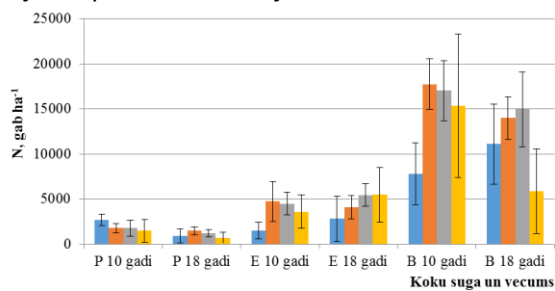
a



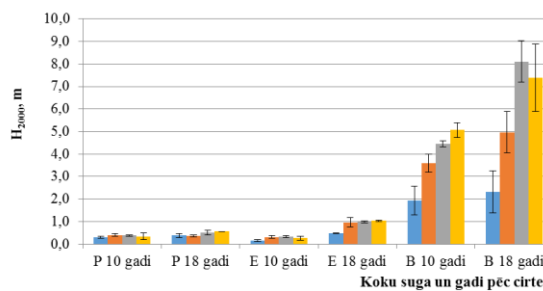
b

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

Atvērumu paplašināšana un kopšanas cirtes var neveicināt sekmīgu priedes atjaunošanos, ja mežsaimnieciskie pasākumi tiek veikti novēloti. Piemēram, audzē lānā 12 gadus pēc cirtes pirmā paņēmiena veikts cirtes otrais paņēmieni, bet tikai paplašinot atvērumus un savienojot tos aptuveni 25-30 m platu joslu veidā, kas izvietotas aptuveni A-R virzienā. Tajā pašā gadā veikta kopšanas cirte izretinot atvērumos atjaunojušos bērzus, kas divus gadus pirms kopšanas cirtes uzmērīti $15548 \pm 1946 \text{ ha}^{-1}$ ar $H_{2000} 3.62 \pm 0.30 \text{ m}$, bet atvērumu vidū H_{2000} sasniedzot $5.07 \pm 0.33 \text{ m}$ (10.8.attēls). Savukārt atjaunojušos priežu skaits pirms kopšanas cirtes $1896 \pm 358 \text{ ha}^{-1}$ ar $H_{2000} 0.37 \pm 0.03 \text{ m}$. Jāatzīmē, ka kopšanas cirte nebija veikta daudzus gadus. 6 gadus pēc kopšanas cirtes (18 gadus pēc atvērumu izveidošanas) uzskaitīti $12643 \pm 1743 \text{ ha}^{-1}$ bērzi ar $H_{2000} 5.57 \pm 0.68 \text{ m}$, no kuriem daļa ir atvases, vai no jauna iesējušies bērzi. Atjaunojušos priežu skaits $1217 \pm 270 \text{ ha}^{-1}$ (10.8.attēls) ar $H_{2000} 0.42 \pm 0.05 \text{ m}$. Šajā objektā zem bērziem sekmīgi ir atjaunojusies egļu 4330 \pm 859 ha^{-1} ar $H_{2000} 0.92 \pm 0.11 \text{ m}$. Egļu augšanai traucē lielais bērzu skaits, uz ko norāda tas, ka, sākot no 4 m attāluma no atvēruma malas, līdz atvēruma vidum egļu H_{2000} praktiski neatšķiras, bet bērzu H_{2000} virzienā no atvēruma malas uz atvērumu vidu konstatēts lielāks (10.8.attēls). Ņemot vērā nelielo atjaunojušos priežu skaitu un augstumu, gan ievērojamo bērzu skaitu, gan to, ka sekmīgi atjaunojusies egļu, gaidāms, ka tuvākajā laikā lielākā daļa atjaunojušos priežu aizies bojā.



a

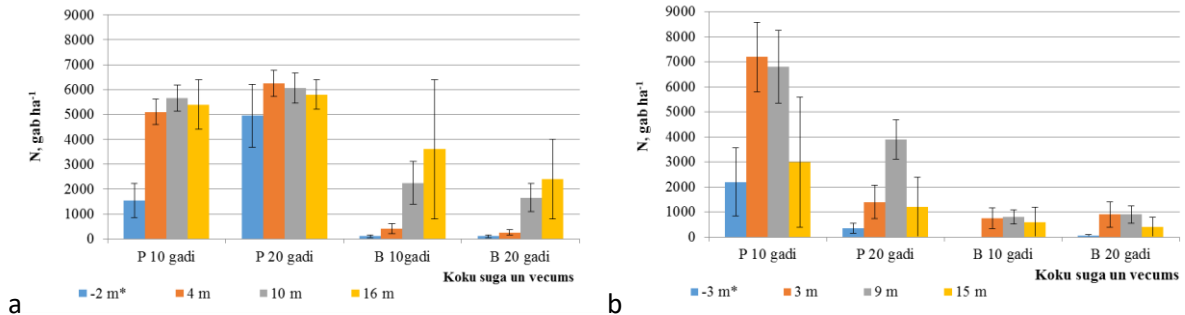


b

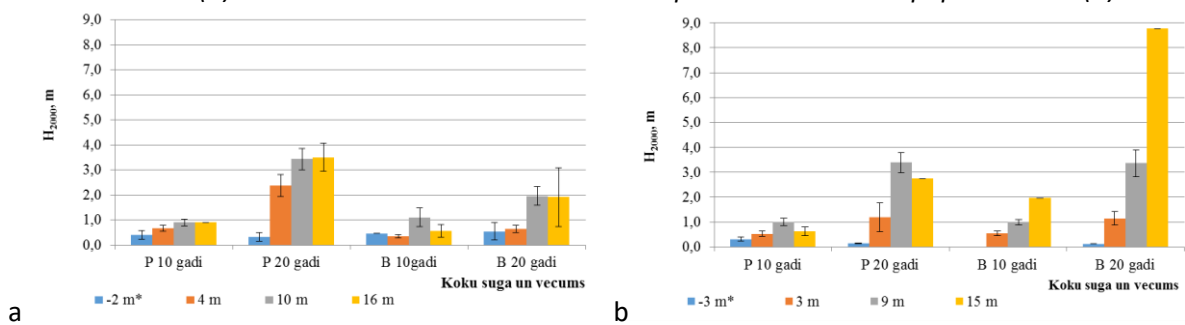
10.8. attēls. Priedes, egļu un bērzu skaits (\pm standartklūda) (a) un 2000 koku uz ha (H_{2000}) vidējais augstums (\pm standartklūda) (b) desmit un astoņpadsmit gadus pēc grupu cirtes lānā dažādos attālos no atvēruma malas audzē kur nokavēti veikta kopšana un atvērumu paplašināšana

Mētrājs

Savukārt, pēc grupu cirtes mētrāja meža tipā, parauglaukumos, kuros savlaicīgi veikta paaugas sastāva kopšana, kā arī veikts nākošais cirtes paņēmiens, paplašinot atvērumus un izretinot audzes daļu starp atvērumiem, kā arī sagatavojot augsni, konstatēts lielāks priežu paaugas augstums, pie līdzīga attāluma no audzes atvērumu malas. Turklāt, pēc atvērumu paplašināšanas un augsnes sagatavošanas, kociņu skaits paplašinātajā daļā ir vairākas reizes lielāks. 10.9. un 10.10. attēlā salīdzinātas divas audzes ar atšķirīgu apsaimniekošanas režīmu. Audzē (a) veikts otrais cirtes paņēmiens (paplašinot atvērumus), 16 gadus pēc pirmā cirtes paņēmiņa, kā arī sagatavota augsne nocirstajā audzes daļā. Audzē (a) vairākkārtēji veikta arī agrotehniskā kopšana. Savukārt audzē (b), izņemot sākotnējo atvērumu izciršanu, un sākotnējo agrotehnisko kopšanu citi mežsaimnieciskie pasākumi nav veikti.



10.9. attēls. Priedes un bērza skaita (\pm standartklūda) salīdzinājums desmit un divdesmit gadus pēc grupu cirtes mētrājā dažādos attālumos no atvēruma malas audzē kur veikta kopšana un atvērumu paplašināšana (a) un audzē kur nav veikta atkārtota kopšana un atvērumu paplašināšana (b)



10.10. attēls. Priedes un bērza 2000 koku uz ha (H_{2000}) vidējais augstums (\pm standartklūda) salīdzinājums desmit un divdesmit gadus pēc grupu cirtes mētrājā dažādos attālumos no atvēruma malas audzē kur veikta atkārtota kopšana un atvērumu paplašināšana (a) un audzē kur nav veikta atkārtota kopšana un atvērumu paplašināšana (b)

Kopumā var secināt, ka pasākumu kopums – savlaicīgas vairākkārtējas agrotehniskās un sastāva kopšanas cirtes un savlaicīgs otrais cirtes paņēmiens, ir veids kā veicināt sekmīgu priedes dabisko atjaunošanos, cērtot grupu pakāpeniskās cirtes. Ieteicams arī veikt palikušās audzes daļas izretināšanu jau pirmajā cirtes paņēmiņā. Savukārt, ja pirmajos gados pēc grupu cirtes pirmā paņēmiņa lāna meža tipā nav veiktas atkārtotas agrotehniskās un sastāva kopšanas, un, pat ja ir veikts grupu cirtes otrais paņēmiens 12 gadus pēc pirmā paņēmiņa ar tam sekojošām sastāva kopšanas cirtēm, nav konstatēta sekmīga atjaunošanās ar priedi.

10.3. Koksnes pieauguma un ciršanas apjoma attiecība ilgtermiņā

Formāli pieņem, ka apsaimniekošana var tikt uzskatīta par ilgtermiņīgu, 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 īpatsvaru 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)

$$I_d = a_1 * \exp(a_2 + a_3 * BAL_{citi} + a_4 * BAL_E + a_5 * \ln(G) + a_6 * \sqrt{d} + a_7 * d^2 + a_8 * I_{bon} + a_9 * II_{bon} + a_{10} * III_{bon}) \quad (10.1)$$

BAL_{citi} šķērslaukums citu sugu (izņemot egli) kokiem, kas lielākā konkrēto caurmēra pakāpi, m²ha⁻¹;
 BAL_E šķērslaukums eglēm, kuras lielākas par konkrēto caurmēra pakāpi, m²ha⁻¹;
 G – audzes šķērslaukums, m²ha⁻¹;
 d - caurmēra pakāpes, cm;
 I bonitē, tad kods 1, II bonitē, tad kods 1, bonitē III un<, tad kods 1, pretējā gadījumā 0.
 a_i koeficientu vērtības 10.3.tabulā.

10.3.tabula

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

$$p = 1 - 1 / (1 + \exp(-(b_1 + b_2 * \sqrt{d} + b_3 * \ln(G) + b_4 * BAL_E)))^5 \quad (10.2)$$

Priedei, bērzam

$$p = 1 - 1 / (1 + \exp(-(b_1 + b_2 * \sqrt{d} + b_3 * (BAL_{citi} + BAL_E)))^5 \quad (10.3)$$

Koeficientu vērtības atspoguļotas 10.4.tabulā.

10.4.tabula

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 m³ha⁻¹.
- 5) Simulē koku izciršanu, ja audzes šķērslaukums par 7m²ha⁻¹ pārsniedz biežībai 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.

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

11. Vienādojumu sistēmas izstrāde antropogēnās meža atjaunošanas ietekmes (selekcijas efekts) novērtēšanai uz priežu, egļu un bērzu kokaudžu augšanas gaitu, datu analīze un tajos pamatotu secinājumu izstrāde (P.Zeltiņš, Ā.Jansons, J.Donis)

11.1. Materiāls un metodika

11.1.1. Selekcijas efekts parastās priedes eksperimentos

Analīzei izmantotas divas datu kopas.

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

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

No katra varianta tālākajā analīzē iekļauts konkrētajā atkārtotumā augstākais uzmērītais koks, pieņemot tā augstumu par H_{dom} , kopumā atlasot 43 kokus - 15 kokus no kontrolēto krustojumu izmēģinājuma un 28 kokus no provenienču izmēģinājuma.

Analīze veikta:

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

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

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

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

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

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

Andrupenes stādījums uzmērīta 15 un 19 g.v.

Jelgavas stādījums 7 un 12 g.v.

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

Rembate uzmērīts 10 un 13 g.v.

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

11.1.3. Selekcijas efekta ietekmes uz augstumu aproksimācija parastās priedes, parastās egles un āra bērza audzēs

Selekcijas efekta ietekmes iekļaušana augšanas gaitas vienādojumā parastajai priedei, parastajai eglei un kārpainajam bērzam vērtēta divām meža reproduktīvā materiāla kategorijām – “uzlabots” un “pārāks”. Izmantoti vismaz divreiz pārmērītu koku augstuma dati, kas iegūti brīvapputes ģimeņu pēcnācēju pārbaužu stādījumos meža koku selekcijas programmas ietvaros. Kā kategorija “pārāks” atlasīti 10 % ģimeņu ar lielāko vidējo augstumu katrā stādījumā, bet kā kategorija “uzlabots” pieņemti pārējie 90 % ģimeņu.

Izmantota Hossfeld IV (King-Prodan) vienādojuma GADA forma:

$$H_2 = 1.3 + \frac{A_2^{b_1}}{b_2 + 100 b_3 \frac{A_1^{b_1}}{H_1 - 1.3} - b_2 + \frac{A_1^{b_1}}{H_1 - 1.3} - b_2}{100b_3 + A_1^{b_1} + 100b_3 + A_1^{b_1}} A_2^{b_1} \quad (11.1)$$

, kur

H_1 – meža elementa vidējais vai virsaugstums prognozes perioda sākumā, m;

H_2 – meža elementa vidējais vai virsaugstums prognozes perioda beigās, m;

A_1 – meža elementa krūšaugstuma vecums prognozes perioda sākumā, gadi;

A_2 – meža elementa krūšaugstuma vecums prognozes perioda beigās, gadi;

b_1 ; b_2 ; b_3 – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no meža elementa.

Izmantoti empīriskie koeficienti, kas iepriekš noteikti, kalibrējot GADA vienādojumu ar MSI datiem (11.1.tab.).

11.1.tabula

Izmantotie empīriskie koeficienti (MSI dati)

Suga		b_1	b_2	b_3
Priede	H	1.15697	-27.04027	16.4512
	H_{dom}	1.15732	-16.34586	8.71041
Egle	H	1.28394	-47.34926	23.60081
	H_{dom}	1.31811	-70.525	31.62235
Bērzs	H	1.257	-47.475	21.726
	H_{dom}	1.395	-51.041	21.107

Selekcijas efekta iekļaušana GADA vienādojumā veikta, vērtējot no kategorijas (uzlabots vai pārāks) atkarīgu empīrisku koeficientu (G_x) iekļaušanu vienādojumā. Gan vidējā augstuma, gan virsaugstuma gadījumā vislabāko rezultātu uzrāda empīrisku koeficientu g_1 , g_2 un g_3 iekļaušana (11.2.tab.) (izņemot egles un bērza vidējo augstumu, kam labāku rezultātu uzrādīja tikai koeficientu g_1 un g_2 iekļaušana) priekšā koeficientiem b_1 , b_2 un b_3 tajā GADA vienādojuma daļā, kas ir atrisināta no bāzes vienādojuma empīriskajiem koeficientiem a_1 un a_2 :

$$H_2 = 1.3 + \frac{A_2^{g_1 \cdot b_1}}{g_2 \cdot b_2 + g_3 \cdot 100 b_3 \frac{A_1^{b_1}}{H_1 - 1.3} - b_2 + \frac{A_1^{b_1}}{H_1 - 1.3} - b_2}{100b_3 + A_1^{b_1} + 100b_3 + A_1^{b_1}} A_2^{g_1 \cdot b_1} \quad (11.2)$$

kas bāzes vienādojumā atbilstu:

$$H = 1.3 + \frac{A^{G_1 \cdot a_1}}{G_{23} \cdot a_2 + a_3 \cdot A^{G_1 \cdot a_1}} \quad (11.3)$$

Vides apstākļus raksturojošajā nezināmā X atrisinājumā esošie b_1 , b_2 un b_3 netiek koriģēti, jo vides apstākļu ietekme uz abām selekcijas kategorijām stādījumos ir tā pati.

Augšanas gaitas modelēta un datu analīze veikta datorprogrammā R 4.0.2 (R Core team, 2020), izmantojot rīku *nls* (Nonlinear Least Squares).

11.2. Rezultāti

11.2.1. Selekcijas efekts parastās priedes eksperimentos

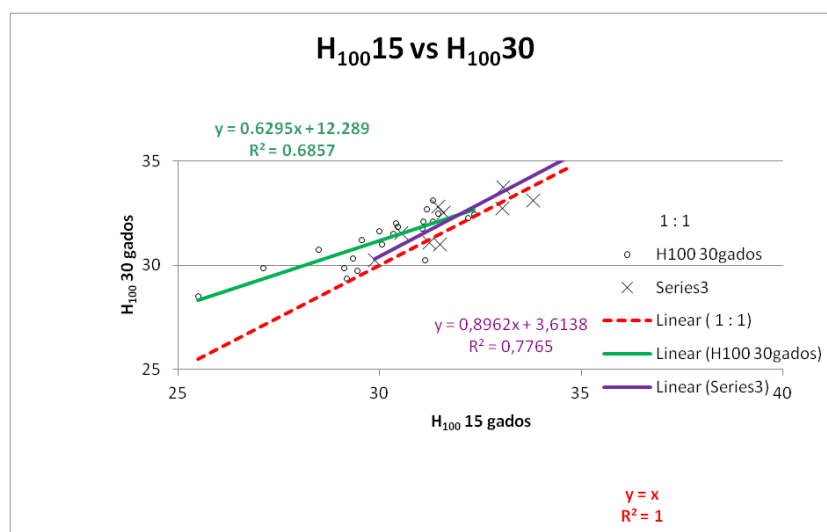
Priežu kontrolēto krustojumu pārbaudes un priežu provenienču izmēģinājuma dominējošā augstumu vidējās vērtības dažādos vecumos atspoguļotas 11.2.tabulā.

11.2. tabula

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

Augstums	Vecums, gadi					
	5	10	15	20	25	30
H ₂₀₌₉	1.6	4.0	6.6	9.0	11.3	13.4
H _{vidkop}	1.4	3.7	6.3	9.0	11.5	14.1
H _{vidprov}	1.4	3.6	6.0	8.6	11.0	13.6
H _{vidselekc}	1.4	3.9	6.8	9.7	12.3	15.0
Sel-prov	0.0	0.3	0.8	1.1	1.3	1.3
Sel/prov	0.99	1.09	1.13	1.13	1.12	1.10

Audzēs turpmākās augšanas gaitas prognozēšanai ir iespējams izmantot priežu virsaugstumu bonitāti sākot no vecuma 15 gadi (11.1.att). Turklāt kontrolēto krustojumu gadījumā augšanas gaita ir „stabilāka”, t.i., vairāk atbilstoša vienai virsaugstuma bonitātei, savukārt provenienču variantu augšanas gaita ir mazāk „stabila”. Lai arī pašlaik pieejamajiem datiem ir pārāk īss novērtēšanas periods (30 gadi), lai izteiktu vispārējus secinājumus, tomēr tie nav pretrunā iepriekš gūtajām atziņām, ka kontrolētu krustojumu augšanas gaita līdzīgos apstākļos pārsniedz vidējos rādītājus par 10%.



11.1.att. Provenienču (°) un kontrolēto krustojumu(x) pārbaudes izmēģinājuma priežu virsaugstuma pie krūšaugstuma vecuma 15 gadi (H_{10015}) sakarība ar virsaugstumu pie krūšaugstuma vecuma 20 (H_{10020}); 25 (H_{10025}) un 30 gadi (H_{10030}).

Augstāk iegūtos rezultātus (selekcijas efektu) pārbaudījām uz 1975.g. stādījumu rezultātiem (Zvirgzde). Izmantojot dispersijas analīzi konstatēts, ka selekcionēto (plantāciju pēcnācēju) koku augstums 35 gadu vecumā ir par 6% lielāks nekā mežaudžu koku augstums attiecīgi 16.51 un 15.56m. Atšķirības ir statistiski būtiskas - $F = 8.63$; $p = 0.004$. Savukārt selekcionēto koku vidējais caurmērs ir par 18% lielāks nekā mežaudžu koku caurmērs, 17.6 un 14.9 cm. Arī šī atšķirība ir statistiski būtiska – $F = 11.51$; $p < 0.001$.

Salīdzinot selekcijas efektu uz 1982.g. stādījumu datiem Kalsnavā un Zvirgzdē, konstatēts, ka Kalsnavas objektā 2002. gadā 20 gadu vecā eksperimentā ir statistiski būtiska augstumu atšķirība starp selekcionētiem un mežaudzes pēcnācējiem 10% - attiecīgi 8.5m un 7.7 m ($F=5.73$; $p=0.017$), savukārt atšķirība starp vidējiem caurmēriem ir 12%, – 9.7 un 8.7 cm ($F=1.89$; $p=0.17$), kas gan nav būtiska. Līdzīga situācija 2002.g. arī Zvirgzdes objektā H atšķiras par 11% un attiecīgi ir 8.1 un 7.3m ($F=4.88$; $P=0.027$), bet caurmērs par 10% attiecīgi 9.2 un 8,3cm, bet tas nav statistiski būtisks ($F=1,73$; $P=0,188$). Arī 2009.gadā 27 gadu vecumā situācija ir līdzīga H atšķirība ir 7.6%, attiecīgi 13.6 un 12.6m ($F=6.12$, $P=0.014$), savukārt caurmērs atšķirās par 5% attiecīgi – 12.1 un 11.6cm, kas gan nav statistiski būtiski ($F=0.457$, $P=0.499$).

Parastās priedes selekcijas ietekmes uz koku augšanas gaitu novērtējuma kopsavilkums atspoguļots 11.3.tabulā.

11.3.tabula

Parastās priedes selekcijas ietekmes uz koku augšanas gaitu kopsavilkums

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

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

*Skaitis nozīmē salīdzināšanā izmantoto ģimeņu daudzumu.

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

nozīmīgākas – 10 ražīgāko selekcionēto koku pēcnācēju caurmērs ir par 38% lielāks nekā 10 ražīgāko kontroles audžu pēcnācēju caurmērs.

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

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

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

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

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

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

Parastās egles selekcijas ietekmes uz koku augšanas gaitu kopsavilkums atspoguļots 11.4.tabulā.

11.4.tabula

Parastās egles selekcijas ietekmes uz koku augšanas gaitu kopsavilkums

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

*Skaitis nozīmē salīdzināšanā izmantoto ģimeņu daudzumu.

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

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

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

Kuldīgas ģimeņu izmēģinājuma stādījumā 10% ražīgāko ģimeņu lielāko koku vidējais augstums ir 37% jeb 1.6m lielāks, Rembatē starpība ir līdzīga: 1.5m jeb arī 37%. Visas augstāk minētās atšķirības ir statistiski būtiskas. Lai arī palielinoties vecumam atšķirības procentu izteiksmē samazinās, tomēr absolūtās vienībās m tās palielinās.

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

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

11.2.3. Selekcijas efekta ietekmes uz augstumu aproksimācija parastās priedes, parastās egles un āra bērza audzēs

Ar aproksimētajām koeficientu vērtībām gan priedes augstuma, gan virsaugstuma augšanas gaitas modelis prognozē mežsaimnieciski loģiskas augstuma izmaiņas (11.2., 11.5.att.), kā arī uzrāda augstus statistiskos rādītājus (11.6., 11.8.tab., 11.8.att.). Virsaugstuma augšanas gaita raksturojama ar straujāku pieaugumu jaunākā vecumā gan uzlabotam, gan pārākam selekcijas materiālam.

Selekcijas uzlabojuma pakāpes specifiskais egles augstuma augšanas gaitas modelis uzrāda straujāku augšanu selekcionētam materiālam, tomēr prognozētās atšķirības starp selekcijas grupām ir praktiski maznozīmīgas (11.6.att.). Gan augstuma, gan virsaugstuma modelis eglei prognozē straujāku līknes izlīdzināšanos augstākajam bāzes vecumam H100= 39 m (11.3. un 11.6.att.). Turklāt virsaugstuma modelis prognozē nedaudz labāku augšanu uzlabotam nekā pārākam materiālam, kas nav mežsaimnieciski loģiski. Tomēr, ņemot vērā ka dati no egles pēcnācēju pārbaužu stādījumiem raksturo piemērotus augšanas apstākļus sugai, līknes, kas ir H100 < 33 m, ir ekstrapolācija ārpus pieejamās datu kopas (11.6.att.). Šajā gadījumā uzlabojuma pakāpi raksturojošu koeficientu izmantošana būtu pamatojama tikai auglīgos apstākļos.

Bērza augstuma un virsaugstuma augšanas gaitas modeļi prognozē mežsaimnieciski loģisku daudz straujāku augšanu agrākā vecumā selekcionētam materiālam, kategorijai “pārāks” augot nedaudz straujāk par kategoriju “uzlabots” (11.4., 11.17.att.). Tomēr līdzīgi kā eglei, modificētais modelis būtu izmantojams prognozēm auglīgos augšanas apstākļos, kas ir praktiski nozīmīgi, ņemot vērā selekcionēta stādmateriāla izmantošanu sugai piemērotos apstākļos.

Kopumā virsaugstuma augšanas gaitas modeļi raksturojami ar augstāku precizitāti (11.5., 11.7.tab., 11.8.att.).

11.5.tabula

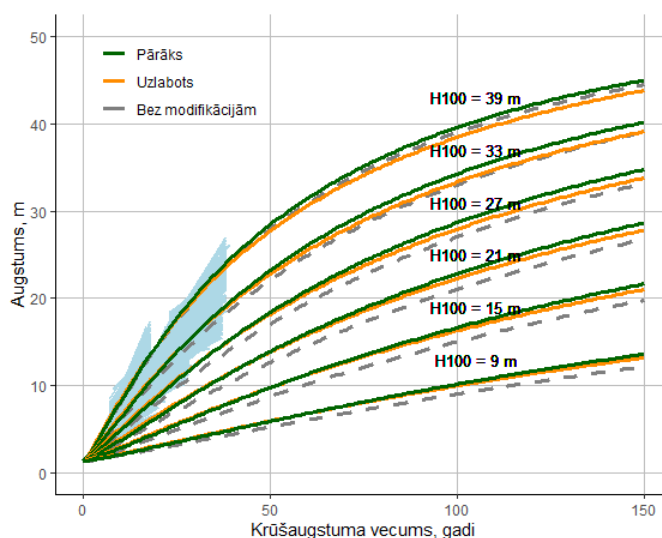
Augstuma augšanas gaitas modeļu aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

Suga	Selekcijas grupa	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	95 % ticamības intervāls	
					Minimums	Maksimums
Priede	Uzlabots	g1	0.963721	0.005571	0.9527987	1.0387941
		g2	0.681738	0.017909	0.6466309	0.7168452
		g3	0.693267	0.017689	0.6585879	0.727947
	Pārāks	g1	1.010671	0.014345	0.9825484	1.0387941
		g2	0.860362	0.058671	0.7453372	0.975387
		g3	0.87077	0.057942	0.7564804	0.983674
Egle	Uzlabots	g2	0.594752	0.008034	0.5790048	0.6104983
		g3	0.616034	0.007696	0.6009497	0.6311189
	Pārāks	g2	0.605453	0.022968	0.5604344	0.6504713
		g3	0.625505	0.022094	0.5821998	0.6688111
Bērzs	Uzlabots	g2	0.253636	0.003137	0.2474877	0.2597843
		g3	0.272179	0.003037	0.2662272	0.2781313
	Pārāks	g2	0.23743	0.010089	0.2176554	0.2572055
		g3	0.254379	0.00981	0.2351509	0.2736064

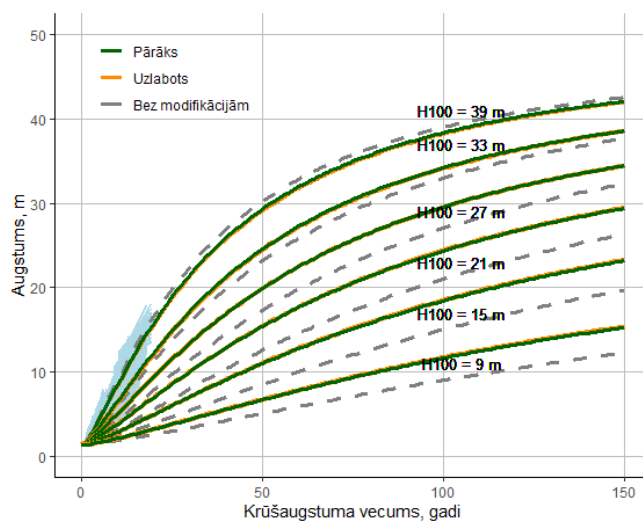
11.6.tabula

Augstuma augšanas gaitas modeļu prognozētā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji

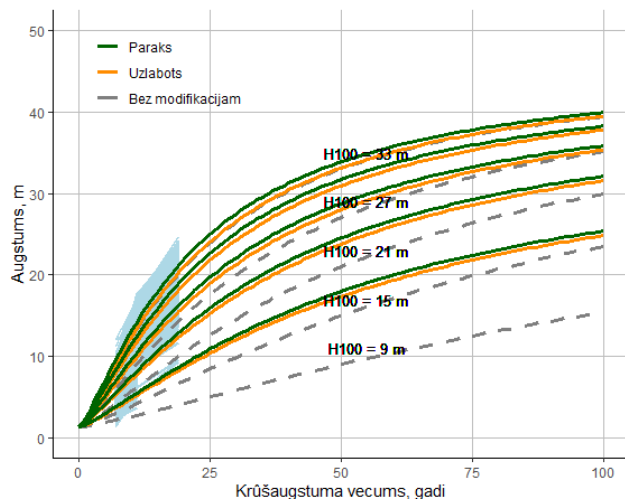
Suga	MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R2	N
Priede	0.007	0.044	0.950	1.280	8.224	1.650	0.089	0.923	0.918	4308
Egle	0.077	1.527	0.441	0.717	14.298	0.514	0.052	1.040	0.945	19219
Bērzs	0.050	0.356	1.283	1.600	11.496	2.570	0.205	1.027	0.789	23702



11.2.att. Priedes selekcijas uzlabojuma pakāpes (uzlabots vai pārāks) specifiska aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita atkarībā no nemodificētās GADA funkcijas augstuma krūšaugsma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m). Gaiši zilā krāsā fonā attēlota izmantotā datukopa funkcijas modificēšanai.



11.3.att. Egles selekcijas uzlabojuma pakāpes (uzlabots vai pārāks) specifiska aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita atkarībā no nemodificētās GADA funkcijas augstuma krūšaugsma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m). Gaiši zilā krāsā fonā attēlota izmantotā datukopa funkcijas modificēšanai.



11.4.att. Bērza selekcijas uzlabojuma pakāpes (uzlabots vai pārāks) specifiska aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita atkarībā no nemodificētās GADA funkcijas augstuma krūšaugsstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 33; 27; 21; 15; 9$ m). Gaiši zilā krāsā fonā attēlota izmantotā datukopa funkcijas modificēšanai.

11.7.tabula

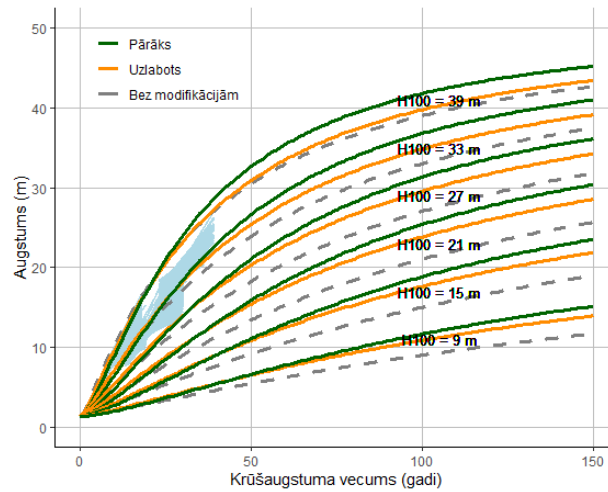
Virsaugstuma augšanas gaitas modeļu aproksimētās koeficientu vērtības un to statistiskie rādītāji

Suga	Selekcijas grupa	Koeficients	Vērtība	Standartklūda	95 % ticamības intervāls	
					Minimums	Maksimums
Priede	Uzlabots	g1	1.06486	0.0145	1.0363668	1.093348
		g2	0.9695	0.06765	0.8366184	1.102377
		g3	0.99353	0.06668	0.8625477	1.124507
	Pārāks	g1	1.19874	0.04186	1.1165242	1.280961
		g2	1.78192	0.37492	1.0454956	2.518338
		g3	1.80144	0.36626	1.0820294	2.520844
Egļe	Uzlabots	g1	0.939505	0.003674	0.9322968	0.9467139
		g2	0.513669	0.017795	0.4787599	0.548579
		g3	0.523906	0.017523	0.489531	0.5582815
	Pārāks	g1	0.934716	0.008755	0.9175406	0.951892
		g2	0.541935	0.043908	0.4557995	0.6280708
		g3	0.550739	0.043397	0.4656036	0.6358735
Bērzs	Uzlabots	g1	0.870861	0.005298	0.86046902	0.8812522
		g2	0.1	0.013053	0.07439605	0.1256039
		g3	0.113914	0.012758	0.08888799	0.1389394
	Pārāks	g1	0.856268	0.016234	0.82442454	0.8881123
		g2	0.089942	0.040486	0.01052986	0.1693548
		g3	0.102181	0.039627	0.02445384	0.179909

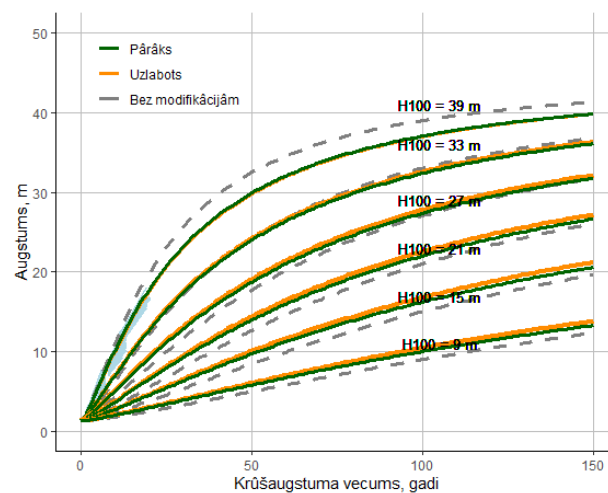
11.8.tabula

Virsaugstuma augšanas gaitas modeļu prognozētā augstuma pieauguma statistiskie rādītāji

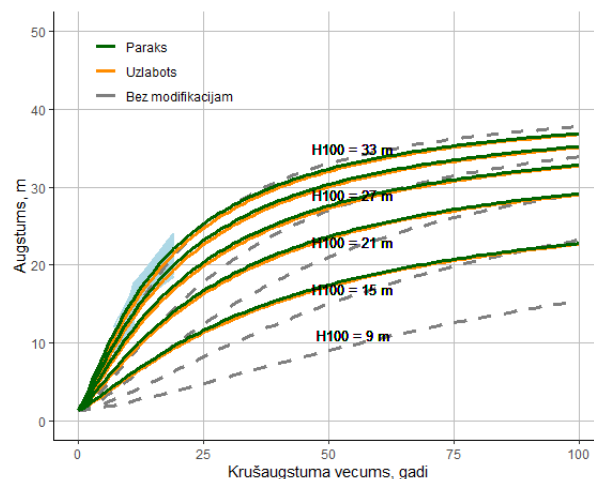
Suga	MRES	MRES%	AMRES	RMSE	RMSE%	MSE	MEF	VR	R2	N
Priede	0.003	0.019	0.821	1.050	6.397	1.090	0.078	0.927	0.927	567
Egļe	-0.039	-0.478	0.366	0.527	6.454	0.278	0.005	0.984	0.995	1336
Bērzs	0.024	0.129	0.871	1.090	5.974	1.200	0.039	0.976	0.962	1556



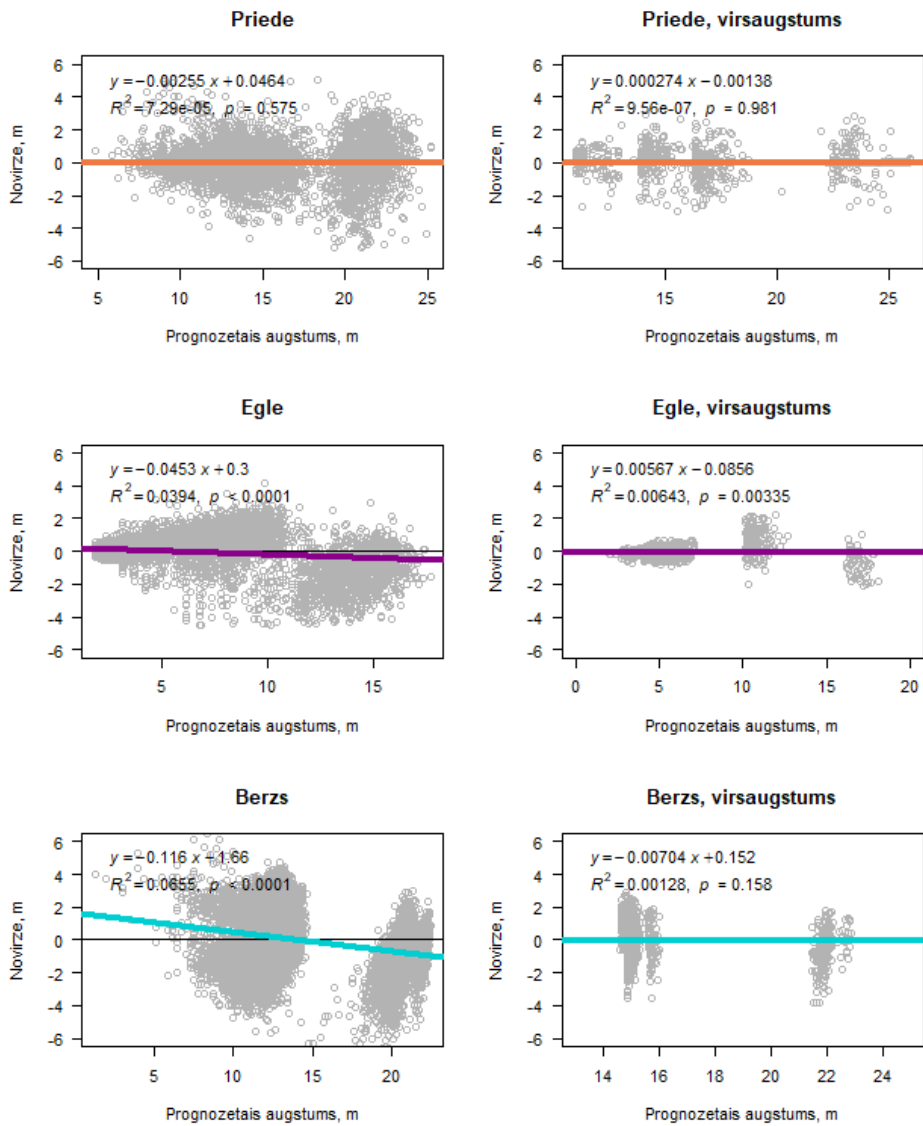
11.5.att. Priedes selekcijas uzlabojuma pakāpes (uzlabots vai pārāks) specifiska aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita atkarībā no nemodificētās GADA funkcijas augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m). Gaiši zilā krāsā fonā attēlota izmantotā datukopa funkcijas modificēšanai.



11.6.att. Egles selekcijas uzlabojuma pakāpes (uzlabots vai pārāks) specifiska aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita atkarībā no nemodificētās GADA funkcijas augstuma krūšaugstuma vecumā 100 gadi ($H_{100} = 39; 33; 27; 21; 15; 9$ m). Gaiši zilā krāsā fonā attēlota izmantotā datukopa funkcijas modificēšanai.



11.7.att. Bērza selekcijas uzlabojuma pakāpes (uzlabots vai pārāks) specifiska aproksimētā virsaugstuma augšanas gaita (2.1. formula) atkarībā no nemodificētās GADA funkcijas augstuma krūšaugstuma vecumā 50 gadi ($H_{50} = 33; 27; 21; 15; 9$ m). Gaiši zilā krāsā fonā attēlota izmantotā datukopa funkcijas modificēšanai.



11.8.att. Starpība starp uzmērīto un prognozēto augstumu (novirze) atkarībā no prognozētā augstuma.

Tā kā caurmēra pieaugums, šķērslaukuma pieaugums, t.sk., normālais šķērslaukums, atbilstoši izveidotajai vienādojumu sistēmai, ir atkarīgs no augstuma vai bonitātes, tad vienādojumu sistēma paredz arī augstāku ražību pēc pārējiem parametriem.

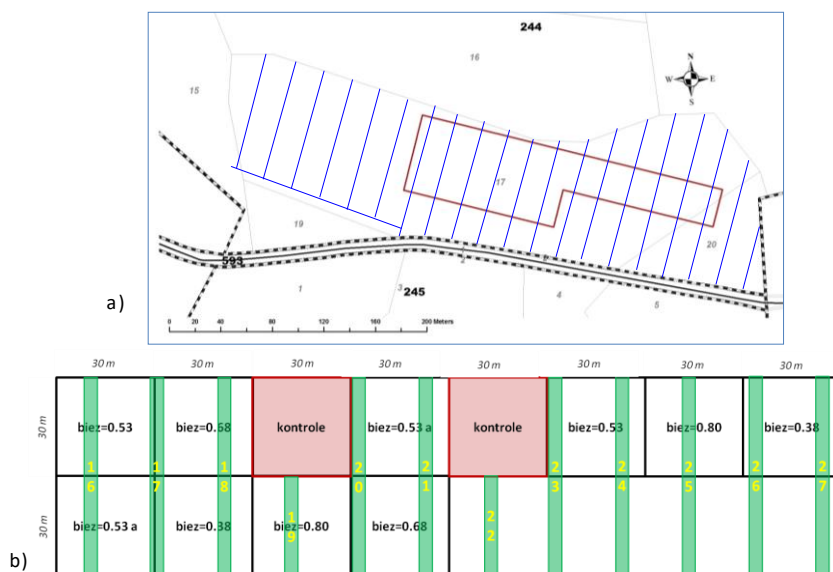
12. Kopšanas ciršu eksperimentālo parauglaukumu ierīkošana

No 8631 kopšanas ciršu nogabaliem sākotnēji atlasīti 2440 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 2440 nogabaliem atlasīti 740 nogabali, kam arī izveidotas kartes ar parauglaukumu izvietojumu nogabalā. Apsekojot dabā, vērtēts augšanas apstākļu viendabīgums, audzes sastāvs, biežība, reljefs, vēja bojājumi. Rezultātā no 740 nogabaliem kā derīgi atlasīti 224 nogabali. Dienvidkurzemē un Vidusdaugavā netika konstatētas pētījumam piemērotas zemo bonitāšu priežu audzes. Turklāt konstatēts, nevienmērīgs dažādu vecumgrupu bērzu un egļu audžu sadalījums pa mežsaimniecībām, 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).

Katrā objektā ierīkoti 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 (izņemot, vienā gadījumā 11 PL). Daļā gadījumu (11 objekti), ja sākotnēji paredzams, ka nevarēs ierīkot parauglaukumu ar atstājamo koku biežību 0.68 (pārsvārā zemo bonitāšu priežu audzēs), tad ierīkoti 10 parauglaukumi (izņemot, vienā gadījumā 8 PL), kur 0.68 biežības vietā ierīkoti papildus 0.53 un 0.53a (kopšana no augšas) biežības parauglaukumi. Parauglaukumu konfigurācijas un ciršanas intensitātes shēmas paraugs dots 12.1. attēlā.



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

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

Kopā ir ierīkoti 107 objekti (12.2. attēls). Latvijas rietumdaļā ierīkoti 51 objekti, austrumdaļā 56 objekti (12.3.attēls). Pavisam kopā uzmērīti 1145 parauglaukumi ar kopējo platību 103.05 hektāri, nodastoti 151404 koki, augstumi mērīti 12508 kokiem.

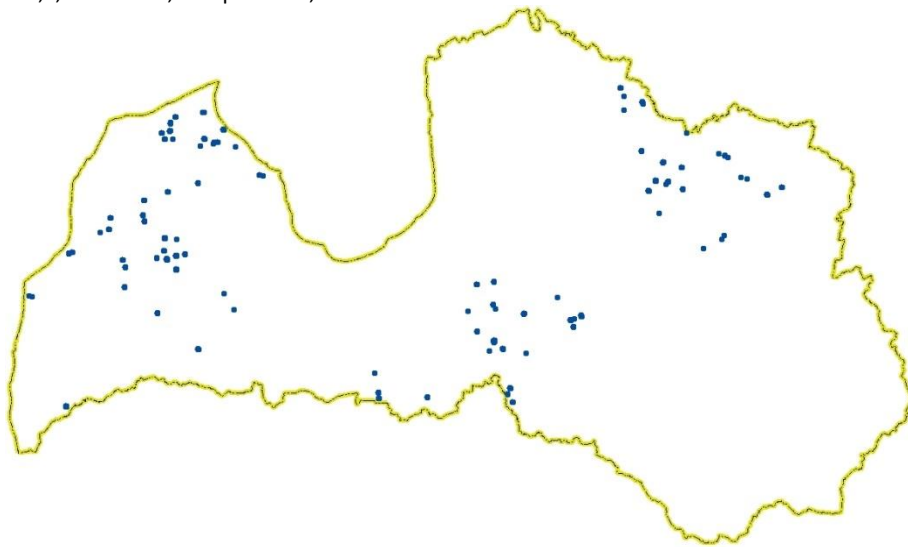
Rietumdaļa	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	6	9	8	23
P2		3	6	9
E	6	6	2	14
B		3	2	5
				51

Austrumdaļa	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	7	8	7	22
P2			4	4
E	6	6	4	16
B	6	4	4	14
				56

Kopā	21-30	31-50	51-70	kopā
P1	13	17	15	45
P2		3	10	13
E	12	12	6	30
B	6	7	6	19
				107

12.2. attēls. Ierīkoti objekti sadalījumā pa reģioniem un vecuma grupām.

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



12.3. attēls. Ierīkoto objektu teritoriālais izvietojums

Pilnībā aizpildīta matrica ir 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 (12.2. 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 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 biežība pirms ciršanas ir robežās no 0,61 līdz 1,26. Visi uzmērītie kopšanas ciršu parauglaukumi (izņemot vienu nenocirsto objektu) pārmērīti pēc mežizstrādes veikšanas. Sagatavotas parauglaukumu shēmas un raksturojošā informācija. Sanitāro ciršu gadījumā daļa objektu (12) apsekoti atkārtoti, pirms sanitārās cirtes veikšanas. 5 objektos sanitārās cirtes veiktas jau 2 reizes pēc krājas kopšanas cirtēm.

13. Kopšanas ciršu ietekmes modeļu izstrāde

KKC normatīvais ietvars

Atbilstoši Meža likuma definējumam:

Kopšanas cirte — cirtes veids mežaudzes sastāva un paliekošās mežaudzes koku augšanas apstākļu uzlabošanai.

Šī pētījuma ietvaros skatīta tikai kopšanas ciršu ietekme uz koku augšanas gaitu, t.i., koku spēju producēt stumbra biomasu, bet nav skatīta iespējamā kopšanas ciršu ietekme uz koku stumbra koksnes kvalitāti, vai ietekmi uz citiem meža ekosistēmu sniegtajiem pakalpojumiem, piem., bioloģisko daudzveidību, piemērotību rekreācijai, oglekļa piesaiste utt. Atbilstoši normatīvajiem aktiem, kopšanas cirti reglamentē sekojoši rādītāji – minimālais un kritiskais šķērslaukums, kā arī vecums (netieši) – galvenās cirtes vecumu sasniegušās audzēs kopšanas cirti vismaz formāli nevar veikt, tās vietā cirte nosauicama par izlases cirti, jo galvenā cirte — cirtes veids mežaudzes nociršanai vienā paņēmienā vai vairākos paņēmienos pēc galvenās cirtes vecuma vai galvenās cirtes caurmēra sasniegšanas. Normatīvos ir noteikts: kritiskais šķērslaukums — mežaudzes šķērslaukuma robežvērtība, par kuru mazākas vērtības gadījumā nav iespējama mežaudzes apmierinoša attīstība un mežaudze ir atjaunojama, kā arī minimālais šķērslaukums — mazākais mežaudzes šķērslaukums, kāds nepieciešams, lai būtu iespējama turpmāka produktīva mežaudzes attīstība. Kopšanas cirtes atstāj tūlītējas izmaiņas kokaudzes sugu sastāvā, dimensiju struktūrā (koku sadalījums pa caurmēra pakāpēm un augstuma grupām), kā arī vertikālajā un horizontālajā struktūrā (koku telpiskais izvietojums). Tās var ietekmēt arī kokaudzes veselības (fitosanitāro stāvokli) stāvokli, gan to uzlabojot, gan arī pazeminot.

P.Zālītis&J.Jansons (2009) (intensīvi koptas jaunaudzes) iesaka līdz 5 m augstuma sasniegšanai jaunaudzes retināt līdz 1500-2000 gab. ha⁻¹. Šādās audzēs līdz 20m vidējā augstuma sasniegšanai starpaudze vēl neveidojas. Mērķa audzēs (atbilstoši 1985.g. vadlīnijai) salīdzinājumā ar t.s. elitārajām audzēm galvenās cirtes brīdī priežu audzēs ir 50%, egļu tīraudzēs - 62% un bērzu tīraudzēs 59% no elitāro (laicīgi izretināto) audžu krājas. Audžu retināšana, kuru vidējais augstums pārsniedz 10 m, saistāma tikai ar ekonomisko situāciju – cik rentabla ir tievo koku izciršana.

LVM izstrādātās vadlīnijas

LVM izstrādātās vadlīnijas apkopotas “Kopšanas ciršu rokasgrāmatā”, 2008.

Krājas kopšanas cirtes modeļi veidoti atkarībā no valdaudzes (I-III Krafsta klase) vidējā augstuma m, minimālais šķērslaukums līdz kuram var izretināt audzi, kā arī vidējam augstumam atbilstošā šķērslaukuma, kuru pārsniedzot kopšanas cirte ir jāveic.

Izstrādāti 11 kopšanas ciršu modeļi P, E, mīkstajiem lapu kokiem tīraudzēm un mistraudzēm dažādās MT grupās.

LVM krājas kopšanas ciršu modeļi, pēc mūsu rīcībā esošās informācijas, balstīti uz Latvijai tuvu reģionu (Dienvidzvidrija, Krievijas rietumu apgabali) vajadzībām izstrādātiem modeļiem, kā arī empīrisko pieredzi, analizējot LVM iepriekšējās saimnieciskās darbības datus.

Salīdzinot šķērslaukumu pieaugumu indikatīvās vērtības LVM kopšanas ciršu rokas grāmatā (2008) un augšanas gaitas simulatora prognozētās vērtības, konstatēts, ka vienādojumi, kas izstrādāti uz MSI 3 ciklu datiem (2.nodaļa), koptajās audzēs neprognozē tik strauju šķērslaukuma uzkrāšanās tempu kā LVM izstrādātie modeļi. Pārbaudot 1. un 4. cikla (15 gadu) šķērslaukuma prognozes atsevišķi analizējot MSI parauglaukumus, kuros ir veikta kopšanas cirte, konstatēts, ka audzēs ar mazāku šķērslaukumu gan priedes, gan egles, gan bērzu audžu paraugkopā ir lielāka sistemātiskā kļūda, t.i., tiek prognozēts mazāks šķērslaukums nekā reāli konstatēts pārmērījumā. Tā kā pašreizējā pētījumu etapā nosacījums no pasūtītāja puses bija, ka vienādojumi nav maināmi, tad ņemot vērā 2.nodaļā konstatēto, kā pagaidu risinājumu ieteicams izvēlēties korekciju proporcionāli šķērslaukumam, pirms tam gan pārbaudot uz vismaz 2 gadu MSI parauglaukumu datiem, vai tā nav tikai nejaušība. Tālākajos pētījumos šķērslaukuma pieaugumā iekļaut arī kopšanas ciršu efektu uz šķērslaukuma papildus pieaugumu veidošanos.

Augšanas gaitas simulātors AGM, kurā apvienoti šī projekta ietvaros uz MSI 3 ciklu datiem izstrādātie ir detālāks, tādēļ simulāciju veikšanai nepieciešama arī informācija ne tikai par sākotnējo šķērslaukumu un Hg, bet arī par Dg, jo Dg pieaugums ir atkarīgs relatīvās biežības, kā arī kopšanas pakāpes un kopšanas veida.

Kopšanas cirtes veida un pakāpes (intensitātes) raksturošanai izmanto sekojošus rādītājus (von Gadow, Hui, 1999):

☐ Kopšanas cirte pakāpe pēc šķērslaukuma

$$rG = G_{izc}/G_{kop} \quad (13.1)$$

rG – kopšanas cirtes pakāpe pēc šķērslaukuma;

G_{izc} – izcirstais šķērslaukums, m²ha⁻¹;

G_{kop} – kopējais šķērslaukums, m²ha⁻¹.

✓ Kopšanas cirte pakāpe pēc skaita

$$rN = N_{izc}/N_{kop} \quad (13.2)$$

rN – kopšanas cirtes pakāpe pēc skaita;

G_{izc} – izcirstais šķērslaukums, m²ha⁻¹;

G_{kop} – kopējais šķērslaukums, m²ha⁻¹.

☐ Kopšanas cirtes tips

$$NG = (N_{izc}/N_{kop}) / (G_{izc}/G_{kop}) \quad (13.3)$$

ja neitrāla atlase, tad NG = 1.0; ja kopšana no apakšas, tad NG > 1.0; ja kopšana no augšanas, tad NG < 1.0;

Tā kā praksē kopšanas cirtes tipu parasti nosaka tikai konceptuāli - kopšana no apakšas, kopšana no augšanas vai kombinētā kopšana, jo kopšanas laikā tiek noteikti arī koku izveles kvalitatīvie rādītāji, bet no normatīvu viedokļa ir svarīgi, lai nebūtu pārkāpta G_{min} vērtība, tad iepriekšējā aprēķinu modelī paredzēja, ka kopšanas cirtes tips nemainās un visos gadījumos tas ir 1.15, t.i., augšanas gaitas simulatora prototipā iestrādāta attiecība, ka kopšanas ciršu rezultātā izcirsto koku šķērslaukuma un izcirsto koku skaita īpatsvaru attiecība (NG=1.15). Lai prognožu modeli varētu pilnveidot, ierīkoto parauglaukumu dati ļauj pārlicināties par šī pieņēmuma pareizību. Tāpat modelī vienkāršības labad tika pieņemts, ka visas sastāvā esošās koku sugas tiek cirstas proporcionāli to krājai, kas ne vienmēr atbilst praksē veiktajam.

Šeit būtu jāatgādina, ka pētījuma mērķis ir noskaidrot dažāda vecuma priedes, egles un bērza tīraudžu turpmāko augšanas gaitu pēc dažādas pakāpes kopšanas cirtēm.

Šajā pētījumu stadijā ir veikti tikai iekārtoto parauglaukumu pārmērījumi, tūlīt pēc kopšanas cirtes veikšanas, tādēļ definēts, ka jānoskaidro kopšanas ciršu tūlītēja ietekme uz kokaudzes struktūras izmaiņām:

- 1) NG atkarībā no izvēlētajā saglabājamās relatīvās biežības
- 2) Dg izmaiņas pēc cirtes atkarībā no cirtes pakāpes un saglabātās relatīvās biežības.

Materiāls un metodika

Izmantoti dati par šī pētījuma ietvaros ierīkotajiem parauglaukumiem 107 pētījumu objektos, kuros iekārtoti 1145 parauglaukumi un uzmērīti 151 460 koki. Atkarībā no sākotnējās biežības katrā objektā veiktas kopšanas cirtes samazinot paliekošās audzes biežību līdz ~0.38, 0.53, 0.53 (kopšana no augšanas), 0.68, un 0.8 skat tabula.

13.1. tabula

Parauglaukumu skaits pa valdošajām sugām un saglabāto (nominālo) biežību pēc kopšanas cirtes

Vald.suga	Biezība pēc cirtes						Kopā
	0.38	0.53	0.68	0.8	0.53a	kontr	
Priede	118	127	95	35	129	116	620
Egle	60	61	60	31	59	60	331
Bērzs	36	37	35	2	38	46	194
Kopā	214	225	190	68	226	222	1145

Lai noskaidrotu kopšanas cirtes pakāpes ietekmi uz palikušās kokaudzes taksācijas rādītājiem, katram parauglaukumam aprēķināts: biežība (pēc normatīva), kā faktiskā un normālajam šķērslaukuma attiecību. NG izmaiņas aprēķinātas atbilstoši parauglaukumos pārmērītajiem lielumiem.

Tāpat katram parauglaukumam aprēķināta I stāva koku Dg pirms cirtes un Dg pēc cirtes. Datu sākotnējam izvērtējumam izveidotas datu matricas.

Rezultāti

NG izmaiņas pēc kopšanas cirtes

Izvērtējot to kā mainās NG vērtības atkarībā no cirtes pakāpes (t.i. cik daudz no sākotnējā šķērslaukuma izcirsts izsakot to kā biežības starpību pirms un pēc cirtes un koku vecumu cirtes brīdī (skat. 13.2. tabulu), redzams, ka visām 3 sugām vērojama tendence, jo relatīvi vairāk tiek izcirsts, jo mazāks ir mazāko koku īpatsvars izcirstajā daļā, t.i., kopšana tiešām tiek veikta no "apakšas". Šajā analizē (datu kopā) netika iekļauti parauglaukumi, kurus bija plānots kopt "no augšas". Izvērtējot pēdējos atsevišķi, konstatēts, ka kopjot no "augšas" lielākajā daļā gadījuma NG vērtība bija robežās no 0.9-1.0, kas drīzāk norāda uz neitrālu I stāva koku kopšanu. To visdrīzāk ietekmē tehniskā iespēja piekļūt lielākajiem kokiem I Krafta klases kokiem, saglabājot III Krafta klases kokus.

13.2.tabula

NG vērtības atkarībā no biežības pirms cirtes un biežības pēc cirtes dažāda vecuma audzēs

Average of NG	Biezības starpība starp sākotnējo un paliekošo audzes daļu										Vidēji
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
Vecumdesmitgade											
Priede	1.52	1.44	1.40	1.33	1.26	1.25	1.25	1.19	1.12		1.35
20	1.20	1.31	1.33	1.19	1.20		1.08				1.22
30	1.11	1.33	1.34	1.29	1.24	1.26	1.28	1.23			1.30
40	1.76	1.55	1.42	1.31	1.33	1.25	1.17	1.15	1.12		1.39
50		1.55	1.50	1.39	1.31	1.40	1.28	1.21			1.42
60		1.43	1.40	1.39	1.27	1.28	1.28				1.36
70		1.40	1.39	1.29	1.19	1.18					1.32
Egle		1.43	1.37	1.35	1.30	1.25	1.23	1.21	1.17	1.13	1.29
20			1.21	1.19	1.18	1.13					1.18
30			1.66	1.39	1.33	1.25	1.21	1.19	1.14	1.17	1.28
40			1.50	1.33	1.20	1.29	1.34	1.25	1.28	1.15	1.28
50		1.48	1.32	1.38	1.30	1.29	1.25	1.22	1.14		1.33
60		1.26	1.39	1.26		1.17	1.16			1.06	1.24
Bērzs		1.38	1.32	1.32	1.28	1.28	1.21	1.22	1.27		1.29
20		1.29	1.19	1.31	1.25	1.24	1.16				1.25
30		1.20	1.33	1.24	1.22	1.23		1.19			1.24
40		1.54	1.80	1.52	1.31	1.47	1.29	1.24	1.27		1.38
50		1.14	1.40	1.30	1.31	1.27					1.31
60		1.67	1.28	1.26	1.23		1.19	1.21			1.28
Grand Total	1.52	1.43	1.39	1.33	1.28	1.26	1.23	1.21	1.17	1.13	1.32

Secinājums ir, ka pieņēmums modelī par NG 1.15 ir kļūdains. Kopšanas cirtēs tīraudzēs dominē kopšana no apakšas. Tas gan, iespējams, ir saistīts ar faktu, ka pievešanas ceļi daļā no pētījumu objektiem jau bija izveidoti pirms eksperimentālās kopšanas, t.i., iepriekšējo kopšanu laikā. Tādēļ nākotnē šo aspektu vajadzētu izvērtēt atsevišķi.

Dg izmaiņas pēc kopšanas cirtes

Izvērtējot datu kopu, kurā iekļauti tie parauglaukumi, kuros veikta kopšana no apakšas, visām 3 sugām konstatēts, ka palielinoties kopšanas cirtes pakāpei, pieaug paliekošo koku Dg salīdzinot ar Dg pirms kopšanas, pie tam absolūtās vienībās šī atšķirība ir lielā vecākās audzēs.

13.3.tabula

Dg starpība pirms cirtes un pēc cirtes atkarībā no biežības pirms cirtes un biežības pēc cirtes dažāda vecuma audzēs

Biezības starpība starp sākotnējo un paliekošo audzes daļu											
Vecumdesmitgade	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	Vidēji
Priede	0.31	0.76	1.29	1.80	2.14	2.75	3.40	2.82	2.72		1.63
20	0.08	0.36	0.78	1.05	1.35		1.16				0.95
30	0.07	0.42	0.97	1.41	1.81	2.42	3.54	4.27			1.33

40	0.48	0.79	1.20	1.51	2.09	2.72	3.29	1.94	2.72		1.45
50		0.97	1.67	2.16	2.46	2.51	3.75	3.41			1.97
60		0.73	1.26	1.78	2.27	2.98	4.17				1.79
70		0.95	1.49	2.17	2.05	3.09					1.76
Egle		0.90	1.07	1.51	1.85	2.01	2.70	3.21	2.83	3.21	1.95
20			0.55	0.83	1.51	1.41					1.02
30			0.99	1.26	1.59	1.83	2.31	2.62	2.52	3.73	1.90
40			1.32	1.35	1.78	2.67	3.75	3.85	3.66	3.93	2.68
50		1.01	1.15	1.79	2.29	2.21	3.30	3.97	3.62		2.01
60		0.54	1.27	1.49		2.36	2.46			1.96	1.66
Bērzs		0.59	1.02	1.39	1.98	2.90	2.75	3.10	5.32		1.83
20		0.33	0.43	1.22	1.39	2.74	1.49				1.25
30		0.36	0.92	0.99	1.38	2.09		1.44			1.30
40		0.76	1.27	2.21	2.36	4.48	3.20	4.00	5.32		2.77
50		0.24	1.54	1.48	2.27	3.43					1.96
60		1.14	1.12	1.41	1.83		3.15	2.85			1.72

Faktiski dati parāda, jo lielāka ir cirtes pakāpe, jo lielāki Dg pirms un Dg pēc starpība.

Taču šeit vēlreiz jāatgādina, ka daļa objektu pievešanas ceļi jau bija izveidoti pirms eksperimentālās kopšanas cirtes.

Secinājumi un Rekomendācijas

1. Balstoties uz meža statistiskās inventarizācijas parauglaukumu datiem izstrādāti augšanas gaitas modeļi meža elementu augšanas gaitas prognozēšanai. Izvērtējot, ar vienādojumiem prognozēto un reāli pēc 15 gadiem uzņēmīto konstatēts, ka kopumā sistemātiskas atšķirības D,H, G prognozēs nav, tomēr koptajās audzēs G pieaugums tiek prognozēts piesardzīgāk nekā dabā konstatēts pārmērīgumā. Tomēr ņemot vērā, ka pārbaude veikta uz viena gada mērījumu datiem, pašreizējā posmā ieviest kalibrācijas/korekcijas koeficientus nerekomendējam.
2. Izstrādāts, kurās nav konstatēta saimnieciskā darbība, audžu mediānā šķērslaukuma stāvokli raksturojošs vienādojums dažādām valdošajām sugām un augstuma grupām. Atbilstošo vienādojumu rekomendējam izmantot neapsaimniekotu modelēšanai, kas ļautu daļēji ietvert dabiskos traucējumu izraisītu atmiršanu šādās audzēs.
3. Izstrādāts detalizēts augšanas gaitas vienādojumu sistēmas apraksts, kuru rekomendējam izmantot sistēmu testēšanā.
4. Izstrādāti vienkāršoti individuālu koku augšanas gaitas modeļi, kuri nākotnē potenciāli izmantojami, ja LVM savu plānošanas sistēmu pārveido uz tādu, kurā tiek modelēta atsevišķu koku augšana.
5. Izstrādātas sistēmas LGIA LiDAR datu izmantošanai tīraudžu vidējā augstuma rādītāju aprēķiniem un precizēšanai, ņemot vērā LiDAR datu mērījumu sezonu. Papildus tam izstrādāts vienādojumi tīraudžu augstuma aktualizācijai reģionos, ņemot vērā LiDAR ieguves gadu.
6. Pagarināta datu rinda par meža audžu attīstību pēc grupu un vienlaidus pakāpeniskajām cirtēm. Kopumā var secināt, ka pasākumu kopums – savlaicīgas vairākkārtējas agrotehniskās un sastāva kopšanas cirtes un savlaicīgs otrais cirtes paņēmiens, ir veids kā veicināt sekmīgu priedes dabisko atjaunošanos, cērtot grupu pakāpeniskās cirtes. Ieteicams arī veikt palikušās audzes daļas izretināšanu jau pirmajā cirtes paņēmiņā. Savukārt, ja pirmajos gados pēc grupu cirtes pirmā paņēmiena lāna meža tipā nav veiktas atkārtotas agrotehniskās un sastāva kopšanas, un, pat ja ir veikts grupu cirtes otrais paņēmiens 12 gadus pēc pirmā paņēmiena ar tam sekojošām sastāva kopšanas cirtēm, nav konstatēta sekmīga atjaunošanās ar priedi.
7. Iekārtota jauna kopšanas ciršu parauglaukumu sērija, kas ļaus iegūt informāciju par kopšanas ciršu efektu uz koku augšanas gaita mūsdienu mainīgajos klimatiskajos apstākļos, izmantojot dažādas intensitātes kopšanas cirtes.

Literatūra

- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- 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., Zariņš J. (2018). Augšanas gaitas modeļu pilnveidošana. Pētījumu projekta pārskats. 61 lpp.: Pieejams https://www.lvm.lv/images/lvm/Petijumi_un_publicijas/Petijumi/starpatskaite-2018.pdf
- Liepa I. Pieauguma mācība. Jelgava: LLU, 1996. 124 lpp.
- 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 (приложению). Тарту. ст. 172.

Pielikums 1. Vienādojumu atbilstības izvērtēšanas statistiskie rādītāji

Vidējā novirze (Mean Residual)

$$MRES = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad (21)$$

Procentuālā vidējā novirze (Mean Residual as %)

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

Vidējā absolūtā novirze (Absolute Mean residual)

$$AMRES = \frac{\sum|y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad (23)$$

Standartnovirze (Root mean square error)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 1 - p}} \quad (24)$$

Variācijas koeficients (Root mean square error as %)

$$RMSE\% = \sqrt{\frac{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 1 - p}}{\bar{y}_i}} 100 \quad (25)$$

Vidējā kvadrātiskā kļūda (Mean square error)

$$MSE = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p} \quad (26)$$

Modeļa efektivitāte (Model efficiency)

$$MEF = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (27)$$

Dispersijas attiecība (Variance ratio)

$$VR = \frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{\hat{y}}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (28)$$

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