



PĀRSKATS
PAR PĒTĪJUMA 2023. GADA REZULTĀTIEM

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: **Klimata pārmaiņu ietekme uz mežsaimniecību
un tās riskiem**

LĪGUMA NR. 5-5.9.1_007p_101_21_78

PĒTĪJUMA ZINĀTNISKAIS VADĪTĀJS:

Āris Jansons, LVMI Silava vadošais pētnieks

PĒTĪJUMS ĪSTENOTS AKCIJU SABIEDRĪBAS ‘LATVIJAS VALSTS MEŽI’ UN LATVIJAS VALSTS
MEŽZINĀTNES INSTITŪTA ‘SILAVA’ 2021. GADA 13. SEPTEMBRA SADARBĪBAS LĪGUMA IETVAROS

Salaspils, 2023

Kopsavilkums

Pētījuma trešā etapa sākuma posmā īstenoti visi plānotie darbi piecās aktivitātēs.

1. Zināšanu uzkrāšana par Latvijā reti sastopamu vietējo un introducēto koku sugu atjaunošanu un audzēšanu.

Veikta plānotā 10 iepriekš ierīkoto liepu jaunaudzju kopšanas objektu pārmērīšana. Veikta iepriekš ierīkoto 23 pētījamo objektu uzturēšana, kā arī papildus plānotajam veikta viena jauna dižskābarža stādījuma papildināšana un uzmērīšana un viena stādījuma ierīkošana. Veikta pārmērīšana visos plānotajos liepu ilgtermiņa pētījumu objektos un 2 papildus objektos.

2. Vētru un uguns bojājumu ietekme un tās izmaiņas nākotnes klimatā.

Nodrošināts ziņojums konferencē “Wind & Trees” un veikti aprēķini, un sagatavoti plānoto publikāciju manuskripti. Veikti sniega segas un augsnes temperatūras mērījumi iepriekšējā etapā ierīkotajās transektēs un sagatavota papildināta metodika, pēc kuras veikti mērījumi šī etapa noslēgumā. Ievākti koku mehāniskās stabilitātes dati no audzēm, kur augsne sagatavota vagās. Pārmērīti parauglaukumi ugunsgrēku ilgtermiņa ietekmes uz izdzīvojušo koku radiālo pieaugumu raksturošanai (8 objekti) un veikta to datu analīze.

3. Biotisko faktoru ietekmes pārmaiņas nākotnes klimatā.

Veikti visi plānotie darbi astoņzobu mizgrauža (*Ips typographus*) izlidošanas laika monitoringā, kā arī šī dendrofāga skarto 211 audžu kartēšana ar multispektrālo kameru, 172 audžu novērtēšana transektēs un saistītie aprēķini. Nodrošināts egļu astoņzobu mizgrauža izlidošanas sākumu monitorings un sagatavotas rekomendācijas dendrofāgu radīto bojājumu mazināšanai.

4. Koku augšanas gaitas izmaiņas nākotnes klimatā.

Sagatavots literatūras apskats par klimata komponentēm augstuma pieauguma modeļiem, apkopoti dati un veikta to aprēķināšana priedēm. Izstrādāta metodika un analizēta klimata ekstrēmu ietekme uz priežu pieaugumu. Sagatavota un iesniegta publikācija.

5. Modeļteritorija kompleksiem ilgtermiņa novērojumiem par mežkopības ietekmi uz meža un ar to saistītajām ekosistēmām platībās ar auglīgām kūdras augsnēm.

Veiktas veģetācijas un siltumnīcefekta gāzu emisiju izmaiņu analīzes modeļteritorijā. Veiktas daļējas gruntsūdens līmeņa izmaiņu ietekmes analīzes uz pieaugumu. Veikta 3 papildus transektu ierīkošana augsnes temperatūras analīzēm, kā arī regulāra datu ievākšana (gruntsūdens, mitrums, temperatūra) iepriekš ierīkotajās transektēs.

Summary

All planned activities in five themes of the project have been carried out and the results of this research stage has been achieved.

1. Increasing the knowledge on regeneration and growth of rare and introduced tree species in Latvia.

The planned re-measurement of the 10 thinning experiments in young linden stands was carried out. The maintenance of the previously established 23 research sites was carried out, as well as additional inventory of one new beech plantation and establishment of one plantation. Re-measurement was carried out in all planned linden long-term research sites and in two additional sites.

2. Effect of windstorms and forest fire and its changes in the predicted climate.

Report at the Wind & Trees conference was ensured, and calculations were carried out, manuscripts of all planned publications were prepared. Measurements of snow cover and soil temperature were carried out in the transects established in the previous stage of the project, and modifications of methodology for the measurements for this season done accordingly and implemented. Tree stability data were collected from stands where the soil was prepared in furrows (17 trees). Plots characterizing the long-term effects of fires on radial growth of surviving trees (8 sites) were measured and analyzed.

3. Changes in biotic factors due to climate change.

All the planned works in spring monitoring of the spruce bark beetle (*Ips typographus*) were carried out, as well as the mapping of 211 stands affected by this dendrophagous insect were inventoried with a multispectral camera and 172 stands manually in transects; data was analyzed. Monitoring of the spring activity of spruce bark beetle continued and recommendations to reduce the risks of dendrophagous insects in managed forests were prepared.

4. Effect of climate change on increment of trees.

A literature review was prepared on climate components for height growth models, data were collected and calculations were carried out for pine. A methodology has been developed and the influence of climate extremes on the growth of pines has been analyzed. Results summarized in a submitted publication.

5. Case study area on organic soils for complex, long-term, large-scale assessment of influence of forest management measures on forest and related ecosystems.

Ground vegetation and greenhouse gas emission analysis was carried out in case study territory. Preliminary analysis on effect of partial changes of groundwater level on increment of spruce was carried out. Periodic monitoring was carried out in established transects for groundwater measurements and three additional transect were established.

Saturs

Kopsavilkums	2
Summary	3
Attēlu saraksts	5
Tabulu saraksts	8
1. Zināšanu uzkrāšana par Latvijā reti sastopamu vietējo un introducēto koku sugu atjaunošanu un audzēšanu	9
1.1. Dižskābarža, sarkanā ozola, liepas un kļavas objektu uzmērīšana	9
1.2. Ierīkoto dižskābarža, sarkanā ozola, hibrīdās lapegles stādījumu un kopšanas objektu uzturēšana, uzmērīšana	11
1.3. Platlapju piemistrojuma audzēšanas iespēju novērtējums	12
2. Vētru un uguns bojājumu ietekme un tās izmaiņas nākotnes klimatā	14
2.1. Vēja noturību raksturojošie koeficienti modeļa pielāgošanai vēja bojājumu vērtēšanai Latvijā un rekomendācijas vēja bojājumu mazināšanai.	16
2.2. Vēja bojājumu varbūtības izmaiņas, mainoties audzes vecumam	19
2.3. bojājumu varbūtības raksturojums nekailciršu mežsaimniecībā.	21
2.4. Modeļi augsnes sasuluma novērtējumam mežaudzēs atkarībā no gaisa temperatūras un audzes parametriem.	23
2.7. Selekcijas un atjaunošanas ietekme uz vēja bojājumu varbūtību	27
2.8. Precizēti ugunsbīstamības izmaiņu un ugunsgrēku seku modeļi	30
3. Biotisko faktoru ietekmes pārmaiņas nākotnes klimatā.	36
3.1. Dendrofāgo kukaiņu (kaitēkļu) masveida savairošanās draudu raksturojums: tīklapsenes savairošanās pilna cikla telpiskās dinamikas apkopojums	36
3.2. Klimata pārmaiņu ietekmes uz egļu astoņzobu mizgrauzi novērtējums. Egļu astoņzobu mizgrauža lidošanas sākuma monitorings	43
3.4. Krājas kopšanas egļu audzēs ietekme uz egļu astoņzobu mizgrauža invāziju atkarībā no audžu struktūras un izstrādes laika.	45
3.5. Izstrādāta videi draudzīga meža aizsardzības stratēģija meža kaitēkļu ierobežošanai: empīriskie dati un apkopojums (rekomendācijas)	56
4. Koku augšanas gaitas izmaiņas nākotnes klimatā	59
4.1. Klimata komponentes augstuma pieauguma modeļiem	59
4.2. Meteoroloģisko apstākļu ekstrēmu ietekme uz koku pieaugumu un jutības ģenētiskā kontrole	68
5. Modeļteritorija kompleksiem ilgtermiņa novērojumiem par mežkopības ietekmi uz meža un ar to saistītajām ekosistēmām platībās ar auglīgām kūdras augsnēm	80
5.1. Meliorācijas sistēmu renovācijas ietekmes uz augsnes mitruma režīma izmaiņām detalizēts novērtējums	80
5.2. Sagatavot liela mēroga saimnieciskās darbības ietekmes uz mežu ar meliorētām augsnēm ekosistēmu raksturojumu	81
5.3. Meža masīva mēroga SEG gāzu apmaiņas raksturojums.	86
5.5. Sagatavots koku pieauguma dinamikas un to ietekmējošo faktoru raksturojums.	91
Kopsavilkums par 2023. gada darba uzdevumiem un to izpildi	94

Attēlu saraksts

- 1.1. attēls. Virsmaugstuma augšanas gaitas prognožu modeļi (melns punktētas līnijas) balstīti uz parastās liepas un kļavas koku pārmērījumiem (pelēkas līnijas, katra līnija apzīmē vienu koku); modeļu prognozes dotas pieauguma līknēm ar 4 m intervālu 100 gadu vecumā.
- 1.2. attēls. Ilglaicīgie pētījumu objekti liepu audzēs
 - 2.1. attēls. Konceptuālā mežaudžu vēja noturības novērtēšanas shēma
 - 2.2. attēls. Lieces moments stumbra pamatnē, kas attiecināts pret koka izmēru (stumbra koksnes tilpumu, kNm m^{-3}) testētajām koku sugām pa augsnes veidiem.
 - 2.3. attēls. Lieces moments stumbra pamatnē, kas attiecināts pret koka izmēru (stumbra koksnes tilpumu, kNm m^{-3}) parastās priedes paraugkokiem audzēs uz minerālaugsnēm Lielbritānijā, Vācijā, Somijā un Latvijā (arī kūdreņos).
 - 2.4. attēls. Vēsturiskā sanitāro izlases ciršu varbūtība egļu audzēs un aproksimēto vienādojumu prognozētā vērtība
 - 2.5. attēls. Sniega segas mērījumu skaits Vidzemē un Zemgalē 2022./2023. novērojumu sezonā.
 - 2.6. attēls. Nogabali MPS Jelgavas MN, kuros ierīkoti sniega segas novērojumu parauglaukumi 2023.-2024. gada sezonā.
 - 2.7. attēls. Nogabali MPS Taurenes MN, kuros ierīkoti sniega segas novērojumu parauglaukumi 2023.-2024. gada sezonā.
 - 2.8. attēls. Mērlatu izvietojums attiecībā pret paraugkoku.
 - 2.9. attēls. Parastās priedes (*Pinus sylvestris* L.) paraugkoku maksimālie lieces momenti stumbra pamatnē (BBM_{MAX}) atkarībā no augsnes sagatavošanas veida (pacilas, vagas, nesagatavota augsne (kontrolē)).
 - 2.10. attēls. Ugunsgrēka skartie koki pētījuma parauglaukumos.
 - 2.11. attēls. Vidējo gadskārtu platuma izmaiņas 28 gadu laika periodā (10 gadus pirms deguma un 18 gadus pēc deguma) pētāmajos objektos vecuma grupā 50-75 gadi.
 - 2.12. attēls. Vidējo gadskārtu platuma izmaiņas 28 gadu laika periodā (10 gadus pirms deguma un 16 gadus pēc deguma) pētāmajos objektos vecuma grupā 95-105 gadi.
 - 2.13. attēls. Vidējo gadskārtu platuma izmaiņas 15 gadu laika periodā (10 gadus pirms deguma un 15 gadus pēc deguma) sadalījumā pa maksimālajiem apdeguma augstumiem vecuma grupā 50-75 gadi.
 - 2.14. attēls. Vidējo gadskārtu platuma izmaiņas 15 gadu laika periodā (10 gadus pirms deguma un 15 gadus pēc deguma) sadalījumā pa maksimālajiem apdeguma augstumiem vecuma grupā 95-105 gadi.
 - 2.15. attēls. Caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums 5, 10 un 15 gadus pēc deguma atkarībā no koku maksimālā apdeguma augstuma (ar standartkļūdu) vecuma grupās 50-75 gadi un 95-105 gadi.
 - 2.16. attēls. Koku tilpuma kumulatīvais papildus pieaugums 5, 10 un 15 gadus pēc deguma atkarībā no koku maksimālā apdeguma augstuma (ar standartkļūdu) vecuma grupās 50-75 gadi un 95-105 gadi.
- 3.1. attēls. Priežu audžu tīklapsenes un tai piesaistīto parazitoīdu diapauzes ilgums.
- 3.2. attēls. Priežu audžu tīklapsenes kāpuru daudzums uz 1 m² 2023. (A) un 2022. (B) gada rudenī.
- 3.3. attēls. Priežu audžu tīklapsenes kāpuru daudzuma uz 1 m² izmaiņas laikā no 2015. gadam līdz 2021. gadam.
- 3.4. attēls. Priežu audžu tīklapsenes izraisītās defoliācijas izmaiņas laikā no 2015. gada līdz 2021. gadam.
- 3.5. attēls. Priežu defoliācija *A. posticalis* savairošanās reģionā 2023. (A) un 2022. gada (B) rudenī.
- 3.6. attēls. Priežu audžu tīklapsenes pronimfu proporcija pavasarī laikā no 2013. gada līdz 2024. gadam.

- 3.7. attēls. Priežu audžu tīklapsenes savairošanās bojāto audžu (defoliācija lielāka par 50%) platību izmaiņas rudenī laikā no 2015. gada līdz 2023. gadam sadalījumā pa defoliācijas intensitātes klasēm
- 3.8. attēls. Priežu audžu tīklapsenes savairošanās skarto audžu platību izmaiņas rudenī laikā no 2015. gada līdz 2023. gadam sadalījumā pēc ziemojošo kāpuru daudzuma uz 1 m².
- 3.9. attēls. Egļu astoņzobu mizgrauža izlidošanas sākuma monitoringa reģioni.
- 3.10. attēls. Maksimālā diennakts temperatūra un *I. typographus* lidošanas sākums.
- 3.11. attēls. Pirmās vaboles izlidošanas datums (vidēji no 5 parauglaukumiem)
- 3.12. attēls. Sakarība starp Egļu astoņzobu mizgrauža lidošanas sākumu un kopējo vidēji vienā slazdā noķerto vaboļu daudzumu sezonā
- 3.13. attēls. Apsekoto LVM krājas kopšanas ciršu egļu audzēs parauglaukumu izvietojums.
- 3.14. attēls. Multispektrālās kameras veidotā attēla, koku skaita novērtējuma (punkti) un bojāto egļu uzskaites piemērs.
- 3.15. attēls. Egļu astoņzobu mizgraužu bojāto egļu daudzuma (%) sadalījums krājas kopšanas ciršu nogabalos.
- 3.16. attēls. Citu koku sugu piemestrojuma ietekme uz egļu astoņzobu mizgrauža bojājuma risku pēc krājas kopšanas cirtēm pavasara-vasaras sezonā.
- 3.17. attēls. *I. typographus* bojājumu risku ietekmējošie faktori krājas kopšanas cirtēs egļu audzēs.
- 3.18. attēls. Izstrādes laika un meža tipa ietekme uz egļu astoņzobu mizgrauža bojājuma risku pēc krājas kopšanas cirtēm pavasara-vasaras sezonā (izstrādes laiks 4-8 ir aprīlis-augusts).
- 3.19. attēls. Izstrādes laika un nogabala platības (ha) ietekme uz egļu astoņzobu mizgrauža bojājuma risku pēc krājas kopšanas cirtēm pavasara-vasaras sezonā (izstrādes laiks 4-8 ir aprīlis-augusts).
- 3.22. attēls. Egļu astoņzobu mizgrauža kaitējums egļu audzēs pēc krājas kopšanas cirtes pavasara-vasaras sezonā un nākamajā gadā.
- 3.23. attēls. Sakarība starp mizgraužu bojāto egļu proporciju nogabalā 2022. gadā un mizgraužu bojāto egļu proporciju 2023. gadā pēc krājas kopšanas cirtēm 2022. gada pavasarī - vasarā.
- 3.24. attēls. Sakarība starp kopšanas cirtes izstrādes laiku 2022. gadā un mizgraužu bojāto egļu proporciju 2023. gadā.
- 3.25. attēls. Sakarība starp egļu vecumu un kopšanas cirtes ietekmi uz mizgraužu invāzijas risku izstrādes gadā.
- 3.26. attēls. Sakarība starp kopšanas cirtes izstrādes laiku un mizgraužu bojāto egļu proporciju izstrādes gadā.
- 3.27. attēls. Sakarība starp kopšanas cirtes izstrādes laiku un mizgraužu bojāto egļu proporciju izstrādes gadā dažāda vecuma egļu audzēs.
- 4.1. attēls. Priedes augstuma pieauguma ikgadējā mainība audzēs Latvija, Igaunijā un Somijā.
- 4.2. attēls. Pīrsona korelācijas koeficienti starp priedes augstuma pieauguma ikgadējo mainību un mēnešu meteoroloģiskajiem apstākļiem (temperatūru, nokrišņiem, mākoņainumu un sausuma indeksu SPEI) references periodā no 1955. līdz 2003. gadam audzēs Latvijā, Igaunijā un Somijā.
- 4.3. attēls. Reģionālās priedes augstuma pieauguma atbildes reakcijas uz meteoroloģiskajiem apstākļiem references periodā no 1955. līdz 2003. gadam.
- 4.4. attēls. Identificētie zīmīgie gadi parastās priedes provenienču stādījumos (zilie stabiņi) un pētīto provenienču vidējās relatīvas gadskārtu platuma izmaiņas (šaurie melnbaltie stabiņi) kā arī iedzimstamības (H2, vienlaidus līnija) un provenienču variācijas koeficients (CVP, raustītā līnija) relatīvajām gadskārtu platuma izmaiņām (parādītas uz sekundārās y ass).
- 5.1. attēls. Topošā Klimata gudrās mežsaimniecības atvērtā laboratorija ar Eddy-Covariance sensoru torni.

- 5.2. attēls. Otrās vecumklases bērzu un egļu mežaudzes kūdreņos gruntsūdens un augsnes mitruma novērojumu transektu ierīkošanai Meža pētīšanas stacijas Kalsnavas meža novadā.
- 5.3. attēls. Pētīto mežaudžu izvietojums.
- 5.4. attēls. Parauglaukumos kopumā konstatētais sugu skaits atkarībā no veģetācijas stāva un audzes veida.
- 5.5. attēls. Sugu (A) un parauglaukumu (B) DCA ordinācijas rezultāti.
- 5.6. attēls. Augsnes kopējās CO₂ emisijas mērījumu sezonā.
- 5.7. attēls. Augsnes kopējās CH₄ emisijas mērījumu sezonā
- 5.8. attēls. Sīko sakņu biomasas proporcionālais sadalījums (%) pa funkcionālajām grupām
- 5.9. attēls. Vidējais parauga svars analizētajām funkcionālajām grupām dažādos paraugošanas dziļumos
- 5.10. attēls. Daļējas ūdens plūsmas bloķēšanas ietekmēto egļu augšanas dinamika (A – eglēm, kas auga 0-10m attālumā no grāvja; B – eglēm, kas auga \geq 10m attālumā no grāvja).
- 5.11. attēls. Kontroles egļu augšanas dinamika (A – eglēm, kas auga 0-10m attālumā no grāvja; B – eglēm, kas auga \geq 10m attālumā no grāvja).

Tabulu saraksts

- 1.1. tabula. Parauglaukumi ar dažādu biežumu pēc jaunaudzju kopšanas liepu jaunaudzēs
- 1.2. tabula. Izstrādāto modeļu aproksimētās koeficientu vērtības
- 1.3. tabula. Ilglaicīgo pētījumu objektu taksācijas rādītāji
- 2.1. tabula. Koku statistiskās vilkšanas testos pārbaudītās salīdzināmās paraugkopas.
- 2.2. tabula. Vispārinātu lineāru jauktu efektu modeļu dispersijas (χ^2) koku statistiskās vilkšanas testos un vējgāzēs izgāzto bērza, priedes un egles paraugkoku augsnes-sakņu plātnes platuma (ASP_{PI}) un dziļuma (ASP_{DZ}) attiecībām pret stumbra caurmēru 1.3 m augstumā no sakņu kakla (DBH), kopējo augstumu (H) un stumbra tilpumu (V).
- 2.3. tabula. Vienādojumu koeficienti sanitārās izlases cirtes varbūtības nākamo piecu gadu laikā prognozēšanai egļu audzēs
- 2.4. tabula. Vispārinātu lineāru jauktu efektu modeļu dispersijas (χ^2) parastās priedes (*Pinus sylvestris* L.) paraugkoku maksimālajiem lieces momentiem stumbra pamatnē (BBM_{MAX}) atkarībā no augsnes sagatavošanas veida (pacilas, vagas, nesagatavota augsne (kontrolē)).
- 2.5. tabula. 2023. gadā pārmērītie pētījuma objekti.
- 2.6. tabula. Pētāmo objektu vecuma grupā 50-75 gadi pirmā stāva taksācijas rādītāji pēc deguma (deguma gadā vai līdz diviem gadiem pēc deguma) un 17 vai 19 gadus pēc deguma.
- 2.7. tabula. Pētāmo objektu vecuma grupā 95-105 gadi pirmā stāva taksācijas rādītāji vienu gadu pēc deguma un 17 gadus pēc deguma.
- 2.8. tabula. Aprēķiniem izmantoto koku skaits un caurmērs degšanas gadā sadalījumā pa maksimālajiem apdeguma augstumiem un vecuma grupām.
- 3.1. tabula. Retināšanas (krājas kopšanas ciršu) pavasarī-vasarā ietekme uz *I.typographus* bojājuma risku izstrādes gadā
- 3.2. tabula. Retināšanas (krājas kopšanas ciršu) ietekme uz *I. typographus* bojājuma risku atšķirības meža tipu grupās
- 3.3. tabula. Retināšanas (krājas kopšanas ciršu) pavasarī-vasarā ietekme uz *I.typographus* bojājuma risku nākamajā gadā
- 3.4. tabula. Retināšanas (krājas kopšanas ciršu) pavasarī-vasarā ietekme uz *I.typographus* bojājuma risku izstrādes gadā
- 4.1. tabula. Meteoroloģisko apstākļu anomālijas/ ekstrēmi identificētajos pētīto priedes provenienču radiālā pieauguma zīmīgajos gados stādījumos Latvijā un Vācijā.
- 4.2. tabula. Pētīto priedes provenienču pieauguma mainības ģenētiskās dispersijas komponentes provenienču stādījumos Latvijā un Vācijā references periodā no 1988. līdz 2017. gadam.
- 5.1. tabula. Sugu skaits un daudzveidība atkarībā no audzes veida (meliorācijas statusa).
- 5.2. tabula. Augsnes ķīmiskais sastāvs (vidējā vērtība \pm 95% ticamības intervāls)
- 5.3. tabula. Ikgadējās CO₂eq kopējās un heterotrofās emisijas.
- 0.1. tabula. 2023. gada darba uzdevumi un to izpilde.

1. Zināšanu uzkrāšana par Latvijā reti sastopamu vietējo un introducēto koku sugu atjaunošanu un audzēšanu.

Pamatojums

Sagaidāms, ka jau šī gadsimta beigās klimats Latvijā atbildīs nemorālajiem mežiem raksturīgajam. Tādēļ palielinās vietējo, pašlaik ekonomiski nenozīmīgo, platlapju sugu, kas ir mazāk jutīgas pret traucējumiem un to sekām, piemēram, parastās kļavas un liepas, mežaudžu platības un komerciālais potenciāls (Daugaviete et al., 2019; Hemery et al., 2010; Radoglou et al., 2009). Likumsakarīgi, ir būtiski iegūt ilgtermiņa augšanu un audžu struktūras izmaiņas raksturojošus datus par šīm koku sugām, pamatoti vērtējot to izmantošanas iespējas (apjomu un veidu) saimnieciskajos mežos.

Eiropas Savienības (ES) pēdējos gados pieņemtie stratēģiskie dokumenti (ES Meža stratēģija 2030, ES Bioloģiskās daudzveidības stratēģija 2030, Dabas atjaunošanas regula) nosaka virzību uz dabai tuvāku mežsaimniecību un plašākās teritorijas, kurās bioloģiskās daudzveidības uzturēšana būs prioritāra. Mistrotas mežaudzes, īpaši ar platlapjiem, tiek uzskatītas par vērtīgākām dažādu biotisko un abiotisko risku diversifikācijā, strukturālo elementu daudzveidības un komplementaritātes, bioloģiskās daudzveidības un ilgtspējības ziņā (Grossiord, 2018; Zimmermann et al., 2015; Bartels and Chen, 2013), tādēļ var būt viens no risinājumiem bioekonomikas un bioloģiskās daudzveidības mērķu sasniegšanai vienā un tajā pašā meža platībā.

Ieviešot adaptīvās mežsaimniecības praksi reti sastopamām koku sugām, būtiski nepieciešams ir produktivitātes novērtējums, kas balstās uz koku augstuma pieaugumu. Augstuma pieaugums vienlaikus ir arī genotipu konkurētspējas rādītājs, kas liecina par to ilgtspēju mistrotā audzē (Mikola et al., 2021).

Plānots, ka pētījuma objektu analīze tā noslēgumā nodrošinās:

- 1) rekomendācijas liepas un kļavas jaunaudžu kopšanai, aizsardzībai;
- 2) platlapju mežu (liepa, kļava, ozols, osis) audzēšanas nākotnes perspektīvu (augšanas gaitas) novērtējumu;
- 3) publikāciju, nodrošinot iegūto rezultātu zinātnisku aprobāciju.

1.1. Dižskābarža, sarkanā ozola, liepas un kļavas objektu uzmērīšana.

Aktivitātes mērķi šajā etapā ir: 1) zinātniskas publikācijas sagatavošana, raksturojot liepas un kļavas pieauguma dinamiku (plānota, kā publikācija šajā pētījuma sadaļā); 2) 10 liepas ilgtermiņa pētījumu objektu uzmērīšana. Dati par uzmērītajiem objektiem tiks analizēti kompleksi kopā ar citu monitoringa objektu datiem pētījuma noslēdzošajā etapā.

Šajā pētījuma etapā paredzēta un izpildīta 10 iepriekš ierīkoto jaunaudžu kopšanas objektu pārmērīšana un sagatavošana kopšanai (1.1. tabula). Iegūtie mērījumi kombinēti ar Latvijas nacionālā meža monitoringa 2004.–2021. gada 3 reizes pārmērīto parauglaukumu datiem, izstrādājot augšanas gaitas prognožu modeļus tādā formātā, kas kombinējams ar esošajiem LVMI Silava izstrādātajiem modeļiem (ietverti ilgtermiņa prognožu sistēmā). Iegūtie rezultāti nodoti citām pētījumu grupām un izmantoti plānotās publikācijas sagatavošanā.

Papildus dažāda kopšanas režīma parauglaukumu datu apstrāde un secinājumi šajā darba uzdevumā paredzēti pētījuma noslēguma etapā.

Parauglaukumi ar dažādu biežumu pēc jaunaudžu kopšanas liepu jaunaudzēs.

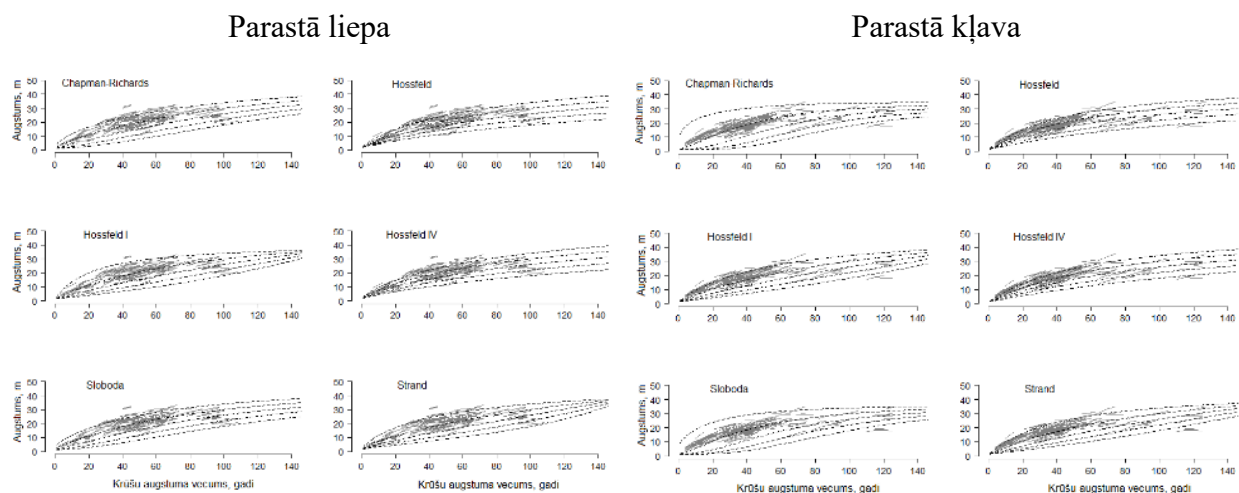
Pētījuma objekts	Saglabātais liepu biežums parauglaukumos, koki ha ⁻¹						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
312-111-15	800	800	Lg	kontrolē	1300	1800	1300
401-33-4	800	kontrolē	Lg	1300	1800	kontrolē	-
405-185-13	1800	kontrolē	1300	-	-	-	-
501-303-15	800	800	1300	800	1300	800	800
501-446-10	kontrolē	1300	800	1800	Lg	-	-
506-116-36	800	kontrolē	-	-	-	-	-
608-109-6	800	1300	kontrolē	1300	-	-	-
803-213-6	800	800	kontrolē	-	-	-	-
803-224-19	Lg	1300	800	1300	kontrolē	800	800
803-228-32	800	1300	-	-	-	-	-

Lg – liepas saglabātas grupās, kontrolē – nav kopts

Žurnālam *Forests* iesniegta publikācija: **Analysis of height growth suggests moderate growth of *Tilia cordata* and *Acer platanoides* at the native hemiboreal stands in Latvia.**

Izstrādājot vienādojumus, katrai koku sugai 100 nejauši izvēlēti pārmērījuma dati izmantoti aproksimēto vienādojumu validācijai, bet pārējie (liepām 277, kļavām 300) izmantoti vienādojumu izstrādē. Kopumā pārbaudīti seši bāzes vecuma neatkarīgu funkciju vispārinātās algebriskās diferences pieejas vienādojumi (Czieszewski and Bailey, 2000).

Sloboda modelis liepai un Hossfeld I modelis kļavai uzrādīja vislabākos modeļu statistiskos un validācijas, kā arī reālākos augšanas gaitas līkņu rezultātus (1.1. att., 1.2. tabula). Šie modeļi, salīdzinot ar Eiropas modeļiem (Socha et al., 2015; Semaškienē, 2006; Giurgiu and Drăghiciu, 2004), prognozēja lēnāku sākotnējo un vidējā vecuma augšanu, bet lielāku potenciālo augstumu, izceļot reģionālās augšanas gaitas atšķirības. Ilgāks iesaigšanās periods un vēlāka augšanas kulminācija norāda uz ilgāku rotācijas periodu, un nepieciešamību pēc ilgtermiņa risku novērtējuma. Izstrādātie augstuma modeļi abām sugām uzrādīja mērenu produktivitāti Latvijā, taču samērā augstu produktivitāti auglīgāko audžu kokiem.



1.1. attēls. Virsaugstuma augšanas gaitas prognožu modeļi (melnas punktētas līnijas) balstīti uz parastās liepas un kļavas koku pārmērījumiem (pelēkas līnijas, katra līnija

apzīmē vienu koku); modeļu prognozes dotas pieauguma līknēm ar 4 m intervālu 100 gadu vecumā.

1.2. tabula.

Izstrādāto modeļu aproksimētās koeficientu vērtības

Modelis	Koeficients	Parastā liepa		Parastā kļava	
		Koeficients	Standartklūda	Koeficients	Standartklūda
Chapman - Richards	b1	0.0091	0.0026	0.0254	0.0025
	b2	-417.22	11.49	-80.60	17.49
	b3	1585.68	3.01	284.27	60.35
Hossfeld	b1	63.57	10.17	50.62	7.93
	b2	-44.32	0.0111	-16.2958	0.0481
	b3	0.8537	0.0453	1.0402	0.0502
Hossfeld I	b1	0.0283	0.0011	0.0255	0.0015
	b2	-0.0061	0.0004	-0.0053	0.0005
Hossfeld IV	b1	0.8405	0.0469	1.0338	0.0564
	b2	-1449.54	50.22	-2451.73	94.81
	b3	970.38	75.08	1264.81	182.70
Sloboda	b1	45.12	9.29	34.82	2.69
	b2	0.1387	0.0212	0.1781	0.0248
	b3	0.5589	0.0688	0.5024	0.0597
Strand	b1	0.0098	0.0046	0.0342	0.0125
	b2	-0.0063	0.0005	-0.0054	0.0005
	b3	0.7799	0.0670	1.0769	0.1000

1.2. Ierīkoto dižskābarža, sarkanā ozola, hibrīdās lapegles stādījumu un kopšanas objektu uzturēšana, uzmērīšana.

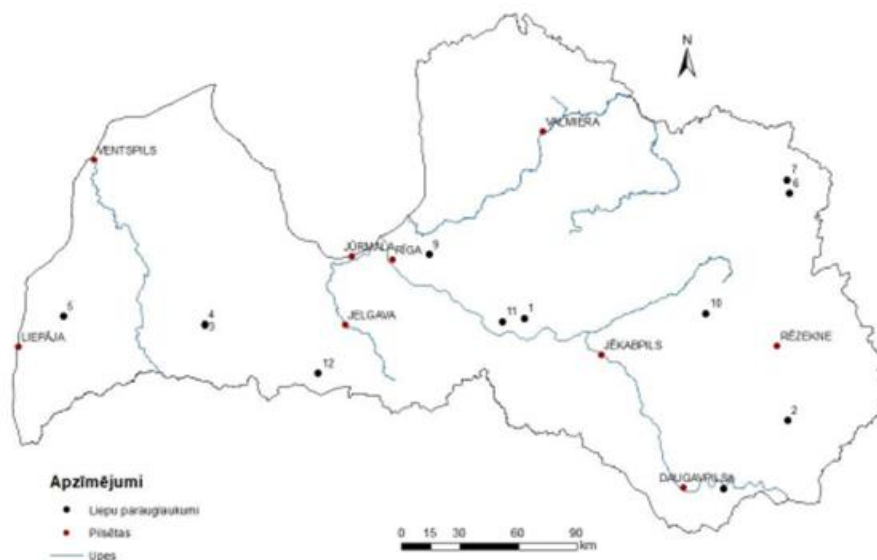
Saskaņā ar plānoto veikta iepriekšējos gados ierīkoto pētījuma objektu apsekošana (objektu saraksts pētījuma 1. etapa pārskatā) un sadarbībā ar MPS organizēti šo objektu uzturēšanai svarīgie darbi (žogu uzturēšana, kopšana, marķējuma atjaunošana u.tml.).

Papildus apsekošana, papildināta un uzmērīta arī 2021. gadā (pētījuma 1. etapā) ierīkotais dižskābarža stādījums MPS Jelgavas MN 83. kvartāla 13. nogabalā, kurā iestādīti viengadīgi dižskābarža ietvarstādi, viengadīgi kailsakņu stādi un līdzīgu dimensiju mežeņi no MPS Šķēdes

MN dižskābarža atlasītajām audzēm. Šīs pašas teritorijas 59. kvartāla 10. nogabalā ierīkots jauns dižskābaržu un priežu mistrojuma stādījums.

1.3. Platlapju piemistrojuma audzēšanas iespēju novērtējums.

Platlapju piemistrojama audzēšanai nozīmīgi raksturot šo koku sugu pašsējas (dabiskās atjaunošanās) sekmes un augšanas gaitu. Šim mērķim pētījumā tiek atkārtoti pārmērīti monitoringa parauglaukumi platlapju audzēs. Saskaņā ar plānoto, šajā etapā pārmērījumi veikti liepu audzēs (1.2. attēls, 1.3. tabula).



1 – Aizkraukle, 2 – Andrupene, 3 – CiecereJ, 4 – CiecereV, 5 – Dunalka, 6 – Irikava, 7 – Kuprava, 8 – Lazdukalns, 9 – Nāgelmuiža, 10 – Salenieki, 11 – Skrīveri, 12 – Ziedkalne

1.2. attēls. Ilglaicīgie pētījumu objekti liepu audzēs.

Visos objektos atjaunots koku numuru krāsojums, kā arī marķēti papildus koki, kas sasnieguši atbilstošus parametrus. Visiem kokiem nomērīts caurmērs un augstums, kā arī pārbaudīts attālums no centra un azimuts, raksturots vainagu stāvoklis. Parauglaukumos novērtēta arī veģetācija, uzskaitīts pamežs, kā arī uzmērītas kritālas un novērtēta to sadalīšanās pakāpe.

1.3. tabula.

Ilglaicīgo pētījumu objektu taksācijas rādītāji

Objekts	Stāvs	Formula	D, cm	H, m	G, m ³ ha ⁻¹	M, m ³ ha ⁻¹	N, gab ha ⁻¹
Aizkraukle	I	5L2A2E1K + B	41,6	36,1	50,0	819,8	368
	II	6L4E	13,5	17,9	1,0	8,8	71
Andrupene	I	10L + M	61,6	33,0	50,6	753,0	170
	II	10L	14,2	12,4	1,4	8,1	85
Ciecere_J	I	9L1Oz + Os	21,1	21,2	40,7	396,8	1160
	II	10L + E	9,1	10,6	7,7	41,1	1174
Ciecere_V	I	7L2Oz1B	39,6	29,0	45,2	589,2	368
	II	6L4G	12,5	9,4	0,3	1,7	28
Dunalka	I	8L2Oz	47,6	26,7	27,7	333,9	156
	II	7L3E	27,8	16,8	5,2	39,4	85
Irikava	I	5L1K1E1A1Os1M + Ba,G	40,1	31,5	46,4	664,4	368
	II	4E3L2K1M	18,6	19,2	4,6	41,7	170
Kuprava	I	9L1E	39,4	30,6	39,6	541,7	325
	II	6E2K1L1G	10,3	15,2	3,6	27,3	424
Lazdukalns	I	6Oz4L	40,6	30,6	31,1	426,7	241
	II	10L	12,8	16,7	1,5	11,5	113
Nāgelmuiža	I	10L	66,3	33,7	58,7	890,5	170
	II	10Ie	26,0	18,5	0,8	6,3	14
Salenieki	I	7Oz3L + Pl	32,0	26,3	43,2	520,9	538
	II	10L	12,1	15,9	3,1	23,1	269
Skrīveri_L	I	4K3L3Os	41,9	33,4	27,4	409,1	198
	II	5E4L1G	10,8	11,8	3,6	21,5	396
Ziedkalne	I	8L1Oz1G	42,9	31,9	43,0	613,1	297
	II	10Ba	18,5	21,1	0,8	7,3	28

Detalizēta mērījumu rezultātu analīze salīdzinājumā ar iepriekšējo monitoringa posmu datiem, kā arī vērtējot valdošās sugas un audzes parametru ietekmi, plānota pētījuma noslēdzošajā etapā.

Literatūra

1. Grossiord, C. 2018. Having the right neighbors: how tree species diversity modulates drought impacts on forests. *New Phytologist*, 228(1), pp. 42–49.
2. Zimmermann, J., Hauck, M., Dulamsuren, C., Leuschner, C. 2015. Climate warming-related growth decline affects *Fagus sylvatica*, but not other broad-leaved tree species in Central European mixed forests. *Ecosystems*, 18, pp. 560–572.
3. Bartels, S.F., Chen, H.Y. 2013. Interactions between overstorey and understorey vegetation along an overstorey compositional gradient. *Journal of Vegetation Science*, 24, pp. 543–552.
4. Daugaviete, M., Lazdina, D., Celma, S., Daugavietis, U. 2019. Characteristic growing parameters of small-leaved lime and Norway maple stands in the climatic conditions of Latvia. *Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis*, 19(2), pp. 115–128.

5. Hemery, G.E., Clark, J.R., Aldinger, E., Claessens, H., Malvolti, M.E., O'connor, et al. 2010. Growing scattered broadleaved tree species in Europe in a changing climate: a review of risks and opportunities. *Forestry*, 83(1), pp. 65–81.
6. Mikola, J., Koikkalainen, K., Rasehorn, M., Silfver, T., Paaso, U., Rousi, M. 2021. Genotypic traits and tradeoffs of fast growth in silver birch, a pioneer tree. *Oecologia*, 196, pp. 1049–1060.
7. Radoglou, K., Dobrowolska, D., Spyroglou, G., Nicolescu, V.N. 2009. A review on the ecology and silviculture of limes (*Tilia cordata* Mill., *Tilia platyphyllos* Scop. and *Tilia tomentosa* Moench.) in Europe. *Die Bodenkultur*, 60, pp. 9–20.
8. Cieszewski C.J., Bailey R.L. 2000. Generalized algebraic difference approach: Theory based derivations with polymorphism and variable asymptotes. *Forest Science*, 46(1), pp. 115–126
9. Socha, J., Ochał, W., Grabczyński, S., Maj, M. 2015. Modele bonitacyjne dla gatunków lasotwórczych Polski opracowane na podstawie tablic zasobności. *Sylvan*, 159(08), pp. 639–649.
10. Semaškienė, L. 2006. Small-Leaved Lime (*Tilia Cordata* Mill.) in Lithuania: Phenotypical Diversity and Productivity of Modal Stands. Ph.D. Thesis, Lithuanian University of Agriculture, Kaunas, Lithuania.
11. Giurgiu, V., Drăghiciu, D. 2004. Modele matimatico-auxologice și tabele de producție pentru arboreta, Romania Editura Ceres: București, p. 60.

2. Vētru un uguns bojājumu ietekme un tās izmaiņas nākotnes klimatā.

Vēja risku analīzes pētījumu konteksts

Vēja izraisīto mežaudžu bojājumu iespējamību, apjomu un telpisko izvietojumu ir iespējams raksturot, izmantojot meteoroloģisko novērojumu un prognožu datus (faktiskais vēja ātrums brāzmās, augsnes sasaluma dziļumu ietekmējošie faktori u.c.), kā arī informāciju par meža tipu grupu (meža augšanas apstākļiem), mērķa un tai blakus esošo mežaudžu (sugu sastāvs, taksācijas rādītāji, apsaimniekošanas vēsture, dabiskie traucējumi u.c.) raksturojošajiem rādītājiem. Izmantojot ilggadīgo meteoroloģisko novērojumu datus, kas iegūti no Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra (LVĢMC), LVMI “Silava” ir izstrādāts Latvijas vēja klimata raksturojums. Tas ļauj novērtēt ar kādu varbūtību vēja ātrums brāzmās 50 gadu laikā kādā teritorijā var pārsniegt līdz šim tur reģistrēto maksimālo vērtību. Tādējādi ir iespējams identificēt lokālās vēja klimata atšķirības un attiecīgi arī teritorijas/reģionus ar paaugstinātu mežaudžu bojājumu izveidošanās risku atkarībā no ekstrēmu vēju ātrumu atkārtotās iespējamības.

Šādu informāciju nozīmīgi papildina dati par vējā bojāto mežaudžu taksācijas rādītājiem un koku dimensijām, sadalījumu pa meža tipu grupām, kā arī meža apsaimniekošanas vēsturi, ļaujot attīstīt empīriskos vēja izraisīto mežaudžu bojājumu modeļus. No tiem līdz šim precīzākais izstrādātais ir balstīts uz 2005. gada cikloniskās vētras postījumu datiem, iekļaujot informāciju par vairāk nekā 5000 mežaudzēm (Donis et al., 2018). Tomēr, neskatoties uz lielo empīriskā materiāla apjomu, šāda veida (bojājumu) modeļu pielietojamības paaugstināšanai ir nepieciešams ņemt vērā arī koku slodzes noturību. Tādēļ tiek izstrādāti arī cita veida modeļi, kuros ir ietverta informācija, kas iegūta no koku noturības testiem (statiskiem un/vai dinamiskiem), no tiem viszināmākais ir ForestGales. Šobrīd tā papildināšana ar empīriskā materiāla bāzi ļoti aktīvi norit visā Eiropā, lai nodrošinātu modeļa reģionālu kalibrāciju. Tajā skaitā arī Latvijā, kur pie tā pielāgošanas mūsu apstākļiem strādā LVMI “Silava”, gan šī pētījuma ietvaros, gan, piemēram, FOSPREF-WIND sadarbības projektā, gan nodrošinot empīriskos datus kopējai datu bāzei tiešā sadarbībā ar ForestGales izstrādātājiem. Šāda modeļa precizitātes vērtēšanai, savukārt, var izmantot informāciju no vēja izraisīto mežaudžu bojājumu modeļiem.

Papildus tam, līdzšinējos LVMI “Silava” veiktajos vēja ietekmes uz mežaudzēm novērtēšanas pētījumos ir eksperimentāli raksturota dažādu šī brīža saimnieciski nozīmīgo (apse, bērzs, egle, priede), kā arī nākotnē potenciāli nozīmīgo koku sugu (dižskābardis, ozols) mehāniskā stabilitāte. Ar statiskās vilkšanas testiem ir iegūta informācija par dažādu augšanas apstākļu,

dimensiju (virszemes daļas, saknes), tajā skaitā arī dabisko traucējumu ietekmi uz šo koku sugu mehānisko stabilitāti, un šī ir Ziemeļeiropā lielākā šāda veida datu kopa. Tā sastāv no vairāk nekā 500 paraugkokiem no dažādiem meža tipiemi (sausieņi, kūdreņi, slapjaini), sezonām (sasalusi, nesasalusi augsne), audžu veidiem (mistraudzes, tīraudzes), biotisko traucējumu klātbūtnes (sakņu trupe, mizas apgrauzumi) u.c. (2.1. tab.).

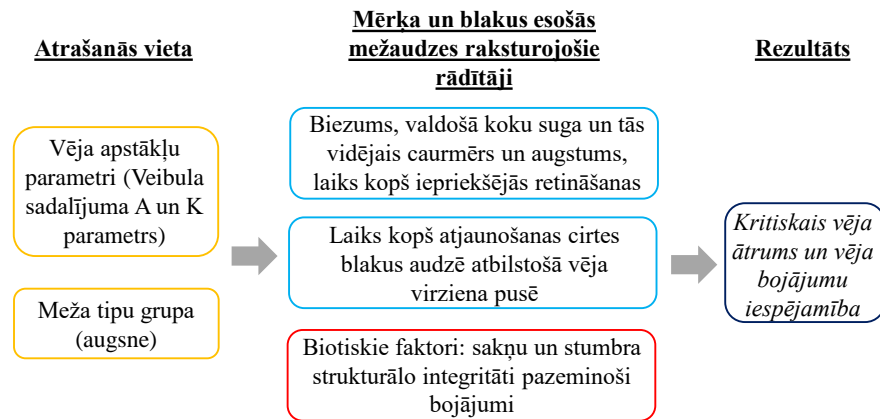
Līdz šim ievāktais koku statistiskās vilkšanas empīriskais materiāls ir visplašākais par bērzu mežaudžu mehānisko stabilitāti ietekmējošajiem faktoriem. Savukārt nozīmīgākie nepieciešamie papildinājumi, kuri to apjoma dēļ būtu risināmi turpmāko projektu gaitā, galvenokārt ir saistāmi ar egļu mežaudzēm. Ir nepieciešama informācija par dažāda vecuma egļu mežaudžu vēja noturību, lai varētu raksturot vēja bojājumu iespējamību atšķirīgu aprites ciklu apstākļos. Tāpat (arī citu koku sugu mežaudzēs) ir nepieciešams noskaidrot arī dažādu izlases ciršanas paņēmieni ietekmi uz paliekošo koku individuālo, un līdz ar to arī visas audzes kopējo mehānisko stabilitāti.

2.1. tabula.

Koku statistiskās vilkšanas testos pārbaudītās salīdzināmās paraugkopas.

Suga	Meža tipu grupa			Papildus vērtētie faktori			
	sausieņi	slapjaini	kūdreņi	augšnes sasalums	sakņu trupe	mizas bojājumi	mistrojums
Apse	X						
Bērzs	X	X	X	X			X
Dižskābardis	X						
Egļe	X		X		X	X	X
Ozols	X						
Priede	X		X				

LVMI "Silava" rīcībā esošās informācijas analīze par vēja apstākļiem, to izraisītajiem mežaudžu bojājumiem un individuālu koku noturību dod iespēju savstarpēji salīdzināt vēja riskus starp atsevišķām mežaudzēm/meža masīviem un attiecīgi identificēt kopējās meža noturības vājākos posmus. Tas, savukārt, nodrošina meža apsaimniekošanas pasākumu/seku novēršanas darbu plānošanu atbilstoši sagaidāmajiem vēja izraisīto bojājumu iespējamībai. Tā, piemēram, zinot varbūtību ar kādu vēja ātrums brāzmās var pārsniegt kādā teritorijā līdz tam reģistrēto maksimālo vēja ātrumu, mežaudzes meža tipu (augšnes apstākļus), kokaudzes rādītājus un biotisko faktoru ietekmi, kā arī blakus esošo audžu telpiskos parametrus, ir iespējams modelēt kritisko vēja ātrumu konkrētai mežaudzei, un līdz ar to arī tās saglabāšanās/bojāejas iespējamību (2.1. att.). Šādas analīzes nodrošināšanai ir nepieciešams plaša spektra empīriskais materiāls no vēja bojātām mežaudzēm, kā arī koku statistiskās vilkšanas testiem.



2.1. attēls. Konceptuālā mežaudžu vēja noturības novērtēšanas shēma.

Literatūra

1. Donis, J., Kitenberga, M., Šņepsts, G., Dubrovskis, E., Jansons, Ā. 2018. Factors affecting windstorm damage at the stand level in hemiboreal forests in Latvia: case study of 2005 winter storm. *Silva Fennica*, 52(4).

2.1. Vēja noturību raksturojošie koeficienti modeļa pielāgošanai vēja bojājumu vērtēšanai Latvijā un rekomendācijas vēja bojājumu mazināšanai.

Pamatojums

Vējš ir nozīmīgākais dabiskais traucējums Eiropas mežos (Gardiner, 2021; Schuck, Schelhaas, 2013), tomēr ar to saistītos mežaudžu bojājumus ļoti bieži pastiprina citi faktori, piemēram, augsta gaisa temperatūra un sausums (Csilléry et al., 2017; Seidl et al., 2017). Šādas negatīvās ietekmes var mazināt ar adaptīvu (klīmata gudru) meža apsaimniekošanu (Nabuurs et al., 2018), kuras pamatā esošie mežkopības pasākumi ir pielāgoti atbilstoši koku sugu mehāniskās stabilitātes īpatnībām (Gardiner, 2021). Mežaudžu uzņēmība pret vēja izraisītajiem bojājumiem ir atkarīga no to kolektīvās stabilitātes, kas, savukārt, veidojas no atsevišķu koku individuālās noturības (Díaz-Yáñez et al., 2017). Individuālu koku mehānisko stabilitāti ietekmē tā virszemes daļu un sakņu arhitektūras, kuras ir atkarīgas no sugas/genotipa (Gardiner, 2021, Nicoll & Ray 1996). Attiecīgi, individuālu koku mehāniskās stabilitātes atšķirības, un līdz ar to arī mežaudžu kolektīvās stabilitātes atšķirības, var veidoties sugu/genotipu sastāva atšķirību rezultātā. Atlasot sugas/genotipus ar augstāku mehānisko stabilitāti nodrošinošu plastiskumu attiecīgos meža tipos, ir iespējams nozīmīgi uzlabot mežu kopējo noturību pret vēja izraisītajiem bojājumiem un to pēctecības efektiem (Csilléry et al., 2017; Seidl et al., 2017). Šādai atlasei nepieciešamo informāciju var iegūt, novērtējot individuālu koku mehānisko stabilitāti ar statistiskās vilkšanas testiem (Krišāns et al., 2022; Peltola et al., 2000).

Aktivitātes mērķi šajā etapā ir: 1) datu analīze un zinātnisko publikāciju sagatavošana; 2) dalība konferencē.

Aktivitātes rezultāts

Sagatavoti 2 publikāciju manuskripti starptautiskajai zinātniskai diskusijai, kas veicina turpmāku sadarbību ar ārvalstu partneriem, lai sasniegtu iespējami augstāko precizitāti noslēguma etapā plānotajam modeļa uzlabojumam.

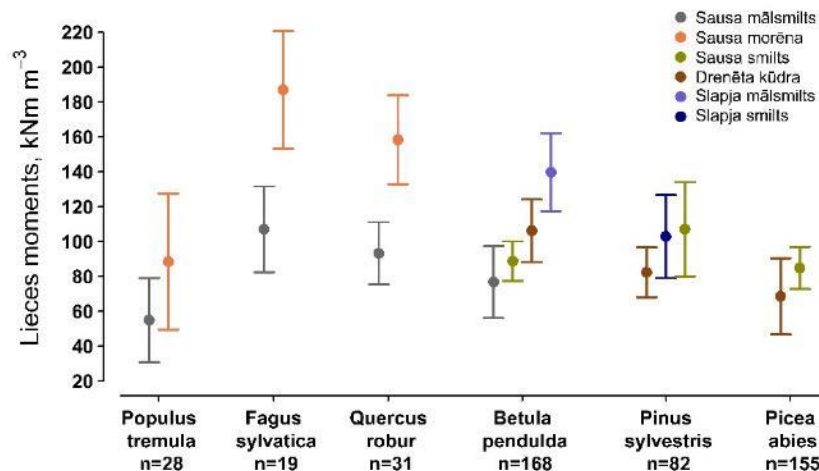
1. Baltijas jūras reģiona austrumu daļas saimnieciski nozīmīgāko koku sugu noturība pret vēja izraisītajiem bojājumiem: koku statistiskās vilkšanas testu rezultāti Latvijā, kas balstīti uz visiem

iepriekš veiktajiem statistiskās vilkšanas testu datiem. Tie nodoti arī kopējai Eiropas koku noturības datu bāzei, stiprinot vējā bojājumu prognožu modeļa ForestGales attīstību mūsu reģionā.

Publikācijā ir raksturota četru Baltijas jūras reģiona austrumu daļas saimnieciski nozīmīgāko koku sugu (parastā egle, parastā priede, āra bērzs un parastā apse) mehāniskā stabilitāte sausieņos, kūdreņos, kā arī āreņos. Turklāt papildus ir novērtēta arī parastā ozola un Eiropas dižskābarža stabilitāte – sugām, kurām Latvijā nākotnē ir sagaidāma saimnieciskās nozīmes palielināšanās.

Koku noturība pret statisko slodzi, kas ir izteikta kā lieces moments stumbra pamatnē un attiecināts pret koka izmēru (stumbra koksnes tilpumu), būtiski atšķirās, gan starp sugām, gan augsnes tipiēm (2.2. att.). Ozolu un dižskābaržu audzēs mežos ar minerālaugsnēm uz morēnas cilmieža augsnes-sakņu enkurojums bija spēcīgākais, savukārt smilšmāla augsnēs abām šīm sugām noturība pret statisko slodzi bija līdzīga kā bērziem un priedēm platībās attiecīgi ar meliorētām kūdras un sausām smilšainām augsnēm. Mežos ar meliorētām kūdras augsnēm priedēm un eglēm bija būtiski zemāks augsnes-sakņu enkurojuma spēks nekā ar sausām smilšainām augsnēm. Bērziem novērots augsts plastiskums mehāniskās stabilitātes pielāgošanā mežos ar mazāk stabilām augsnēm – meliorētām kūdras un slapjām minerālaugsnēm.

Ņemot vērā bērza jutīgumu pret sausumu Baltijas jūras reģiona austrumu daļā, sugas plastiskā augsnes-sakņu enkurojuma pielāgošanās spēja norāda uz augstu bērza izmantošanas potenciālu mežu atjaunošanā teritorijās ar nenoturīgākām, regulāri pārmitrām augsnēm, kurām ir raksturīgs zemāks augsnes-sakņu enkurojuma spēks. Sagaidāms, ka sugas ar augstāku sausuma toleranci, kā arī slodzes izturību, piemēram, dižskābardis, ozols un priede, kļūs mežsaimnieciski nozīmīgākas.



Populus tremula – parastā apse; Fagus sylvatica – Eiropas dižskābardis; Quercus robur – parastais ozols; Betula pendula – āra bērzs; Pinus sylvestris – parastā priede; Picea abies – parastā egle.

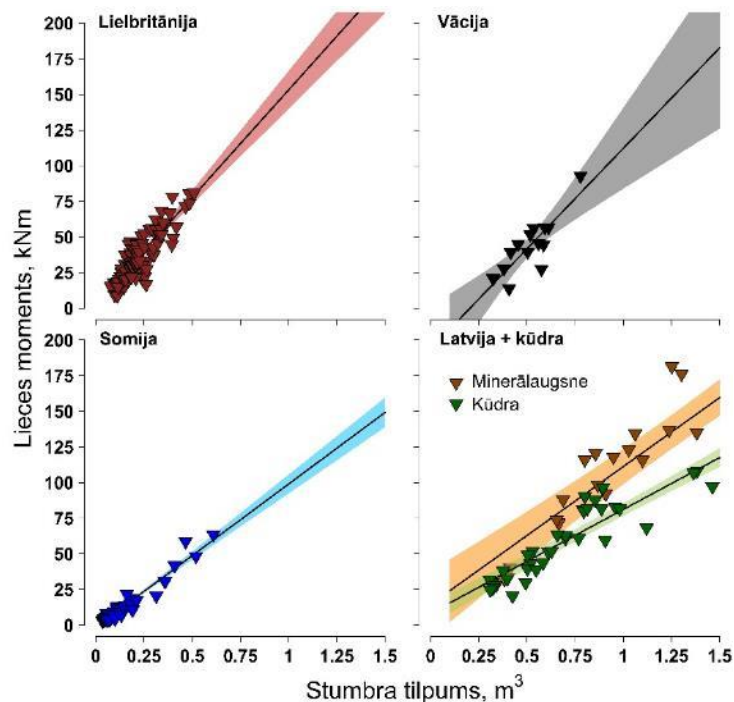
2.2. attēls. Lieces moments stumbra pamatnē, kas attiecināts pret koka izmēru (stumbra koksnes tilpumu, kNm m⁻³) testētajām koku sugām pa augsnes veidiem.

2. Reģionālo atšķirību raksturošana parastās priedes adaptācijai vēja klimatam ir rezultāts līdzšinējai starptautiskajai sadarbībai, iesaistot pētniekus no Lielbritānijas, Somijas un Vācijas, kas nodrošina padziļinātāku Latvijas priežu vēja noturības raksturojumu mūsu salīdzinājumā ar

plašāku reģionu. Tā rezultātā ir iespējama vispārināmu secinājumu izdarīšana par sugas adaptāciju iespējamajām vēja klimata izmaiņām nākotnē.

Ar statistiskās vilkšanas testu salīdzināta parastās priedes mehāniskā stabilitāte starp atsevišķām populācijām no Latvijas, Lielbritānijas, Vācijas un Somijas, kā arī starp mežaudzēm ar normāla mitruma minerālaugsnēm un meliorētām kūdras augsnēm Latvijā, lai raksturotu attiecīgi reģionālo un lokālo adaptāciju. Parastās priedes mehāniskā stabilitāte dažādos reģionos bija atšķirīga – kokiem no Lielbritānijas bija augstāka noturība pret statisko slodzi (lieces moments stumbra pamatnē, kas attiecināts pret koka izmēru (stumbra koksnes tilpumu)), salīdzinot ar kokiem no Vācijas, Somijas un Latvijas (2.3. att.). Novērotās noturības atšķirības parastās priedes populācijām atbilst vēja klimata atšķirībām starp reģioniem. Tāpat būtiski zemāka slodzes noturība tikai novērota paraugkokiem no audzēm mežaudzēs ar meliorētām kūdras augsnēm salīdzinājumā ar sausajām minerālaugsnēm.

Novērotās parastās priedes mehāniskās noturības reģionālās un lokālās atšķirības liecina par sugas spēju pielāgoties vēja klimatam, un tas nozīmē, ka ir nepieciešama šīs īpašības ģenētiskās kontroles analīze provenienču stādījumos, kas tālāk dotu iespēju mehāniskās stabilitātes īpašības attīstīt kā vienu no koku selekcijas pazīmēm.



2.3. attēls. Lieces moments stumbra pamatnē, kas attiecināts pret koka izmēru (stumbra koksnes tilpumu, kNm m⁻³) parastās priedes paraugkokiem audzēs uz minerālaugsnēm Lielbritānijā, Vācijā, Somijā un Latvijā (arī kūdreņos).

Dažādām saimnieciski nozīmīgām koku sugām un/vai atsevišķām to proveniencēm ir novērota mehāniskās stabilitātes adaptācija atbilstoši augšanas videi, kas ietver gan augsnes, gan arī vēja apstākļus. Šāda informācija ir izmantojama līdzšinējo vēja izraisīto mežaudžu bojājumu

prognožu modeļu precizitātes paaugstināšanā gan lokālā, gan reģionālā mērogā, nodrošinot starptautiskās, zinātniskās un arī praktiskās meža apsaimniekošanas sadarbības iespējas.

Nodrošināts ziņojums nozīmīgākajā konferencē par vētru ietekmi mežos: “10th Wind and Trees Conference” – Seipulis A., Krišāns O., Matisons R., Rust S, Vugulis J., Adamovičs A., Jansons Ā. (2023) Results of static tree-pulling tests in Latvia., 20.-23.06.2023.

Literatūra

2. Csilléry, K., Kunstler, G., Courbaud, B., Allard, D., Lassègues, P., Haslinger, K., & Gardiner, B. 2017. Coupled effects of wind-storms and drought on tree mortality across 115 forest stands from the Western Alps and the Jura mountains. *Global change biology*, 23(12), pp. 5092-5107.
3. Díaz-Yáñez, O., Mola-Yudego, B., González-Olabarria, J.R., Pukkala, T. 2017. How does forest composition and structure affect the stability against wind and snow? *Forest Ecology and Management*, 401, pp. 215–222.
4. Gardiner, B. 2021. Wind damage to forests and trees: A review with an emphasis on planted and managed forests. *Journal of Forest Research*, 26(4), pp. 248-266.
5. Krišāns, O., Čakša, L., Matisons, R., Rust, S., Elferts, D., Seipulis, A., Jansons, Ā. 2022a. A static pulling test is a suitable method for comparison of the loading resistance of silver birch (*Betula pendula* Roth.) between urban and peri-urban forests. *Forests*, 13(1), 127.
6. Nabuurs, G. J., Verkerk, P. J., Schelhaas, M., González-Olabarria, J. R., Trasobares, A., & Cienciala, E. 2018. Climate-Smart Forestry: mitigation impact in three European regions. In: *From Science to Policy*. European Forest Institute: Joensuu, Finland, 2018; p. 32.
7. Nicoll, B.C., Ray, D. 1996. Adaptive growth of tree root systems in response to wind action and site conditions. *Tree Physiology*, 16, pp. 891–898.
8. Peltola, H., Kellomäki, S., Hassinen, A., Granander, M. 2000. Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland. *Forest Ecology and Management*, 135(1-3), pp. 143-153.
9. Schuck A., Schelhaas M.J. 2013. Storm damage in Europe—an overview. In: *Living with storm damage to forests*. B. Gardiner (ed.). Joensuu: European Forest Institute, pp. 15-23.
10. Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G. et al. 2017. Forest disturbances under climate change. *Nature climate change*, 7(6), pp. 395-402.

2.2. Vēja bojājumu varbūtības izmaiņas, mainoties audzes vecumam.

Pamatojums

Nozīmīga loma koku noturībā pret izgāšanos vējā ir koku sakņu sistēmām, kuru parametrus (augšnes-sakņu plātnes – ASP) attiecīgi var izmantot kā noturības raksturlielumus, ļaujot kvantitatīvi novērtēt mežaudžu mehānisko stabilitāti (Gardiner et al., 2013; Nicoll & Ray, 1996). ASP var novērtēt gan dabiski izgāztiem kokiem, apsekojot vējgāzes, gan arī statiskās vilkšanas testos izgāztiem kokiem (Krišāns et al., 2022). Statiskās vilkšanas testos tiek novērtēta līdz tam vējā izdzīvojušo koku mehāniskā stabilitāte un to ietekmējošie morfoloģiskie parametri, savukārt vējgāzē ir iespējams novērtēt vienīgi bojājājušo koku ASP, raksturojot attiecīgās audzes vājākos kokus (Krišāns et al., 2020). Ir novērota tendence, ka vilkšanas testā izgāztajiem kokiem ir lielākas ASP (Krišāns et al., 2022), kas ir saistāma ar atšķirīgu statiskās un dinamiskās slodzes iedarbību uz koka sakņu sistēmu (nepātraukta liekšana un šūpošana) (James, 2003). Tomēr ASP dimensijām pastāv proporcionalitāte pa sugām un meža augšanas apstākļiem starp vilkšanas testiem un vējgāzēm (Krišāns et al., 2022), liecinot par vilkšanas testu izmantojamību koku sakņu sistēmu adaptācijas raksturošanā pret vēja ietekmi. Līdz šim ievāktā informācija par vējā un vilkšanas testos izgāzto koku ASP dimensiju atšķirībām ir ierobežota pa koku sugām un augšanas apstākļiem (augšnes veida) (Krišāns et al., 2022).

Aktivitātes mērķi veikt augšnes-sakņu plātnes (ASP) analīzes audzes vecuma un koku dimensiju ietekmes uz to atšķirību raksturojumam, izmantojot iepriekš dažādos pētījumos iegūtu datu kopas.

Visām sugām gan vilkšanas testos, gan vējgāzēs ASP virsmu rādiusiem bija tendence būt lielākiem kūdreņos, īpaši eglēm un priedēm, bet ASP dziļumi starp meža augšanas apstākļiem katras sugas ietvaros bija līdzīgi. ASP platumiem un dziļumiem attiecinātiem pret koku stumbru dimensijām bija statistiski būtiska ($p < 0.05$) mijiedarbība starp meža augšanas apstākļiem (sausieņi, kūdreņi, slapjaini (bērzs)) un sugām. Tas norāda uz katrai sugai raksturīgu ASP un stumbra dimensiju attiecību izveidošanos atkarībā no meža augšanas apstākļiem. ASP un stumbra tilpuma attiecības visām sugām, izņemot egli, lielākas bija kūdreņos (bērziem arī slapjainos). Bērza paraugkokiem novērota lielāka ASP dziļuma un stumbra izmēra attiecība kūdreņos salīdzinājumā ar sausieņiem gan vilkšanas testos, gan vējgāzēs liecina par vēja noturības adaptāciju mazāk stabilās augsnēs.

Vispārinātajos lineāru jauktu efektu modeļos iekļautajam nejauša (*random*) faktora efektam (audze - lokāli augšanas apstākļi) ir novērota augsta ietekme uz rezultējošo pazīmju izskaidrošanu (2.2. tab.). Vislielākā šāda audzes ietekme bija uz ASP dziļumu un platumu attiecībām pret koku augstumiem, attiecīgi 63% un 62% audzes ietekme uz rezultējošajām pazīmēm. Augstā audzes ietekme uz sakņu attīstību atspoguļojas modeļu R^2_M un R^2_K (kopējo izskaidroto rezultējošo pazīmju īpatsvaru attiecīgi ar un bez randoma faktora ietekmes), liecinot par nozīmīgu audzes ietekmi uz koku sakņu un stumbru dimensiju attiecībām, un līdz ar to arī uz koku adaptāciju vēja ietekmei.

Lielāku ASP (platākas/dziļākas) attiecību pret koku virszemes daļu dimensijām izveidošanās ir saistāma ar nepieciešamību kokiem nodrošināt to mehānisko stabilitāti, kad kolektīvā audzes stabilitāte (savstarpējs blakus esošu koku mehānisks atbalsts) ir nepietiekama (Díaz-Yáñez et al., 2016). Piemēram, zemas audzes biežības vai zemas stabilitātes augsnes apstākļos (Nicoll & Ray, 1996). Attiecīgi, ja sakņu-augsnes sasaiste (enkurojums) ir pietiekams, koki var attīstīt to virszemes daļas (lielāku augšanas resursu īpatsvaru ieguldīt augstuma/caurmēra pieaugumā) un konkurēt ar blakus esošajiem kokiem par gaismu, savukārt, ja pretējā gadījumā ir jāattīsta sakņu sistēma, virszemes daļu pieaugumam atvēlot mazāku resursu daļu (Peltola et al., 2013). Audžu mērķtiecīga apsaimniekošana, tās vai nu sākotnēji veidojot ar zemu biežību, vai regulārāk ar zemāku intensitāti retinot, veicina individuālu koku, līdz ar to arī visas audzes kopējās mehāniskās noturības paaugstināšanos, stimulējot koku plašāku/dziļāku sakņu sistēmu un virszemes daļu ar zemāku masas centru attīstīšanos (Peltola et al., 2013).

2.2. tabula

Vispārinātu lineāru jauktu efektu modeļu dispersijas (χ^2) koku statistiskās vilkšanas testos un vējgāzēs izgāzto bērza, priedes un egles paraugkoku augsnes-sakņu plātnes platumā (ASP_{Pl}) un dziļumā (ASP_{Dz}) attiecībām pret stumbra caurmēru 1.3 m augstumā no sakņu kakla (DBH), kopējo augstumu (H) un stumbra tilpumu (V).

ICC_{Audze} – randoma faktora ietekmes īpatsvars uz modeļa atkarīgo pazīmi, N_{Audzes} – audžu skaits, N_{Koki} – koku skaits, R^2_M – modeļa R^2 bez randoma faktora, R^2_K – modeļa R^2 ar randoma faktoru.

	$ASP_{Pl} \cdot DBH$ 1	$ASP_{Pl} \cdot H$ 1	$ASP_{Pl} \cdot V$ 1	$ASP_{Dz} \cdot DBH$ 1	$ASP_{Dz} \cdot H$ 1	$ASP_{Dz} \cdot V$ 1
Fiksētie faktori	χ^2	χ^2	χ^2	χ^2	χ^2	χ^2
<i>Tests/vējš</i>	306.04*	175.32*	120.91*	290.97*	138.54*	107.84*
<i>Augšanas apstākļi</i>	57.25*	21.00*	65.76*	1.95	19.65*	21.56*
Suga	16.20*	32.85*	9.16*	122.72*	183.16*	20.96*
<i>Augšanas apstākļi : Suga</i>	0.19	5.70	8.19*	6.23*	20.65*	6.96*
Randoma faktors						
ICC_{Audze}	0.55	0.62	0.47	0.47	0.63	0.49
N_{Audzes}	44	44	44	44	44	44
N_{Koki}	419	419	419	419	419	419
R^2_M	0.32	0.24	0.30	0.36	0.44	0.15

Līdz šim ir iegūti ASP dati par 201 vēja un 242 ar statisko vilkšanu izgāztiem kokiem, kas ir uzskatāma par pietiekamu paraugkopu zinātniskās publikācijas sagatavošanai, lai raksturotu atsevišķu grupu sakņu adaptāciju un līdz ar to arī mehānisko stabilitāti. Tomēr papildus tam, lai vēja izraisīto bojājumu raksturojums būtu pilnīgāks, aptverot plašāku reģionu, un to varētu ekstrapolēt, ir nepieciešams iegūt informāciju par vēja izraisīto mežaudžu bojājumu reģionālo/telpisko izplatību. Tādējādi, izmantojot mežaudžu taksācijas datus, bojājumu izplatību būtu iespējams raksturot saistībā ar kokaudžu vecuma, morfometriskajiem un telpiskajiem parametriem, kā arī apsaimniekošanas vēsturi. Tas ļautu paaugstināt līdzšinējā vēja bojājumu izveidošanās modeļa precizitāti.

Literatūra

1. Nicoll, B.C., Ray, D. 1996. Adaptive growth of tree root systems in response to wind action and site conditions. *Tree Physiology*, 16, pp. 891–898.
2. Gardiner, B., Schuck, A.R.T., Schelhaas, M.J., Orazio, C., Blennow, K., Nicoll, B. What Science Can Tell Us. 2013. Living with Storm Damage to Forests, European Forest Institute: Joensuu, Finland, 2013, Volume 13.
3. Krišāns, O., Matisons, R., Vugulis, J., Seipulis, A., Samariks, V., Saleniece, R., Jansons, Ā. 2022. The Destructive Static Tree-Pulling Test Provides Reliable Estimates of the Soil–Root Plate of Eastern Baltic Silver Birch (*Betula pendula* Roth.). *Plants*, 11(11), 1509.
4. Krišāns, O., Samariks, V., Donis, J., Jansons, Ā. 2020. Structural Root-plate characteristics of wind-thrown Norway spruce in hemiboreal forests of Latvia. *Forests*, 11(11), 1143.
5. James, K. 2003. Dynamic loading of trees. *Arboriculture & Urban Forestry*, 29(3), pp. 165–171.
6. Díaz-Yáñez, O., Mola-Yudego, B., González-Olabarria, J.R., Pukkala, T. 2017. How does forest composition and structure affect the stability against wind and snow? *Forest Ecology and Management*, 401, pp. 215–222.
7. Peltola, H., Gardiner, B., Nicoll, B. 2013. Mechanics of wind damage. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151, pp. 328–344.

2.3. Bojājumu varbūtības raksturojums nekailciršu mežsaimniecībā.

Pamatojums

Nepārtraukta vainaga klāja saimniecība tiek popularizēta kā risinājums labai tuvākai mežsaimniecībai, bioloģiskās daudzveidības kāpināšanai. Sagaidāms, ka tā dominēs arī daļā saimniecisko mežu, kur galvenais mērķis būs dabas aizsardzība vai rekreācija. Tomēr daudzos aspektos par šīs pieejas pielietojamību un ilgtermiņa ietekmi trūkst analīzes. Viens no šādiem aspektiem ir ietekme uz vēja bojājumu varbūtību.

Aktivitātes mērķi šajā etapā ir modeļa analīze un aprobācija Latvijas empīriskajiem datiem no nekailcirtēm parastās egles audzēs.

Aktivitātes rezultāts

Analīzē izmantota AS “Latvijas valsts meži” 2021. gada meža nogabalus raksturojošā datu bāze, kur katram nogabalam šajā datu bāzē ir pieejama vēsturiskā informācija par pēdējām piecām ciršanām, tai skaitā informācija par sanitārajām izlases cirtēm. Datu bāzē atlasītie nogabali, kuru vecums vērtēšanas brīdī ir vismaz 20 gadi ar egli, kā valdošo koku sugu. Sanitārās izlases cirtes varbūtība vērtēta pa piecgadēm (2015.-2020., 2010.-2015., 2005.-2010., 2000.-2005.), un izmantoti tikai konkrētā nogabala tās piecgades dati, kuriem ir zināma informācija par saimniecisko

darbību iepriekšējā piecgadē. Vēsturiskās sanitārās izlases cirtes (tāpat nozīmīgus vēja izraisītos bojājumus) varbūtības raksturošanai dati sadalīti divās paraugkopās:

- 1) audzes, kurās iepriekšējā piecgadē veikta koku ciršana izlases veidā – tai skaitā visa veida izlases cirtes, sanitārās izlases cirtes un krājas kopšanas cirtes;
- 2) audzes, kurās iepriekšējā piecgadē nav cirsti koki.

Izstrādājot vienādojumus katrai grupai, audzes sadalītas vecuma desmitgadēs, kur katrai desmitgadei aprēķināts sanitāro ciršu īpatsvars, kas arī tiek pieņemts par vēsturisko sanitārās izlases cirtes varbūtību jeb nozīmīgu vēja izraisīto bojājumu varbūtību. Datu analīzē izmanto 526435 ierakstus par egļu audzēm (nogabaliem), tai skaitā 45239 ierakstus par audzēm, kurās iepriekšējā piecgadē ir veikta koku ciršana izlases veidā, un 481196 ierakstus par audzēm, kurās iepriekšējā piecgadē nav veikta koku ciršana.

Vēsturiskās sanitārās izlases cirtes varbūtības raksturošanai egļu audzēs atlasīti divi statistiski precīzākie raksturojošie vienādojumi.

Sanitārās cirtes varbūtība piecu gadu laikā pēc koku ciršanas izlases veidā:

$$P_{ks} = \exp\left(\alpha_1 + \frac{\alpha_2}{A} + \alpha_3 \cdot \ln(A)\right), \quad (1)$$

kur

- P_{ks} – varbūtība, ka pēc krājas kopšanas vai izlases cirtes nākamo piecu gadu laikā veiks sanitāro izlases cirti;
- A – mežaudzes vecums, gadi;
- α_{1-3} – koeficienti (1. tab.).

Sanitārās cirtes varbūtība piecu gadu laikā bez koku ciršanas:

$$P_s = 10^{-6} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2^A \cdot A^{\alpha_3}, \quad (2)$$

kur

- P_s – varbūtība, ka pēc krājas kopšanas cirtes nākamo piecu gadu laikā veiks sanitāro izlases cirti;
- A – mežaudzes vecums, gadi;
- α_{1-3} – koeficienti (1. tab.).

Datu atlase un pirmapstrāde veikta programmās ArcGis 10.3.1. un MS Excel, bet vienādojumu aproksimācija veikta programmā CurveExpertProfessional 2.6.4*.

Aproksimētas koeficientu vērtības vienādojumiem, kas raksturo sanitārās izlases cirtes varbūtību nākamo piecu gadu laikā, ņemot vērā vai audzē ir cirsti koki (krājas kopšanas cirte, sanitārā izlases cirte, izlases cirte) vai nav cirsti koki (2.3. tab.).

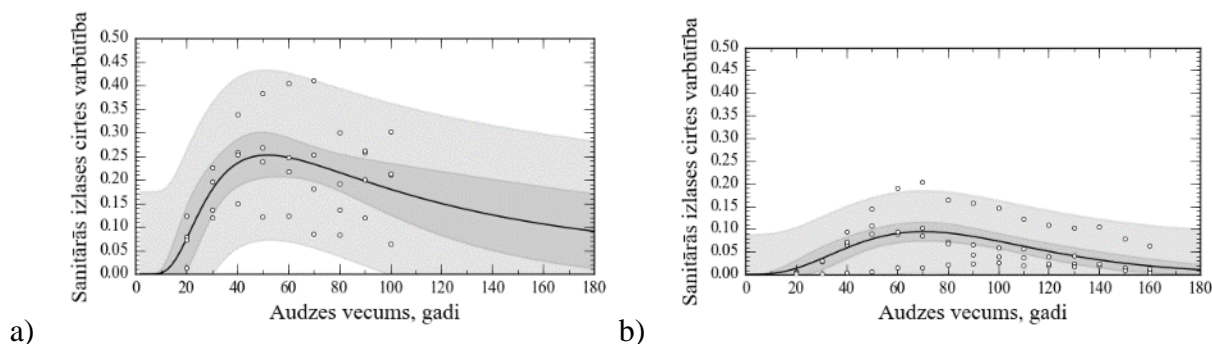
2.3. tabula.

Vienādojumu koeficienti sanitārās izlases cirtes varbūtības nākamo piecu gadu laikā prognozēšanai egļu audzēs.

Vienādojums	Koeficienti			Vienādojums	
	Koeficienti	Vērtība	Standartklūda	Standartklūda	Determinācijas koeficients
1. vienādojums	α_1	8.1268	3.9488	0.0854	0.2876
	α_2	-99.5539	38.9746		
	α_3	-1.9212	0.7982		
2. vienādojums	α_1	0.8415	3.0923	0.0437	0.2886
	α_2	0.9505	0.0140		

Vienādojums	Koeficienti			Vienādojums	
	Koeficienti	Vērtība	Standartklūda	Standartklūda	Determinācijas koeficients
	α_3		3.5720	1.1118	

Sanitārās cirtes varbūtība nākamajā piecgadē pēc koku ciršanas izlases veida (krājas kopšanas cirtes, sanitārās izlases cirtes, izlases cirtes) palielinās otrās un trešās vecumklases audzēm (2.4. att).



a) sanitārās cirtes varbūtība nākamajā piecgadē pēc koku ciršanas izlases veida (krājas kopšanas cirtes, sanitārās izlases cirtes, izlases cirtes), b) sanitārās cirtes varbūtība nākamajā piecgadē bez koku ciršanas.

2.4. attēls. Vēsturiskā sanitāro izlases ciršu varbūtība egļu audzēs un aproksimēto vienādojumu prognozētā vērtība.

Tas norāda uz nozīmīgām egļu audžu struktūras izmaiņām vecuma posmā, kad audžu kopējā mehāniskā noturība ir nostabilizējusies atbilstoši līdzšinējiem augšanas apstākļiem. Attiecīgi, otrās un trešās vecumklases egļu audzēm uzņēmība pret vēja izraisīto bojājumu izveidošanos ir ievērojami paaugstināta pēc koku ciršanas izlases veidā (krājas kopšanas cirtes, sanitārās izlases cirtes, izlases cirtes). Starp datu analīzē izmantotajām datu piecgadēm vērojamas atšķirības. Piecgadē, kas ietver 2005. gadu, sanitāro ciršu īpatsvars egļu audzēs ir ievērojami lielāks nekā citās piecgadēs (2.4. att.).

Nepieciešams analizētā jautājuma papildus vērtējums, ja Eiropas mērogā tiks sagatavots individuālu koku vēja noturības modelēšanas rīks. Esošo datu analīzes rezultāti neliecina par iespēju nozīmīgi mazināt vēja bojājumu varbūtību, izmantojot nekailciršu mežsaimniecību.

2.4. Modeļi augsnes sasaluma novērtējumam mežaudzēs atkarībā no gaisa temperatūras un audzes parametriem.

Pamatojums

Augsnes sasalums nozīmīgi paaugstina individuālu koku augsnes-sakņu ieenkurojuma spēku, un līdz ar to arī mežaudžu noturību pret vēja izraisītajiem bojājumiem rudens-ziemas sezonā (Peltola et al., 2000; Laapas et al., 2019), kad Baltijas jūras reģiona austrumu daļā ir paaugstināta cikloniskā aktivitāte (Stewart, 1985; Gardiner et al., 2013; Gregow et al., 2017). Tomēr lielāks nokrišņu apjoms (lietus un/vai dziļāka sniega sega) apgrūtina augsnes sasaluma izveidošanos (Venäläinen et al., 2001; Ossó et al., 2022), ko, savukārt, ietekmē arī augsnes mitrums (Kellomäki et al., 2010; Gregow et al., 2011). Tostarp arī sniegu uztverošs koku vainagu klājs (Davis et al., 1997), kura ietekme tomēr var būt atšķirīga (Strasser et al., 2011; Pretsch & Schütze, 2016). Lapu koku mežaudzēs segas biezums var būt vienmērīgs kā zem vainagiem, tā atvērumos starp tiem, savukārt, piemēram, dažāda vecuma/biezības egļu mežaudzēs sniega segas biezums var būt ļoti

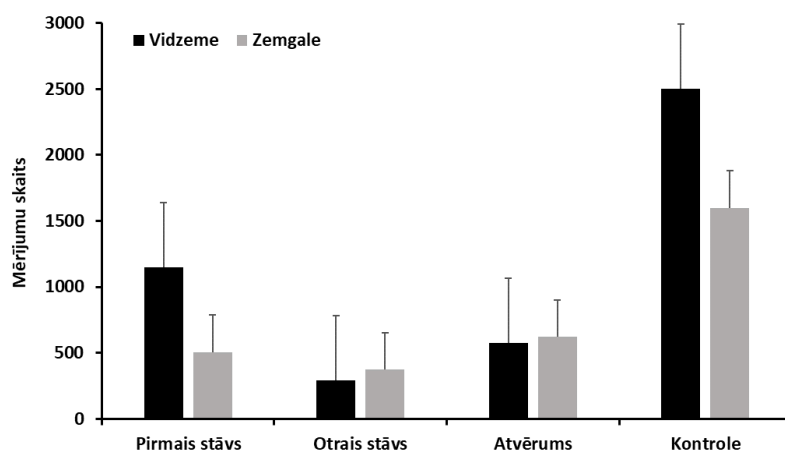
heterogēns (Horstkotte & Roturier, 2013). Retākās un/vai vecākās egļu mežaudzēs, ar pastāvīgi augstāku augsnes mitrumu, augsnes sasalums var būt mazāk izteikts (Horstkotte & Roturier, 2013; Iwata et al., 2010), paaugstinot vēja izraisīto bojājumu risku tajās (Gregow et al., 2011; Kellomäki et al., 2010). Savukārt biežākās un/vai jaunākās mežaudzēs sniega sega var būt plānāka (Horstkotte & Roturier, 2013), veicinot augsnes sasalšanu (Iwata et al., 2010), pazeminot vēja bojājumu risku (Gregow et al., 2011; Kellomäki et al., 2010). Sniega segas izveidošanās, biežuma, blīvuma, ūdens satura tajā un attiecīgi arī ietekmes uz augsnes sasaluma izveidošanos novērtējums dažādas biežības saimnieciski nozīmīgāko koku sugu mežaudzēs nodrošinās līdz šim izstrādāto/publicēto dažādu augsnes sasaluma/temperatūras izmaiņu modeļu aprobāciju Latvijas apstākļiem.

Aktivitātes mērķi šajā etapā ir: 1) sniega segas biežuma un temperatūras datu ievākšana (5 transekti).

Aktivitātes rezultāts:

Šī gada sākumā turpināta datu ievākšana 2022. gadā izveidotajos transektoos saskaņā ar iepriekš aprakstīto metodiku (detalizēta informācija 2. etapa pārskatā), veicot 7 inventarizācijas (no 13.01. līdz 24.03.). Nodrošināta ievērojama datu kopa - 7854 mērījumi (2.5. att.).

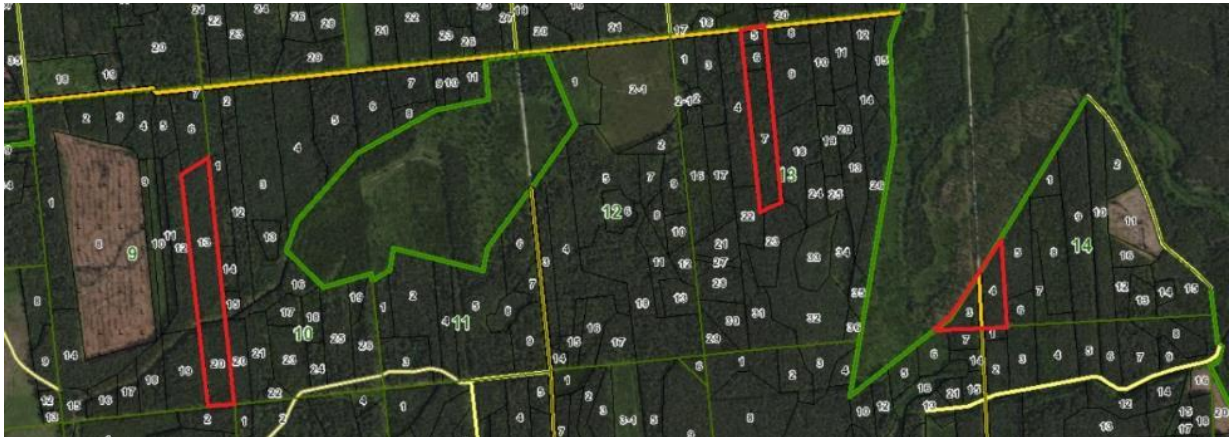
Veicot datu sākotnējo analīzi, redzamas sniega segas biežuma izmaiņas atkarībā no mērījuma punkta novietojuma (zem vainaga vai atvērumā). To ietekmē sakņu-augsnes plātnes zonā, īpaši egļu audzēs, sniega segas biežums var būt mazāks, kas ietekmē augsnes sasalumu un līdz ar to arī vēja noturību. Līdzšinējā novērojumu metodika neparedzēja iespēju detalizētāk novērot sniega segas biežuma atšķirības, kas rodas dažādās lokācijās attiecībā pret individuālu koku mežaudzē. Lai nodrošinātu precīzāku mežaudzes parametru un sniega segas mijiedarbības ietekmes uz augsnes sasaluma veidošanos raksturošanu, līdzšinējā novērojumu metodika (500 m transekti ar mērījumu punktiem katros 10 m) ir pilnveidota, mērījumus veicot 500 m² apļveida parauglaukumos, saglabāts līdzšinējais 1000 m kontroles novērojumu maršruts uz atklāta lauka.



Pirmais stāvs – mērījums zem pirmā stāva koku vaināgiem; otrais stāvs – mērījums zem otrā stāva koku vaināgiem; atvērums – mērījums audzes vainagu klāja atvērumā; kontrolē – mērījums uz atklāta lauka.

2.5. attēls. Sniega segas mērījumu skaits Vidzemē un Zemgalē 2022./2023. novērojumu sezonā.

Tas ļaus pielietot līdz šim citos pētījumos izmantoto kokaudžu struktūras novērtējuma metodiku, nodrošinot precīzāku iegūto datu ekstrapolāciju starp līdzīgām mežaudzēm. Sniega segas un augsnes sasaluma novērtēšana turpinās pēc meteoroloģiskajiem apstākļiem atšķirīgos Latvijas reģionos (Zemgales līdzenums (MPS Jelgavas MN) un Vidzemes augstiene (MPS Taurenas MN)), kur katrā ir izveidoti 18 parauglaukumi savstarpēji atšķirīgas biežības vidēja vecuma bērzu, egļu un priežu mežaudzēs sausieņos un slapjajņos (2.6. un 2.7.. att.).



2.6. attēls. Nogabali MPS Jelgavas MN, kuros ierīkoti sniega segas novērojumu parauglaukumi 2023.-2024. gada sezonā.



2.7. attēls. Nogabali MPS Taurenas MN, kuros ierīkoti sniega segas novērojumu parauglaukumi 2023.-2024. gada sezonā.

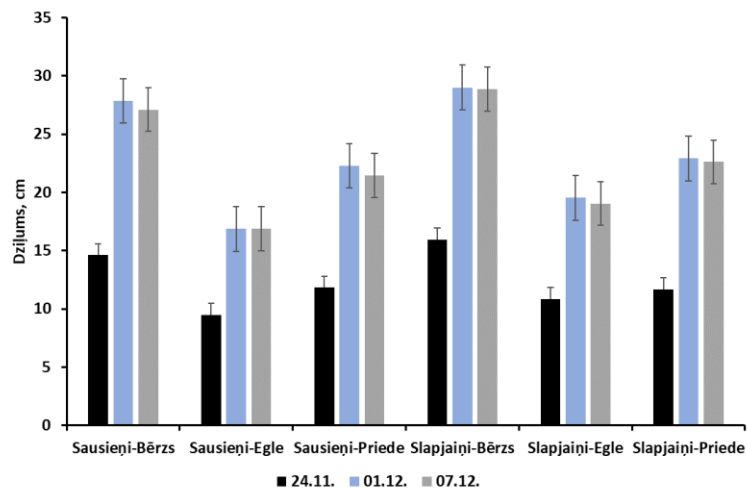
Katrā parauglaukumā sniega segas biezuma mērījumus veic zem trīs paraugkoku vainagiem un to projekciju malās, kā arī vainagu klāja atvērumā. Kontroles datu iegūšanai mērījumi tiek veikti uz atklāta lauka. Lai novērojumi būtu konsekventi, mērījumu vietas dabā atzīmētas ar patstāvīgām mērlatām, kuru izvietojums ir uz transekta no paraugkoka uz vainagu klāja atvērumu (2.8. att.). Papildus katrā parauglaukumā tiek veikta sniega parauga svēršana atbilstoši 2. etapa pārskatā aprakstītajai metodikai, kas nepieciešama, lai noteiktu sniega segas blīvumu un ūdens saturu.

Augsnes temperatūras izmaiņas un attiecīgi arī augsnes sasaluma izveidošanās katrā reģionā tiek veikta četros slapjainu parauglaukumos – pa vienam bērzu un priežu, bet egļu mežaudzēs divos. Tajos ir izvietoti augsnes temperatūras sensori, kas ik pēc 3 stundām reģistrē temperatūru augsnes virskārtā (ar un bez zemsedzes), 10, 20 un 30 cm dziļumā.



2.8. attēls. Mērlatu izvietojums attiecībā pret paraugkoku.

Līdz 2023. gada noslēgumam jaunierīkotajos parauglaukumos sniega segas novērojumi ir veikti trīs reizes (no 24.11. līdz 07.12.) (2.9. att.). Redzams, ka ziemas sākumā sniega sega vidēji ir biežāka bērzu audzēs, kur vainagu klāja sniega caurlaidība ir lielāka nekā skujkoku audzēs. Tāpat vidējais sniega segas biezums ir lielāks slapjainos, salīdzinot sausieņiem.



2.9. attēls. Vidējais sniega segas biezums bērzu, egļu un priežu mežaudzēs sausieņos un slapjainos Vidzemē 2023./2024. gada novērojumu sezonas sākumā.

Datu detalizēta analīze paredzēta pētījuma noslēguma etapā.

Literatūra

1. Davis, R. E., Hardy, J. P., Ni, W., Woodcock, C., McKenzie, J. C., Jordan, R., Li, X. 1997. Variation of snow cover ablation in the boreal forest: A sensitivity study on the effects of conifer canopy. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D24), pp. 29389-29395.
2. Gardiner, B., Schuck, A.R.T., Schelhaas, M.J., Orazio, C., Blennow, K., Nicoll, B. (Eds.) 2013. Living with storm damage to forests. Joensuu, European Forest Institute.
3. Gregow, H., Laaksonen, A., Alper, M.E. 2017. Increasing large scale windstorm damage in Western, Central and Northern European forests, 1951–2010. *Scientific Reports*. 7(1), 46397.
4. Gregow, H., Peltola, H., Laapas, M., Saku, S., Venäläinen, A. 2011. Combined occurrence of wind, snow loading and soil frost with implications for risks to forestry in Finland under the current and changing climatic conditions. *Silva Fennica*, 45(1), pp. 35-54.
5. Horstkotte, T., Roturier, S. 2013. Does forest stand structure impact the dynamics of snow on winter grazing grounds of reindeer (*Rangifer t. tarandus*)?. *Forest Ecology and Management*, 291, pp. 162-171.
6. Iwata, Y., Hayashi, M., Suzuki, S., Hirota, T., & Hasegawa, S. 2010. Effects of snow cover on soil freezing, water movement, and snowmelt infiltration: A paired plot experiment. *Water resources research*, 46(9).
7. Kellomäki, S., Maajärvi, M., Strandman, H., Kilpeläinen, A., Peltola, H. 2010. Model computations on the climate change effects on snow cover, soil moisture and soil frost in the boreal conditions over Finland. *Silva Fennica*, 44(2), pp. 213-233.
8. Laapas, M., Lehtonen, I., Venäläinen, A., Peltola, H. M. 2019. The 10-year return levels of maximum wind speeds under frozen and unfrozen soil forest conditions in Finland. *Climate*, 7(5), p. 62.
9. Ossó, A., Allan, R. P., Hawkins, E., Shaffrey, L., Maraun, D. 2022. Emerging new climate extremes over Europe. *Climate Dynamics*, 58(1), pp. 487-501.
10. Peltola, H., Kellomäki, S., Hassinen, A., Granander, M. 2000. Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland. *Forest Ecology and Management*, 135(1-3), pp. 143-153.
11. Pretzsch, H., Schütze, G. 2016. Effect of tree species mixing on the size structure, density, and yield of forest stands. *European journal of forest research*, 135(1), pp. 1-22.
12. Strasser, U., Warscher, M., Liston, G. E. 2011. Modeling snow–canopy processes on an idealized mountain. *Journal of Hydrometeorology*, 12(4), pp. 663-677.
13. Stewart, R.E. 1985. Precipitation types in winter storms. *Pure and Applied Geophysics*, 123(4), pp. 597–609.
14. Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Heikinheimo, M., Kellomäki, S., Peltola, H., Strandman, H., Väisänen, H. (2001). Impact of climate change on soil frost under snow cover in a forested landscape. *Climate research*, 17(1), pp. 63-72.

2.7. Selekcijas un atjaunošanas ietekme uz vēja bojājumu varbūtību.

Pamatojums

Sakņu bojājumi un tiem sekojoša koku izgāšanās ir izplatītākais vēja izraisīto mežaudžu bojājumu veids, un tā izveidošanos ietekmē sakņu ieenkurojums augsnē jeb augsnes-sakņu sasaiste (Krišāns et al., 2022a; Peltola et al., 2000). Augsnes-sakņu sasaiste ir atkarīga kā no meža tipa (augšnes veida) un koku sugas, tā arī no konkrētās mežaudzes apsaimniekošanas vēstures (atjaunošanas paņēmiena), kas ietver arī augsnes sagatavošanas veidu (Krišāns et al., 2022b; Ray un Nicoll, 1998). Pastāvīgi augsta gruntsūdens līmeņa apstākļos koku sakņu sistēmas var neveidoties pietiekami dziļas, nenodrošinot pietiekamu augsnes-sakņu sasaisti, kas palielina to vēja izraisīto bojājumu risku (Gardiner, 2021). Šādos apstākļos mežaudžu atjaunošana uz pacilām var paaugstināt gan individuālo koku, un līdz ar to arī audzes kopējo mehānisko stabilitāti (Díaz-Yáñez et al., 2016), jo koki uz pacilām, ir sagaidāma dziļāka sakņu sistēma (Celma et al., 2019), kas spēj pastiprināt koku skaņu ieenkurojumu (Ray un Nicoll, 1998; Nicoll un Ray, 1996).

Šāda stabilitātes potenciāla pilnīgāka izmantošana ir īpaši nozīmīga sugām ar lielāku morfoloģisko plastiskumu (spēj attīstīt dziļākas sakņu sistēmas) (Danjon et al. 2005; Danquechin Dorval et al. 2016; Yang et al. 2018), kā piemēram, parastajai priedei (*Pinus sylvestris* L.). Augsnes sagatavošanai mežaudžu atjaunošanā sausieņos (stādījumi vagās) arī ir sagaidāma ietekme uz koku skaņu ieenkurojumu, jo izveidotā jauno kociņu stādvieta (atklāta minerālaugsne) veicina sakņu sistēmu izplatību salīdzinājumā ar dabisko atjaunošanos/nesagatavotu augsni (Celma et al., 2019). Tomēr līdz šim pieejamā kvantitatīvā informācija par šādu augsnes sagatavošanas veidu (pacilas,

vagas) ietekmes uz koku mehānisko stabilitāti novērtējumu ir nepilnīga, kas pamato šādu pētījumu nepieciešamību.

Aktivitātes mērķi šajā etapā ir novērtēt augsnes sagatavošanas veida ilgtermiņa ietekmi uz vēja noturību.

Aktivitātes rezultāts

Sagatavots materiāls un vienas publikācijas manuskripts. Koku mehāniskās noturības novērtēšanai 40–50 gadus vecos priedes stādījumos āreņos ar pacilām (18 koki SIA "Rīgas meži" Daugavas mežniecībā) un sausieņos ar vagām (18 koki Meža pētīšanas stacijas platībās) ir veikti statistiskās vilkšanas testi (26 kontroles koki sausieņos Meža pētīšanas stacijas platībās). Koku mehānisko stabilitāti vispusīgi raksturojošā dimensiju kovariante stumbra tilpums (V_{STUMBR}) nodrošināja augstu ($R^2 < 0.90$) vispārināta lineāra jauktu efektu modeļa R^2_M (bez randoma faktora – audze) un R^2_k (ar randoma faktoru – audze), kas nozīmē lielu izskaidrotās atkarīgās pazīmes – maksimālā lieces momenta stumbra pamatnē (BBM_{MAX}) īpatsvaru (2.4. tab.). Tomēr nebūtiskā ($p > 0.05$) V_{STUMBR} un BBM_{MAX} mijiedarbība (2.4. tab. un 2.9. att.) norāda uz to, ka starp salīdzinātajām grupām (pacilas, vagas, kontrole) līdzīgu dimensiju kokiem ir vienāda statistiskās slodzes noturība. Tas nozīmē līdzīgu mehānisko stabilitāti vienādu dimensiju paraugkokiem priežu audzēs āreņos uz pacilām un sausieņos ar un bez vagām.

Lai arī V_{STUMBR} raksturo biomasu virszemes daļās, kam ir tendence būt proporcionālām ar saknēm (Palardy, 2010), un līdz ar to tam ir saistība ar augsnes-sakņu ienakurojumu (Nicoll and Ray, 1996; Gardiner, 2021). Tomēr tas var atšķirties atkarībā no augšanas apstākļiem (Gardiner, 2021). Tāpēc, izmantojot V_{STUMBR} un sakņu maksimālā dziļuma attiecību ($V_{STUMBR} \cdot Dziļums_{SAKNES}$) modeļos, kā koku dimensijas kvantificējošu kovariante, ir raksturota paraugkoku mehāniskā stabilitāte atkarībā arī no to sakņu izplatības. BBM_{MAX} mijiedarbība ar $V_{STUMBR} \cdot Dziļums_{SAKNES}$ bija būtiska ($p < 0.05$), norādot uz BBM_{MAX} atšķirībām starp paraugkopām atkarībā no V_{STUMBR} attiecības pret sakņu izplatības maksimālo dziļumu jeb taišņu slīpumiem.

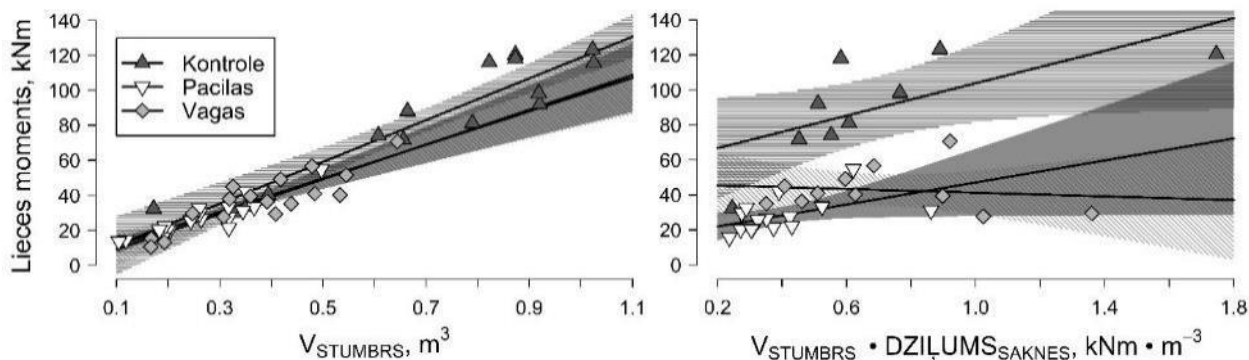
2.4. tabula

Vispārinātu lineāru jauktu efektu modeļu dispersijas (χ^2) parastās priedes (*Pinus sylvestris* L.) paraugkoku maksimālajiem lieces momentiem stumbra pamatnē (BBM_{MAX}) atkarībā no augsnes sagatavošanas veida (pacilas, vagas, nesagatavota augsne (kontrolē)).

V_{STUMBR} – koka stumbra tilpums; $V_{STUMBR} \cdot Dziļums_{SAKNES}$ – koka stumbra tilpuma un sakņu maksimālā dziļuma attiecība; * – $p < 0.05$; ICC_{Audze} – randoma faktora ietekmes īpatsvars uz modeļa atkarīgo pazīmi; N_{Audzes} – audžu skaits; N_{Audzes} – koku skaits; R^2_M – modeļa R^2 bez randoma faktora; R^2_k – modeļa R^2 ar randoma faktoru.

BBM_{MAX}		BBM_{MAX}	
Fiksētie faktori	χ^2	Fiksētie faktori	χ^2
V_{STUMBR}	146.09*	$V_{STUMBR} \cdot Dziļums_{SAKNES}$	14.34*
Augsne	0.10*	Augsne	52.09*
$V_{STUMBR} : Augsne$	1.44	$V_{STUMBR} \cdot Dziļums_{SAKNES} : Augsne$	7.28*
Randoma faktors		Randoma faktors	
ICC_{Audze}	0.14	ICC_{Audze}	0.11
N_{Audzes}	9	N_{Audzes}	9

N_{Koki}	50	N_{Koki}	35
R^2_M	0.93	R^2_M	0.76
R^2_K	0.94	R^2_K	0.79



V_{STUMBR} – koka stumbrā tilpums; $V_{\text{STUMBR}} \cdot \text{Dziļums}_{\text{SAKNES}}$ – koka stumbrā tilpuma un sakņu maksimālā dziļuma attiecība.

2.9. attēls. Parastās priedes (*Pinus sylvestris* L.) paraugkoku maksimālie lieces momenti stumbrā pamatnē (BBM_{MAX}) atkarībā no augsnes sagatavošanas veida (pacilās, vagās, nesagatavota augsne (kontrolē)).

Attiecīgi līdzīgu dimensiju priedēm sausieņos stādījumos ar vagām bija būtiski zemāka mehāniskā stabilitāte jeb $V_{\text{STUMBR}} \cdot \text{Dziļums}_{\text{SAKNES}}$ nenodrošināja tādu pašu noturību kā āreņos uz pacilām un kontrolē. Tas norāda uz iespējamu zemāku sakņu adaptāciju sausieņos ar vagām. Tomēr attiecīgajām paraugkopām ir novērota augstāka izkliede (2.9. att.), kas liecina par rezultātu lielāku variāciju, un attiecīgi nenoteiktību, īpaši lielākajiem paraugkokiem.

Mežaudžu atjaunošana stādījumos ar augsnes sagatavošanu nodrošina augstāku to saglabāšanos un ātrāku augšanu pirmajos gados. Kokiem sasniedzot aptuveni 10 m augstumu, palielinās vēja izraisīto bojājumu risks, un koku noturība atšķirīgu sākotnējo augšanas apstākļu ietekmē var nozīmīgi atšķirties, kā liecina iegūtie rezultāti. Tomēr esošā paraugkopa (17 koki) ierobežo iegūto secinājumu vispārināšanu, tāpēc ir nepieciešams paplašināt esošās paraugkopas. Gan stādījumos uz vagām (35 koki, 6 audzes), gan kontrolē (40 koki, 6 audzes), kā arī salāgot paraugkoku sadalījumu pēc stumbrā caurmēra (vagām līdz ~30 cm, bet kontrolē no ~15 cm). Tajā pašā laikā, lai uzlabotu pētījuma dizainu no paraugkopu salīdzināmības viedokļa, ir nepieciešams novērtēt parasto priežu audžu noturību slapjajiem/āreņos (bez pacilām vai citādas augsnes sagatavošanas – 35 koki, 6 audzes). Tas ļaus adekvātāk interpretēt stādījumu ierīkošanas uz pacilām ietekmi uz koku mehāniskās stabilitātes paaugstināšanu uz zemākas noturības augsnēm.

Literatūra

1. Peltola, H., Kellomäki, S., Hassinen, A., Granander, M. 2000. Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland. *Forest Ecology and Management*, 135(1-3), pp. 143-153.
2. Krišāns, O., Čakša, L., Matisons, R., Rust, S., Elferts, D., Seipulis, A., Jansons, Ā. 2022a. A static pulling test is a suitable method for comparison of the loading resistance of silver birch (*Betula pendula* Roth.) between urban and peri-urban forests. *Forests*, 13(1), 127.

3. Ray, D., Nicoll, B. C. 1998. The effect of soil water-table depth on root-plate development and stability of Sitka spruce. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 71(2), pp. 169-182.
4. Gardiner, B. (2021). Wind damage to forests and trees: A review with an emphasis on planted and managed forests. *Journal of Forest Research*, 26(4), 248-266.
5. Díaz-Yáñez, O., Mola-Yudego, B., González-Olabarria, J.R., Pukkala, T. 2017. How does forest composition and structure affect the stability against wind and snow? *Forest Ecology and Management*, 401, pp. 215–222.
6. Celma, S., Blate, K., Lazdiņa, D., Dūmiņš, K., Neimane, S., Štāls, T. A., Štikāne, K. 2019. Effect of soil preparation method on root development of *P. sylvestris* and *P. abies* saplings in commercial forest stands. *New Forests*, 50(2), pp. 283-290.
7. Nicoll, B.C., Ray, D. 1996. Adaptive growth of tree root systems in response to wind action and site conditions. *Tree Physiology*, 16, pp. 891–898.
8. Danquechin Dorval, A., Meredieu, C., Danjon, F. 2016. Anchorage failure of young trees in sandy soils is prevented by a rigid central part of the root system with various designs. *Annals of botany*, 118(4), pp. 747-762.
9. Danjon, F., Fourcaud, T., Bert, D. 2005. Root architecture and wind-firmness of mature *Pinus pinaster*. *New phytologist*, 168(2), pp. 387-400.
10. Pallardy, S. G. (2010). *Physiology of woody plants*. academic press.

2.8. Precizēti ugunsbīstamības izmaiņu un ugunsgrēku seku modeļi.

Pamatojums

Klimata pārmaiņu ietekmē paaugstinās ugunsbīstamība mežos. Uguns ietekme kokaudzē ir heterogēna un vairākumā gadījumu ne visi koki aiziet bojā ugunsgrēka laikā vai uzreiz pēc tā. Lēmumu pieņemšanai par audzes apsaimniekošanu pēc ugunsgrēka būtiski ir prognozēt koku ilgtermiņa izdzīvošanas varbūtību un pieaugumu.

Aktivitātes mērķis šajā etapā: pārmērīt parauglaukumus ugunsgrēku ilgtermiņa ietekmes uz koku atmiršanu un izdzīvojušo koku pieaugumu raksturošanai (8 objekti) un sagatavot analīzi publikācijas formātā.

Aktivitātes rezultāts

Deguma ietekmes uz koku pieaugumu raksturošanai pētījuma etapā saskaņā ar plānoto 2023. gada rudenī atkārtoti pārmērīti parauglaukumi 8 pētījuma objektos (2.5. tab., 2.10. att.), divi objekti pārmērīti iepriekšējā etapā. Pārmērītie objekti atrodas 5 degumos. Viens no degumiem (pieci objekti 710 – 2 uzmērīti pētījuma 2. etapā un 3 šajā) dedzis 2004. gadā, pārējie deguši 2006. gadā. Mežaudžu vecums degšanas brīdī 51 līdz 101 gads. Kociem noteikts stāvoklis – dzīvs, sausoknis, kritāls, celms. Izlases veidā katrā nogabalā 20 kociem uzmērīti koku augstumi (augstumlīknes izveidei objektā). Dzīvajiem kociem ar pieauguma svārpstu krūšaugstumā iegūti radiālā pieauguma paraugi no priedes uzskaites kociem parauglaukumos.

Deviņos no desmit objektiem veiktas sanitārās cirtes (sanitārā cirte nav veikta objektā Mežole_1). Kopējais bojāgājušo (sausokņu, stubeņu, kritālu) un nozāģēto koku īpatsvars objektos ir 11-74% no dzīvo koku šķērslaukuma pirms degšanas (2.5. tab.). Uzmērītie objekti iedalīti divās vecuma grupās: 50-75 gadi un 95-105 gadi (2.6. un 2.7. tab.).



2.10. attēls. Ugunsgrēka skartie koki pētījuma parauglaukumos.

2.5.tabula

2023. gadā pārmērītie pētījuma objekti.

Objekts	MT	Vecums*	H _{max} ** , m	Bojāgājušie***,%
401_239_6	Ln	96	3,6	57
401_239_8	Ln	105	3,7	44
408_184_6_1	Mr	99	4,2	12
408_184_6_2	Mr	99	3,6	19
408_184_8;9	Ln	99	2,0	11
408_421_9	Mr	57	3,6	19
710_166_11	Ln	73	1,6	24
710_166_12	Mr	51	2,1	31
710_166_3	Ln	75	2,6	74
Mežole 1	Ln	68	1,2	24

*vecums degšanas gadā; **vidējais maksimālais apdeguma augstums; ***bojāgājušie (sausokņi, stumbeņi, kritālas) un nozāģētie, īpatsvars % no dzīvo koku šķērslaukuma pirms degšanas; MT – meža tips

2.6. tabula.

Pētāmo objektu vecuma grupā 50-75 gadi pirmā stāva taksācijas rādītāji pēc deguma (deguma gadā vai līdz diviem gadiem pēc deguma) un 17 vai 19 gadus pēc deguma.

Objekts	408_421_9		710_166_11		710_166_12		710_166_3		Mežole 1	
Gads	2008	2023	2004	2023	2004	2023	2004	2023	2007	2023
D, cm	22,0	26,3	24,2	29,1	15,5	20,1	24,2	32,9	24,4	27,0
H, m	19,3	22,5	21,0	25,3	14,7	17,8	21,6	25,6	22,7	26,1
G, m ²	22,4	25,6	31,0	32,5	18,2	21,0	29,0	15,9	41,2	44,7
V, m ³ ha ⁻¹	210	265	313	371	132	180	296	184	434	530
N, koki ha ⁻¹	592	472	682	506	979	648	630	190	880	780

2.7. tabula.

Pētāmo objektu vecuma grupā 95-105 gadi pirmā stāva taksācijas rādītāji vienu gadu pēc deguma un 17 gadus pēc deguma.

Objekts	401_239_6		401_239_8		408_184_6_1		408_184_6_2		408_184_8;9	
	2007	2023	2007	2023	2007	2023	2007	2023	2007	2023
Gads	2007	2023	2007	2023	2007	2023	2007	2023	2007	2023
D, cm	28,2	30,6	29,6	32,7	32,9	35,9	33,0	37,1	40,0	45,6
H, m	23,9	25,1	26,2	26,8	27,8	29,6	24,8	26,6	28,8	32,1
G, m ²	33,6	25,0	41,4	30,2	37,7	38,3	19,4	19,4	32,5	38,3
V, m ³ ha ⁻¹	367	285	504	366	474	509	219	233	427	531
N, koki ha ⁻¹	540	340	600	360	448	387	229	181	258	242

Ar pieauguma svārpstu krūšaugsstumā iegūti radiālā pieauguma paraugi no priedes uzskaites kokiem parauglaukumos. Urbšanas virziens - virzienā pret PL centru. Vienā objektā iegūti vidēji 27 gadskārtu urbumi (no 14 līdz 34 urbumiem). Kopumā gadskārtu urbumi iegūti no 271 kokiem. Kontrolei izmantoti 345 koki no 7 kontroles audzēm.

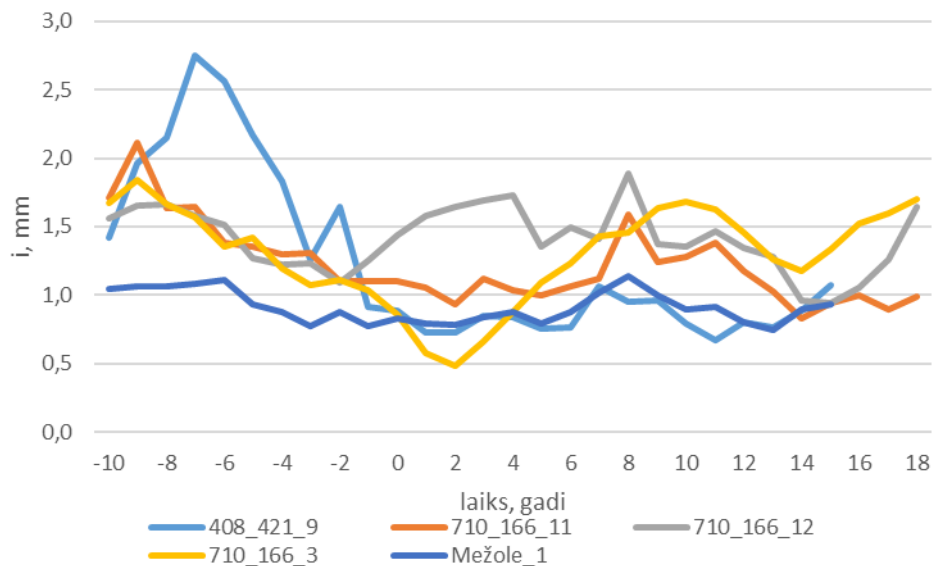
Papildus pieauguma aprēķiniem katram degušajos objektos urbtajam kokam atlasīti adekvātie kontroles koki pēc 2 pakāpju sistēmas (2.11.-2.16. att.).

2.8. tabula.

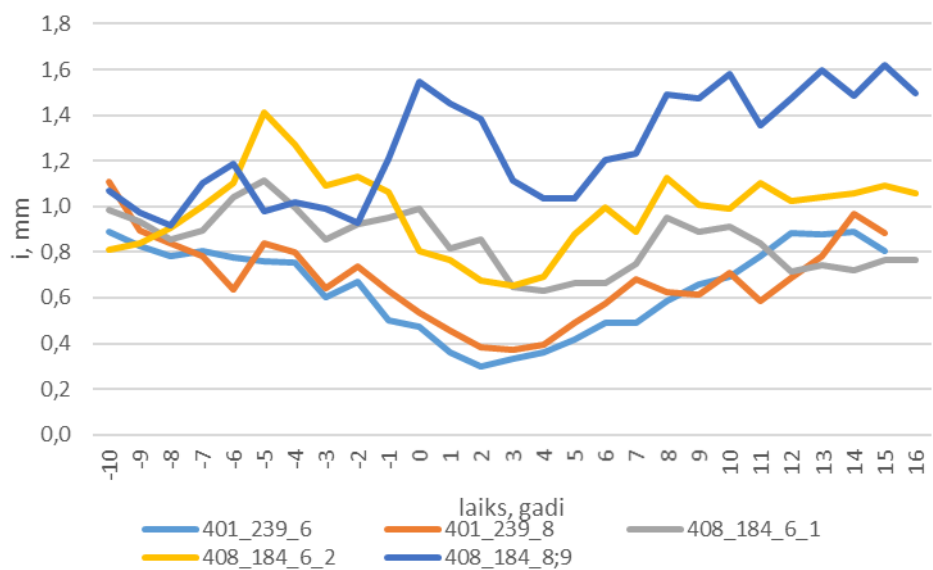
Aprēķiniem izmantoto koku skaits un caurmērs degšanas gadā sadalījumā pa maksimālajiem apdeguma augstumiem un vecuma grupām.

Vecuma grupa	Apdeguma augstums, m	Koku skaits	D _{vid} , cm	D _{min} , cm	D _{max} , cm
50-75 gadi	0,2 -1,0	15	26	15	35
	1,1 - 2,0	37	25	14	34
	2,1 - 3,0	21	24	15	36
	3,1 >	12	24	17	35
	Kopā	85	25	14	36
95-105 gadi	0,2 -1,0	3	42	37	53
	1,1 - 2,0	3	42	40	43
	2,1 - 3,0	20	34	22	48
	3,1 >	50	32	19	38
	Kopā	76	33	19	53

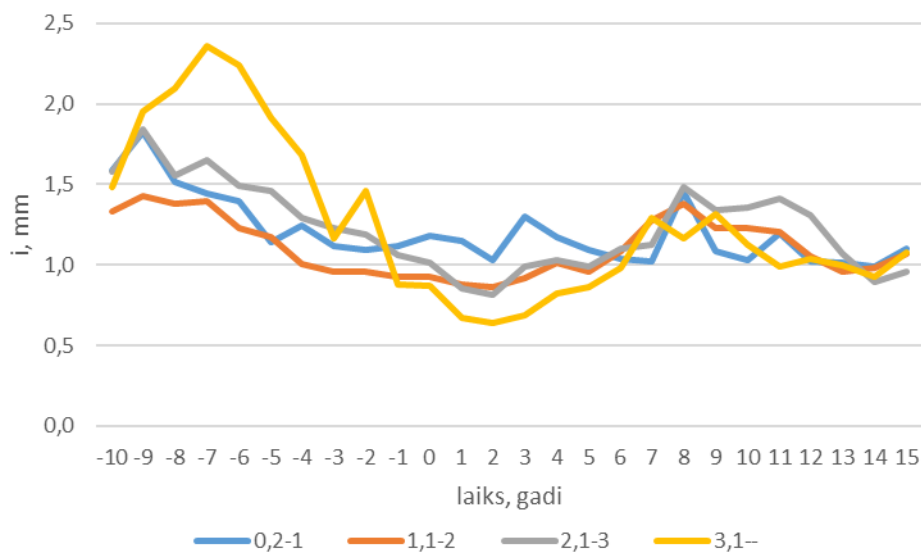
No sākuma par kontroles kokiem atlasīti tie, kuru radiālais pieaugums retrospekcijas periodā uzrādīja statistiski būtisku korelāciju $r_{10;0,05} = 0,6319$ (Pīrsona koeficienta kritiskā vērtība pie $n=10$ un $\alpha=0,05$) pret vērtējamā koka radiālo pieaugumu. Ja atlasīto koku skaits ir vismaz 10 koki, tad turpmāka koku atlase nav turpināta un izmantoti atlasītie koki. Bet, ja atlasīto koku skaits mazāks par 10, tad pie iepriekš atlasītajiem kokiem pievienoti tie kontroles koki, kuru radiālajam pieaugumam ar vērtējamo audžu radiālo pieaugumu ir statistiski būtiska korelācija pie rezultātu būtiskuma līmeņa $r_{10;0,1} = 0,6319$ (Pīrsona koeficienta kritiskā vērtība pie $n=10$ un $\alpha=0,1$). Ja arī šajā gadījumā neatlasījās vismaz 10 kontroles koki, tad šo koku turpmākajos aprēķinos neizmanto. Papildus nosacījums: kontroles koku atlasē izmantots kritērijs - ka kontroles koka gadskārtu retrospekcijas perioda gadskārtu platums nevar atšķirties vairāk kā par 1 cm vai 1/3 no vērtējamā koku gadskārtu platuma. Pēc iepriekš minētās atlases aprēķiniem izmantoti 161 koki (2.8. tab.).



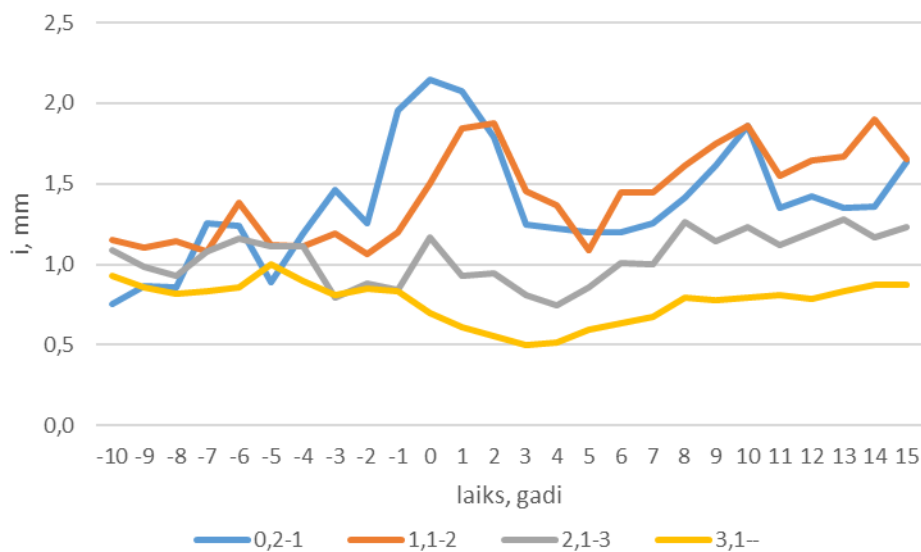
2.11.attēls. Vidējo gadskārtu platuma izmaiņas 28 gadu laika periodā (10 gadus pirms deguma un 18 gadus pēc deguma) pētāmajos objektos vecuma grupā 50-75 gadi.



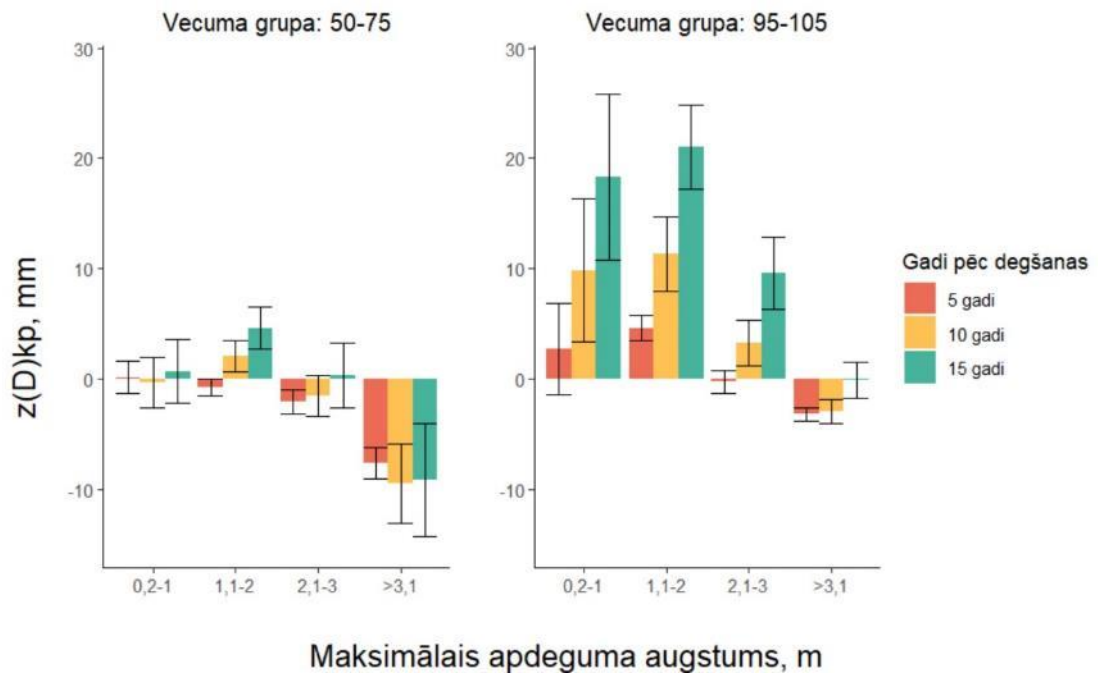
2.12.attēls. Vidējo gadskārtu platuma izmaiņas 28 gadu laika periodā (10 gadus pirms deguma un 16 gadus pēc deguma) pētāmajos objektos vecuma grupā 95-105 gadi.



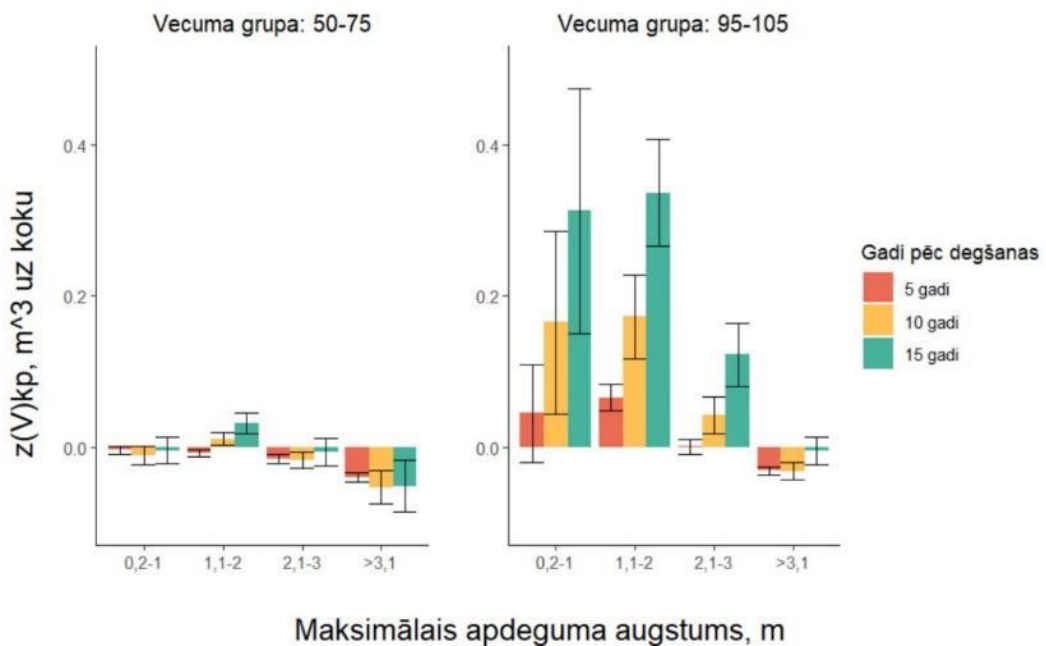
2.13.attēls. Vidējo gadskārtu platuma izmaiņas 15 gadu laika periodā (10 gadus pirms deguma un 15 gadus pēc deguma) sadalījumā pa maksimālajiem apdeguma augstumiem vecuma grupā 50-75 gadi.



2.14.attēls. Vidējo gadskārtu platuma izmaiņas 15 gadu laika periodā (10 gadus pirms deguma un 15 gadus pēc deguma) sadalījumā pa maksimālajiem apdeguma augstumiem vecuma grupā 95-105 gadi.



2.15.attēls. Caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums 5, 10 un 15 gadus pēc deguma atkarībā no koku maksimālā apdeguma augstuma (ar standartklūdu) vecuma grupās 50-75 gadi un 95-105 gadi.



2.16.attēls. Koku tilpuma kumulatīvais papildus pieaugums 5, 10 un 15 gadus pēc deguma atkarībā no koku maksimālā apdeguma augstuma (ar standartklūdu) vecuma grupās 50-75 gadi un 95-105 gadi.

Kopumā rezultāti liecina par izdzīvojušo koku nemainīgu vai pozitīvu papildus pieaugumu, ja apdeguma augstums nav lielāks par 3 m.

3. Biotisko faktoru ietekmes pārmaiņas nākotnes klimatā.

3.1. Dendrofāgo kukaiņu (kaitēkļu) masveida savairošanās draudu raksturojums: tīklapsenes savairošanās pilna cikla telpiskās dinamikas apkopojums

Pamatojums

Klimata pārmaiņu ietekmē sagaidāmi biežāki dendrofāgo kukaiņu (kaitēkļu) masveida savairošanās gadījumi. Detalizēta informācija par šādu savairošanos norisi un to ietekmējošiem faktoriem nodrošina iespējas efektīvākai pretpasākumu plānošanai un risku mazināšanai nākotnē.

Aktivitātes rezultāts

2013. gada vasarā Daugavpils pilsētas apsaimniekoto mežu teritorijā tika novērota priežu audžu tīklapsenes *Acantholyda posticalis* (Matsumura, 1912) savairošanās apmēram 100 ha platībā. Kopš tā laika savairošanās paplašinājusies, maksimumu sasniedzot 2017. gadā, kad rudenī audzes stipri atskujotas apmēram 230 ha platībā, skarot arī audzes akciju sabiedrības “Latvijas valsts meži” (turpmāk tekstā – LVM) apsaimniekotajās meža platībās.

Pētījuma mērķis ir apzināt priežu audžu tīklapsenes ietekmētās mežaudzes, novērtēt tās radītos bojājumus, veikt kaitēkļa bioloģijas un ekoloģijas pētījumus, kā arī sagatavot rekomendācijas saimnieciskai darbībai, lai samazinātu kaitēkļa negatīvo ietekmi.

2023. gada oktobrī veikta augsnē ziemojošo kāpuru uzskaitē 80 uzskaites punktos ar trīs uzskaites laukumiem katrā punktā, izvietojot 23 uzskaites punktus LVM apsaimniekotajās priežu audzēs, kas robežojas ar Daugavpils pilsētas mežiem.

Literatūras apskats un pētījuma metodika apkopoti pētījuma 2. etapa pārskatā.

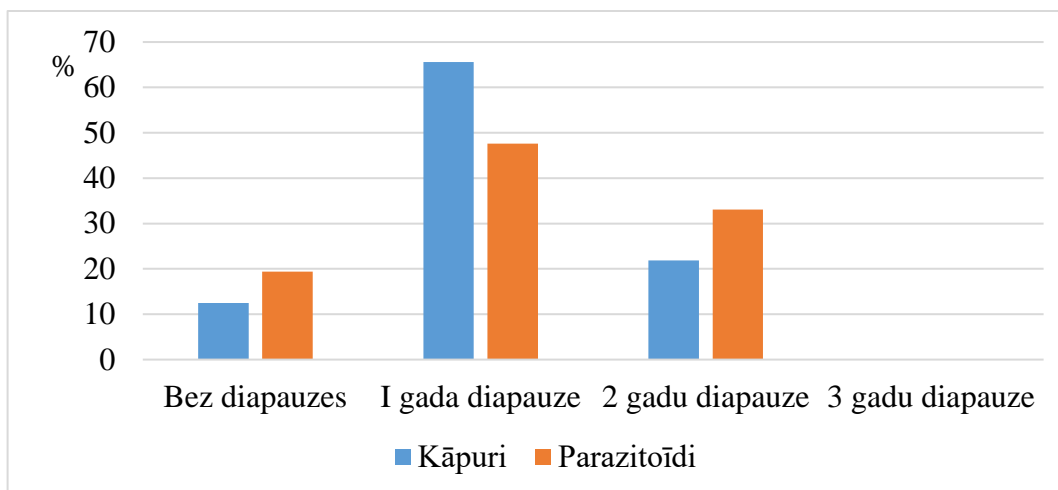
Aktivitātes rezultāts

Ziemojošo kāpuru novērtējums zemē ieraktajos cilindros – zemes slazdos.

Zemes slazdu tukšajos cilindros 2017. gada augustā nolaidās pirmā tīklapsēņu kāpuru paaudze, kas tiks novērota turpmākajos gados. 2017. gada septembrī tika izrakti kāpuri no kontroles cilindriem (B slazds) ar mērķi novērtēt aptuvenu kāpuru daudzumu, kas iegūts zemes slazdos, kā arī novērtēt kāpuru svaru, parazitū klātbūtni un pronimfu proporciju. Tā kā zemes slazdi ierīkoti mežaudzēs ar atšķirīgu priežu audžu tīklapsenes populācijas blīvumu, noķerto kāpuru skaits vienā cilindrā bija ļoti atšķirīgs. Mazākais dzīvo kāpuru skaits vienā slazdā 2017. gadā bija 5, bet lielākais 123. Vidēji vienā slazdā atrasti $43,7 \pm 5,7$ kāpuri. Pavisam kontroles cilindros atrasti 1136 dzīvi kāpuri. Interesanti, ka daļa populācijas attīstās bez diapauzes. 2017. gadā pronimfas bija 0,5% no visiem dzīvajiem ziemojošajiem kāpuriem. 2021. gadā kontroles bunduļos (**B**) kopā atrasti 13 kāpuri – 4 pronimfas, 5 eonimfas un 4 beigti vai parazitēti kāpuri. Tātad, 44% 2021. gada kāpuru attīstās bez diapauzes. Kopumā *A. posticalis* un arī parazitoīdiem raksturīga 1 līdz 2 gadu diapauze, bet nevienam kāpuram netika novērota 3 gadu diapauze (3.1. att.). Zemes slazdi tika izrakti 2021. gada rudenī, kad tīklapsēņu lidošanas laikā zemesdzīvnieku slazdos netika noķerta neviena pieaugusi tīklapsene, ne arī parazitoīdi. Zemes slazdos netika atrasti kāpuri.

Zemesdzīvnieku monitorings.

Zemesdzīvnieku slazdi 2022. gadā izlikti jau 26. aprīlī ar mērķi noteikt arī *Ips accuminatus* izlidošanas sākumu. Slazdi novākti 21. jūlijā un pārbaudīti reizi nedēļā. Tomēr visā slazdu eksponēšanas laikā netika noķerti ne mizgrauži, ne tīklapsenes. Jūnija un jūlija mēnesī slazdos noķerti 25 jātnieciņi – tīklapsenes dabiskie ienaidnieki. 2023. gadā zemesdzīvnieku slazdi netika izmantoti, jo zemes slazdi izrakti 2021. gadā.



3.1. attēls. Priežu audžu tīklapsenes un tai piesaistīto parazītoīdu diapauzes ilgums.

Priežu audžu tīklapsenes populācijas un tās ietekmes uz mežaudzi novērtējums.

Jau 2021. gada rudens pārbaudē tika konstatēts, ka *A. posticalis* populācija ir samazinājusies līdz līmenim, kas vairs neapdraud mežaudzi. Pārbaudot augsnes paraugus dažādās mežaudzes vietās, novērots, ka lokālā populācija turpina sarukt gan 2022. gadā, gan 2023. gadā.

2023. gadā tikai 3 uzskaites punktos konstatēta kāpuru klātesamība (3.2. att.). Salīdzināšanai jāmin, ka 2016. gada pavasara pārbaudē lielākais vienā parauglaukumā atrasto kāpuru skaits pārsniedza 1200 kāpurus uz 1 m². Salīdzinot ar 2022. gadu, 2023. kāpuru daudzums augsnē turpināja samazināties (3.3., 3.4. att.). Audžu defoliācija 2023. gadā bija nenozīmīga un priežu vainagi salīdzinot ar 2022. gadu turpina atjaunoties (3.5.att.).

43% no visiem kāpuriem (3 no 7 atrastajiem kāpuriem) 2023. gada ziemojošo kāpuru uzskaitē bija pronimfas, kuras izlidos 2024. gada vasarā. Pronimfu proporcijas pa gadiem turpina dramatiski atšķirties (3.6. att.).



A

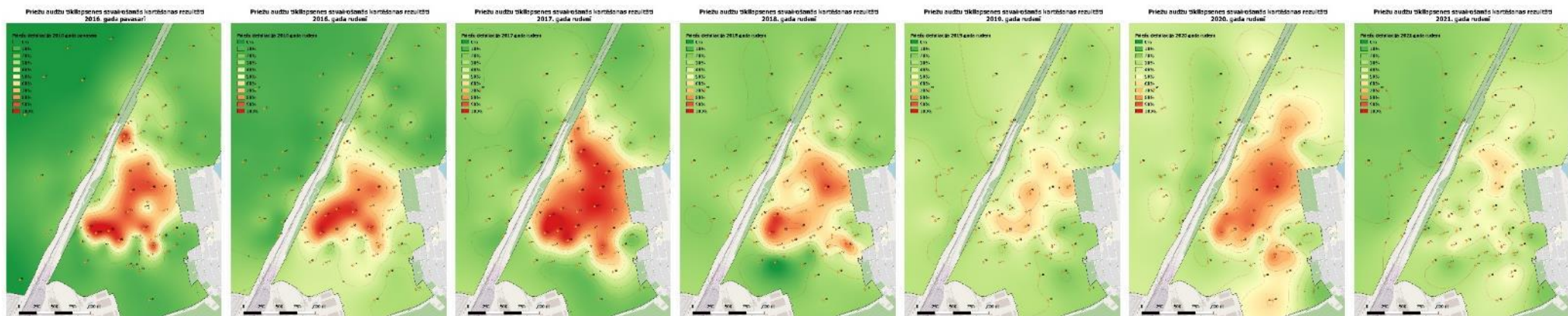


B

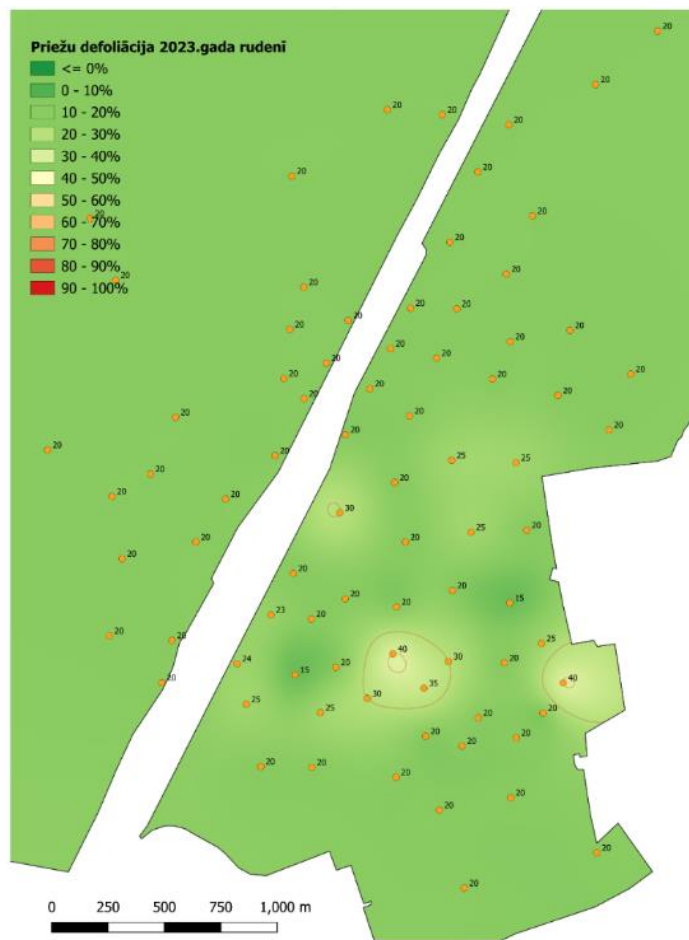
3.2. attēls. Priežu audžu tīklapsenes kāpuru daudzums uz 1 m^2 2023. (A) un 2022. (B) gada rudenī.



3.3. attēls. Priežu audžu tīklapsenes kāpuru daudzuma izmaiņas uz 1 m² laikā no 2015. gada līdz 2021. gadam.



3.4. attēls. Priežu audžu tīklapsenes izraisītās defoliācijas izmaiņas laikā no 2015. gada līdz 2021. gadam.

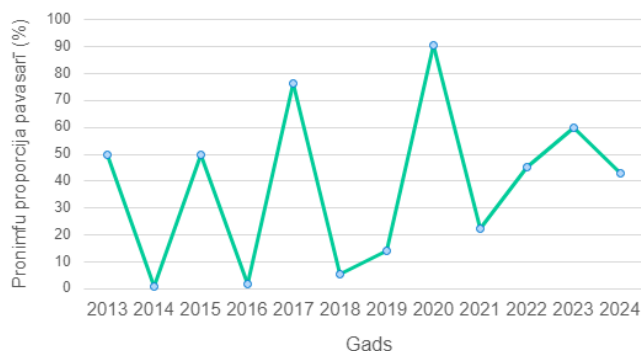


A



B

3.5. attēls. Priežu defoliācija *A. posticalis* savairošanās reģionā 2023. (A) un 2022. gada (B) rudenī.



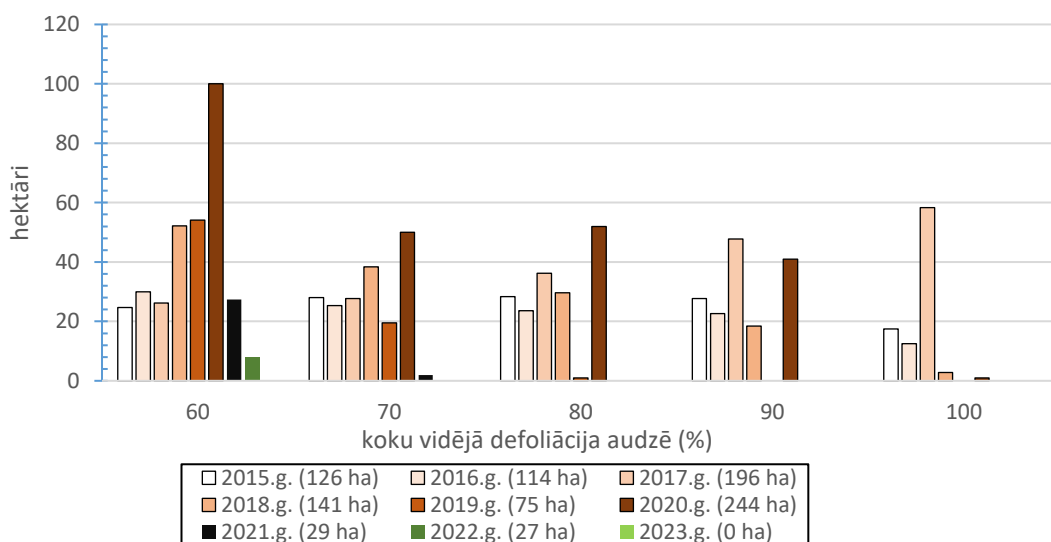
3.6. attēls. Priežu audžu tīklapsenes pronimfu proporcija pavasarī laikā no 2013. gada līdz 2024. gadam.

Audzū defoliācijas novērtējums, koku mirstība un savairošanās platību izmaiņas.

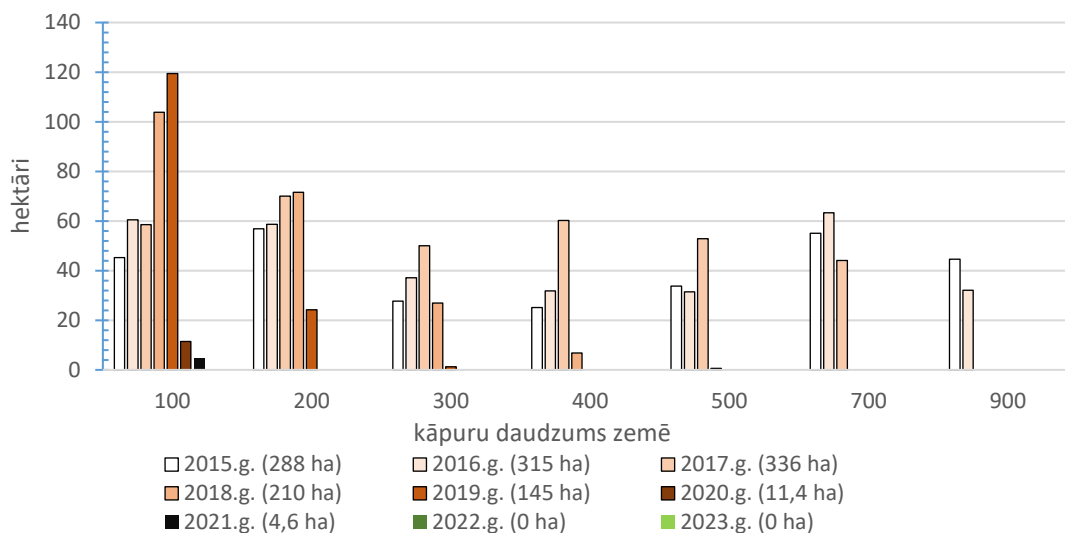
Tīklapsenes populācija kopš 2016. gada ir sarukusi vairāk kā 100 reizes. Neskatoties uz to, ka izlidoja vairāk nekā puse no ziemojošajiem kāpuriem, 2023. gadā tīklapsenes lidošanas aktivitāte bija zema. Tā rezultātā priedes turpināja atjaunot vainagus. Savairošanās epicentrā vairums koku nozāģēti sanitārajās izlases cirtēs.

Kopējā audžu platību ar koku vidējo defoliāciju lielāku par 50% (ko var uzskatīt par kaitēkļu savairošanās sliekšni) 2022. gadā, salīdzinot ar iepriekšējo gadu, būtiski samazinājās līdz pēdējos gados mazāko platību (8 ha) (3.7. att.), bet 2023. gadā šāda defoliācija netika konstatēta vispār.

Subjektīvi par savairošanās skartām audzēm tiek uzskatītas audzes, kurās ziemojošo kāpuru daudzums pārsniedz 100 kāpurus uz 1 m². Balstoties uz šo pieņēmumu, savairošanās beigusies jau 2022. gadā (3.8.att.). Nav sagaidāms, ka turpmākajos gados būs novērojama jauna koku defoliācija.



3.7. attēls. Priežu audžu tīklapsenes savairošanās bojāto audžu (defoliācija lielāka par 50%) platību izmaiņas rudenī laikā no 2015. gada līdz 2023. gadam sadalījumā pa defoliācijas intensitātes klasēm.



3.8. attēls. Priežu audžu tīklapsenes savairošanās skarto audžu platību izmaiņas rudenī laikā no 2015. gada līdz 2023. gadam sadalījumā pēc ziemojošo kāpuru daudzuma uz 1 m².

Pārējo savairošanos raksturojošo parametru apraksts, kuri nav mērīti 2023. gadā, ietverts pētījuma 2. etapa pārskatā.

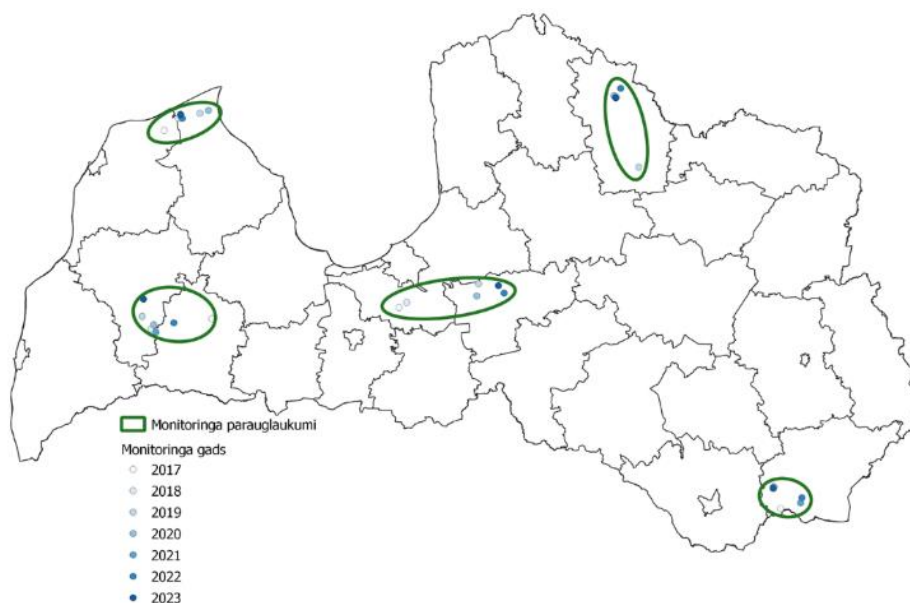
Kopsavikums

1. Tīklapsenes savairošanās savu maksimumu sasniedza 2017. gada vasarā, kad izlidoja 90% tīklapseņu. 2023. gadā savairošanās uzskatāma par pilnībā izdzisušu, ar novērotu sugas klātesamību.
2. 2023. gada uzskaitē konstatēts, ka pronimfu proporcija ir 43%. Tātad 2024. gada vasarā izlidos apmēram puse no atlikušajiem ziemojošiem/diapauzējošiem kāpuriem.
3. Savairošanās epicentrā jau 2017. gada vasarā novērota intensīva koku kalšana, jo priedes invadē priežu lūksngrauži (*Tomicus spp*). Jau no 2019. gada novērota arī priežu galotņu mizgrauža (*Ips accuminatus*) lokāla savairošanās, kas turpinās arī šobrīd. No agresīvām stumbra kaitēkļu sugām vēl konstatēti sveķotājsmecernieki (*Pissodes spp*) un priežu divpadsmitzobu mizgrauzis (*Ips sexdentatus*).
4. No 2013. gada līdz 2022. gadam sanitārajās izlases cirtēs izcirsti 5434 m³ nokaltušo vai stumbra kaitēkļu invadēto priežu. 2019. gadā 142,09 ha priežu audžu atzītas par iznīkušām.
5. Koku pieaugumu parauglaukumos, kuri iekārtoti savairošanās epicentrā, novērota liela koku mirstība.

3.2. Klimata pārmaiņu ietekmes uz egļu astoņzobu mizgrauzi novērtējums. Egļu astoņzobu mizgrauža lidošanas sākuma monitoringa.

Egļu astoņzobu mizgrauža lidošanas monitoringam katru gadu tiek ierīkoti parauglaukumi 5 Latvijas reģionos (3.9. attēls). Analogi mizgraužu lidošanas dinamikas monitoringam, svaigās skuju koku cirmās tiek ievietoti 3 slazdi ar *I. typographus* agregācijas feromona dispenseru. Slazdi tiek pārbaudīti reizi dienā sākot no 15. marta un noteikts datums, kad slazdā konstatēta pirmā egļu astoņzobu mizgrauža vabole. Šo datumu uzskata par mizgraužu lidošanas sākumu konkrētajā reģionā attiecīgajā gadā.

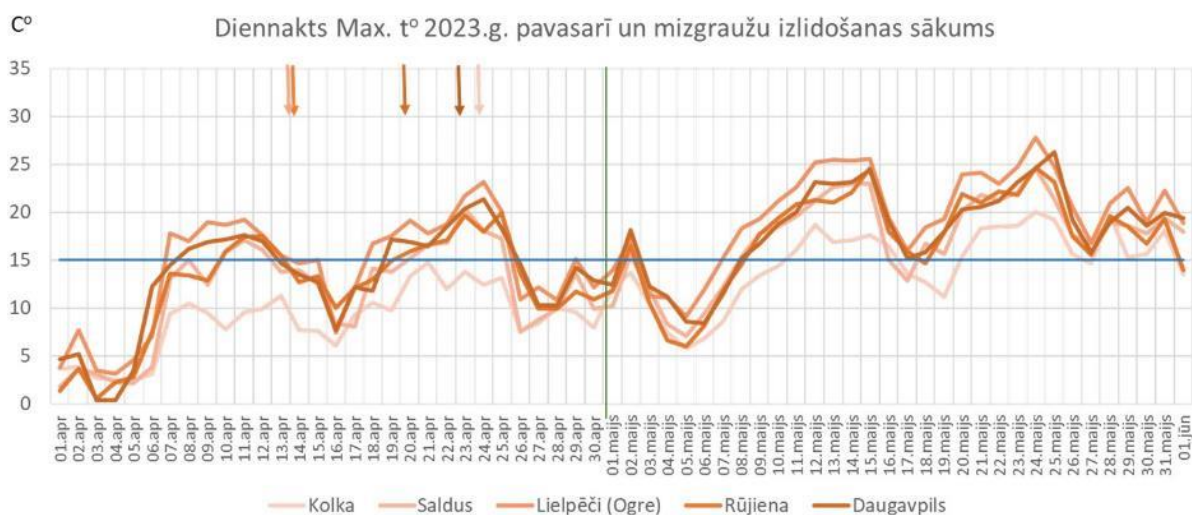
Tipiski egļu astoņzobu mizgrauža izlidošana sākas, kad maksimālā diennakts temperatūra pārsniedz 15 °C. Tāpēc pirmās vaboles izlidošana salīdzināta ar maksimālo gaisa temperatūru tuvākajās Latvijas Vides ģeoloģijas un meteoroloģijas centra bāzes stacijās.



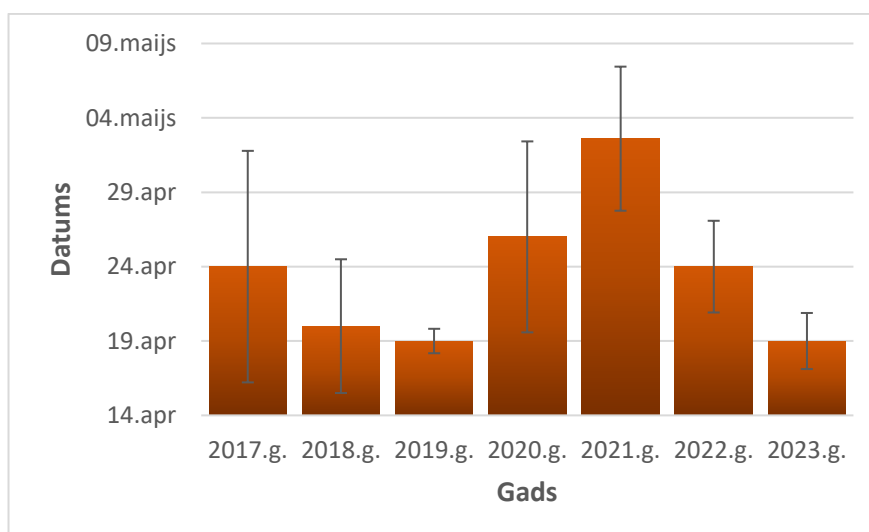
3.9. attēls. Egļu astoņzobu mizgrauža izlidošanas sākuma monitoringa reģioni.

2023. gadā egļu astoņzobu mizgraužu lidošana sākās ievērojami agrāk, bet pirmo vaboļu izlidošanas datums bija atšķirīgs dažādos Latvijas reģionos. Līdzīgi kā iepriekšējā gadā, visvēlākais mizgraužu lidošanas sākums novērots Ventspils parauglaukumā – 24. aprīlī. Agrākā mizgraužu lidošana novērota Saldus un Ogres parauglaukumos – 16. aprīlī. (3.10. attēls). Aprīļa beigās jau tika novērota mizgraužu masveida lidošana. Tas skaidrojams ar aprīļa mēnesī novēroto silto un sauso laiku, kas sekmēja agru mizgraužu lidošanas sākumu. Nepieciešami ilglaicīgāki novērojumi, lai secinātu cik lielā mērā mizgraužu lidošanu ietekmē lokāli laika apstākļi un cik liela nozīme ir piejūras klimatam.

2023. gada pavasarī egļu astoņzobu mizgrauža izlidošana, salīdzinot ar iepriekšējo gadu, novērota 5 dienas agrāk nekā 2022. gadā, un kopā ar 2019. gadu ir agrākā novērotā mizgraužu izlidošana Latvijā kopš monitoringa uzsākšanas (3.11. attēls). Ļoti vēlā lidošana 2021. gadā skaidrojama ar nepiemērotiem apstākļiem mizgraužu lidošanai aprīļa beigās- maija sākumā.

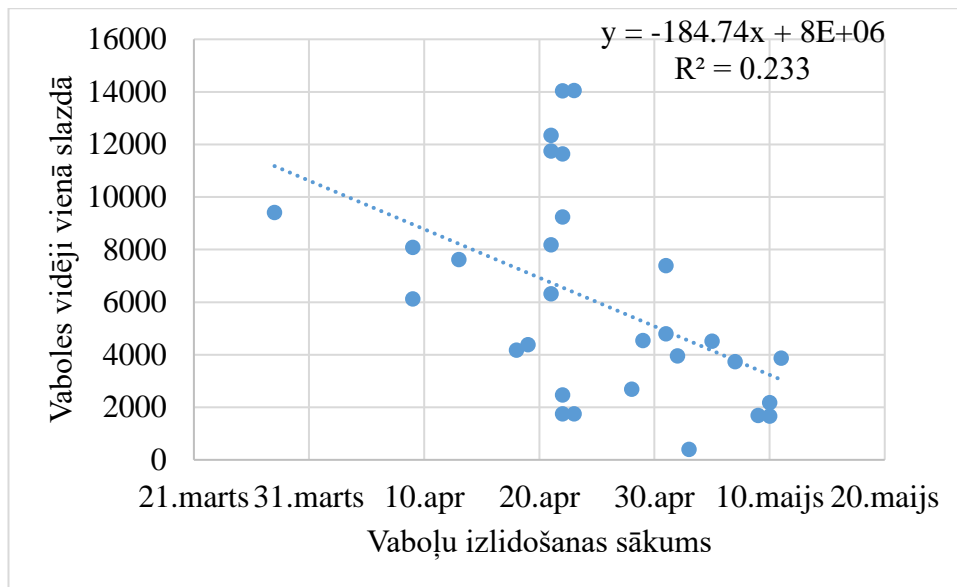


3.10. attēls. Maksimālā diennakts temperatūra un *I. typographus* lidošanas sākums.



3.11. attēls. Pirmās vaboles izlidošanas datums (vidēji no 5 parauglaukumiem).

3.12. attēlā atainots cik lielā mērā agrāka izlidošana saistīta ar kopējo lidošanas intensitāti. Šobrīd ievāktu datu apjoms neļauj izdarīt drošus secinājumus, bet pastāv tendence, ka reģionos, kuros mizgraužu izlidošana sākas agrāk, kopējā lidošanas aktivitāte visā sezonā ir augstāka. Attēlā vēl nav iekļauti dati par 2023. gadu, jo egļu astoņzobu mizgrauža lidošanas dinamikas monitorings vēl turpinās.



3.12. attēls. Sakarība starp Egļu astoņzobu mizgrauža lidošanas sākumu un kopējo vidēji vienā slazdā noķerto vaboļu daudzumu sezonā.

Kopsavilkums

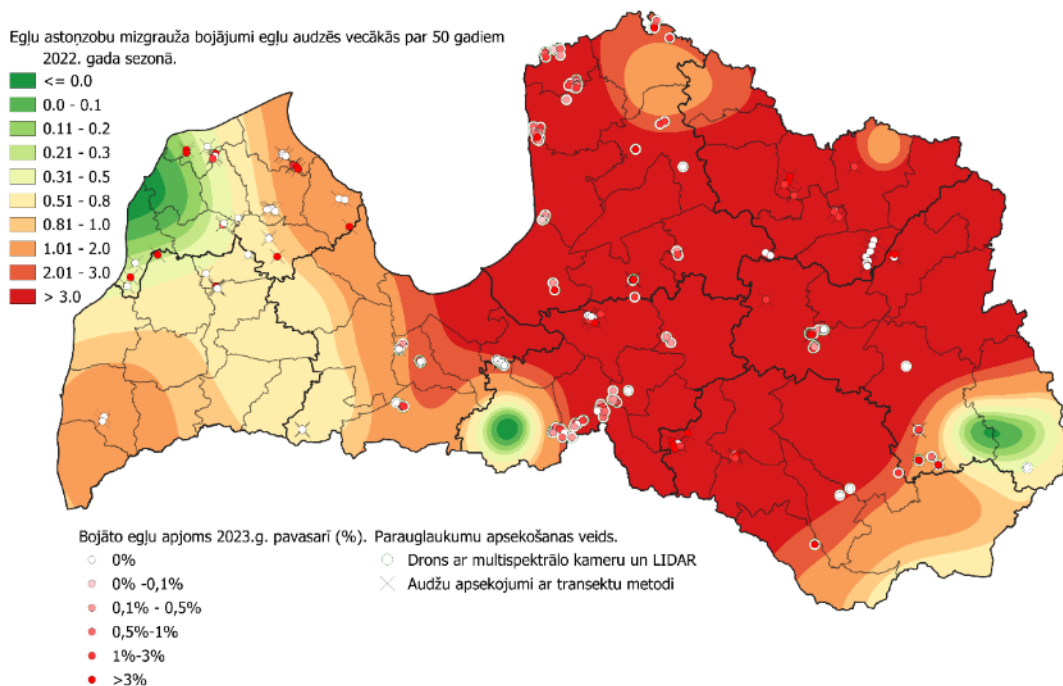
1. 2023. gada pavasarī egļu astoņzobu mizgrauža izlidošana, salīdzinot ar iepriekšējo gadu, novērota 5 dienas agrāk nekā 2022. gadā, un kopā ar 2019. gadu ir agrākā novērotā mizgraužu izlidošana Latvijā kopš monitoringa uzsākšanas.
2. Novērojama tendence, ka agrāka vaboļu izlidošana rezultējas ar augstāku lidošanas intensitāti visas sezonas garumā.

3.4. Krājas kopšanas egļu audzēs ietekme uz egļu astoņzobu mizgrauža invāziju atkarībā no audžu struktūras un izstrādes laika.

Retināšanas (krājas kopšanas) vasaras mēnešos egļu audzēs ietekme uz egļu astoņzobu mizgrauža invāziju saistībā ar dažādiem audzes parametriem (izstrādes laiks, audzes vecums, audzes mistrojums) novērtēta ar divām metodēm:

- 1) audžu kartēšana ar multispektrālo kameru un LIDAR, izmantojot bezpilota lidaparātu (dronu);
- 2) bojājumu uzskaitē ar transektu metodi, uzskaitot 2022. gada pirmās un otrās paaudzes mizgraužu bojājumus un 2023. gada pirmās paaudzes mizgraužu bojājumus.

Bojājumu uzskaites veiktas nogabalos ar egles klātbūtni vecāku par 31 gadu, kuros veikta krājas kopšanas cirte 2022. gada pavasarī - vasarā (aprīlis-augusts). Pavisam uzskaites veiktas 167 nogabalos izmantojot dronu, un 172 nogabalos izmantojot transektu metodi (3.13. att.).



3.13. attēls. Apsekoto LVM krājas kopšanas ciršu egļu audzēs parauglaukumu izvietojums.

Retināšanas (krājas kopšanas) ietekmes novērtēšana ar attālo izpēti.

Veikta audzes kartēšana ar multispektrālo kameru un LIDAR, izmantojot bezpilota lidaparātu (dronu). Kopumā kartētas 167 audzes laika posmā no 2023. gada 1. jūnija līdz 14. jūlijam. Šīs metodes mērķis ir noteikt kopējo nokaltušo egļu skaitu 2022. gada vasarā-rudenī pēc krājas kopšanas ciršu veikšanas. Konkrētais laika posms izvēlēts, lai atlasītu tikai 2022. gada egļu astoņzobu mizgrauža bojājumus. Par pamatu bojājumu novērtēšanai izmantoti multispektrālās kameras attēlu veidota fotogrammetrija. Visi koki nogabalā saskaitīti, izmantojot punktu mākonu no LIDAR datiem, iegūstot DEM (Digital Elevation Model – digitālais augstuma modelis) un DSM ((Digital Surface Model – digitālais virsmas modelis) koku virsotnes skaitot no koku vainagu slāņa (DEM-DSM) (3.14. att.). Bojātās egles, kuras viegli atšķiramas pēc krāsu toņa atšķirības, uzskaitītas manuāli, novērtējot katru attēlu atsevišķi. Šaubu gadījumā, par to, ka attēlā redzamā koka krāsa atbilst bojātai eglei, koks netika uzskaitīts. Tika pieņemts, ka, veicot krājas kopšanu, visas nokaltušās egles tika izvāktas no audzes.

Tikai 39 nogabalos, jeb 23% nogabalu, pēc krājas kopšanas cirtes 2022. gada pavasarī-vasarā netika konstatēti egļu astoņzobu mizgrauža bojājumi 2022. gada sezonā (3.15. att.).

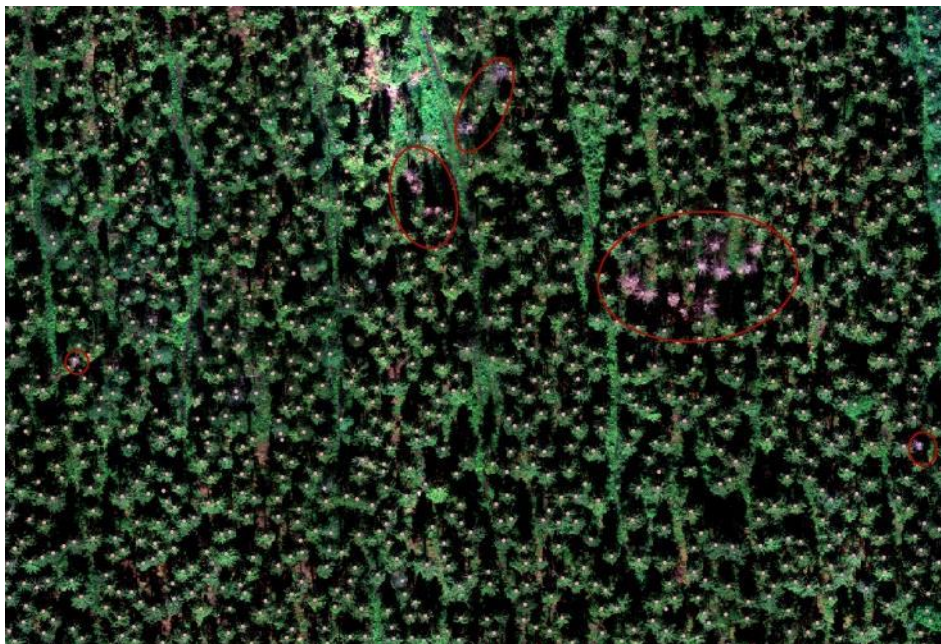
Krājas kopšanas ciršu ietekmes uz mizgraužu invāzijas risku analīzē izmantota sekojoša informācija no LVM datu bāzes:

- cirsmas izstrādes laiks (mēnesis),
- egļu vecums gados,
- citu koku sugu piemistrojums procentos (0% līdz 90%),
- meža augšanas tips – meža tipi apkopoti sausajos, slapajos un susinātajos,
- nogabala ar mežu apklātā platība (ha).

Savukārt no kaitēkļu un slimību monitoringa datiem izmantoti dati par reģionālo mizgraužu bojājumu risku reģionā 2022. gadā.

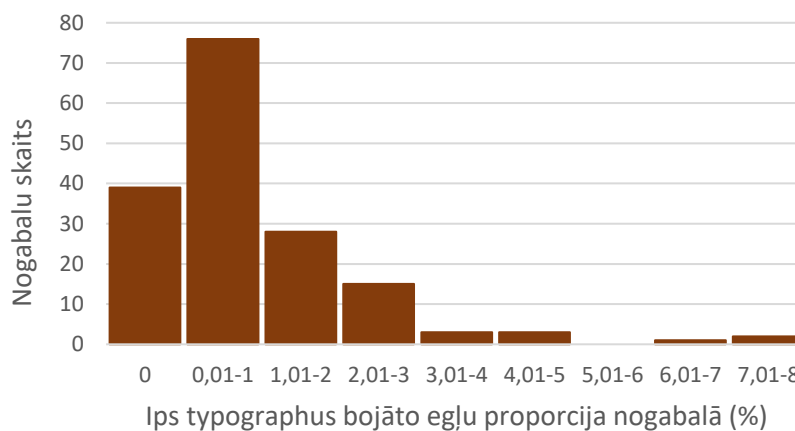
Veicot attēlu analīzi, tika uzskaitīti arī svaigi – 2023. gada, mizgraužu bojājumi, kuri attēlos atšķīrās pēc krāsas. 2022. gada bojājumi attēlos redzami, kā egles vainagi violetā krāsā, bet 2023. gada bojājumi – dzeltenā vai brūnā. Tomēr šādi varēja novērtēt tikai nelielu daļu no 2023. gada bojājumiem, jo vairumam svaigi invadēto egļu koku vainaga krāsas izmaiņas vēl

neatspoguļojās multispektrālās kameras radītajos fotogrammetrijas attēlos. Līdz ar to 2023. gada bojājumi un to salīdzinājums ar 2022. gada bojājumiem veikts, izmantojot transektu metodi, uzskaitot bojājumus, apsekojot kokus individuāli.



Mizgraužu bojāto egļu grupas apvilktas ar sarkanu līniju.

3.14. attēls. Multispektrālās kameras veidotā attēla, koku skaita novērtējuma (punkti) un bojāto egļu uzskaites piemērs.



3.15. attēls. Egļu astoņzobu mizgraužu bojāto egļu daudzuma (%) sadalījums krājas kopšanas ciršu nogabalos.

Datu analīzei izmantots vispārējs lineārais modelis (General Linear Models) - glm procedūra R statistics.

$$\text{glm}(\text{cbind}(IT_2022, V_K) \sim \text{Mistrojums} + \text{Laiks} + \text{E_Vec} + \text{M_tips} + \text{IT22_PR} + \text{Platība} + \text{Laiks}:\text{E_Vec} + \text{Laiks}:\text{M_tips} + \text{Laiks}:\text{Platība}, \text{family} = \text{binomial}()), \quad (3.1)$$

kur

Atkarīgais mainīgais '*cbind(IT_2022, V_K)*' – Bojāto egļu skaits pret kopējo egļu skaitu

Neatkarīgie faktori:

Mistrojums – citu koku piemistrojuma proporcija,

Laiks- izstrādes mēnesis (aprīlis līdz augusts),

E_Vec – egles vecums nogabalā gados,
M_tips – meža tipa grupa (sausais, slapjais, susinātais),
IT22_PR – *Ips typographus* kaitējuma risks reģionā (%),
Platība – nogabala ar mežu apklātā platība.

Analīzes rezultātu kopsavilkums ietverts 3.1. tabulā. un kontrastu analīze meža tipu grupu salīdzinājumam kopsavilkums 3.2. tabulā.

3.1. tabula

Retināšanas (krājas kopšanas ciršu) pavasarī-vasarā ietekme uz *I. typographus* bojājuma risku izstrādes gadā

Faktors	Pr(>Chisq)	Ietekmes būtiskums
Mistrojums	0.151601	
Laiks	2.861e-13	***
E_Vec	2.049e-11	***
M_tips	0.005879	**
IT22_PR	0.313764	
Platība	7.036e-09	***
Laiks:E_Vec	0.087598	
Laiks:M_tips	0.005026	**
Laiks:Platība	0.011957	*

Faktoru apzīmējumi kā 3.1. formulā; statistiski būtisko faktoru p vērtības: *** <0,001; ** <0,01; * <0,05

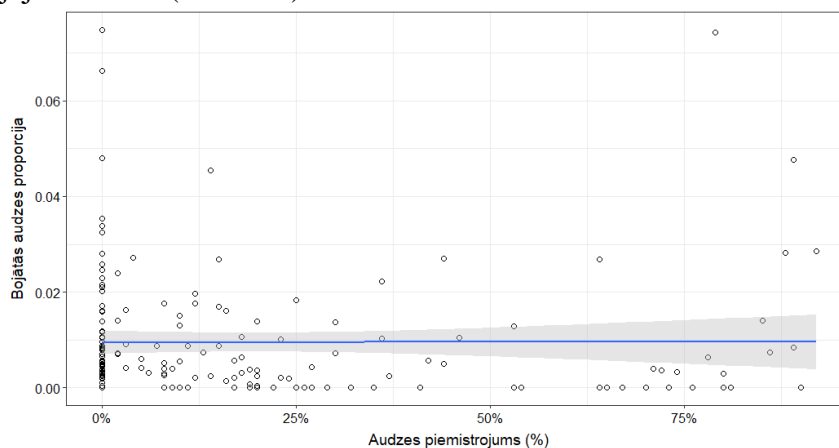
3.2. tabula

Retināšanas (krājas kopšanas ciršu) ietekme uz *I. typographus* bojājuma risku atšķirības meža tipu grupās.

Meža tipu grupas	Vērtība	Standartklūda	Starpības būtiskums
Slapjaini - Sausieņi	0.8415	0.4295	
Meliorēti - Sausieņi	0.6993	0.2888	*
Meliorēti - Slapjaini	-0.1422	0.4239	

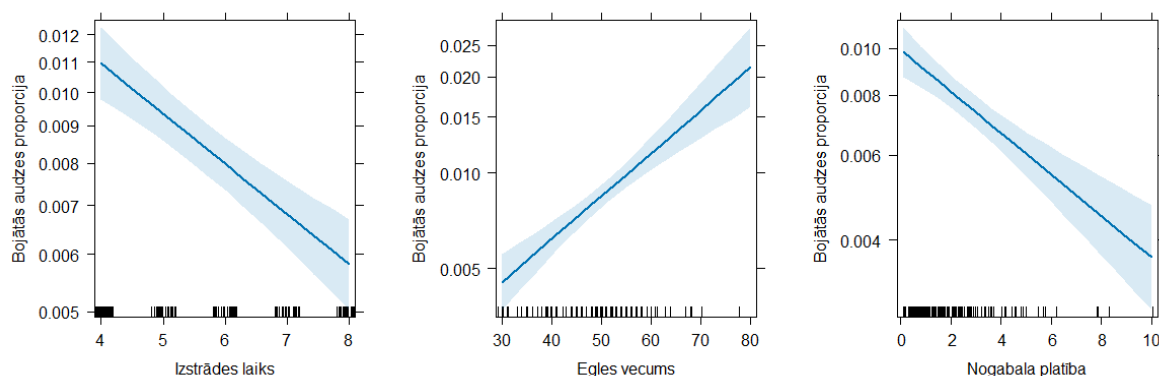
Meliorēti – kopā āreņi un kūdreņi; būtiskuma apzīmējumi kā 3.1. tabulā.

Konstatēts, ka citu koku sugu piemistrojums egļu audzēs nesamazina egļu astoņzobu mizgrauža bojājuma risku (3.16. att.).



3.16. attēls. Citu koku sugu piemistrojuma ietekme uz egļu astoņzobu mizgrauža bojājuma risku pēc krājas kopšanas cirtēm pavasara-vasaras sezonā.

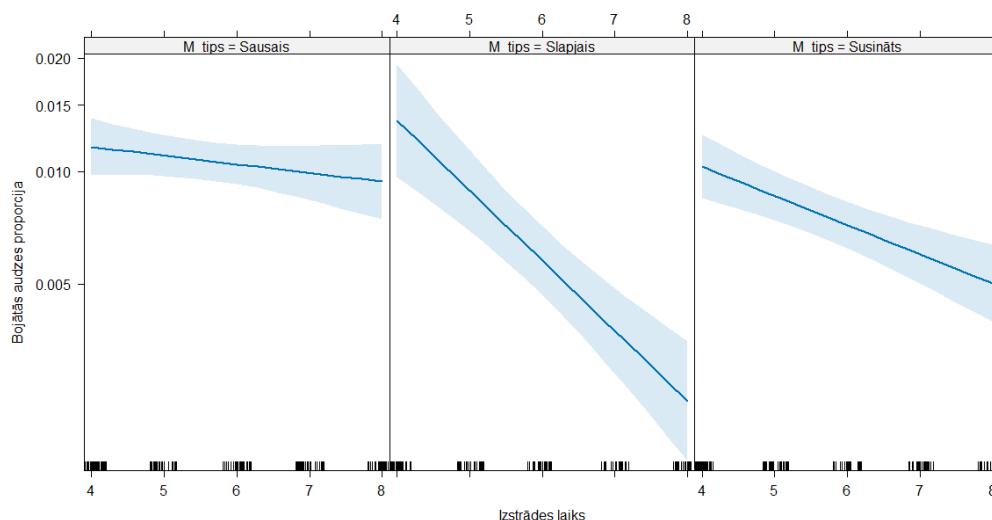
Retināšana (krājas kopšana) vidēja vecuma un vecās egļu audzēs pavasarī un vasarā rada ciršanas atliekas, kuru smarža potenciāli var pievilināt egļu astoņzobu mizgraužu vaboles. Galvenie faktori, kas ietekmē krājas kopšanas cirtes egļu audzēs pavasara-vasaras sezonā, ir izstrādes laiks, egles vecums un nogabala platība (3.17. att.). Veicot krājas kopšanu pavasarī, sagaidāms lielāks mizgraužu kaitējuma risks. To varētu skaidrot ar to, ka audzes apdraud gan mizgraužu pirmā paaudze, gan arī māsu paaudze un otrā paaudze. Veicot krājas kopšanu vēl vasarā, kaitējumu eglēm var radīt tikai otrā mizgraužu paaudze.



3.17. attēls. *I. typographus* bojājumu risku ietekmējošie faktori krājas kopšanas cirtēs egļu audzēs.

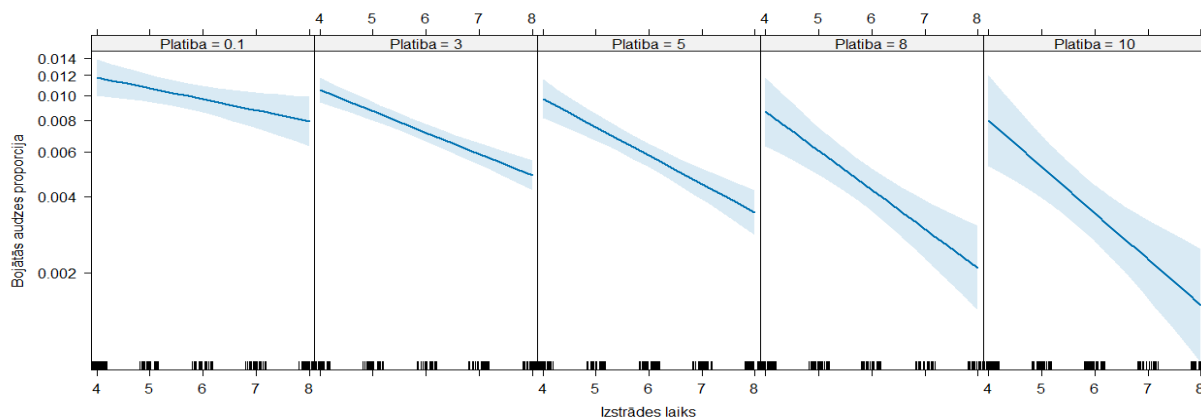
I. typographus savai attīstībai priekšroku dod lielāku dimensiju eglēm (Schroeder and Coccoş, 2017; Kārvemo, 2015). Arī šajā pētījumā konstatēts, ka vecākas lielu dimensiju egles ir vairāk apdraudētas nekā jaunākas audzes, taču atsevišķas bojātas egles var atrast pat 30 gadīgās audzēs. Ievērojami mazāka bojāto egļu proporcija atrasta lielos nogabalos. To var skaidrot ar malas efektu. Mazos nogabalos apdraudējums ir lielāks, jo malas efekts ir daudz izteiktāks. Mizgraužu vabolēm ir lielāka iespēja uzbrukt visām eglēm nogabalā.

Egļu audzes kūdreņos un āreņos ir vairāk pakļautas mizgraužu invāzijas riskam, salīdzinot ar audzēm sausēnos (Gr, Vr, Dm, Ln, Mr). Konstatēta būtiska mijiedarbība starp izstrādes laiku un meža tipu grupu. Izstrādes laika ietekme īpaši būtiska ir slapjajinos (Grs, Vrs, Dms, Lns, Mrs). Šajos meža tipos būtiskāki egļu bojājumi sagaidāmi pēc krājas kopšanām aprīlī un nenozīmīgi bojājumi sagaidāmi pēc krājas kopšanām, kuras veiktas augusta mēnesī (3.18. att.).



3.18. attēls. Izstrādes laika un meža tipa ietekme uz egļu astoņzobu mizgrauža bojājuma risku pēc krājas kopšanas cirtēm pavasara-vasaras sezonā (izstrādes laiks 4-8 ir aprīlis-augusts).

Lielākās nogabala platībās, veicot krājas kopšanu vēlu vasarā, bojājumu risks ir ievērojami mazāks nekā mazās platībās, bet, veicot izstrādi agri pavasarī (aprīlī), mizgraužu invāzijas risks ir tāds pats kā mazos nogabalos (3.19. att.).



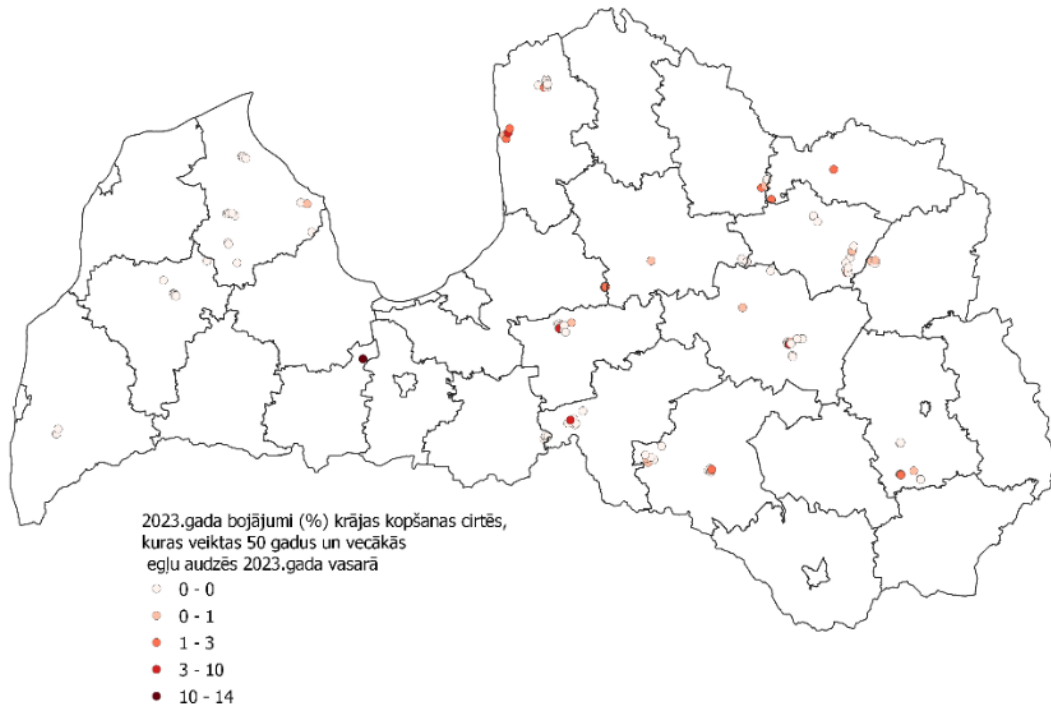
3.19. attēls. Izstrādes laika un nogabala platības (ha) ietekme uz egļu astoņzobu mizgrauža bojājuma risku pēc krājas kopšanas cirtēm pavasara-vasaras sezonā (izstrādes laiks 4-8 ir aprīlis-augusts).

Novērtējot egļu astoņzobu mizgrauža bojājumu risku reģionā (Nacionālā meža monitoringa dati), ietekmi uz mizgraužu invāzijas risku pēc krājas kopšanas egļu audzēs pavasara-vasaras sezonā, netika konstatēta būtiska sakarība (3.4.1.1. tabula). Tas, iespējams, saistīts ar to, ka visos reģionos, kuros tika veikti krājas kopšanas ciršu ietekmes novērtējumi, izmantojot dronu, mizgraužu kaitējuma risks bija augsts (3.4.1.1. attēls) un nebija pietiekams kaitējuma riska gradients, lai šo ietekmi novērotu.

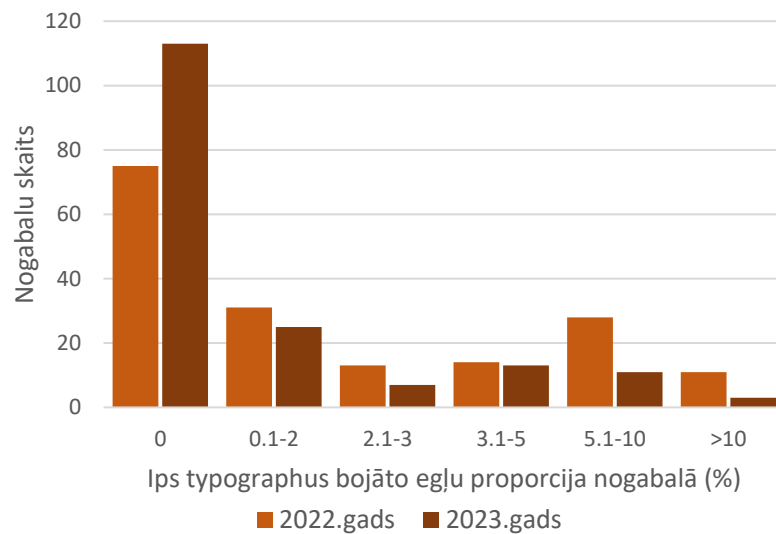
Retināšanas (krājas kopšanas) ietekmes novērtēšana ar transektu metodi

Lai novērtētu mizgraužu ietekmi nākamajā gadā pēc krājas kopšanas ciršu veikšanas un jauno bojājumu korelāciju iepriekšējā gadā, veikta audžu apsekošana ar transektu metodi. Bojājumu uzskaitē veikta pēc Nacionālā meža monitoringa metodikas laikā no 2023. gada 29. maija līdz 8. septembrim kopā 172 nogabalos. Atsevišķi uzskaitītas 2022. gadā bojātās un 2023. gadā (svaigi) bojātās egles (3.20. att.).

Novērtējot mizgraužu kaitējumu egļu audzēs ar transektu metodi, ir sagaidāma lielāka datu izkliede, nekā pielietojot attālo izpēti, jo transektes aptver tikai daļu no nogabala un atsevišķas bojātās egles var netikt ietvertas transektā, tādējādi pazeminot mizgraužu ietekmes vērtējumu. Tajā pašā laikā transektē nejausi var tikt iekļauta vienīgā bojātā egle, tādējādi pārvērtējot bojājuma apjomu. Nogabalu īpatsvars, kuros ar transektu metodi nav konstatēti bojājumi pēc krājas kopšanas cirtes 2022. gadā, ir ievērojami lielāks nekā novērtējumā ar attālo izpēti: attiecīgi 43% un 23% (3.21. att.).



3.20. attēls. Egļu astoņzobu mizgrauža bojājumi 2023. gadā, egļu audzēs kurās 2022. gada pavasarī-vasarā veiktas krājas kopšanas cirtes.



3.21. attēls. Egļu astoņzobu mizgraužu bojāto egļu daudzuma 2022. gadā un 2023. gadā (%) sadalījums krājas kopšanas ciršu nogabalos.

Datu analīzei izmantots vispārējais lineārais modelis (General Linear Models) - glm procedūra R statistics.

model=glm(cbind(IT,Koku_sk)~Laiks+E_Vec+M_tips+Platiba+IT22+Uzskaites+Laiks:E_Vec+Laiks:M_tips+Laiks:Platiba, family =binomial()) (3.2.)

- Atkarīgais mainīgais ‘cbind(IT,Koku_sk)’ - Bojāto egļu skaits 2023. gadā pret kopējo egļu skaitu.
- Neatkarīgie faktori:

- Laiks - izstrādes mēnesis (aprīlis līdz augusts),
- E_Vec - egles vecums nogabalā gados,
- M_tips - meža tipa grupa (sausais, slapjais, susinātais),
- Platība - nogabala ar mežu apklātā platība,
- IT22 - *Ips typographus* pēc krājas kopšanas 2022. gadā (%),
- Uzskaitē - datums, kurā veikta bojājumu uzskaitē.

Analīzes kopsavilkums par mizgraužu invāzijas risku gadu pēc krājas kopšanas egļu audzēs pavasara-vasaras sezonā dots 3.3. tabulā. Kopumā mizgraužu kaitējuma apjoms novērots lielāks krājas kopšanas izstrādes gadā (3.22. att.), tomēr jāpiezīmē, ka 2023. gadā audžu apsekošana noslēdzās pirms mizgraužu aktīvās otrās paaudzes lidošanas. Analizējot datus, kas iegūti, izmantojot transektu metodi, konstatēts, ka papildus sagaidāmos mizgrauža bojājumus nākamajā gadā pēc krājas kopšanas cirtēm (2023. gadā) būtiski ietekmē krājas kopšanas laiks un mizgraužu bojājumu apmērs gadā, kad veikta krājas kopšana (2022. gadā).

Salīdzinot mizgraužu 2023. gadā invadēto koku proporciju ar šo pašu rādītāju 2022. gadā, var redzēt, ka mizgraužu bojājumi 2023. gadā ir atkarīgi no bojājumiem iepriekšējā gadā. Novērojot lielāku bojāto koku daudzumu 2022. gadā, sagaidāms arī lielāks bojāto koku daudzums 2023. gadā (3.23. att.).

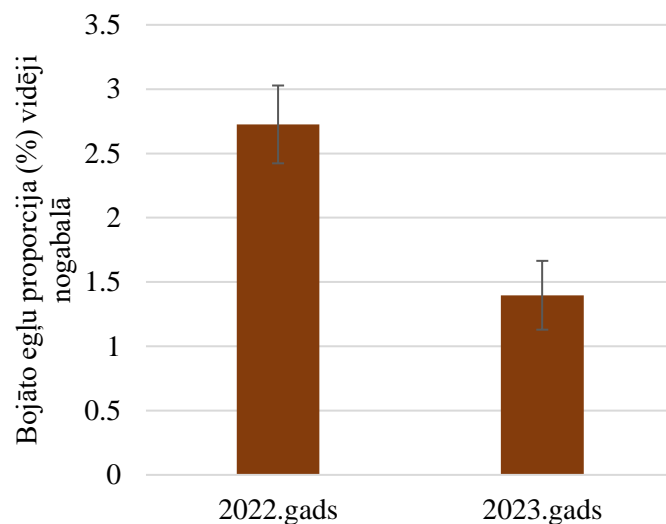
3.3. tabula

Retināšanas (krājas kopšanas ciršu) pavasarī-vasarā ietekme uz *I. typographus* bojājuma risku nākamajā gadā.

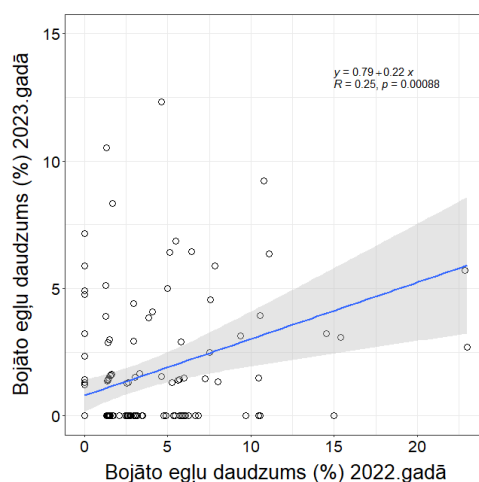
Faktors	Pr(>Chisq)	Ietekmes būtiskums
Laiks	2.88e-06	***
E_Vec	0.47	
M_tips	0.09	
Platība	0.18563	
IT22_PR	8.612e-08	***
Laiks:E_Vec	0.027598	*
Laiks:M_tips	0.0126	*
Laiks:Platība	0.741957	

Faktoru apzīmējumi kā 3.2. formulā; statistiski būtisko faktoru p vērtības: *** <0,001; ** <0,01; * <0,05

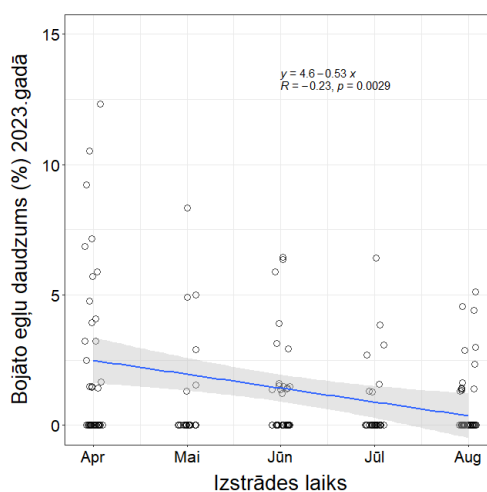
Novērtējot krājas kopšanas cirtes izstrādes laiku uz mizgraužu bojājumu risku nākamajā gadā, novērojama līdzīga sakarība, kā tas konstatēts, analizējot ar dronu iegūtos datus par bojājumiem 2022. gadā (3.24. att.). Bojājumu uzskaites laikam nebija būtiskas ietekmes uz 2023. gada bojājumiem.



3.22. attēls. Egļu astonezobu mizgrauža kaitējums egļu audzēs pēc krājas kopšanas cirtes pavasara-vasaras sezonā un nākamajā gadā.



3.23. attēls. Sakarība starp mizgraužu bojāto egļu proporciju nogabalā 2022. gadā un mizgraužu bojāto egļu proporciju 2023. gadā pēc krājas kopšanas cirtēm 2022. gada pavasarī - vasarā.



3.24. attēls. Sakarība starp kopšanas cirtes izstrādes laiku 2022. gadā un mizgraužu bojāto egļu proporciju 2023. gadā.

Tā kā veicot audzes apsekošanu ar transektu metodi tika uzskaitīti arī 2022. gadā nokaltušās egles, tika veikta šo datu analīze salīdzināšanai ar datiem, kas iegūti no audžu apsekošanas ar dronu, izmantojot multispektrālo kameru un LIDAR.

Datu analīzei izmantots līdžīgs glm modelis, kā drona datiem.

$$\text{modell} = \text{glm}(\text{cbind}(\text{Boj22}, \text{Koku_sk}) \sim \text{Laiks} + \text{E_Vec} + \text{M_tips} + \text{Platiba} + \text{Mistrojums} + \text{Laiks:E_Vec} + \text{Laiks:M_tips} + \text{Laiks:Platiba}, \text{family} = \text{binomial}()) \quad (3.3.)$$

kur

- Atkarīgais mainīgais '*cbind(Boj22, Koku_sk)*' - Bojāto egļu skaits pret kopējo uzskaitīto egļu skaitu
- Neatkarīgie faktori:
 - *Mistrojums* - citu koku piemistrojuma proporcija,
 - *Laiks* - izstrādes mēnesis (aprīlis līdz augusts),
 - *E_Vec* - egles vecums nogabalā gados,
 - *M_tips* - meža tipa grupa (sausais, slapjais, susinātais),
 - *Platība* - nogabala ar mežu apklātā platība.

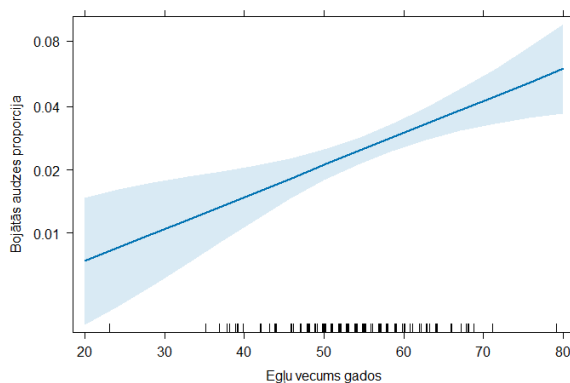
Arī ar transektu metodi iegūtie dati apstiprina to, ka krājas kopšanas cirte vecākās egļu audzēs ietekmē mizgraužu invāzijas risku šajā pašā gadā vairāk nekā kopšanas cirte jaunākās audzēs (3.4. tab., 3.25. att.). Arī izstrādes laika ietekme uz mizgraužu invāzijas risku izstrādes gadā sakrīt ar drona datu analīzi - izstrāde pavasarī izraisa lielāku risku nekā krājas kopšana vasaras beigās (3.26. att.). Novērtējot izstrādes laika ietekmi uz mizgraužu invāzijas risku izstrādes gadā dažāda vecuma egļu audzēs (3.27. att.), var redzēt, ka krājas kopšanas risks ir augstāks vecajās egļu audzēs. Vecās egļu audzes arī mazāk reaģē uz izstrādes laiku - risks saglabājas augsts gan pavasarī, gan vēlu vasarā izstrādātajās audzēs.

3.4. tabula

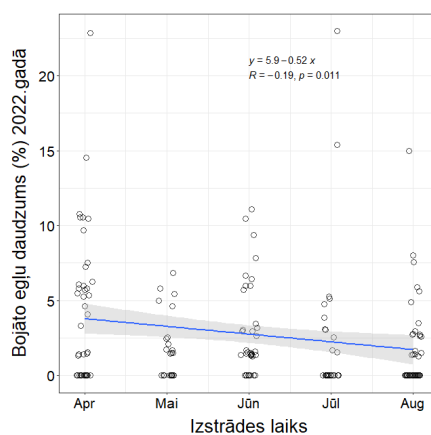
Retināšanas (krājas kopšanas ciršu) pavasarī-vasarā ietekme uz *I. typographus* bojājuma risku izstrādes gadā.

Faktors	Pr(>Chisq)	Ietemes būtiskums
Laiks	8.962e-07	***
E_Vec	0.0004926	***
M_tips	0.6984480	
Platība	0.8645449	
Mistrojums	0.1489073	
Laiks:E_Vec	0.027598	
Laiks:M_tips	0.0126	
Laiks:Platība	0.4780316	

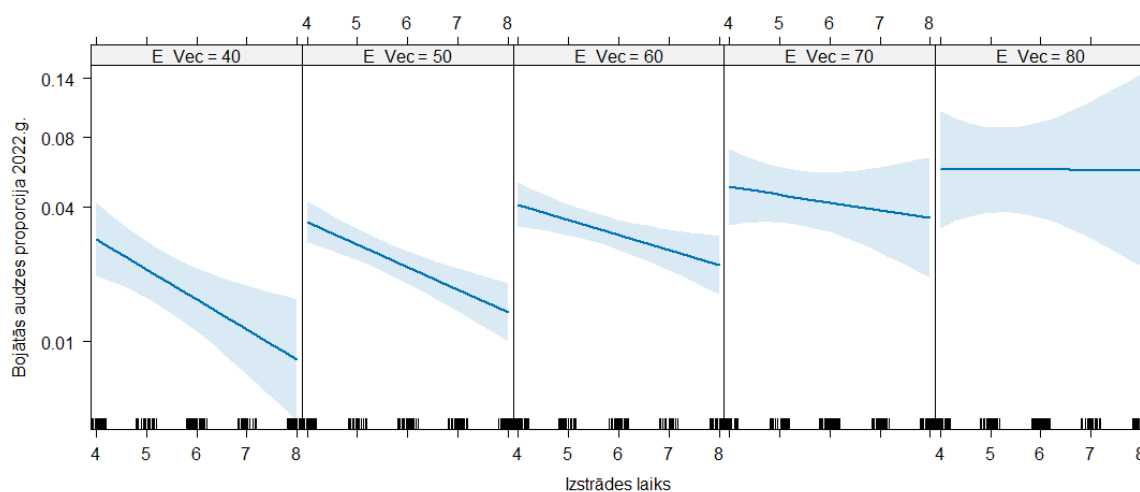
Faktoru apzīmējumi kā 3.3. formulā; statistiski būtisko faktoru p vērtības: *** <0,001; ** <0,01; * <0,05



3.25. attēls. Sakarība starp egļu vecumu un kopšanas cirtes ietekmi uz mizgraužu invāzijas risku izstrādes gadā.



3.26. attēls. Sakarība starp kopšanas cirtes izstrādes laiku un mizgraužu bojāto egļu proporciju izstrādes gadā.



3.27. attēls. Sakarība starp kopšanas cirtes izstrādes laiku un mizgraužu bojāto egļu proporciju izstrādes gadā dažāda vecuma egļu audzēs.

Kopsavilkums

Piemistrojuma izmantošana egļu audzēs nemazina bojājumu risku, savukārt retināšanu neveikšana pavasarī-vasaras pirmajā pusē – mazina.

3.5. Izstrādāta videi draudzīga meža aizsardzības stratēģija meža kaitēkļu ierobežošanai: empīriskie dati un apkopojums (rekomendācijas).

Rekomendācijas krājas kopšanu veikšanai egļu audzēs.

Krājas kopšanas ciršu veikšana *Ips typographus* aktīvas lidošanas laikā sekmē mizgraužu invāzijas riska paaugstināšanos. Krājas kopšanas cirtes jāplāno laikā no 1. septembra līdz 31. martam. Ja tomēr nepieciešams veikt krājas kopšanas egļu audzē citos mēnešos, tad riska mazināšanai nepieciešams ievērot šādas prioritātes:

1. Tā kā lielāko risku mizgraužu invāzijai rada pavasara cirtes (mizgraužu invāzijas risks augustā izstrādātām krājas kopšanas cirtēm ir gandrīz uz pusi mazāks nekā aprīlī izstrādātām cirtēm), tad aprīļa, maija mēnešos censties izvairīties no krājas kopšanas, bet, ja tas nav iespējams, tad:
 - a. primāri izstrādāt jaunākas egļu audzes (līdz 50 gadu vecumam),
 - b. izvairīties veikt krājas kopšanu egļu audzēs slapjajos meža tipos, kur egļu kopšana pavasarī ir īpaši nelabvēlīga,
 - c. izvairīties veikt kopšanu egļu audzēs nelielos nogabalos, jo malas efekts palielina mizgraužu invāzijas risku,
 - d. prioritāri plānot kopšanas reģionos, kur iepriekšējā gadā novēroti mazāk intensīvi egļu astoņzobu mizgrauža lokālie bojājumi (Nacionālā meža monitoringa dati).
2. Ja pēc krājas kopšanas rudenī novērota egļu kalšana, audzi jāapseko nākamā gada jūnija sākumā, jo mizgraužu invāzijas risks saglabājas arī nākamajā gadā pēc krājas kopšanas.
3. Reģionā, kurā tiek veiktas krājas kopšanas cirtes egļu audzēs pavasara-vasaras sezonā, izvietot feromonu slazdus visās skuju koku cismās, kuras atbilst slazdu izvietojuma kritērijiem un neatrodas tālāk par 1 km no kopšanas ciršu nogabaliem.
4. Izvairīties no krājas kopšanas ciršu veikšanas egļu audzēs pavasarī-vasarā reģionos, kuros ir liels vidēji vecu un vecu egļu īpatsvars.

Rekomendācijas galotņu sešzobu mizgrauža ierobežošanai un seku novēršanai

Ips acuminatus ierobežošanai veikt sanitāro cirti (izlases vai vienlaidus atkarībā no "ligzdas" lieluma) maija beigās, jūnija sākumā, kad *I. accuminatus* būs invadējis priedes un jaunā paaudze vēl nebūs nobeigusi savu attīstību. No meža noteikti jāizvāc tā stumbra daļa, kurā konstatēta *I. accuminatus* klātbūtne - 1/3 līdz 3/4 stumbra augšējās daļas.

Īpaša uzmanība jāpievērš kalstošām priedēm, kas piekļaujas degumā cietušām meža platībām. Īpaši augsts *I. acuminatus* savairošanās risks pastāv divus gadus pēc deguma. Priedes ar redzamu dehromāciju jāzāgē sanitārajās cirtēs vasarā, pirms vaboles pametušas attīstības vietas.

Veicot ziemas cirtes mizgraužu invadētā priežu audzē, iespējams samazināt mizgraužu populāciju, ja konkrētā gadā novērota tikai viena paaudze.

Mizgraužu savairošanās gadījumā jānosaka dzimuma proporcija populācijā. Strauji pieaugot mātīšu daudzumam uz vienu tēviņu, invāzijas risks neskartās priedēs strauji samazinās.

Rekomendācijas priežu audžu tīklapsenes ierobežošanai un seku novēršanai.

Priežu audžu tīklapsenes savairošanās ir ilgstoša, bet lokāla. Intensīvas savairošanās gadījumā epicentrā priedes parasti nokalst (piemērs Sāmsalā un arī Daugavpils pilsētas mežos).

Ieteicamo pasākumu kopums atkarīgs no savairošanās intensitātes. Ja jūnijā uz priežu stumbriem tiek pamanītas pieaugušas tīklapsenes, vai tiek saņemta informācija no LVMI "Silava", Valsts meža dienesta, vai citiem avotiem par to, ka reģionā iespējama tīklapsenes savairošanās, jāveic audžu provizorisks apsekošana. Vienkāršākais veids kā prognozēt tīklapsenes klātbūtni un novērtēt savairošanās risku ir veikt ziemojošo kāpuru uzskaiti paraugbedrēs. Audzē ierīko vismaz 3 uzskaites punktus ar 3 paraugiem (bedrēm) katrā uzskaites

punktā. Bedres rok ar laukumu 20 x 20 cm un 25 cm dziļas. Uzskaiti jāveic rudenī (oktobrī – novembrī) vai pavasarī pirms tīklapsēņu izlidošanas (martā – maijā) - laikā, kad visa populācija atrodas augsnē un ir iespēja novērtēt eonimfu un pronimfu proporciju. Šāda apsekošana noteikti veicama, ja novērojama vizuāla priežu defoliācija, kas pārsniedz 50%. Īpaša uzmanība jāpievērš Austrumlatgales reģionam (Krāslavas – Daugavpils apkārtnē), jo Latvijā vienīgās priežu audžu tīklapsēnes savairošanās notikušas tikai šajā reģionā. Jūnija sākumā jāpievērš uzmanība, vai uz koku stumbriem nav pamanāmas tīklapsēnes. Pēc izlidošanas tīklapsēnes vairākas dienas pavada uz koku stumbriem, kur notiek pārošanās. Tās ir viegli pamanāmas.

1) Nepieciešamo pasākumu kopums, ja ziemojošo kāpuru daudzums nepārsniedz 20 kāpurus uz kvadrātmetru.

Apdraudētajās mežaudzēs izvieto putnu būrus dobumperētāju putnu piesaistīšanai. Audzēs plāno apmēram 5 putnu būrus uz 1 ha.

Tīklapsēnes lidošanas laikā jūnija sākumā veic imago vizuālo uzskaiti uz koku stumbriem, gradējot populācijas lielumu kā mazu, vidēju vai lielu (mazāk par 1 tīklapsēni uz 1 koka stumbra – populācija maza; 1 – 5 tīklapsēnes uz 1 priedes stumbra – populācija vidēja; vairāk par 5 tīklapsēnēm uz 1 priedes stumbra – populācija liela). Vizuālajā uzskaitē iekļauj vismaz 10 kokus.

2) Papildus veicamie pasākumi, ja ziemojošo kāpuru daudzums ir starp 20 līdz 50 kāpuriem uz kvadrātmetru:

Veic savairošanās kartēšanu, novērtējot koku defoliāciju, un novērtē prognozējamo lidošanas intensitāti konkrētajā gadā (pronimfu proporcija).

Lai noteiktu savairošanās epicentru, vēlams nokartēt savairošanās reģionu, izmantojot dronu vai citu lidaparātu, kas aprīkots ar spektrālām kamerām (near infrared drone camera).

Vietās, kur koku defoliācija pārsniedz 50% vai ziemojošo kāpuru daudzums ir lielāks par 100 uz 1 m², aprīlī-maijā veic priežu apsekošanu, meklējot stumbra kaitēkļu svaigi invadētas priedes. Lai samazinātu novājināto priežu nokalšanas risku, svaigi invadētās priedes jāizvāc sanitārajā cirtē līdz 1. jūnijam.

3) Papildus veicamie pasākumi, ja ziemojošo kāpuru daudzums pārsniedz 50 kāpurus uz 1 m².

Veic ziemojošo kāpuru blīvuma detalizētu kartēšanu, nosakot arī pronimfu daudzumu un parazitoīdu klātbūtni. Audzēs vēlams arī izvietot zemsedzes slazdus. Slazdu eksponēšanas laiks - 1. jūnijs līdz 15. jūlijs. Zemsedzes slazdi dod informāciju par lidošanas intensitāti (prognozējamo audžu defoliāciju) un parazitoīdu daudzumu.

Ja audze atbilst galvenās cirtes kritērijiem, plānot kailcirti tīklapsēnes masveida izlidošanas gada jūnijā vai jūlijā. Lai gan tīklapsēnes mātītes ir sliktas lidotājas, tās, iespējams, spēj pārvietoties 100 un vairāk metrus, vismaz pēc pirmo olu izdēšanas. Ja veic izstrādi vasarā, attīstību nepabeigušie kāpuri iet bojā, būtiski samazinot populāciju un vēl vairāk palielina dabisko ienaidnieku ietekmi uz pārējo tīklapsēnes populāciju.

Ja audze nav atbilstoša galvenās cirtes kritērijiem, katru pavasari līdz 1. jūnijam veic sanitāro cirti, izvācot lūksngražu svaigi invadētās priedes. Atkārtoti audzes nepieciešams apsekot arī rudenī un veikt papildus sanitārās cirtes, ja nepieciešams. Rudenī īpaša uzmanība jāpievērš koku vainagiem. Vainagu brūnēšana var liecināt par galotņu sešzobu mizgrauža savairošanos. Ja šādās priedēs ar brūnējošām skujām tiek konstatēts galotņu sešzobu mizgrauzis, jāapsver sanitārās kailcirtes iespēja. Šāda audžu apsekošana veicama līdz laikam, kad priedes atjaunojušas vainagus un koku defoliācija ir mazāka par 50%.

Kaitēkļu ierobežošanas sistēma

Veidojot kaitēkļu kontroles un ierobežošanas sistēmu, tai jāietver sekojoši principi:

1. Kaitēkļu identificēšana.
2. Kaitējuma apjoma novērtēšana.
3. Turpmākā riska apzināšana.
4. Komunikācija ar sabiedrību.

5. Kaitējuma mazināšana.

Kaitēkļu ietekme uz mežaudzi ir ļoti atšķirīga dažādām kaitēkļu grupām.

Skuju-lapu grauzēju un alotāju kaitēkļiem raksturīgas plašas savairošanās, ar relatīvi nelielu ietekmi uz mežaudzes turpmāko veselību. Šādu savairošanās gadījumu ietekmē parasti tiek ietekmēts audzes krājas pieaugums un mazāk tiek ietekmēta koku mirstība. Priežu audžu tīklapsene *Acantholyda posticalis* ir izņēmums, jo šī kaitēkļa savairošanās nereti noved pie augstas priežu mirstības audzē, bet savairošanās platības ir relatīvi nelielas.

Skuju-lapu grauzēju un alotāju kaitēkļu savairošanās gadījumos svarīga ir komunikācija ar sabiedrību un sanitāro izlases ciršu veikšana, ja novērota sekundāro – stumbra kaitēkļu savairošanās bojātajās mežaudzēs.

Jaunaudžu kaitēkļu grupā lielāko kaitējumu rada *Hylobius* ģints smecernieki. Šī kaitēkļa ierobežošanai sadarbībā ar LVM ir veikti vairāki pētījumi un izstrādātas rekomendācijas šī kaitēkļa ierobežošanai. Jaunaudzēm būtisku kaitējumu nodara arī maijvaboles (*Melolontha* spp.), mazākā mērā kaitē sakņgrauži (*Hylastes*), zāglapsenes un citi kaitēkļi. Jaunaudzēs novērotu bojājumu gadījumos jāievēro pamatprincipi – kaitēkļa identificēšana, bojājuma apmēra novērtēšana, nākotnes riska apzināšana, ierobežošanas pasākumu veikšana.

Sēklu kaitēkļu savairošanās riski saistāmi ar sēklu plantāciju efektīvu funkcionēšanu. Sēklu plantāciju skaits un platība ir relatīvi nelielas. Katram kaitēklim nepieciešams izstrādāt stratēģiju ilgspējīgai sēklu plantāciju apsaimniekošanai. Būtiskākie kaitēkļi ir egļu čiekuru svilnis (*Dioryctria abietella*) un egļu čiekuru tinējs (*Laspeyresia strobilella*) egļu sēklu plantācijās, taču sēklu kaitēkļu saraksts ir garš.

Stumbra kaitēkļu ietekme uz mežaudzi, salīdzinot ar citām kaitēkļu grupām, ir būtiskākā. Kā būtiskākie kaitēkļi šajā grupā minami egļu astonzobu mizgrauzis (*Ips typographus*) eglei un galotņu sešzobu mizgrauzis (*Ips acuminatus*). Šo kaitēkļu ierobežošanai dotas rekomendācijas šajā un agrākos LVM finansētos pētījumos.

Kaitēkļi-slimību pārnēsātāji ir vēl viena kaitēkļu grupa, kas ietekmē meža veselību. Būtiskākie kaitēkļi-slimību pārnēsātāji saistāmi ar gobu – Holandes slimību (*Ophiostoma novo-ulmi*). Šo slimību Latvijā pārnēsā galvenokārt divas sugas – gobu gremzdgrauzis (*Scolytus scolytus*) un mazais gobu gremzdgrauzis (*Scolytus multistriatus*). Efektīvākais veids slimības izplatības mazināšanai ir nevis kaitēkļu ierobežošana, bet savlaicīga inficēto koku ciršana sanitārajās cirtēs.

Tehniskie kaitēkļi neietekmē meža veselību, bet ietekmē meža materiālu vērtību.

4. Koku augšanas gaitas izmaiņas nākotnes klimatā.

4.1. Klimata komponentes augstuma pieauguma modeļiem.

Piezīme: saskaņā ar šī etapa plānu, apvienota atskaite par divām aktivitātēm, nodrošinot literatūras analīzi, t.i. apkopojot jaunākās atziņas par klimata komponentu iekļaušanu augšanas gaitas modeļos (4.3. aktivitāte) un aprēķinus, t.i. sagatavojot klimata komponentes augstuma pieauguma modeļiem (4.1. aktivitāte).

Daļa no rezultātiem sagatavota publikācijas formātā: Matisons R., Krišāns O., Jansone D., Jansons Ā., Zeltiņš P. (2023) Genetic and environmental variance of radial increment of southeastern Baltic provenances of Scots pine in response to weather extremes. *Baltic Forestry* (iesniegts).

Pamatojums

Augstuma pieaugums, kas ir viens no galvenajiem produktivitātes rādītājiem (Socha et al., 2021b; Mäkinen et al., 2018; Salminen and Jalkanen, 2007; Loehle, 1998), ir atkarīgs no meteoroloģiskajiem apstākļiem (Jansons et al., 2013; Metslaid et al., 2011; Salminen and Jalkanen, 2007). Līdz ar to, klimata pārmaiņām sagaidāma ietekme uz koku primāro augšanu, kam ietekmes atšķirības starp sugām ir uzskatāmas par vienu no mehānismiem, kas sekmē sugu nomaiņu (Buras and Menzel, 2019; Way and Oren, 2010; Loehle et al., 1998). Attiecīgi, pieauguma jutības apzināšana ir svarīga genotipu ilgtspējas raksturošanai (Breed et al., 2018), kā arī to augšanas prognožu precizēšanai (Socha et al., 2021b; Sharma et al., 2017, 2011; Nunes et al., 2011).

Mērenajā klimatiskajā joslā meteoroloģiskajiem apstākļiem raksturīga kompleksa nelineārā ietekme uz radiālo pieaugumu (Matisons et al., 2021p,e), un kompleksu iezīmju tendences novērotas arī attiecībā uz augstuma pieaugumu (Jansons et al., 2015). Augstuma pieaugumam novērota meteoroloģisko apstākļu ietekmes pārnese gada ietekmē, kas skaidrojama ar barības vielu daudzumu un pārziemošanas sekmēm, kā arī mitruma režīma izmaiņām (Linkosalo et al., 2014; Tierney et al., 2001; Strand et al., 2006; Ögren, 1997). Attiecīgi radiālajam pieaugumam meteoroloģiskās jutības periods ir aptuveni gadu garš, ieskaitot augšanas sezonu. Saistībā ar augstuma pieaugumu, sagaidāms, ka šis periods būtu garāks skujkoku dzinum veidošanās specifikas dēļ (Mäkinen et al., 2018; Salminen and Jalkanen, 2007; Lanner, 1985, 1978, 1976).

Skujkoku augstuma pieauguma veidošanās ir divu gadu periods, jo pirmajā gadā notiek pieauguma aizmetņu veidošanās, bet otrajā gadā aizmetņiem attīstoties un pagarinoties veidojas dzinums (Nezval et al., 2021; Lanner, 1985, 1978, 1976). Attiecīgi vides apstākļi ietekmē gan aizmetņu skaitu, gan to pagarināšanos un nobriešanu (Salminen and Jalkanen, 2007; Jyske et al., 2014; Kalliokoski et al., 2012), līdz ar to jutības perioda garums ir ilgāks par gadu (Jansons et al., 2015, 2013; Salminen and Jalkanen, 2007, 2005). Jāatzīmē, ka aizmetņu pagarināšanās ir fizioloģiski limitēta, kā arī to skaita veidošanās ir ekoloģiski determinēta (Lanner, 1978), norādot, ka vides faktoriem un pat to ekstrēmiem ir ierobežota ietekme uz kopējo pieaugumu, it īpaši ņemot vērā, ka efekti var savstarpēji kompensēties (Mäkinen et al., 2018; Salminen and Jalkanen, 2007, Mäkinen, 1998). Normāla biežuma mežaudzēs augošu koku augstuma pieaugums ir arī ekoloģiski determinēts ar starpsugu un iekšsugas konkurenci (Oboite and Comeau, 2019; Way and Oren, 2010; Loehle, 1998), kā arī ar koksnes hidraulisko arhitektūru, kas limitē augstumu (Fernández-de-Uña et al., 2023; Liu et al., 2019; Ryan and Yoder, 1997), tādējādi mazinot ikgadējo mainību. Arī nelielas izmaiņas pieaugumā uzskatāmas par indikatīvām attiecībā pret augšanas jutību pret vides mainību. Augstuma un caurmēra pieauguma veidošanās sezonālās asinhronajās dēļ abu šo pieaugumu analīze var sniegt komplementāru informāciju (Nezval et al., 2021; Mäkinen et al., 2018; Lanner et al., 1976). Augstuma pieaugums ir arī mazāk jutīgs pret lokālajiem apstākļiem, tādējādi izteiktāk parāda klimatisko apstākļu ietekmi uz produktivitāti (Socha et al., 2021b).

Aktivitāšu rezultāti

Mērenās joslas koku augšanu ietekmējošie klimatiskie efekti.

Kokaugiem, kā stacionāriem, ilgdzīvojošiem organismiem ir jāsadzīvo ar augstu vides apstākļu mainību, it īpaši sezonāla klimata apstākļos (Aitken and Bemmels, 2016; Valladares et al., 2014). Lai nodrošinātu izdzīvošanu, kokaugi ir evolucionāri kļuvuši fenotipiski un līdz ar to arī ekoloģiski plastiski (Klisz et al., 2023; Merilä and Hendry, 2014). Tomēr šāds plastiskums ir resursu prasīgs (Neuner et al., 2015; Valladares et al., 2014), kas var samazināt genotipu konkurētspēju un izdzīvošanas sekmes (Merilä and Hendry, 2014), kā rezultātā labāk adaptētajiem genotipiem var attīstīties ģenētiskas adaptācijas pret konkrētiem vides apstākļiem un to mainību (Moran et al., 2017; Aitken and Bemmels, 2016; Valladares et al., 2014). Ar laiku, vides apstākļiem esot stabiliem, lokālā ģenētiskā adaptācija var kļūt specifiska, kā rezultātā fenotipiskais plastiskums var samazināties, optimizējot augšanu stenobiontiski (sašaurinās optimums; Allevalo et al., 2019; Savolainen et al., 2004; Hewitt, 2000). Attiecīgi, genotipu fenotipiskais plastiskums un lokālās ģenētiskās adaptācijas pakāpe nosaka atbildes reakciju spektru un spēju adaptēties vides apstākļu izmaiņām (Chauvin et al., 2019; Moran et al., 2017; Valladares et al., 2014). Kokaugu gadījumā klimats un ar to saistītie efekti ir galvenais vides mainības avots, pret ko novērtēta populāciju ģenētiskā adaptācija (Chauvin et al., 2019; Allevalo et al., 2019; Savolainen et al., 2004). Līdz ar to atbildes reakcijas atbilstība klimata gradientam(tiem) (meteoroloģisko apstākļu kopuma mainībai), it īpaši to ekstrēmu daļā, norāda uz genotipu ilgspēju (Klisz et al., 2019; Ummenhofer and Meehl, 2017; Aitken and Bemmels, 2016; Kreyling et al., 2014).

Ņemot vērā atšķirības genotipu atbildes reakcijas plastiskumā, kas veidojušās evolucionāras pielāgošanās ceļā (George et al., 2019; Kalliokoski et al., 2012; Hewitt, 2000), vides apstākļu ekstrēmi ir vērtējami no lokālu populāciju aspekta (Aitken and Bemmels, 2016; Rehfeldt et al., 2014; Savolainen et al., 2004), norādot uz primāru nepieciešamību apzināt genotipu adaptācijas spējas (Leites and Benito Garzon, 2023; Wainwright et al., 2019; Cavin and Jump, 2017; Butt et al., 2014; Leites et al., 2012). Kokaugu populācijas mitrā, mērenā klimatā, kas atbilst Latvijas apstākļiem (Kottek et al., 2006), ir pielāgojušās garai miera (ziemas) sezonai un salīdzinoši īsai veģetācijas sezonai (Isaac-Renton et al., 2018; Jyske et al., 2014; Kalliokoski et al., 2012; Savolainen et al., 2004), proti, temperatūras režīms ir galvenais limitējošais apstākļis. Attiecīgi vēsam klimatam galvenie pielāgojumi ir īsāka augšanas sezona, lai izvairītos no salnu bojājumiem (Montwe et al., 2018; Perrin et al., 2017; Savolainen et al., 2004), un palielināts fotosintētiskais aparāts, kas nodrošina asimilāciju īsākas veģetācijas sezonas laikā (Petit et al., 2018; Linkosalo et al., 2014). Šādos klimatiskajos apstākļos augsnes mitrums ir bijis optimāls vai pārmērīgs (Reich et al., 2018), kā rezultātā kokiem nav bijis nepieciešams adaptēties ilgstošam/intensīvam ūdens deficītam (Isaac-Renton et al., 2018; Montwe et al., 2018).

Veģetācijas un augšanas sezonas pagarināšanās dod iespēju ilgākai asimilācijai un līdz ar to lielākam pieaugumam (Reyer et al., 2015; Rossi et al., 2015; Jyske et al., 2014). Vienlaikus agrāka aktīvā perioda uzsākšana un vēlāka izbeigšanās paaugstina salnu risku, kam ir tendence pieaugt un kas var būtiski bojāt fotosintētisko aparātu un koksnes funkcionēšanu, mazinot potenciālo papildpieaugumu (Silvestro et al., 2019; Savolainen et al., 2004). Siltākām ziemām, kurām raksturīgi bieži atkušņi, var būt negatīva ietekme uz turpmāko augšanu. Paaugstināta temperatūra miera periodā veicina barības vielu rezervju noplicināšanos (Linkosalo et al., 2014; Mellander et al., 2004; Ögren 1997), kas var mazināt pieaugumu augšanas perioda sākumā. Turklāt, atkušņu sasalšanas cikli sekmē koksnes vadaudu embolizāciju, kas koku populācijām, kas nav adaptējušās vasaras sausumam, var veicināt/pastiprināt fizioloģisko ūdens deficītu, pastiprinot vides ūdens deficīta ietekmi un ilgumu augšanas sezonas laikā (Mayr et al., 2020). Kā pozitīva siltāku ziemu ietekme ir mazāki sala bojājumi un zemāka salcietība, kas ļauj kokiem efektīvāk asimilēt veģetācijas perioda laikā (Linkosalo et al., 2014). Tomēr jāpiezīmē, ka šāds efekts novērots ievērojami vēsāka boreālā klimata apstākļos. Attiecīgi siltas ziemas, kādas jau tiek novērotas un prognozētas (Meier et al., 2022), no vēsam klimatam adaptējušos populāciju

perspektīvas ilgtermiņā ir uzskatāmas par nelabvēlīgu klimatisko ekstrēmu, genotipu pārceļšanās nepieciešamību (Bose et al., 2022; Montwe et al., 2018; Reich et al., 2018; Briceno-Elizondo et al., 2006).

Klimata pārmaiņu scenāriji norāda uz veģetācijas sezonas pagarināšanos un siltāku ziemu biežuma pieaugumu, vidējās temperatūras paaugstināšanās rezultātā (Meier et al., 2022). Tomēr, ņemot vērā ģeogrāfisko novietojumu, sagaidāma arktisko gaisa masu ieplūšana ziemā, kā arī subtropo gaisa masu ieplūšana gan ziemā, gan vasarā. Šo prognožu rezultātā lokālie klimatiskie gradienti gan nobīdīsies, gan paplašināsies (Meier et al., 2022; Avotniece et al., 2012; Salinger et al., 2005). Šādas klimatisko gradientu izmaiņas visticamāk radīs nozīmīgu nobīdi no lokālo populāciju atbildes reakciju optimuma, ietekmējot lokālo populāciju augšanu un ilgtspēju, kas jau novērots reģionā (Ummenhofer and Meehl, 2017; Valladares et al., 2014). Atbilstoši mērenajiem klimata pārmaiņu scenārijiem, sagaidāms, ka pašreizējie meteoroloģisko apstākļu ekstrēmi/anomālijas (klimatisko gradientu perifērijas) kļūs par normu 21. gs. beigās, tādējādi izteikti marginalizējot klimatu vietējām populācijām (Fady et al., 2016; Butt et al., 2014; Merilä and Hendry, 2014; Kreienkamp et al., 2013; Salinger et al., 2005;).

Mērenajā klimatiskajā joslā vasaras sausums ir galvenais mežu vitalitāti un produktivitāti apdraudošais abiotiskais apstāklis (Bose et al., 2020; Isaac-Renton et al., 2018; Allen et al., 2015), kura ietekmei ir izteikta tendence pieaugt, paaugstinoties temperatūrai un nokrišņu sadalījumam kļūstot heteroģenākam (Meier et al., 2022; Avotniece et al., 2012). Papildu sausuma ietekmi uz kokiem, it īpaši to populācijām, kas pielāgojušās vēsam un mitram klimatam, var pastiprināt iepriekšēji nelabvēlīgi notikumi, kas pavājina kokus, vai sekmēt fizioloģisko ūdens deficītu (Weigandt et al., 2023; Bose et al., 2020; Venäläinen et al. 2020; Mayr et al., 2020). Jāatzīst, ka sausuma galvenā negatīvā ietekme ir saistāma ar pēctecības efektiem, kas mazina koku vitalitāti un rezistenci, sekmējot biotisko un sekundāro abiotisko apstākļu iedarbību (Weigandt et al., 2023; Bose et al., 2020; Mausolf et al., 2018; Seidl et al., 2017). Šīs mijiedarbības ir cēlonis negatīvajām atgriezeniskajām saitēm, kas noved pie mežaudžu atmiršanas, kam ir ekonomiskas un ekoloģiskas sekas (Weigandt et al., 2023; Venäläinen et al., 2020, Mausolf et al., 2018). Koku uzņēmībai pret sausumu un sausuma pēctecības efektiem ir tendence palielināties kokiem augot un novecojot, kas saistīts ar fizioloģiskām un anatomiskām izmaiņām (Mausolf et al., 2018; Prendin et al., 2018), un šāds pieaugums var izraisīt neproporcionālas/asimetriskas sekas (Treml et al., 2022; Dannenberg et al., 2019; Alberto et al., 2013). Attiecīgi pieaugums mitros gados nekompensē sausuma gados radīto kritumu (Dannenberg et al., 2019).

Mērenās klimata joslas mežu/mežsaimniecības adaptācijas mehānismi ranžējami atbilstoši koku populāciju ģenētiskajiem lokālajiem pielāgojumiem un fenotipiskajam plastiskumam (Fady et al., 2016; Schoene and Bernier, 2012; Ogden and Innes, 2007). Kā galvenie mehānismi ir jāpiemin mērķēta selekcija nākotnes apstākļiem piemērotāku genotipu izveidei vai plastiskuma palielināšanai, vienlaikus veicinot un saglabājot vietējo ģenētisko daudzveidību (Silvestro et al., 2019; Jandl et al., 2019; Fady et al., 2016; Lindner et al., 2014). Šāda pieeja ir uzskatāma par optimālu ekoloģiski plastiskām sugām (Fady et al., 2016; Valladares et al., 2014). Populācijām, kam novērtētas izteiktas negatīvas klimatiskās ietekmes, genotipu, kas citviet pielāgojušies sagaidāmajiem klimatiskajiem apstākļiem, kombinācijā ar selekciju pret plastiskumu, vērtējama kā optimālākā stratēģija (Jandl et al., 2019; Aitken and Bemmels, 2016). Ņemot vērā koku vecuma un izmēra saistību ar uzņēmību pret klimatiskajiem riskiem (galvenokārt sausumu un tā pēctecības efektiem; Weigandt et al., 2023; Prendin et al., 2018), cirtmeta samazināšana var saīsināt audžu uzņēmības periodu pret katastrofāliem klimatiskajiem ekstrēmiem (Seidl et al., 2017; Ummenhofer and Meehl, 2017). Izmantojot lokāli adaptējušās populācijas, šāds risinājums derīgs īstermiņā, ko nosaka klimatisko ekstrēmu intensitātes un biežuma pieaugums (Ummenhofer and Meehl, 2017; Park et al., 2014). Attiecīgi selekcija ar produktivitāti, kā galveno mērķi, var mazināt ilgtspēju, norādot uz genotipu, kas asimilātu iegulda stresu tolerances un aizsardzības mehānismus, atpaliekot augšanā mežsaimniecisko potenciālu klimata pārmaiņu un intensificējošos ekstrēmu apstākļos (Astrup

et al., 2018; Park et al., 2014; Mausolf et al., 2018). Audžu stāvokļa monitorings ir neizvietojams, lai savlaicīgi konstatētu negatīvas tendences un veiktu rīcības, kas novērstu plaša mēroga bojājumus/bojājeju (Weigandt et al., 2023; Bise et al., 2020; Mamet et al., 2015). Līdz ar to klimatiskās komponentes iekļaušana pieauguma modeļos var būtiski uzlabot prognozes, paaugstinot mežsaimniecisko lēmumu pieņemšanas efektivitāti (Socha et al., 2021; Tymińska-Czabańska et al., 2021; Sharma et al., 2015).

Baltijas saimnieciski nozīmīgo sugu specifika

Latvijā ekonomiski nozīmīgāko koku sugu pieauguma saistības ar meteoroloģiskajiem un klimatiskajiem apstākļiem ir kompleksas, un atbildes reakcijas nelineāras (Matisons et al., 2021p,e, Matisons et al., 2022). Jāpiezīmē, ka nelineārās atbildes reakcijas, kas ir bioloģiski un ekoloģiski reālistiskas, salīdzinot ar lineārām (Wilmking et al., 2020; Way and Oren, 2010), norāda uz pieauguma saistību ar meteoroloģiskajiem apstākļiem (Lloyd et al., 2013), vienlaikus ļaujot vērtēt meteoroloģiskās normas, kā arī ekstrēmu ietekmi (Billings et al., 2015). Kopumā sugu pieaugums ir jutīgs pret miera perioda temperatūru un mitruma režīmu veģetācijas sezonā, kas saistāms ar atrašanos hemiboreālajā zonā, kur ziemas ir aukstas un vasaras var būt garas, karstas, kā arī ar lokālajām klimata pārmaiņu tendencēm (Meier et al., 2022; Avotniece et al., 2012). Savukārt galvenās atšķirības starp sugām ir reakciju stiprumā un veidā, norādot uz salīdzināmām lokālajām adaptācijām (Treml et al., 2022; Harvey et al., 2020; Jansons et al., 2016; Rehfeldt et al., 2014).

Vietējo priedes populāciju pieaugums parāda pozitīvu reakciju uz miera perioda beigu temperatūru, kura pozitīvajiem ekstrēmiem vērojama kā neproporcionāli pozitīva ietekme, tādējādi radot pozitīvu papildpieaugumu (Matisons et al., 2021p). Šādas saistības ir skaidrojamas ar zemāku nepieciešamību reducēt fotosintētisko aparātu salcietības nodrošināšanai (Linkosalo et al., 2014), kā arī, iespējams, mazākiem sakņu bojājumiem (Tierney et al., 2001). Sekundāra ietekme, atbildes reakcijā uz kuru konstatēts lokāls optimums, novērtēta jūlija temperatūrai, kuras ekstrēmi jebkurā gadījumā samazina pieaugumu (Matisons et al., 2021p). Negatīva temperatūras ietekme skaidrojama ar pastiprinātu evapotranspirāciju, kas pastiprina sausumu (Yang et al., 2015; Henttonen et al., 2014), kā arī var pastiprināt fizioloģisko sausumu (Mayr et al., 2020; Isaac-Renton et al., 2018; Tyree and Zimmermann, 2002). Sausuma ietekme norāda uz mērenas, pozitīvas vasaras mitruma indeksa saistības ar papildpieaugumu sausajos gados (Matisons et al., 2021p), kas vienlaikus norāda uz nesimetrisku pieauguma reakciju, kad optimāls mitruma režīms nekompensē ūdens deficīta augšanas kritumu (Dannenberg et al., 2019). Attiecīgi, vasaras sausuma ekstrēmiem sagaidāma kopumā negatīva ietekme uz pieaugumu. Priedei arīdzan novērota izteikti negatīva lineāra papildpieauguma saistība ar iepriekšējās vasaras temperatūru (Matisons et al., 2021p), kas ir saistāma ar reprodukcijas stimulēšanu un resursu pārdali, mazinot augšana (Hackett-Pain et al., 2018). Šāds efekts, visticamāk ilgtermiņā izlīdzināsies un attiecīgo apstākļu ekstrēmiem sagaidāms proporcionāls efekts.

Vietējo egles populāciju pieaugums ir primāri saistīts ar sausumu vasarā, uz ko norāda pozitīva pieauguma atbildes reakcija (Matisons et al., 2021e). Pretstatā priedei, egles pieauguma reakcija uz mitruma indeksu bija simetriska, norādot uz spēju mitros gados kompensēt sausuma izraisīto pieauguma kritumu (Dannenberg et al., 2019). Attiecīgi, vasaras mitruma ekstrēmiem sagaidāma tendence savstarpēji kompensēties. Jūnija temperatūrai novērota lineāra negatīva ietekme, kas skaidrojama ar paaugstinātu evapotranspirāciju, kas sekmē sausumu (Yang et al., 2015; Henttonen et al., 2014). Turpretim jūnija nokrišņiem novērots lokāls optimums, kas skaidrojams ar mitruma un gaismas pieejamības mijiedarbību (Kallikokoski et al., 2012; Strand et al., 2006). Tātad jūnija nokrišņu ekstrēmiem sagaidāma negatīva ietekme uz pieaugumu. Eglei, kā ziemeļu klimatam pielāgotai sugai (Isaac-Renton et al., 2018; Allen et al., 2015), ziemas temperatūrai novērota mērena sekundāra ietekme uz pieaugumu gados ar siltām ziemām, kas saistīts ar mazāku fotosintētiskā aparāta redukciju un līdz ar to spēju papildus asimilēt (Linkosalo et al., 2014). Līdzīgi kā priedei, novērotas negatīvas saistības ar iepriekšējās vasaras

izskaņas temperatūru, kas skaidrojama ar sēklu ražas stimulēšanu, kas gan izpaužas siltākajos gados.

Bērza, kas ir ticis uzskatīts par pret meteoroloģiskajiem apstākļiem tolerantu pioniersugu (Matisons et al., 2022), pieaugums ir primāri jutīgs pret sausumu, pie tam jutība pārsvarā izpaužas sausajos gados, norādot uz nesimetrisku sausuma ietekmi (Dannenberg et al., 2019). Līdzīgi kā priedei, vasaras mitruma ekstrēmiem kopumā ir sagaidāma negatīva ietekme, tā kā mitro gadu papildpieaugums nekompensēs pieauguma kritumu sausajos gados. Vasaras temperatūras ekstrēmiem arī sagaidāma kopumā negatīva ietekme uz pieaugumu, ko parāda negatīva, nelineāra, pozitīvi nobīdīta atbildes reakcija, kas skaidrojama ar sasusama un tā ietekmes intensificēšanu (Venäläinen et al., 2020; Isaac-Renton et al., 2018; Tyree and Zimmermann, 2002). Pavasara temperatūrai ir sekundāra ietekme uz bērza pieaugumu, bet atbildes reakcija mainās veģetācijas sezonai sākoties (Matisons et al., 2022). Aprīļa temperatūrai ir pozitīva ietekme, kas ir izteikti intensīvāka siltajos gados, norādot, ka sagaidāma pasiltināšanās un arī tās ekstrēmu pozitīva ietekme (Reyer et al., 2014, Lindner et al., 2014). Turpretim maijā temperatūras atbildes reakcija parāda lokālu optimumu, norādot uz pieauguma kritumu ekstrēmu gadījumā (Matisons et al., 2022). Jāatzīmē, ka maija temperatūras ekstrēmu ietekme gan ir izteikti zemāka nekā aprīlī. Līdzīgi kā skujkokiem (Matisons et al., 2021 p, e) novērota negatīva pieauguma un iepriekšējās vasaras izskaņas temperatūras saistības, kas bērzam ir mērenākas. Miera perioda temperatūrai nav novērota būtiska ietekme, norādot uz veiksmīgu pārziemošanu Latvijas/Baltijas klimatā (Venäläinen et al., 2020).

Baltijas jūras austrumu reģiona saimnieciski nozīmīgāko skujkoku populācijām novērotas atšķirīgas lokālās adaptācijas pieauguma jutība pret meteoroloģiskajiem un klimatiskajiem apstākļiem un to ekstrēmiem (Matisons et al., 2021pp,ph, 2019a,e). Balstoties uz paralēlo provenienču stādījumu analīzi, priedes populācijām novērotas atšķirības atbildes reakcijā pret meteoroloģiskajiem apstākļiem, norādot uz jutības ģenētisku kontroli (Klisz et al., 2019; Fady et al., 2016; Rehfeldt et al., 2014). Galvenokārt, šīs atšķirības saistāmas ar pieauguma reakciju uz meteoroloģisko apstākļu ekstrēmiem, kas raksturo vietējo klimatisko gradientu marginālās vērtības (Venäläinen et al., 2020; Matisons et al., 2019e). Novērotas produktivitātes un pieauguma jutības saistības (Matisons et al., 2021pp, 2019e), produktīvāko genotipu pieaugumam kopumā esot jutīgākam pret meteoroloģiskajiem apstākļiem (Matisons et al., 2021pp) un to ekstrēmiem (Matisons et al., 2019e), lai gan mazāk produktīvie genotipi uzrāda augstāku jutību pret temperatūru ziemā un augšanas perioda vidū (Matisons et al., 2021pp). Novērotās produktivitātes pieauguma saistības ir saistāmas ar koksnes pieauguma veidošanos (Matisons et al., 2019a, Martin et al., 2010). Produktīvākajiem genotipiem novēro spēju veidot traheīdas ar lielākiem dobumiem un plānākām sienām, tādējādi nodrošinot konduktivitāti, izmantojot mazāk asimilātu. Šāda sistēma ir plastiska un labāk ļauj pielāgot koksnes vadītspēju konkrētai vides specifikai, nodrošinot sekmīgāku augšanu ilgtermiņā (Cuny et al., 2019; Martin et al., 2010). Vienlaikus pārnestie genotipi neparāda izteiktu jutību pret salnām (Matisons et al., 2020). Lokālās adaptācijas iezīmes novērotas bērza un egles pieauguma jutībā, uz ko norāda reģionālas mainības kopīgo atbildes reakciju stiprums (Matisons et al., 2022, 2021e). Jāatzīmē, ka lokālās adaptācijas iezīmes eglei, kas atrodas tuvu dienvidu areāla robežai, ir ierobežotas, ar tendenci mazināties lokālajam klimatam marginalizējoties (Klisz et al., 2019).

Augstuma pieauguma jutība un meteoroloģisko kandidātmanīgo atlase priedei.

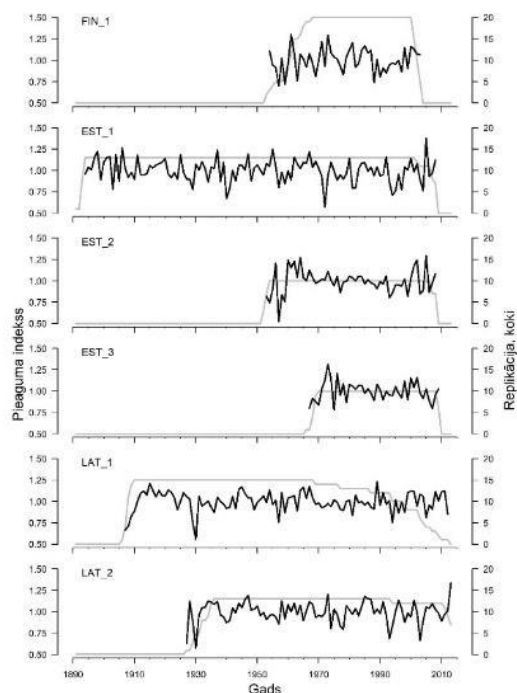
Augstuma pieauguma meteoroloģiskās jutības raksturošanai priedei reģionālā klimatiskajā gradientā (Meier et al., 2022), izmantotas laika rindas no Latvijas (Šķēde un Kalsnava, divas audzes; Jansons et al., 2015), Igaunijas (Jarvselja; trīs audzes, Metslaid et al., 2011) un Somijas (Roveniemi, viena audze; Salminen and Jalkanen, 2005). Augstuma pieauguma laika rindas iegūtas tiešās mērīšanas rezultātā uz aksiāli diametrāli pārdalīta stumbra. Datu kopa reprezentē dominantos un kodominantos kokus briestaudzes/pieaugušas audzes vecumā. Pētītie koki auga audzēs ar mezotrofām drenētām podzolētām automorfām augsnēm. Attiecīgie augšanas apstākļi ir tipiski priedes audzēm pētītajās lokācijās/reģionos.

Pieauguma meteoroloģiskās jutības raksturošanai izmantoja laika rindu dekonstrukcijas pieeju (Speer, 2010) un multiplo regresiju (Wilmking et al., 2020). Ņemot vērā, ka pētītās audzes reprezentēja reģionālo klimatisko gradientu, multiplās regresijas veikšanai izmantoja jaukta tipa vispārinātu aditīvu modeli, kas iekļauj nelineāras atbildes reakcijas (Wood, 2011). Lai pārbaudītu mērījumu kvalitāti un datējuma korektumu, laika rindu datu kopas šķērsdatētas gan audzes, gan lokācijas (valsts) līmenī. Lai gan augstuma pieaugumam raksturīgs mazāk izteikts vecuma trends (Salminen and Jalkanen, 2005), ikgadējās mainības izcelšanai laika rindas detrendētas ar negatīvo eksponenciālo un fleksiblu kubisku līkni (viļņa garums 40 gadi), un noņemot autokorelācija. Lokālās lineārās pieauguma ikgadējas mainības un meteoroloģisko apstākļu mainības raksturošanai izveidotas audžu hronoloģijas, kas korelētas ar lokālajiem mēnešu meteoroloģiskajiem mainīgajiem, kas pieejami brīvpieejas repozitorijā (Harris et al., 2020). Veikta būtstrapota korelācijas analīze (Zang and Biondi, 2015) kopīgajam laika periodam no 1955. līdz 2003. gadam. Multiplā aditīvā regresija balstīta uz audžu hronoloģijām, attiecīgi audze un gads iekļauti modelī kā randomie efekti. Meteoroloģisko (fiksēto) efektu atlase balstīta uz arbitrāžas atlasas un bioloģiskās jēgas principiem. Rafinēta modeļa atbilstība statistiskajiem pieņēmumiem pārbaudīta ar diagnostisko grafiku palīdzību.

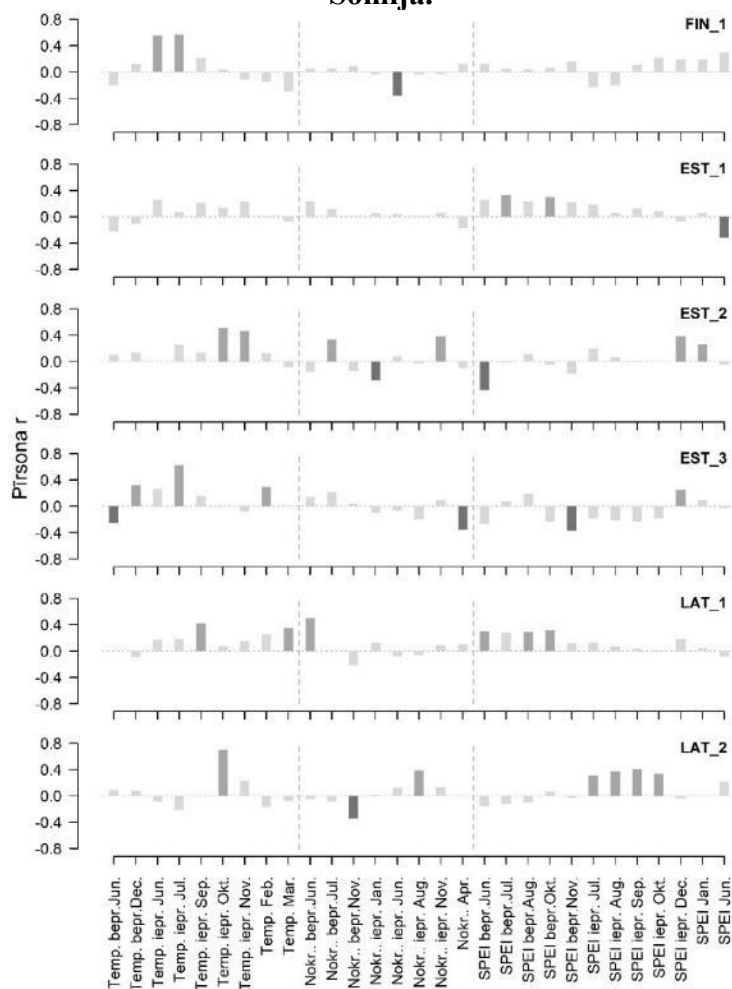
Analizētās datu kopas bija atbilstīgas pieauguma un vides mainības analīzei, par ko liecināja apmierinošie signāla stipruma rādītāji (Wigley et al., 1984). Pētītajās audzēs augstuma pieaugums parādīja izteiktu ikgadējo mainību, kurai raksturīgs ģeogrāfisks gradients (4.1. att.). Ikgadējā mainība parādīja lineāras saistības ar meteoroloģiskajiem apstākļiem, kas datējami ar divu gadu periodu pirms pieauguma galējas noformēšanās, norādot uz pēctecības efektiem (Salminen and Jalkanen, 2005). Aprēķinātajām korelācijām vērojams ģeogrāfisks gradients, norādot uz klimata ietekmi uz jutību pret meteoroloģiskajiem apstākļiem.

Audzē Somijā, kur klimats ir auksts, novērotās korelācijas uzrādīja izteiktu pieauguma atkarību no pietiekamā siltuma daudzuma (4.2. att.), līdz ar to novērota pozitīva korelācija ar iepriekšējās vasaras temperatūru. Šādas saistības arīdzan uzsvēra, ka galvenās meteoroloģiskās ietekmes saistāmas ar pieauguma aizmetņu veidošanos (Lanner, 1976). Latvijā un Igaunijā pieaugums korelēja gan ar miera perioda temperatūru, gan mitruma pieaugumu augšanas sezonas laikā, norādot uz kompleksām ietekmēm (Matisons et al., 2021 p, e). Būtiskās korelācijas bija saistāmas ar apstākļiem pieauguma izveidošanās gadā, kā arī līdz diviem gadiem, pirms tam norādot uz kompleksām ietekmēm.

Vispārinot pieauguma analīzi reģionālā līmenī (4.3. att.), novērota kompleksa astoņu meteoroloģisko apstākļu ietekme uz augstuma pieaugumu. Rafinētais modelis atbilda statistiskajiem pieņēmumiem un izskaidroja 38% no pieauguma mainības ($R^2_c = 0.38$), liecinot par izteiktu jutību pret meteoroloģiskajiem apstākļiem. Vairums no novērotajām atbildes reakcijām bija lineāras vai to izliekums bija neliels, norādot, ka analizētais klimatiskais gradients raksturo nelielu daļu no apstākļiem, kādiem priede spēj pieaugumu plastiski pielāgot (Wilmking et al., 2020, Way and Oren, 2010). Galvenokārt pieaugums parādīja jutību pret temperatūru, jo tikai nokrišņu daudzumam augstā novērota mērena ietekme. Visizteiktākā ietekme (pozitīva) novērota iepriekšējā un pieauguma veidošanās gada jūlija temperatūrai, kā arī augusta temperatūrai (negatīva), norādot uz sausuma ietekmi (Allen et al., 2015). Proti, attiecīgās saistības norāda uz pieauguma uzlabošanos klimatam kļūstot siltākam (Socha et al., 2021b). Pozitīva ietekme novērota arīdzan iepriekšējā oktobra temperatūrai, it īpaši siltāka klimata apstākļus, kas saistāma ar papildus barības vielu asimilāciju (Linkosalo et al., 2014). Ziemas temperatūrai novērota mērena negatīva ietekme, kas skaidrojama ar miera perioda pārtraukšanu un barības vielu zudumiem (Ögren, 1997). Attiecīgi, augstuma pieauguma prognozes precizēšanai, ziemas un vasaras temperatūra, kam novērotas atšķirīgas ietekmes, uzskatāmas par kandidatmainīgajiem.

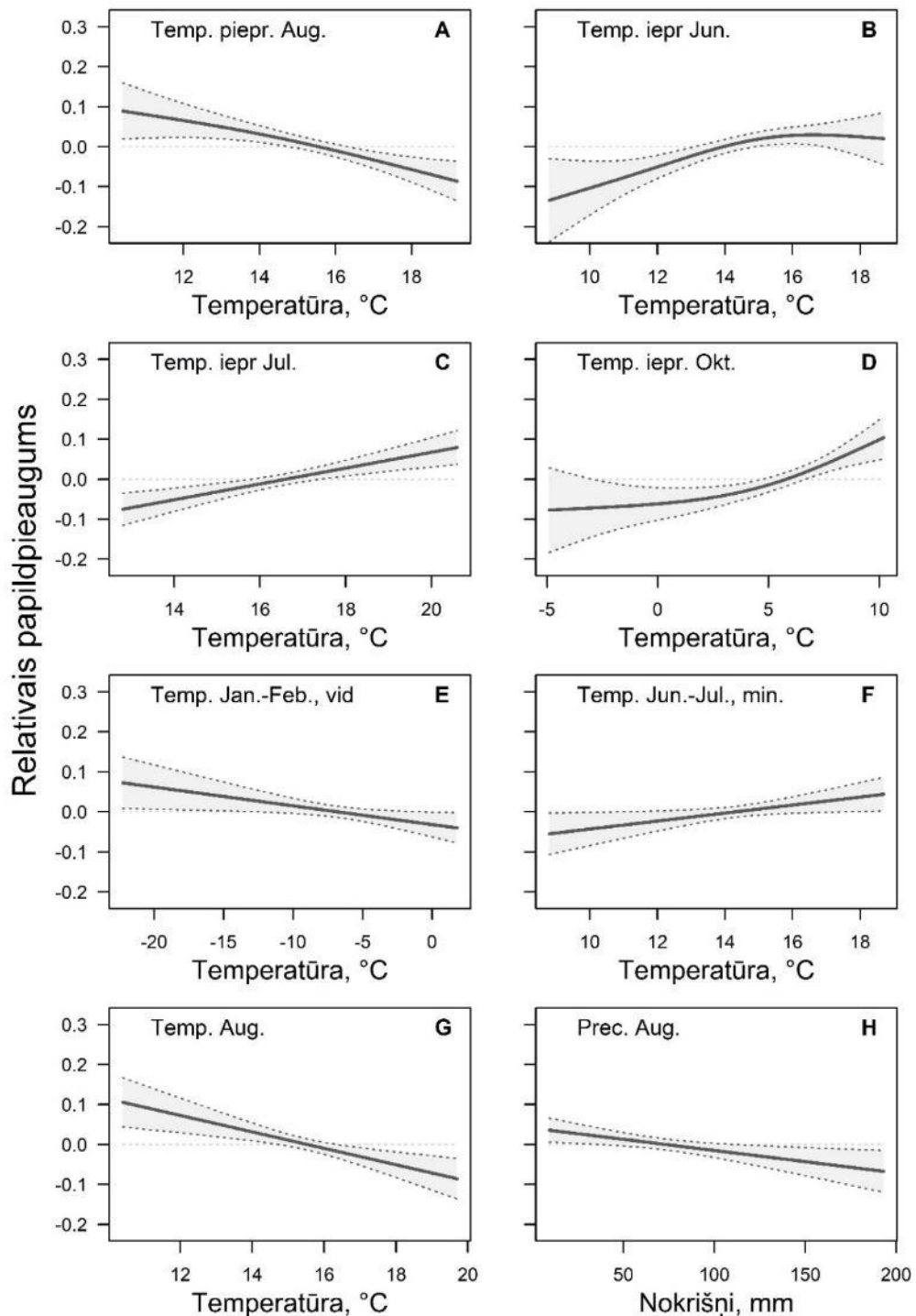


4.1. attēls. Priedes augstuma pieauguma ikgadējā mainība audzēs Latvija, Igaunijā un Somijā.



Statistiski būtiskās korelācijas parādītas ar intensīvu krāsu.

4.2. attēls. Pīrsona korelācijas koeficienti starp priedes augstuma pieauguma ikgadējo mainību un mēnešu meteoroloģiskajiem apstākļiem (temperatūru, nokrišņiem, mākoņainumu un sausuma indeksu SPEI) references periodā no 1955. līdz 2003. gadam audzēs Latvijā, Igaunijā un Somijā.



4.3. attēls. Reģionālās priedes augstuma pieauguma atbildes reakcijas uz meteoroloģiskajiem apstākļiem references periodā no 1955. līdz 2003. gadam.

Iegūtās sakarības izmantotas klimata komponentu sagatavošanai augšanas gaitas modeļu papildināšanai. Mērījumu dati organizēti pāros, tādējādi novērojums raksturo pieauguma izmaiņas atkarībā no vecuma izmaiņām (attiecīgi h_1 un h_2 , un a_1 un a_2) individuālam kokam atbilstoši vispārinātās algebriskās diferences modeļu pieejai (Sharma et al., 2017, 2015, 2011). Pieauguma modelis atvasināts no Hosfelda (Hosfeld) bāzes augstuma modeļa (Sharma et al., 2011; Cieszewski, 2002):

$$h_1 = \frac{b_1 + \frac{h_0 - b_1}{1 - b_2 h_0 t_0^{-b_3}}}{1 + \frac{t_1^{-b_3} b_2 (h_0 - b_1)}{1 - b_2 h_0 t_0^{-b_3}}}, \quad (1)$$

kur b_1, b_2, b_3 – koeficienti, a_1 – sākotnējais vecums (gadi), h_1 – sākotnējais augstums (m), a_2 – mērķa vecums (gadi), h_2 – augstums vecumā a_2 (m).

Meteoroloģiskās komponentes, kas aprēķinātas kā vidējā periodiskā vērtība (x) testētas atvasinājumā kā lineāri ($\gamma_a x + \gamma_b$) neatkarīgi koeficientu aizstājēji. Meteoroloģiskie mainīgie, mēnešu rādītāji iegūti no brīvpieejas repozitorija (Harris et al., 2020). Analīzē iekļauti mēnešu vidējā diennakts vidējā, minimālā un maksimālā temperatūra, potenciālā evapotranspirācija, dienu skaits ar salu, nokrišņu summa, mākoņaino dienu skaits, dienu skats ar nokrišņiem. Papildu aprēķināts aktīvās augšanas sezonas (maijs–jūlijs) sausuma indekss (Vicente-Serrano et al., 2010) un pavasara (marts–aprīlis) vidējā temperatūra, kas uzrādīja saistības ar pieauguma ikgadējo mainību (Matisons et al., 2021e), kā arī gada vidējā temperatūra (Mäkinen et al., 2018; Salminen and Jalkanen, 2005). Klons (genotips) atvasinātajos modeļos testēts kā randomais efekts, kas var mijiedarboties ar koeficientiem (b_1, b_2, b_3), kā arī ar to klimatisko aizstājēju ($\gamma_{a..z}$) koeficientiem dažādās kombinācijās. Modeļos iekļauta autokorelācija. Modeļu atlase veikta balstoties uz AIC un kļūdu rādītājiem (Sharma et al., 2017, 2011). Modeļiem vērtēta atbilstība statistiskajiem pieņēmumiem, modeļa prognozēm vērtēts bioloģiskais un ekoloģiskais reālisms. Randomo efektu struktūras un meteoroloģisko komponentu efektivitāte testēta ekstensīvi, izmantojot cikla funkciju. Modeļi kalibrēti pret nedalītu datu kopu (Sharma et al., 2017). Modelēšanai izmantota REML (Restricted Maximum Likelihood) pieeja, pieļaujot starp subjektiem heterogēnas dispersijas. Analīzes periodā no testētajām > 5000 kombinācijām kā vislabāk empīriskos datus aprakstošais novērtēts modelis, kas saturēja divas meteoroloģiskās komponentes, kas aizstāja b_1 un b_2 koeficientus, attiecīgi papildinot modeli ar γ_0 un γ_1 , kā arī γ_2 un γ_3 , no kuriem pirmie divi bija klonam specifiski. Klonam specifisks bija arī b_3 koeficients. Attiecīgi labākais modelis bija:

$$h_2 = \frac{\gamma_0 + \gamma_1 * \text{TMP.mar.apr} + \left(\frac{h_1 - \gamma_0 - \gamma_1 * \text{TMP.mar.apr}}{1 - (\gamma_2 + \gamma_3 * \exp(\text{SPEI3})) * h_1 * a_1^{-b_3}} \right)}{1 + (\gamma_2 + \gamma_3 * \exp(\text{SPEI3})) * \left(\frac{h_1 - \gamma_0 - \gamma_1 * \text{TMP.mar.apr}}{1 - (\gamma_2 + \gamma_3 * \exp(\text{SPEI3})) * h_1 * a_1^{-b_3}} \right) * a_2^{-b_3}}, \quad (2)$$

kur a_1 – sākotnējais vecums (gadi), h_1 – sākotnējais augstums (m), a_2 – mērķa vecums (gadi), h_2 – augstums vecumā a_2 (m), TMP.mar.apr. – vidējā periodiskā marta un aprīļa gaisa temperatūra attiecīgam prognozes periodam ($^{\circ}\text{C}$), SPEI3 – vidējais periodiskais maija līdz jūlija trīs mēnešu sausuma indekss (Vicente-Serrano et al., 2010), b_3 , –modeļa koeficients, $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ – meteoroloģisko lineāro funkciju koeficienti.

Atlasītais modelis parādīja augstu determinācijas spēju un attiecīgi marginālais un kondicionālais determinācijas koeficients bija 0,97 un 0,98. Jāpiezīmē, ka atšķirība starp determinācijas koeficientiem bija neliela, norādot uz samērā maz izteiktām ģenētiskajām atšķirībām Latvijas materiālam, kas saskan ar iepriekš novēroto mēreno lokālo ģenētisko adaptāciju (Liepa et al., 2022). Novērtētie modeļi ir dinamiski, tādējādi novērotais ģenētiskais efekts saistāms ar pieauguma jutību un pieaugumu, kas attiecināts pret laika vienību (gadu). Attiecīgi, ilgtermiņā šim efektam, visticamāk, ir kumulatīvs efekts, kā novērots attiecībā uz koku augstumu (Zeltiņš et al., 2019).

Atlasītajā modelī iekļautās meteoroloģiskās komponentes atbilda galvenajiem reģionālajiem pieaugumu noteicošajiem meteoroloģiskajiem apstākļiem (Matisons et al., 2021p,e; Jansons et al., 2015), apliecinot kompleksu klimatisku augšanas kontroli. Atlasītās meteoroloģiskās komponentes ir izteikti saistītas ar klimata pārmaiņām reģionā (Meier et al., 2022), norādot uz to praktisko un ekoloģisko nozīmību. Modelī iekļauto meteoroloģisko komponentu ietekmes uz pieaugumu uzskaitāmās par komplementārām (Matisons et al., 2021e;

Reyer et al., 2014), liecinot par efektu sabalansētību un modeļa ekoloģisko ticamību un reprezentativitāti. Tomēr jāņem vērā, ka: 1) nelineāras ietekmes ticams novērtējums nebija iespējams pieejamās datu kopas apjoma dēļ; 2) nelineāri augšanas modeļi pēc definīcijas ietver pieguma plastiskumu (Sharma et al., 2017, 2011; Billings et al., 2015; Cieszewski, 2002), tādējādi nodrošinot to ekstrapolējamību.

Kopsavilkums

Sagatavots literatūras un iepriekšējo pētījumu apskats, pamatotas, atlasītas nozīmīgākās augstuma pieauguma veidošanas determinējošās meteoroloģiskās komponentes, un sagatavoti koeficienti augšanas gaitas modelim.

Iegūtie rezultāti tiks izmantoti kontekstā ar datiem par klimata ekstrēmu ietekmi (pētījuma iepriekšējo etapu pārskati un šī etapa 4.2. aktivitāte), saskaņā ar pētījuma plānu, aktivitāšu noslēgumā, sadarbībā ar “Augšanas gaitas modelēšanas pētījumu”, izstrādājot aprakstu par klimata pārmaiņu ietekmi uz augšanas gaitu un mežsaimniecības iespējām ar klimata pārmaiņām saistīto risku mazināšanai un pozitīvo ietekmju izmantošanai. Lai to sasniegtu, nākamajā etapā būtiski papildināt priežu datu kopu, veikt līdzvērtīgu novērtējumu eglēm un noslēdzošajā etapā modeļos ietvert kā augstumu, tā caurmēru ietekmējošos faktorus, raksturojot stumbra pieauguma dinamiku.

4.2. Meteoroloģisko apstākļu ekstrēmu ietekme uz koku pieaugumu un jutības ģenētiskā kontrole.

Pamatojums

Parastās priedes, kas ir visplašāk izplatītā suga ziemeļu puslodē (Hytteborn et al., 2005), populācijām novērota lokāla ģenētiska adaptācija pazīmēm, kas saistītas ar sausuma un temperatūras, kā arī vēja ietekmi (Matisons et al., 2019a,e; Martin et al., 2010). Lokāla populāciju adaptācija veidojas, lai uzlabotu izdzīvošanu konkrētos apstākļos, tādējādi optimizējot/ierobežojot genotipu fenotipisko plastiskumu, kā nodrošināšana ir prasīga pēc resursiem (Klisz et al., 2023). Ņemot vērā, ka ģenētiskās adaptācijas ir veidojušās evolucionārā ceļā, kas ir lēns, salīdzinot ar mūsdienas vides izmaiņām (de la Mata et al. 2022; Aitken and Bemmels, 2016; Merilä and Hendry, 2014 ;Alberto et al., 2013; Breed et al., 2013), populāciju ģenētiskā adaptācija, daudzveidība un fenotipiskais plastiskums nosaka spēju adaptēties krasām vides izmaiņām (Chmura et al. 2021; Ansarifar et al. 2020; Chauvin et al., 2019; Moran et al., 2017). Šo adaptācijas komponentu kvantificēšana iespējama ar kvantitatīvās ģenētikas metodēm, raksturojot pazīmju iedzimstamību un vides ietekmes (Arnold et al. 2019; Li et al. 2017), tādējādi sniedzot informāciju par genotipu/populāciju ilgtspēju (Liepe et al., 2022; Moran et al., 2017).

Klimata pārmaiņas izpaužas kā klimatisko gradientu nobīde un pagarināšanās, kas lokāli adaptējušos genotipus pakļauj pieaugošam ekstrēmu biežumam (Ummenhofer and Meehl, 2017). Attiecīgi klimatiskie/meteoroloģiskie ekstrēmi inducē populācijas ģenētiskās adaptācijas un fenotipisko plastiskuma izpausmi (Chauvin et al. 2019, Moran et al. 2017), kas ir genotipa un vides mijiedarbības rezultāts (de la Mata et al. 2022; Chmura et al. 2021; Ansarifar et al. 2020), izceļot adaptācijas spējas klimatiskajiem gradientiem mainoties (Klisz et al., 2023). Lai raksturotu ģenētisko adaptāciju un fenotipisko plastiskumu, vēsturiski izmantotas morfometriskās pazīmes, kas ir pagātnes apstākļu rezultāts (Burdon and Klapste 2019), kas var neatspoguļot pašreizējos un nākotnes apstākļus. Attiecīgi, straujas vides mainības apstākļos, pieauguma un produktivitātes jutība pret vidi sniedz vērtīgu komplementāru informāciju par genotipu un populāciju adaptēšanās spējām (Housset et al., 2018).

Provenienču stādījumos Latvijā un Vācijā novērots, ka Baltijas jūras austrumu reģiona priedes populācijas atšķiras reakcijā uz meteoroloģiskajiem apstākļiem un to ekstrēmiem, it īpaši saistībā ar ūdens deficītu, norādot uz lokālām adaptācijām (Matisons et al., 2019e; Taeger et al. 2015, 2013). Stādījumos Latvijā novērotas jutības un produktivitātes saistības, proti,

produktīvākajiem genotipiem raksturīgāka augstāka jutība, kā arī ātrāka atjaunošanās pēc meteoroloģiskajiem ekstrēmiem (Matisons et al., 2021pp, 2019e), kas saistāmi ar adaptīvām koksnes īpašībām un ksilogenēzes plastiskumu (Cuny et al., 2019; Matisons et al., 2019a). Lai arī pieauguma jutībai meteoroloģiskās normas ietvaros novērota un kvantificēta lokāla adaptācija un plastiskums, attiecībā uz meteoroloģiskajiem ekstrēmiem, kas ir ilgspējas indikatori (Chmura et al. 2021; Ansarifar et al. 2020), šādas informācijas līdz šim nav. Attiecīgi, Baltijas jūras austrumu reģiona priedes provenienču, kas atšķiras ar produktivitāti (Matisons et al., 2019e), pieauguma jutības pret meteoroloģisko apstākļu anomālijām/ekstrēmiem lokālās adaptācijas un fenotipiskais plastiskums raksturots, izmantojot laika rindu analīzes (Housset et al., 2018) un kvantitatīvās ģenētiskās metodes (Loha et al., 2006; Falconer and MacKay, 1996).

Aktivitātes mērķis šajā etapā ir pieauguma datu sagatavošana un analīze, veicot pieauguma ekstrēmu (t.s. “zīmīgo gadu”) identificēšanu un raksturojot to saikni ar meteoroloģisko apstākļu ekstrēmiem un ģenētisko determināciju.

Materiāls un metodes

Analizēts priedes radiālais pieaugums, kas mērīts piecos provenienču stādījumos Latvijā un Vācijas ziemeļos, kas ierīkoti 1975. gadā IUFRO sadarbības ietvaros (Kohlstock and Schneck, 1992). Stādmateriāls ņemts no brīvapputes audžu pluskokiem. Pētītie stādījumi raksturo reģionālo klimatisko un kontinentalitātes gradientus, akcentējot klimatiskos apstākļus, kas ir sagaidāmi Latvijā 21. gs. beigās (Meier et al., 2022), tādējādi raksturojot vietējo populāciju adaptāciju pārskatāmā nākotnē (Klisz et al., 2023). Provenienču stādījumi atradās līdzīgos edafiskajos (mezotrofās labi drenētas automorfās podzolētās minerālaugšnes uz smilšaina cilmieža) un vēja klimata apstākļos. Stādījumu dizains ir randomizētas parces (sākotnēji 35 un 100 koki parcelē audzēs Latvijā un Vācijā). Stādījumi ierīkoti ar sākotnējo biežumu 5000 un 10000 koki uz ha (attiecīgi Latvijā un Vācijā), un kopti vienu vai divas reizes. Kokaudzes biežums pirms paraugu ievākšanas bija 1100–1800 koki uz ha.

Analizējamo provenienču atlase veikta balstoties uz produktivitāti Latvijas apstākļos. Lai izceltu saistības starp meteoroloģisko jutību un produktivitāti, atlasītas proveniencas ar kontrastējošu produktivitāti Latvijas apstākļos (Jansons and Baumanis, 2005), un atlasīto provenienču ranžējums bija saskanīgs arī Vācijas stādījumos. Atlasītas divas neproduktīvas proveniencas (Dippoldiswalde (DIP) un Eibenstock (EBN)), kuru izcelsme ir no Oru kalniem. Kā produktīvākās proveniencas, kuras izcelsme saistāma ar zemes līdzenuma apstākļiem un siltāku klimatu, atlasītas Rytel, Güstrow, Neubrandenburg un Roctock (attiecīgi RYT, GUS, NBD un RST). Vietējā proveniencē (Kalsnava (KAL)), kam raksturīga vidēji augsta produktivitāte, kā arī saimnieciski vēlamas stumbra īpašības (Jansons and Baumanis, 2005), izvēlēta, lai raksturotu lokālo genotipu ilgspēju sagaidāmā klimata apstākļos. Katrā stādījumā, katrai proveniencē izvēlējās 10–15 dominējošus, vizuāli veselīgus un nebojātus kokus, attiecīgi atlasīti viens līdz trīs koki no parces. No atlasītajiem kokiem ievākti divi koksnes urbumi (5 mm) 1,3 m augstumā no pretējām nejauši orientētām stumbra pusēm. Laboratorijā urbumi fiksēti, to virsma noslīpēta un gadskārtu platumi (TRW) manuāli nomērīti. Iegūtie dati izmantoti vairākām atsevišķām analīzēm; šī pētījuma aktivitātes ietvaros – klimata ekstrēmu ietekmes analīzei.

Mērījumu sēriju kvalitātes nodrošināšanai un datējumu pārbaudei veikta grafiska un vizuāla šķērsdatēšana gan proveniencas, gan stādījuma, kā arī valsts līmenī. Datu kopas informativitātes raksturošanai aprēķināti vides signāla izpausmes un reprezentativitātes rādītāji (Speer, 2010). Zīmīgo gadu metode, kas balstīta uz relatīvajām augšanas izmaiņām atbilstoši Jetschke et al. (2019) un Schwarz et al. (2020) kritikai, izmantota, lai noteiktu izmaiņas pieaugumā un to saistības ar meteoroloģisko apstākļu anomālijām/ekstrēmiem. Ņemot vērā stādījumu atrašanos priedes izplatības areāla vidusdaļā, kā arī optimālus augšanas apstākļus intensīvas apsaimniekošanas rezultātā, zīmīgo gadu identificēšanā izmantotas zemas pieauguma izmaiņu sliekšņa vērtības (40% uzlabojums un 25% kritums, 50% no kokiem). Zīmīgie gadi

vērtēti stādījuma līmenī, papildus katrai proveniencēi ikgadēji aprēķinot vidējās relatīvās pieauguma izmaiņas (van der Maaten-Theunissen et al. 2021). Meteoroloģisko ekstrēmu anomāliju raksturošanai izmantotas interpolēto mēnešu vidējo meteoroloģisko datu kopām (Harris et al., 2020) aprēķinātās slidošās normētās novirzes. Par anomālijām un ekstrēmiem uzskatīti tie novērojumi, kuru absolūtā normētā novirze pārsniedza 1,8.

Pieauguma jutības ģenētiskās kontroles raksturošanai izmantotas kvantitatīvās ģenētikas metodes (Falconer and MacKay, 1996), kas adaptētas provenienču stādījumu specifikai (de la Mata et al., 2022; Loha et al., 2006). Attiecīgi katrā stādījumā katram gadam, ko reprezentēja vismaz piecas proveniencas un 30 pieauguma izmaiņu vērtības, ar vienkāršu jaukta tipa modeli, kur proveniencē izmantota kā randomais efekts un atkārtojums kā fiksētais efekts, atdalītas dispersijas komponentes (Loha et al., 2006). Plašās nozīmes iedzimstamības koeficients H^2 aprēķināts kā proveniencas dispersijas attiecība pret kopējo dispersiju, un proveniencas variācijas koeficients PCV aprēķināts kā proveniencas standartnovirzes un attiecīgā fenotipiskās vidējā pieauguma attiecība. Lai vispārinātu ģenētisko un vides kontroli pār provenienču pieaugumu, raksturojot lokālās adaptācijas un fenotipiskās plastiskuma izpausmes katrā no plantācijām, izmantots pakārtots jaukta tipa modelis (Li et al., 2017). Modelī, kā fiksētie faktori izmantoti pieauguma veidošanas gads, atkārtojums (parcele) un atkārtojumam pakārtots koks. Kā randomie efekti iekļauti proveniencē, proveniencas un gada mijiedarbība, kā arī proveniencas un atkārtojuma mijiedarbība.

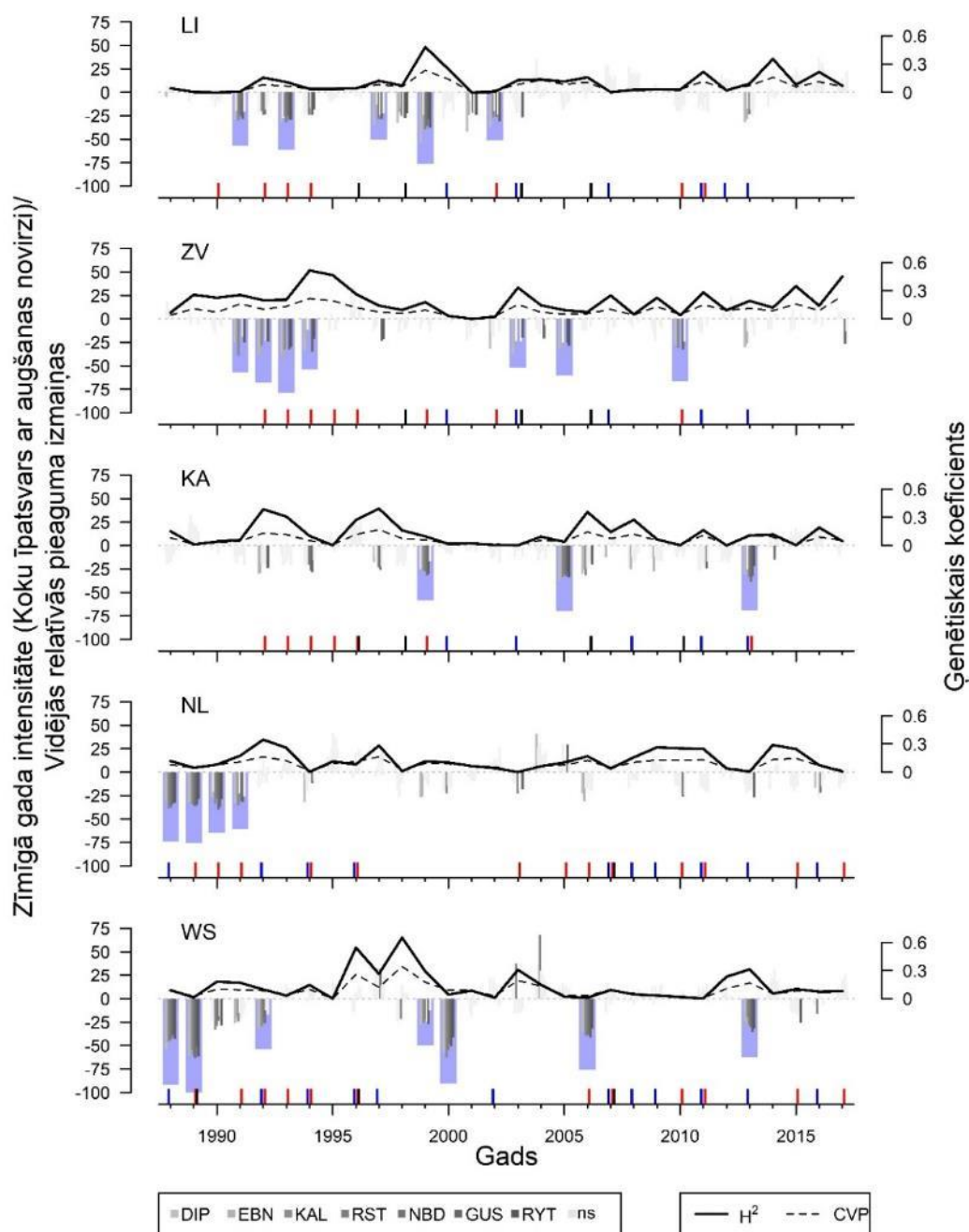
Rezultāti un diskusija

Meteoroloģiskā jutība

Šķersdatētas mērījumu sēriju datu kopas bija pietiekamas vides mainības ietekmes raksturošanai, par ko liecināja EPS indeksa vērtības, kas pārsniedza 0.85 sliekšni (Wigley et al., 1984). Attiecīgi arī sēriju saskaņība bija augsta, ko parādīja sinhronitātes indekss (GLK), lai arī TRW ikgadējā mainība bija neizteikta (zems gini koeficients). Starpsēriju korelācijas, kas norāda uz pieauguma ritma līdzību starp kokiem (Speer, 2010) bija vidējas, liecinot par lokālo apstākļu ietekmi. Koku pieauguma ritma līdzībai gan novērota tendence būt izteiktākai produktīvākajām proveniencēm, liecinot par labu pieauguma plastiskuma pozitīvai saistībai ar produktivitāti (Matisons et al., 2019e). Pieauguma ikgadējā mainība parādīja zemu autokorelāciju, norādot uz pieauguma jutību pret vides izmaiņām un neizteiktu iepriekšējās augšanas ietekmi (Speer, 2010).

References periodā stādījuma līmenī kopumā identificēti 16 zīmīgie gadi, vairums no kuriem bija negatīvi, norādot uz nelabvēlīgām vides ietekmēm, lai gan to intensitāte bija zema (4.4. att.). Lai arī izmaiņas bija mērenas, norādot uz pieauguma vides toleranci (Klisz et al. 2019, Taeger et al., 2013), novērotie samazinājumi vismaz daļēji attiecināmi uz pieaugošajiem klimatiskajiem riskiem (Treml et al., 2022; Allen et al., 2015). Vairums no zīmīgajiem gadiem bija specifiski stādījumam, norādot uz lokālām iezīmēm, kā arī zīmīgo gadu skaits atšķīrās starp stādījumiem, norādot, ka augšanas apstākļi ir bijuši optimāli/suboptimāli (Klisz et al., 2019). Šādas lokālās atšķirības norāda uz uzteiktām genotipu vides mijiedarbībām un lokālās adaptācijas uzlabošanas potenciālu (de la Mata et al. 2022, Ansarifar et al. 2020, Moran et al. 2017). Stādījumi atšķīrās arī dzan ar zīmīgo gadu sadalījumu laikā; LI un NL stādījumos zīmīgie gadi novēroti juvenīlā vecumā, bet pārējos stādījumos vienmērīgi references perioda garumā. Juvenīlā vecumā kokiem raksturīga augstāka jutība pret salnām (Klisz et al., 2022). Jāpiezīmē, ka WS stādījumā vidējās pieauguma izmaiņas bija proporcionālas provenienču produktivitātei, liecinot par jutības un produktivitātes saistībām (Tei et al. 2017; Xu et al. 2017). Produktīvākajām proveniencēm kopumā biežāk novērotas “nozīmīgas” pieauguma novirzes, liecinot par pieauguma plastiskumu (Klisz et al., 2023; Matisons et al., 2019e). Šādas iezīmes arī norāda uz atšķirīgām populāciju augšanas stratēģijām, tā kā produktīvākās proveniencas acīmredzot sinhronizēja jutību un attīsta plastiskumu pret galvenajiem meteoroloģiskajiem faktoriem (Cavin and Jump, 2017), mazāk produktīvās bija konservatīvākām un jutīgākām pret lokālajiem apstākļiem (Martin et al., 2010).

Krasu pieauguma izmaiņu, uz ko norādīja ieidentificētie zīmīgie gadi, meteoroloģiskie cēloņi bija kompleksi, par ko liecināja novērtētās saistības ar vairākiem meteoroloģiskiem ekstrēmiem, kopumā norādot uz tolerantu augšanu (4.1. tab.). Attiecīgi zīmīgie gadi saistīti ar anomālijām ziemas temperatūrā un vasaras nokrišņu režīmā, kam bija izteiktāka ietekme siltākā klimatā (Vācijā un Latvijas rietumu un centrālajā daļā).



Atzīmes virs x ass parāda temperatūras anomālijas vasarā (sarkanas), ziemā (zilas) un klimatiskā gada (melnas) griezumā.

4.4. attēls. Identificētie zīmīgie gadi parastās priedes provenienču stādījumos (zilie stabiņi) un pētīto provenienču vidējās relatīvās gadskārtu platuma izmaiņas (šaurie melnbaltie stabiņi), kā arī iedzimstamības (H^2 , vienlaidus līnija) un provenienču variācijas koeficients (CVP, raustītā līnija) relatīvajām gadskārtu platuma izmaiņām (parādītas uz sekundārās y ass).

Šāda kompleksa ietekme ir raksturīga analizētajam reģionam, kas saistāms ar atrašanos mērenā klimatā (Matisons et al., 2021p, pp; Harvey et al., 2020). Tomēr primārā ziemas

temperatūras ietekme stādījumos Latvijā norādīja uz mērenu priedes noturību pret pieaugošo sausumu (Harvey et al., 2020). Vienlaikus vairāku laikā izklidētu meteoroloģisko anomāliju saistības ar zīmīgajiem gadiem norāda uz laikapstākļu kumulatīvu ietekmi, kā arī ietekmes pārnesei (Way and Oren, 2010).

4.1. tabula.

Meteoroloģisko apstākļu anomālijas/ ekstrēmi identificētajos pētīto priedes provenienču radiālā pieauguma zīmīgajos gados stādījumos Latvijā un Vācijā.

Gads	Latvija	Vācija
1987	Temp. ann. (-3.0), Temp. Jan (-3.3), Nokr. Oct (-1.8)	Temp. ann. (-2.5), Temp. Veg. (-2.5), Temp. Jan. (-2.8)
1988	-	Nokr. Feb. (2.3)
1989	-	SPEI ann. (-2.4), SPEI. veg (-2.0)
1990	Nokr. veg (1.9), Nokr. Sep (2.1)	Temp. Feb. (1.8), Nokr. Jun. (2.0)
1991	Temp. Mai. (-1.8)	Temp. Mai. (-2.7), Temp. Jun. (-1.8)
1992	SPEI vasara (-2.1), Nokr. Jun. (-2.2), Temp. Oct (-2.2)	SPEI. vasara (-2.1), Nokr. Mar. (2.4), Temp. Oct (-1.9)
1993	Temp. vasara (-2.1), Temp. Mai (2.3), Temp. Sep. (-2.9), SPEI Jun. (-1.8)	Temp. vasara (-2.1), Temp. Nov. (-2.6)
1994	Temp. Feb. (-1.9), Nokr. Jul (-2.1)	Nokr. pavasaris (2.5), Temp. iepr. Nov. (-2.6), Temp. Jul. (2.0), Nokr. iepr. Dec. (2.5)
1995	SPEI Mai (2.2), SPEI Jun. (1.9)	-
1996	Temp. ann. (-1.8), SPEI ann. (-1.9), Temp. ziema (-2.0), Nokr. Aug. (-2.0)	Temp. ann. (-2.4), Temp. ziema (-2.2), Temp. Veg. (-2.2), Nokr. Jan. (-1.9), Temp. Sep. (-2.0)
1997	Temp. Apr. (-1.9), SPEI Jun. (1.8), Nokr. Oct. (2.0)	Temp. iepr. Dec. (-1.9), Temp. Apr. (-2.2), Nokr. Jan. (-2.4)
1998	Nokr. ann. (2.3), Temp. Aug. (-1.9), Temp. Nov. (-2.3)	Nokr. Oct. (2.7), Temp. Nov. (-2.0)
1999	SPEI Veg. (-2.0), Temp. Jun. (2.0)	Temp. Sep. (2.0)
2000	Temp. Apr. (2.1), SPEI Oct. (-2.1)	-
2001	-	Nokr. Sep (3.0), Temp. Oct. (1.8)
2002	Temp. Veg. (2.0), Nokr. Feb. (1.9), Nokr. Aug. (-2.0), Temp. Oct. (-2.2)	Nokr. Feb. (2.3), Nokr. Oct. (2.4)
2003	SPEI ann. (-2.3), Temp. iepr. Dec. (-2.0)	SPEI veg. (-1.9), Temp. Jun. (1.9), Temp. Oct (-2.0)
2005	Temp. Mar. (-1.8)	-
2006	SPEI ann. (-2.5)	Temp. Jul. (2.0), Temp. Sep. (2.1)
2007	Temp. iepr. Dec. (1.9), Nokr. Jan. (2.5)	Temp. ann. (2.4), Nokr. Veg. (2.5), Nokr. Jan. (2.4)
2008	-	Nokr. Apr. (3.1), SPEI Jul (-1.9)
2009	-	Temp. Apr. (2.4), Nokr. Oct. (1.9)
2010	SPEI Veg. (2.1), Temp. Jan. (-2.1), Temp. Jul. (1.9)	Temp. Jan. (-1.9), temp. Mai (-1.8), temp. Jul. (1.8), Nokr. Aug. (3.4)
2011	Nokr. iepr. Dec. (2.7), Nokr. Nov. (-1.8)	Temp. iepr. Dec. (-2.5), Temp. Apr. (2.2), Nokr. Jul. (2.1), Nokr. Nov. (-2.1)
2012	-	Nokr. Jul. (1.8)
2013	Temp. Mar. (-2.0), Temp. Mai. (1.9)	Temp. Mar. (-2.4)
2014	Nokr. Nov (-1.8)	Temp. pavasaris (1.8)
2015	Nokr. Jun. (-1.8), Nokr. Okt. (-2.1)	Temp. Aug. (2.1)
2016		Nokr. vasara (2.7), Temp. iepr. Dec. (2.1), Temp. Sep. (2.1)

Temp. – vidējā temperatūra, nokr. – nokrišņu summa, SPEI – sausuma indekss. Iekavās parādīta attiecīgā mainīgā 30 gadu slīdošā normētā novirze. Meteoroloģiskie mainīgie aprēķināti arī periodiem: ziemai (decembris–februāris), pavasarim (marts–aprīlis), vasarai (jūnijs–august), veģetācijas periodam (veg., maijs–septembris), kā arī klimatiskajam gadam (ann., septembris–augusts).

Pieauguma reakcijas iedzimstamība.

Ilggadēji aprēķināto iedzimstamības koeficientu laika rindas parādīja, ka priedes proveniencēm ģenētiskie efekti galvenokārt saistīti ar pieauguma atjaunošanos pēc meteoroloģiskajām anomālijām (zīmīgajiem gadiem). Attiecīgi iedzimstamības indeksu

paaugstinājumi novēroti pēc izidentificētajiem zīmīgajiem gadiem. Tomēr ģenētisko efektu izpaušmei bija raksturīgas lokālas, kā arī ar meteoroloģiskajām anomālijām saistītas iezīmes. Kopumā references periodā novērota mērena līdz augsta pieauguma atkopšanās iedzimstamība (H^2), tomēr ģenētiskā aditīvā mainība (CVP) raksturojama kā zema līdz mērena. Spēcīgāka ģenētiskā ietekme piejūras klimatā LI stādījumā novērota 1999. gadā, kas saistāms ar aukstuma rekordu iepriekšējā ziemā. Līdzīgi, ziemas temperatūrā bija saistāma arī ar pārējām ģenētisko efektu izpaušmēm. Savukārt ZV stādījumā iedzimstamība bija augstāka un parādīja ikgadējas fluktuācijas, ģenētiskajiem efektiem izpaužoties visstiprāk pēc gadiem ar ziemas un vasaras temperatūras anomālijām. Atšķirīga ģenētisko efektu aktivizēšanās novērota skarbāka klimata apstākļos KA stādījumā, kur zemas temperatūras ietekmes saistāmas ar pavasari/vasaru, norādot uz tiešu saistību ar augšanu. Tomēr arī KA stādījumā novērota saistības ar vasaras mitruma režīma anomālijām.

Lai arī klimatiskie apstākļi stādījumos Vācijā bija līdzīgi, ģenētiskās ietekmes uz pieauguma atjaunošanos pēc meteoroloģiskajām anomālijām, izpaušmes bija lokālas. Izteikta ziemas temperatūras un vasaras mitruma kumulatīva ietekme novērota NK stādījumā 1992., 1997, 2009.–2011. un 2014. gados. Turpretim WS stādījumā agrākās ģenētisko efektu izpaušmes saistītas ar zemu ziemas temperatūru. Tūlītēja ģenētisko efektu izpaušme 2003. gadā saistāma ar izteikto sausumu, ko pastiprināja paaugstināta veģetācijas sezonas temperatūra (Taeger et al., 2013), norādot uz genotipu atšķirīgu uzņēmību pret karstām un sausām vasarām, kas uzskatāmas par vienu no nozīmīgākajiem mežu produktivitātes klimatiskajiem riskiem (Allen et al., 2015).

Ģenētiskas pieguma mainības dispersijas komponentes, kas vispārinātas visam references periodam, parādīja niecīgu ģenētiskās dispersijas daļu, kas skaidrojama ar izteikto atlikuma (nekontrolēto vides faktoru un mērīšana kļūdu) dispersiju (4.2. tab.).

4.2. tabula.

Pētīto priedes provenienču pieauguma mainības ģenētiskās dispersijas komponentes provenienču stādījumos Latvijā un Vācijā references periodā no 1988. līdz 2017. gadam.

	LI	ZV	KA	NL	WS
Proveniences un pieauguma gada mijiedarbība	0.030	0.059	0.036	0.027	0.046
Proveniences un parces mijiedarbība	0.009	0.031	0.014	0.006	0.013
Provenience	0.003	0.003	0.004	0.004	0.003
Atlikuma	0.958	0.907	0.947	0.963	0.938

Tomēr ģenētiskās dispersijas komponentu sadalījums norādīja, ka vides un genotipa mijiedarbība ievērojami pārsniedz individuālo genotipa (proveniences) ietekmi, līdzīgi visos pētītajos stādījumos. Šāds sadalījums norāda uz nelīdzsvarotu lokālas adaptācijas un fenotipiskā plastiskuma izpaušmi, liecinot par ierobežotām lokālo populāciju adaptācijas spējām ilgtermiņā (Pennacchi et al., 2021; Arnold et al., 2019). Attiecīgi sagaidāma vietējo populāciju meteoroloģiskās jutības diverģence, līdz ar to vides pārmaiņām iespējama neproporcionāla ietekme uz augšanu (de la Mata et al. 2022, Ansarifar et al. 2020). Savukārt, lokālās ģenētiskās ietekmes izpaušmes norāda uz fenotipisko plastiskumu, kas nodrošina pielāgošanos mērenām vides izmaiņām (Chauvin et al. 2019, Moran et al. 2017).

Laikā novirzītās ģenētisko efektu izpaušmes norāda uz genotipu pārneses potenciālu uzlabot augšanas plastiskumu, sekmējot atjaunošanos pēc pieaugošiem vides stresiem (Chmura et al., 2021; Ansarifar et al., 2020), tādējādi sekmējot produktivitāti ilgtermiņā (Li et al., 2017; Way and Oren, 2010). Klimatiskās normas apstākļos zemā ģenētisko efektu izpaušme skaidrojama ar multifaktoriālu augšanas regulāciju, vides apstākļiem neizceļot konkrētu gēnu ietekmi (de la Mata et al. 2022, Vuosku et al. 2022). Vienlaikus, zema ģenētiskā ietekme liecina par reģionālo genotipu pieauguma jutības sinhronizāciju (Cavin and Jump, 2017), kam iepriekš novērota ģenētiska kontrole.

Kopsavilkums

Ilgadēji aprēķināto iedzīmstamības koeficientu laika rindas parādīja, ka priedes proveniencēm ģenētiskie efekti galvenokārt saistīti ar pieauguma atjaunošanos pēc meteoroloģiskajām anomālijām (zīmīgajiem gadiem).

Izteiktā genotipa vides mijiedarbība pieauguma jutībai un atjaunošanās potenciālam norāda uz adaptācijas uzlabošanas iespējām, ceļā papildinot selekcijas populācijas ar genotipiem no apgabaliem ar nākotnē sagaidāmu klimatu. Šāda pieeja nodrošina iespējas kāpināt augšanas plastiskumu, un, izmantojot selekcijas rezultātus praksē, sekmēt koku atgūšanos (pieauguma atjaunošanos) pēc pieaugošiem vides stresiem, tādējādi produktivitāti ilgtermiņā.

Literatūra

1. Aitken, S.N., Bemmels, J.B., 2016. Time to get moving: assisted gene flow of forest trees. *Evol. Appl.* 9, 271–290. <https://doi.org/10.1111/eva.12293>.
2. Alberto, F. et al. 2013. Potential for evolutionary responses to climate change—Evidence from tree populations. *Glob. Change Biol.* 19: 1645–1661. <https://doi.org/10.1111/gcb.12181>.
3. Allen, C.D., Breshears, D.D. and McDowell, N.G. 2015. On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere* 6: 1–55. <https://doi.org/10.1890/ES15-00203.1>.
4. Allevato, E. et al. 2019. Canopy damage by spring frost in European beech along the Apennines: Effect of latitude, altitude and aspect. *Rem. Sens. Environ.* 225: 431–440. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.023>.
5. Ansarifar, J., Akhavadegan, F. and Wang, L. 2020. Performance prediction of crosses in plant breeding through genotype by environment interactions. *Sci. Rep.* 10: N11533. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68343-1>.
6. Arnold, P. A., Kruuk, L. E. and Nicotra, A.B. 2019. How to analyse plant phenotypic plasticity in response to a changing climate. *New Phytol.* 222: 1235–1241. <https://doi.org/10.1111/nph.15656>.
7. Astrup, R. 2018. A sensible climate solution for the boreal forest. *Nature Clim. Change* 8: 11–12. <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0043-3>.
8. Avotniece, Z., Klavins, M., Rodinovs, V., 2012. Changes of extreme climate events in Latvia. *Scientific Journal of Riga Technical University. Environmental and Climate Technologies* 9, 4–11.
9. Billings, S.A., Glaser, S.M., Boone, A.S. and Stephen, F.M. 2015. Nonlinear tree growth dynamics predict resilience to disturbance. *Ecosphere* 6: 1–13.
10. Billings, S.A., Glaser, S.M., Boone, A.S., Stephen, F.M. 2015. Nonlinear tree growth dynamics predict resilience to disturbance. *Ecosphere* 6: art242. <https://doi.org/10.1890/ES15-00176.1>.
11. Bose, A. K. et al. 2020. Growth and resilience responses of Scots pine to extreme droughts across Europe depend on predrought growth conditions. *Glob. Change Biol.* 26: 4521–4537. <https://doi.org/10.1111/gcb.15153>.
12. Breed, M.F. et al., 2018. Priority actions to improve provenance decision-making. *BioScience* 68: 510–516. <https://doi.org/10.1093/biosci/biy050>.
13. Briceno-Elizondo, E. et al. 2006. Sensitivity of growth of Scots pine, Norway spruce and silver birch to climate change and forest management in boreal conditions. *Forest Ecol. Manag.* 232: 152–167. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.05.062>.
14. Buras, A. and Menzel, A. 2019. Projecting tree species composition changes of European forests for 2061–2090 under RCP 4.5 and RCP 8.5 Scenarios. *Front. Plant Sci.* 9: N1986. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01986>.
15. Burdon, R.D. and Klapste, J. 2019. Alternative selection methods and explicit or implied economic-worth functions for different traits in tree breeding. *Tree Genet. Genom.* 15: N79. <https://doi.org/10.1007/s11295-019-1384-z>.
16. Butt, N., Bebbler, D. P., Riutta, T., Crockatt, M., Morecroft, M. D. and Malhi, Y. 2014. Relationships between tree growth and weather extremes: spatial and interspecific comparisons in a temperate broadleaf forest. *Forest Ecol. Manag.* 334: 209–216. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.09.006>.
17. Cavin, L. and Jump, A.S. 2017. Highest drought sensitivity and lowest resistance to growth suppression are found in the range core of the tree *Fagus sylvatica* L. not the equatorial range edge. *Glob. Change Biol.* 23: 362–379. <https://doi.org/10.1111/gcb.13366>.
18. Chauvin, T., Cochard, H., Segura, V., and Rozenberg, P. 2019. Native-source climate determines the Douglas-fir potential of adaptation to drought. *Forest Ecol. Manag.* 444: 9–20. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.054>.
19. Chmura, D. J., Barzdajn, W., Kowalkowski, W., Guzicka, M. and Rożkowski, R. 2021. Analysis of genotype-by-environment interaction in a multisite progeny test with Scots pine for supporting selection decisions. *Eur. J. Forest Res.* 140: 1457–1467. <https://doi.org/10.1007/s10342-021-01417-5>.

20. Cieszewski, C.J. 2002. Comparing fixed- and variable-base-age site equations having single versus multiple asymptotes. *For. Sci.* 48: 7–23. <https://doi.org/10.1093/forestscience/48.1.7>
21. Cuny, H.E. et al. 2019. Couplings in cell differentiation kinetics mitigate air temperature influence on conifer wood anatomy. *Plant Cell Environ.* 4: 1222–1232. <https://doi.org/10.1111/pce>.
22. Dannenberg, M.P., Wise, E.K. and Smith, W.K. 2019. Reduced tree growth in the semiarid United States due to asymmetric responses to intensifying precipitation extremes. *Sci. Adv.* 5: eaaw0667. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaw0667>.
23. de la Mata, R., Zas, R., Bustingorri, G., Sampedro, L., Rust, M., Hernandez-Serrano, A. and Sala, A. 2022. Drivers of population differentiation in phenotypic plasticity in a temperate conifer: A 27-year study. *Evol. Appl.* 15: 1945–1962. <https://doi.org/10.1111/eva.13492>.
24. Fady, B. et al. 2016. Forests and global change: What can genetics contribute to the major forest management and policy challenges of the twenty-first century? *Region. Env. Change* 16: 927–939. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0843-9>.
25. Falconer, D.S. and Mackay, T.F.C. 1996. *Introduction to Quantitative Genetics*, 4th ed.; Longmans Green: Harlow, UK. 635 pp.
26. Fernández-de-Uña, L., Martínez-Vilalta, J., Poyatos, R., Mencuccini, M. and McDowell, N.G. 2023 The role of height-driven constraints and compensations on tree vulnerability to drought. *New Phytol.* 239: 2083–2098. <https://doi.org/10.1111/nph.19130>
27. Gailis, A. 1993. Norway spruce provenances in Latvia. In: *Norway Spruce Provenances and Breeding. Proceedings of IUFRO (S2.2–11) Symposium, Riga, Latvia*, p. 44–49.
28. George, J.P. et al. 2019. Intra-specific variation in growth and wood density traits under water-limited conditions: Long-term-, short-term-, and sudden responses of four conifer tree species. *Sci. To. Environ.* 660: 631–643. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.478>.
29. Hackett-Pain, A.J. et al. 2018. Climatically controlled reproduction drives interannual growth variability in a temperate tree species. *Ecol. Lett.* 21, 1833–1844. <https://doi.org/10.1111/ele.13158>.
30. Harris, I., Osborn, T.J., Jones, P. and Lister, D. 2020. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Sci. Data* 7: 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3>.
31. Harvey, J. et al. 2020. Tree growth influenced by warming winter climate and summer moisture availability in northern temperate forests. *Glob. Change Biol.* 26: 2505–2518. <https://doi.org/10.1111/gcb.14966>.
32. Henttonen, H.M. et al. 2014. Response of radial increment variation of Scots pine to temperature, precipitation and soil water content along a latitudinal gradient across Finland and Estonia. *Agr. Forest Meteorol.* 198: 294–308. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.09.004>.
33. Hewitt, G. 2000. The genetic legacy of the Quaternary ice ages. *Nature* 405: 907–913. <https://doi.org/10.1038/35016000>.
34. Housset, J.M. et al. 2018. Tree rings provide a new class of phenotypes for genetic associations that foster insights into adaptation of conifers to climate change. *New Phytol.* 218: 630–645. <https://doi.org/10.1111/nph.14968>.
35. Hytteborn, H., Maslov, A.A., Nazimova, D.I., Rysin, L.P., 2005. Boreal Forests of Eurasia, in: Andersson, F. (Ed.), *Coniferous forests, ecosystems of the world*, sixth ed. Elsevier, Amsterdam, pp. 23–99.
36. Isaac-Renton, M., Montwe, D., Hamann, A., Spiecker, H., Cherubini, P., Treydte, K., 2018. Northern forest tree populations are physiologically maladapted to drought. *Nature Comm.* 9, N5254. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07701-0>.
37. Jandl, R. et al. 2019. Forest adaptation to climate change—Is non-management an option? *Ann. For. Sci.* 76: N48. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0827-x>.
38. Jansons, Ā. and Baumanis, I. 2005. Growth dynamics of Scots pine geographical provenances in Latvia. *Baltic Forestry* 11:29–37.
39. Jansons, Ā., Matisons, R., Baumanis, I. and Puriņa, L. 2013. Effect of climatic factors on height increment of Scots pine in experimental plantation in Kalsnava, Latvia. *Forest Ecol. Manag.* 306: 185–191. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.039>.
40. Jansons, Ā., Matisons, R., Šēnhofa, S., Katrevičs, J., and Jansons, J. 2016. High-frequency variation of tree-ring width of some native and alien tree species in Latvia during the period 1965–2009. *Dendrochronologia* 40: 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2016.10.003>.
41. Jansons, Ā., Matisons, R., Zadiņa, M., Sisenis, L. and Jansons, J. 2015. The effect of climatic factors on height increment of Scots pine in sites differing by continentality in Latvia. *Silva Fenn.* 49; N1262. <https://doi.org/10.14214/sf.1262>.
42. Jetschke, G., van der Maaten, E. and van der Maaten-Theunissen, M. 2019. Towards the extremes: A critical analysis of pointer year detection methods. *Dendrochronologia* 53: 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.11.004>.
43. Kalliokoski, T. et al. 2012. Intra-annual tracheid formation of Norway spruce provenances in southern Finland. *Trees Struct. Funct.* 26: 543–555. <https://doi.org/10.1007/s00468-011-0616-0>.

44. Klisz, M. et al. 2019. Limitations at the limit? Diminishing of genetic effects in Norway spruce provenance trials. *Front. Plant Sci.* 10: N306. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00306>.
45. Klisz, M. et al. 2022. Coping with Central European climate – xylem adjustment in seven non-native conifer tree species. *Dendrobiology* 88: 105–123. doi:10.12657/denbio.088.008.
46. Klisz, M. et al. 2023. Functional Traits of Boreal Species and Adaptation to Local Conditions. In: Girona, M.M., Morin, H., Gauthier, S., Bergeron, Y. (eds) *Boreal Forests in the Face of Climate Change. Advances in Global Change Research*, vol 74. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15988-6_12.
47. Kohlstock, N. and Schneck, H. 1992. Scots pine breeding (*Pinus sylvestris* L.) at Waldsiefersdorf and its impact on pine management in the north eastern German lowland. *Silvae Genet.* 4: 174–180.
48. Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. and Rubel, F. 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15: 259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>.
49. Kreienkamp, F., Spekat, A., and Enke, W. 2013. The weather generator used in the empirical statistical downscaling method, WETTREG. *Atmosphere* 4: 169–197. <https://doi.org/10.3390/atmos4020169>.
50. Kreyling, J. et al. 2014. Local adaptations to frost in marginal and central populations of the dominant forest tree *Fagus sylvatica* L. as affected by temperature and extreme drought in common garden experiments. *Ecol. Evol.* 4: 594–605. <https://doi.org/10.1002/ece3.971>.
51. Lanner, R.M. 1976. Patterns of shoot development in *Pinus* and their relationship to growth potential. In: Cannell, M.G.R., Last, F.T. (eds.). *Tree Physiology and Yield Improvement*. Academic Press, London, UK. pp. 223–243.
52. Lanner, R.M., 1978. Development of the terminal bud and shoot of slash pine saplings. *Forest Sci.* 24, 167–179.
53. Lanner, R.M., 1985. On the insensitivity of height growth to spacing. *Forest Ecol. Manag.* 13, 143–148. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(85\)90030-1](https://doi.org/10.1016/0378-1127(85)90030-1).
54. Leites, L. and Benito Garzón, M. 2023. Forest tree species adaptation to climate across biomes: Building on the legacy of ecological genetics to anticipate responses to climate change. *Glob. Change Biol.* 29: 4711–4730. <https://doi.org/10.1111/gcb.16711>.
55. Leites, L.P., Rehfeldt, G. E., Robinson, A. P., Crookston, N. L. and Jaquish, B. 2012. Possibilities and limitations of using historic provenance tests to infer forest species growth responses to climate change. *Nat. Res. Model.* 25: 409–433. <https://doi.org/10.1111/j.1939-7445.2012.00129.x>.
56. Li, Y., Suontama, M., Burdon, R.D. and Dungey, H.S. 2017. Genotype by environment interactions in forest tree breeding: review of methodology and perspectives on research and application. *Tree Genet. Genom.* 13: 1–18. <https://doi.org/10.1007/s11295-017-1144-x>.
57. Lindner, M. et al. 2014. Climate change and European forests: what do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? *J. Env. Manag.* 146: 69–83. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.030>.
58. Linkosalo, T. et al. 2014. Fluorescence measurements show stronger cold inhibition of photosynthetic light reactions in Scots pine compared to Norway spruce as well as during spring compared to autumn. *Front. Plant Sci.* 5: N264. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00264>.
59. Liu, H., Gleason, S. M., Hao, G., Hua, L., He, P., Goldstein, G. and Ye, Q. 2019. Hydraulic traits are coordinated with maximum plant height at the global scale. *Sci. Adv.* 5: eaav1332. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav1332>.
60. Lloyd, A.H.; Duffy, P.A.; Mann, D.H. 2013. Nonlinear responses of white spruce growth to climate variability in interior Alaska. *Can. J. For. Res.* 43: 331–343, <https://doi.org/10.1139/cjfr-2012-0372>.
61. Loehle, C. 1998. Height growth rate tradeoffs determine northern and southern range limits for trees. *J. Biogeogr.* 25: 735–742. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.1998.2540735.x>.
62. Loha, A., Tigabu, M., Teketay, D., Lundkvist, K. and Fries, A. 2006. Provenance variation in seed morphometric traits, germination, and seedling growth of *Cordia africana* Lam. *New Forests* 32: 71–86. <https://doi.org/10.1007/s11056-005-3872-2>.
63. Mäkinen, H., 1998. The suitability of height and radial increment variation in *Pinus sylvestris* (L.) for expressing environmental signals. *Forest Ecol. Manag.* 112: 191–197. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00337-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00337-5).
64. Mäkinen, H., Jyske, T. and Nöjd, P. 2018. Dynamics of diameter and height increment of Norway spruce and Scots pine in southern Finland. *Ann. Forest Sci.* 75: N28. <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0710-1>.
65. Mamet, S.D., Chun, K.P., Metsaranta, J.M., Barr, A.G. and Johnstone, J.F. 2015. Tree rings provide early warning signals of jack pine mortality across a moisture gradient in the southern boreal forest. *Environ. Res. Lett.* 10: N084021. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/8/084021>.
66. Martin, J.A., Esteban, L.G., de Palacios, P. and Fernandez, F.G. 2010. Variation in wood anatomical traits of *Pinus sylvestris* L. between Spanish regions of provenance. *Trees Struct. Funct.* 24: 1017–1028. <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0471-4>.

67. Matisons, R. et al. 2019a. Plasticity and climatic sensitivity of wood anatomy contribute to performance of eastern Baltic provenances of Scots pine. *Forest Ecol. Manag.* 452, N117568. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117568>.
68. Matisons, R. et al. 2019e. Plasticity of response of tree-ring width of Scots pine provenances to weather extremes in Latvia. *Dendrochronologia* 54: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2019.01.002>.
69. Matisons, R. et al. 2021e. Nonlinear weather–growth relationships suggest disproportional growth changes of Norway spruce in the eastern Baltic region. *Forests* 12: N661. <https://doi.org/10.3390/f12060661>.
70. Matisons, R. et al. 2021p. Non-linear regional weather-growth relationships indicate limited adaptability of the eastern Baltic Scots pine. *Forest Ecol. Manag.* 479: N118600. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118600>.
71. Matisons, R. et al. 2021pp. Weather–growth responses show differing adaptability of scots pine provenances in the south-eastern parts of Baltic Sea region. *Forests*, 12(12), 1641. <https://doi.org/10.3390/f12121641>
72. Matisons, R. et al. 2022. Silver birch shows nonlinear responses to moisture availability and temperature in the eastern Baltic Sea region. *Dendrochronologia* 76, N126003. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2022.126003>.
73. Matisons, R. et al. 2020. Occurrence of ‘blue’ and ‘frost’ rings reveal frost sensitivity of eastern Baltic provenances of Scots pine. *Forest Ecol. Manag.* 457: N117729. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117729>.
74. Mausolf, K. et al. 2018. Legacy effects of land-use modulate tree growth responses to climate extremes. *Oecologia* 187: 825–837. <https://doi.org/10.1007/s00442-018-4156-9>.
75. Mayr, S. et al. 2020. Die hard: Timberline conifers survive annual winter embolism. *New Phytol.* 226: 13–20. <https://doi.org/10.1111/nph.16304>.
76. Mellander, P. E., Bishop, K. and Lundmark, T. (2004). The influence of soil temperature on transpiration: A plot scale manipulation in a young Scots pine stand. *Forest Ecol. Manag.* 195, 15–28. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.02.051>.
77. Merilä, J. and Hendry, A.P. 2014. Climate change, adaptation, and phenotypic plasticity: The problem and the evidence. *Evol. Appl.* 7: 1–14. <https://doi.org/10.1111/eva.12137>.
78. Metslaid, S., Sims, A., Kangur, A., Hordo, M., Jogiste, K., Kiviste, A. and Hari, P. 2011. Growth patterns from different forest generations of Scots pine in Estonia. *J. Forest Res.* 16: 237–243. <https://doi.org/10.1007/s10310-011-0275-4>.
79. Metslaid, S., Sims, A., Kangur, A., Hordo, M., Jogiste, K., Kiviste, A. and Hari, P. 2011. Growth patterns from different forest generations of Scots pine in Estonia. *J. Forest Res.* 16: 237–243. <https://doi.org/10.1007/s10310-011-0275-4>.
80. Montwé, D., et al. 2018. Cold adaptation recorded in tree rings highlights risks associated with climate change and assisted migration. *Nature Comm.* 9: 1574. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04039-5>.
81. Moran, E., Lauder, J., Musser, C., Stathos, A. and Shu, M. 2017. The genetics of drought tolerance in conifers. *New Phytologist* 216: 1034–1048. <https://doi.org/10.1111/nph.14774>.
82. Neuner, S., et al. 2015. Survival of Norway spruce remains higher in mixed stands under a dryer and warmer climate. *Glob. Change Biol.* 21: 935–946. <https://doi.org/10.1111/gcb.12751>.
83. Nezval, O., Krejza, J., Bellan, M. and Světlík, J. 2021. Asynchrony and time-lag between primary and secondary growth of Norway spruce growing in different elevations. *Forests* 12: N627. <https://doi.org/10.3390/f12050627>.
84. Nunes, L., Patrício, M., Tomé, J. and Tomé, M. 2011. Modeling dominant height growth of maritime pine in Portugal using GADA methodology with parameters depending on soil and climate variables. *Ann. For. Sci.* 68: 311–323. <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0036-8>.
85. Oboite, F.O. and Comeau, P.G. 2019. Competition and climate influence growth of black spruce in western boreal forests. *Forest Ecol. Manag.* 443: 84–94. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.017>.
86. Ogden, A.E. and Innes, J. 2007. Incorporating climate change adaptation considerations into forest management planning in the boreal forest. *Int. Forestry Rev.* 9: 713–733. <https://doi.org/10.1505/ifer.9.3.713>.
87. Ögren, E. 1997. Relationship between temperature, respiratory loss of sugar and premature dehardening in dormant Scots pine seedlings. *Tree Physiology* 17: 47–51. <https://doi.org/10.1093/treephys/17.1.47>.
88. Park, A. et al. 2014. Can boreal and temperate forest management be adapted to the uncertainties of 21st century climate change? *Crit. Rev. Plant Sci.* 33: 251–285. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.858956>.
89. Pennacchi, J., Lira, J., Rodrigues, M., Garcia, F. H. S., Mendonça, A. and Barbosa, J. P. 2021. A systemic approach to the quantification of the phenotypic plasticity of plant physiological traits: the multivariate plasticity index. *J. Exp. Bot.* 72: 1864–1878. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa545>.
90. Perrin, M., Rossi, S., and Isabel, N. 2017. Synchronisms between bud and cambium phenology in black spruce: Early-flushing provenances exhibit early xylem formation. *Tree Physiol.* 37: 593–603. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpx019>.

91. Petit, G. et al. 2018. Tree differences in primary and secondary growth drive convergent scaling in leaf area to sapwood area across Europe. *New Phytol.* 218: 1383–1392. <https://doi.org/10.1111/nph.15118>.
92. Prendin, A.L., Mayr, S., Beikircher, B., von Arx, G. and Petit, G. 2018. Xylem anatomical adjustments prioritize hydraulic efficiency over safety as Norway spruce trees grow taller. *Tree Physiol.* 38, 1088–1097. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpy065>.
93. Rehfeldt, G.E. et al. 2014. Comparative genetic responses to climate in the varieties of *Pinus ponderosa* and *Pseudotsuga menziesii*: Clines in growth potential. *Forest Ecol. Manag.* 324: 138–146. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.02.041>.
94. Reich, P. B. et al. 2018. Effects of climate warming on photosynthesis in boreal tree species depend on soil moisture. *Nature* 562: 263–267. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0582-4>.
95. Reyer, C. et al. 2014. Projections of regional changes in forest net primary productivity for different tree species in Europe driven by climate change and carbon dioxide. *Ann. For. Sci.* 71: 211–225. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0306-8>.
96. Rossi, S. et al. 2015. Growth and basic wood properties of black spruce along an alti-latitude gradient in Quebec, Canada. *Ann. For. Sci.* 72: 77–87. <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0399-8>.
97. Ryan, M. G. and Yoder, B.J. 1997. Hydraulic limits to tree height and tree growth. *Bioscience* 47: 235–242.
98. Salinger, M.J. 2005. Increasing climate variability and change: Reducing the vulnerability. *Climatic Change*, 70, 1–3. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-4243-x>.
99. Salminen H. and Jalkanen R. 2007. Intra-annual height increment of *Pinus sylvestris* at high latitudes in Finland. *Tree Physiol.* 27: 1347–1353. <https://doi.org/10.1093/treephys/27.9.1347>.
100. Salminen, H. and Jalkanen, R. 2005. Modelling the effect of temperature on height increment of Scots pine at high latitudes. *Silva Fenn.* 39: 497–508. <https://doi.org/10.14214/sf.362>.
101. Savolainen, O. et al. 2004. Genetic variation in cessation of growth and frost hardiness and consequences for adaptation of *Pinus sylvestris* to climatic changes. *Forest Ecol. Manag.* 197: 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.05.006>.
102. Schoene, D. H. F. and Bernier, P.Y. 2012. Adapting forestry and forests to climate change: A challenge to change the paradigm. *Forest Pol. Econ.* 24: 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2011.04.007>.
103. Schwarz, J., Skiadaresis, G., Kohler, M., Kunz, J., Schnabel, F., Vitali, V. and Bauhus, J. 2020. Quantifying growth responses of trees to drought—A critique of commonly used resilience indices and recommendations for future studies. *Curr. Forestry Rep.* 6: 185–200. <https://doi.org/10.1007/s40725-020-00119-2>.
104. Seidl, R. et al. 2017. Forest disturbances under climate change. *Nature Clim. Change* 7: 395–402. <https://doi.org/10.1038/nclimate3303>.
105. Sharma, M., Subedi, N., Ter-Mikaelian, M. and Parton, J. 2015. Modeling climatic effects on stand height/site index of plantation-grown jack pine and black spruce trees. *Forest Sci.* 61: 25–34. <https://doi.org/10.5849/forsci.13-190>.
106. Sharma, R.P., Brunner, A., Eid, T. and Oyen, B.H. 2011. Modelling dominant height growth from national forest inventory individual tree data with short time series and large age errors. *Forest Ecol. Manag.* 262: 2162–2175. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.07.037>.
107. Sharma, R.P., Vacek, Z., Vacek, S., Jansa, V. and Kučera, M. 2017. Modelling individual tree diameter growth for Norway spruce in the Czech Republic using a generalized algebraic difference approach. *J. Forest Sci.* 63: 227–238. <https://doi.org/10.17221/135/2016-JFS>.
108. Silvestro, R. et al. 2019. From phenology to forest management: Ecotypes selection can avoid early or late frosts, but not both. *Forest Ecol. Manag.* 436: 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.01.005>.
109. Socha, J., Solberg, S., Tymińska-Czabańska, L., Tompalski, P. and Vallet, P. 2021b. Height growth rate of Scots pine in Central Europe increased by 29% between 1900 and 2000 due to changes in site productivity. *Forest Ecol. Manag.* 490: N119102. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119102>.
110. Socha, J., Tymińska-Czabańska, L., Bronisz, K., Zięba, S. and Hawryło, P. 2021. Regional height growth models for Scots pine in Poland. *Sci. Rep.* 1: N10330. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89826-9>.
111. Speer, J.H. 2010. *Fundamentals of tree-ring research*. The University of Arizona Press, Tucson, 333 pp.
112. Strand, M., Löfvenius, M. O., Bergsten, U., Lundmark, T. and Rosvall, O., 2006. Height growth of planted conifer seedlings in relation to solar radiation and position in Scots pine shelterwood. *Forest Ecol. Manag.* 224: 258–65. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.12.038>.
113. Taeger, S., Sparks, T.H. and Menzel, A. 2015. Effects of temperature and drought manipulations on seedlings of Scots pine provenances. *Plant Biol.* 17, 361–372. <https://doi.org/10.1111/plb.12245>.
114. Taeger, S., Zang, C., Liesebach, M., Schneck, V. and Menzel, A. 2013. Impact of climate and drought events on the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances. *Forest Ecol. Manag.* 307: 30–42. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.053>.
115. Tei, S. et al. 2017. Tree-ring analysis and modeling approaches yield contrary response of circumboreal forest productivity to climate change. *Glob. Change Biol.* 23: 5179–5188. <https://doi.org/10.1111/gcb.13780>.

116. Tierney, G.L. et al. 2001. Soil freezing alters fine root dynamics in a northern hardwood forest. *Biogeochemistry* 56: 175–190, doi:10.1023/A:1013072519889.
117. Trembl, V., et al. 2022. Trends in climatically driven extreme growth reductions of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Central Europe. *Glob. Change Biol.* 28: 557–570.
118. Tymińska-Czabańska, L. et al. 2021. Weather-sensitive height growth modelling of Norway spruce using repeated airborne laser scanning data. *Agr. Forest Meteorol.* 308: N108568. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108568>.
119. Tyree, M. T., and Zimmermann, M. H. 2002. Xylem structure and the ascent of sap. Springer Science & Business Media.
120. Ummenhofer, C.C., and Meehl, G.A. 2017. Extreme weather and climate events with ecological relevance: a review. *Philos. Transact. R. Soc. B Biol. Sci.* 372: N20160135.
121. Valladares, F., et al., 2014. The effects of phenotypic plasticity and local adaptation on forecasts of species range shifts under climate change. *Ecol. Lett.* 17, 1351–1364. <https://doi.org/10.1111/ele.12348>.
122. van der Maaten-Theunissen, M., Trouillier, M., Schwarz, J., Skiadaresis, G., Thurm, E.A. and van der Maaten, E. 2021. pointRes 2.0: New functions to describe tree resilience. *Dendrochronologia* 70: N125899. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125899>.
123. Venäläinen A. et al. 2020. Climate change induces multiple risks to boreal forests and forestry in Finland: A literature review. *Glob. Change Biol.* 26: 4178–4196. <https://doi.org/10.1111/gcb.15183>.
124. Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S., Lopez-Moreno, J.I., 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index – SPEI. *J. Climate* 23: 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>.
125. Vuosku, J., Martz, F., Hallikainen, V. and Rautio, P. 2022 Changing winter climate and snow conditions induce various transcriptional stress responses in Scots pine seedlings. *Front. Plant Sci.* 13: N1050903. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1050903>.
126. Wainwright, C.E. et al. 2019. Distinct responses of niche and fitness differences to water availability underlie variable coexistence outcomes in semi-arid annual plant communities. *J. Ecol.* 107: 293–306. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13056>.
127. Way, D.A. and Oren, R. 2010. Differential responses to changes in growth temperature between trees from different functional groups and biomes: a review and synthesis of data. *Tree Physiol.* 30: 669–688. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq015>.
128. Weigandt, M. et al. 2023. Growth response of *Pinus contorta* to the synergy of stress factors: successive extreme drought events and a population outbreak of *Sirex noctilio* in NW Patagonia. *New Forests* 54: 107–123. <https://doi.org/10.1007/s11056-022-09907-z>
129. Wigley, T.M., Briffa, K.R. and Jones, P.D. 1984. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 23: 201–213. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2).
130. Wilmking, M. et al. 2020. Global assessment of relationships between climate and tree growth. *Glob. Change Biol.* 26: 3212–3220. <https://doi.org/10.1111/gcb.15057>.
131. Wood, S.N. 2011. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *J. R. Stat. Soc. B* 73: 3–36. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9868.2010.00749.x>.
132. Xu, K., Wang, X., Liang, P., An, H., Sun, H., Han, W. and Li., Q. 2017. Tree-ring widths are good proxies of annual variation in forest productivity in temperate forests. *Sci. Rep.* 7: 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02022-6>.
133. Yang, X. et al. 2015. Solar-induced chlorophyll fluorescence that correlates with canopy photosynthesis on diurnal and seasonal scales in a temperate deciduous forest. *Geophys. Res. Lett.* 42: 2977–2987. <https://doi.org/10.1002/2015GL063201>.
134. Zang, C. and Biondi, F. 2015. treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships. *Ecography* 38: 431–436. <https://doi.org/10.1111/ecog.01335>.
135. Zeltiņš, P., Gailis, A. and Zariņa, I. 2021. Long-term performance of Norway spruce in two provenance trials in Latvia. *Balt. Forestry* 27, N195. <https://doi.org/10.46490/BF195>.
136. Zeltiņš, P., Kangur, A., Katrevičs, J., Jansons, Ā., 2022. Genetic parameters of diameter growth dynamics in Norway spruce clones. *Forests* 13, N679. <https://doi.org/10.3390/f13050679>.
137. Zeltiņš, P., Katrevičs, J., Gailis, A., Maaten, T., Desaine, I. and Jansons, A. 2019. Adaptation capacity of Norway spruce provenances in Western Latvia. *Forests* 10, N840. <https://doi.org/10.3390/f10100840>.

5. Modeļteritorija kompleksiem ilgtermiņa novērojumiem par mežkopības ietekmi uz meža un ar to saistītajām ekosistēmām platībās ar auglīgām kūdras augsnēm.

Koncepts

Meliorētas auglīgas organiskās augsnes nodrošina augstāko potenciālu koksnes ražošanai, taču šajā teritorijās ir arī lielākie meža audzēšanas riski – gan tiešie – saistīt ar gruntsūdens līmeņa svārstībām, sala bojājumiem, vēja un uguns bojājumiem u.c., gan netiešie – saistīti ar ietekmi uz siltumnīcefekta gāzu emisijām un politikām, kas vērstas uz šādu platību samazināšanu. Analogas teritorijas maz sastopamas citās Eiropas Savienības valstīs. Plašākās tās ir Fenoskandijā, taču tur lielākoties meži ar meliorētām kūdras augsnēm ir ar zemu ražību. Tādēļ nozīmīgi kompleksas informācijas ieguve Latvijā, sagatavojot rekomendācijas gan mežsaimniecībai, gan dažādiem politikas dokumentiem, kas saistīti ar adaptāciju, ietekmes uz klimata pārmaiņām mazināšanu, dabas aizsardzību.

Pētījuma laikā plānots izveidot modeļteritoriju – **Klimata gudrās mežsaimniecības atvērto laboratoriju** (*Climate smart forestry living lab*) – sastāvošu no 2 poligoniem, Meža pētīšanas stacijas Kalsnava meža novadā (5.1. att.). Tas nodrošinās bāzi infrastruktūras izveidei un uzturēšanai, kā arī iespējas plānot un pielāgot veicamos mežsaimnieciskos pasākumus pētījuma vajadzībām. Konkrētā teritorija izvēlēta arī tādēļ, ka ir precīza informācijas par meliorācijas sistēmas izveidi tajā, kā arī ilgtermiņa tās darbību raksturojoši dati (novērojumu sērijas) un atsevišķu ar konkrētiem meža augšanas aspektiem saistītu datu kopas, kas iegūtas tās ietvaros. Pētījuma ietvaros paredzēts arī papildināt un detalizēt datus par izvēlēto teritoriju un sagatavot tās turpmākās darbības plānu.



5.1. attēls. Topošā Klimata gudrās mežsaimniecības atvērtā laboratorija ar Eddy-Covariance sensoru torni.

5.1. Meliorācijas sistēmu renovācijas ietekmes uz augsnes mitruma režīma izmaiņām detalizēts novērtējums.

Pamatojums

Datu ieguve meliorācijas sistēmas renovācijas ietekmes sākotnējam raksturojumam un turpmāko eksperimentu plānošanai Dabas atjaunošanas regulas kontekstā, kurā viena no nozīmīgām sadaļām ir meliorācijas sistēmu darbības apturēšana (ierobežošana). Būtiski izstrādāt un aprobēt pieejas tās ieviešanai nacionālā līmenī tādā veidā, kas atstāj iespējami mazāko negatīvo ietekmi uz mežsaimniecību.

Aktivitātes mērķi šajā etapā ir nodrošināt gruntsūdens un augsnes mitruma un temperatūras monitoringu (datu ievākšanu).

Aktivitātes rezultāts

Infrastruktūra pētījuma 1. etapā ierīkota tajās platībās, kur nākotnē plānota gāzu analizatoru uzstādīšana: 3 pētījuma objekti, MPS Kalsnavas MN 148. un 167. kvartālā, kur veikta sistēmas renovācija, kā arī 148. kvartālam blakus esošā līdzīga sastāva audzē, kur nav veikta meliorācijas sistēmas atjaunošana. Katrā no tiem dažādā attālumā no grāvjiem ierīkoti gruntsūdens dziļuma noteikšanas punkti (5). Papildus šajā etapā sagatavoti 3 objekti ar temperatūras mērījumu sensoriem (120., 151. un 120. kvartālos), kas izlietoti priežu un egļu pēcnācēju pārbaužu stādījumos.

Nākamajā aktivitātes gadā (2024.) ir plānots palielināt novērojumu objektu skaitu, līdz ar to arī papildināt eksperimenta dizainu ar otrās vecumklases egļu un bērzu mežaudzēm kūdreņos, kuras no pretējām pusēm ir norobežotas ar meliorācijas sistēmu grāvjiem – ar renovētām un nerenovētām meliorācijas sistēmām. Tādējādi pētījumā būs papildus četras salīdzināmās grupas – “bērzs-sauss”, “bērzs-slapjš” un “egle-sauss”, “egle-slapjš” (5.2. att.).



5.2. attēls. Otrās vecumklases bērzu un egļu mežaudzes kūdreņos gruntsūdens un augsnes mitruma novērojumu transektu ierīkošanai Meža pētīšanas stacijas Kalsnavas meža novadā.

Katrā no šīm mežaudzēm transektā pa sagaidāmo ietekmes gradientu starp norobežojošajiem meliorācijas grāvjiem tiks ierīkoti trīs novērojumu parauglaukumi, kuros tiks veikti gruntsūdens dziļuma un temperatūras, kā arī augsnes mitruma un temperatūras mērījumi. Katrā parauglaukumā tiks atlasīti seši paraugkoki meliorācijas sistēmu renovācijas ietekmes novērtēšanai uz to fizioloģiskajiem procesiem (sulu plūsma, ūdens saturs). Novērojumi tiks veikti ar automātiskas datu ielasīšanas mērierīcēm. Datu analīze plānota noslēdzošajā pētījuma etapā.

5.2. Sagatavot liela mēroga saimnieciskās darbības ietekmes uz mežu ar meliorētām augsnēm ekosistēmu raksturojumu.

Pamatojums.

Globālā sasilšana un klimata pārmaiņas būtiski ietekmē mežus un ar tiem saistīto zemeszemes veģetācijas sugu augšanu, sastopamību un spēju adaptēties mainīgajiem augšanas apstākļiem. Siltumnīcas efekta gāzu (SEG) monitoringa rezultātā iespējams novērtēt SEG akumulāciju, fluktuācijas uzkrāšanos, kā arī emisijas, kuras ir klimata pārmaiņu virzītājfaktors. Lai veiktu padziļinātāku, augstvērtīgāku, kā arī konstantu SEG emisiju līmeņa monitoringu, Kalsnavas mežu pētīšanas stacijas (MPS) mežu masīva teritorijā ir ierīkots SEG emisiju tornis, ar kura palīdzību būs iespējams ievākt informāciju par SEG emisijām ekosistēmu līmenī.

Pētījumam izvēlētajā teritorijā vēsturiski veikta meliorācijas sistēmas izveidošana, kā arī tās daļēja atjaunošana. Meliorācijas grāvju sistēmu implementēšana, kā arī to atjaunošana, rada

krasas hidroloģisko apstākļu izmaiņas, kam var būt neviennozīmīga ietekme gan uz kokaudzes augšanas atbildes reakciju, gan uz zemsedzes sugu bioloģisko daudzveidību (Sikström U., Hökkä H., 2016). Dabas atjaunošanas regula paredz meliorācijas grāvju likvidāciju jeb dabiskā ūdens līmeņa atgriešanu, taču straujai gruntsūdens līmeņa paaugstināšanai var būt negatīva ietekme, kas var rezultēties mežaudzes bojāejā, kā arī negatīvā ietekmē uz klimata pārmaiņu mazināšanas mērķi (Laudon et al., 2023). Ir svarīgi raksturot meliorācijas sistēmas atjaunošanu ietekmi un tālāk analizēt arī daļēja ūdens līmeņa atjaunošanas (kā alternatīva pasākuma) ietekmi gan uz klimata, gan bioloģiskās daudzveidības mērķiem.

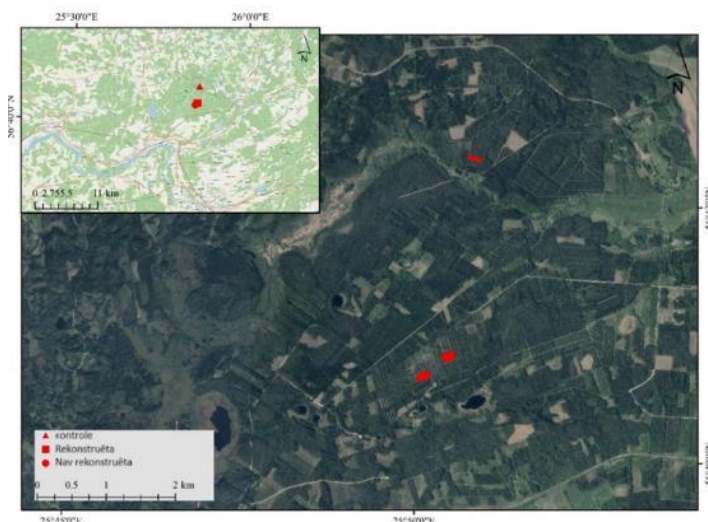
Zemsedzē augošā veģetācija un tās sugu daudzveidība ir būtisks mežu ekosistēmu elements, veidojot dažādas dzīvotnes un kalpojot par barības avotu dažādām dzīvības formām (Felton et al., 2018). Lai pilnvērtīgāk raksturotu saimnieciskās darbības ietekmi uz meža ekosistēmu pētāmajā teritorijā un sagatavotu pēc iespējas visaptverošāku pamatinformācijas aprakstu, ir nepieciešams novērtēt arī zemsedzes veģetāciju. Pētījuma mērķis šajā etapā ir veikt zemsedzes veģetācijas uzskaites laukumu datu analīzi ilgtermiņa novērojumu poligonā.

Objekti un metodika

Kalsnavas MPS mežu kvartālā 1969. gadā ierīkoti meliorācijas grāvji, vairākos nogabalos 2019. gadā veikta meliorācijas grāvju rekonstruēšana. Lai noskaidrotu potenciālās atšķirības, kuras veģetācijas sastāvā būtu varējušas izraisīt ūdenslīmeņa izmaiņas pēc meliorācijas grāvju rekonstrukcijas, izvēlēti dažādi kvartāla nogabali: viens no pētāmajiem meža nogabaliem atrodas rekonstruēto grāvju tuvumā jeb “Rekonstruētais” (Meliorētais - valsts), otrs oriģināli (1969. gadā) izveidotās grāvju sistēmas tuvumā jeb “Nav rekonstruēts” (Meliorētais - privātais); trešais – “Kontroles” nogabals, kurā nav veikta hidrotehniskā meliorācija (5.3. att.).

Veģetācijas parametru raksturošanai un meliorācijas ietekmes novērtēšanai katrā no trim izvēlētajiem MPS nogabaliem ierīkotas trīs transektes. Katrā transektē uz katru debespusi ik pēc 1 m izvietoti trīs 1×1 m parauglaukumi. Parauglaukumos raksturota veģetācija: lakstaugu stāvs, krūmu un koku stāvs, sūnu un ķērpju stāvs. Koku un krūmu stāvā iekļauti tie koki, kuru caurmērs ≤ 6 cm un augstums ≤ 2 m, kā arī gadījumos, kad koka augstums ≥ 2 m, taču caurmērs saglabājas ≤ 6 cm. Katrā parauglaukumā noteikts sugu sastāvs un to procentuālais segums. Tāpat fiksēts nobiru, atsegtas augsnes, kritalu un koku sakņu kaklu aizņemtais procentuālais segums parauglaukumā, kas kopā ar sūnu un ķērpju stāvu veido 100% segumu.

Transektes izvietotas iepriekš izliktos parauglaukumos, kur veikta augsnes CO₂ (+SEG) mērīšana un kokaudzes uzmērīšana. Daži no objektiem pārklājas ar iepriekš izliktajām vecajām audzēm. Veģetācijas gradientu novērtēšanai egļu audzēs atkarībā no meliorācijas sistēmas statusa, izmantojot programatūru PC-ORD 7.07, veikta detrendētā sugu daudzveidības korespondanalīze (DCA). Galvenajā matricā apkopoti veģetācijas sugu procentuālā seguma dati, bet sekundārajā matricā - dati par meliorācijas sistēmas statusu konkrētajos MPS nogabalos. DCA analīzē samazināta reto sugu ietekme, kā arī samērots X un Y ass mērogs. Programmā PC-ORD 7.07 aprēķināti arī vidējie Šanona-Vīnera un Simpsona daudzveidības indeksi parauglaukumos atkarībā no meliorācijas sistēmu statusa audzē.



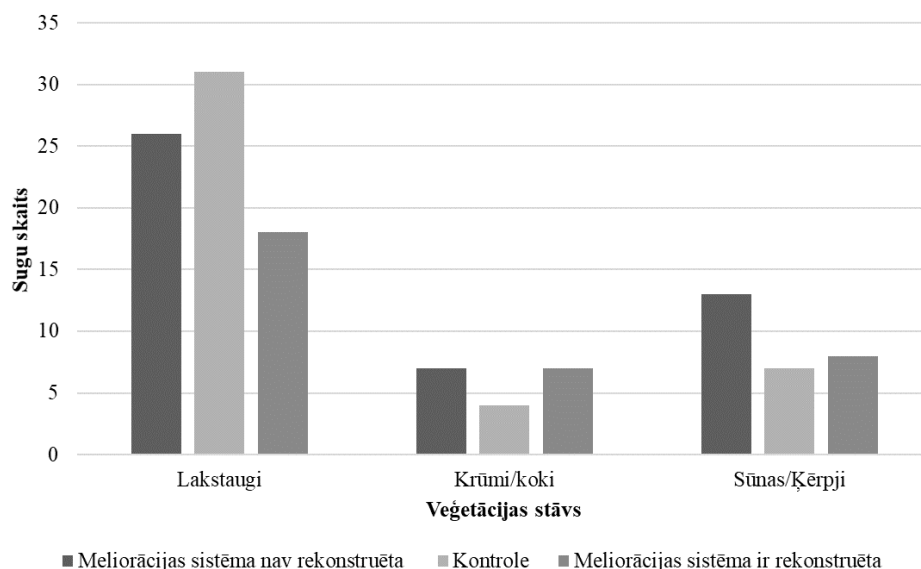
5.3. attēls. Pētīto mežaudžu izvietojums.

Aktivitātes rezultāti

Veģetācijas raksturojums

Sugu skaits. Kopumā parauglaukumos konstatētas 73 dažādas veģetācijas sugas, no kurām lakstaugu – 48, kūmu un koku – 10, bet sūnu un ķērpju – 15. Vidējais lakstaugu projektīvais segums parauglaukumos bija 47.1%, vidējais koku un krūmu projektīvais segums bija 13.9%, bet vidējai sūnu un ķērpju projektīvais segums – 50.3%. Nobiras no parauglaukumu platības vidēji aizņēma 37.9%. Visbiežāk sastopamās lakstaugu sugas – *Dryopteris Carthusiana*, *Oxalis Acetosella*, *Luzula Pilosa*, *Poa Nemoralis* un *Trientalis Europaea*. Krūmu un koku stāvā visbiežāk satopamās sugas – *Rubus Ideus*, *Frangula alnus* un *Picea abies*, taču sūnu un ķērpju stāvā - *Hylocomium Splendens*, *Pleurozium Schreberi*, *Dicranum Polysetum* un *Eurhynchium angustirete*.

Salīdzinot veģetācijas sastāvu atkarībā no meliorācijas sistēmas statusa audzē, konstatēts, ka lielākais dažādu lakstaugu sugu skaits konstatēts kontroles audzē (31 suga), taču mazākais lakstaugu sugu skaits fiksēts audzē, kurā 2019. gadā veikta meliorācijas grāvju rekonstrukcija (18 sugas) (5.4. att.).



5.4. attēls. Parauglaukumos kopumā konstatētais sugu skaits atkarībā no veģetācijas stāva un audzes veida.

Vienlīdz liels sugu skaits (7 sugas) krūmu un koku veģetācijas stāvā konstatēts audzē, kurā nav veikta, ka arī tajā audzē, kurā ir veikta meliorācijas grāvju atjaunošana. Vismazākais krūmu un koku sugu skaits (4 sugas) fiksēts kontroles audzē.

Vislielākais sugu skaits sūnu un ķērpju stāvā (13 sugas) konstatēts audzē, kurā nav veikta meliorācijas grāvju rekonstrukcija, taču mazākais sugu skaits (7 sugas) fiksēts kontroles audzē. Kopumā lielākais vidējais sugu skaits pa visiem izdalītajiem veģetācijas līmeņiem parauglaukumā – 10,8 sugas, konstatēts audzē, kurā nav veikta meliorācijas grāvju rekonstrukcija, taču līdzīgs sugu skaits – 10,4 sugas, fiksēts kontroles audzē (5.1. tab.). Vismazākais vidējais sugu skaits noteikts parauglaukumos, kuri ierīkoti audzē, kurā ir veikta meliorācijas grāvju rekonstrukcija (vidēji 6,2 sugas).

5.1. tabula.

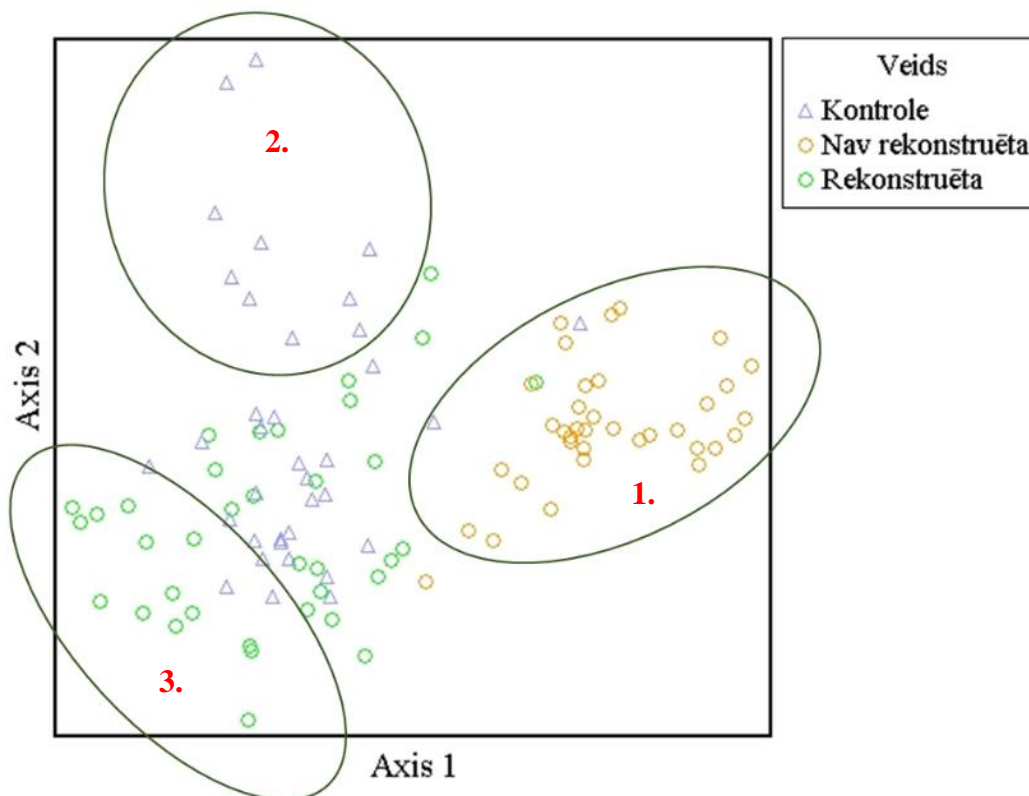
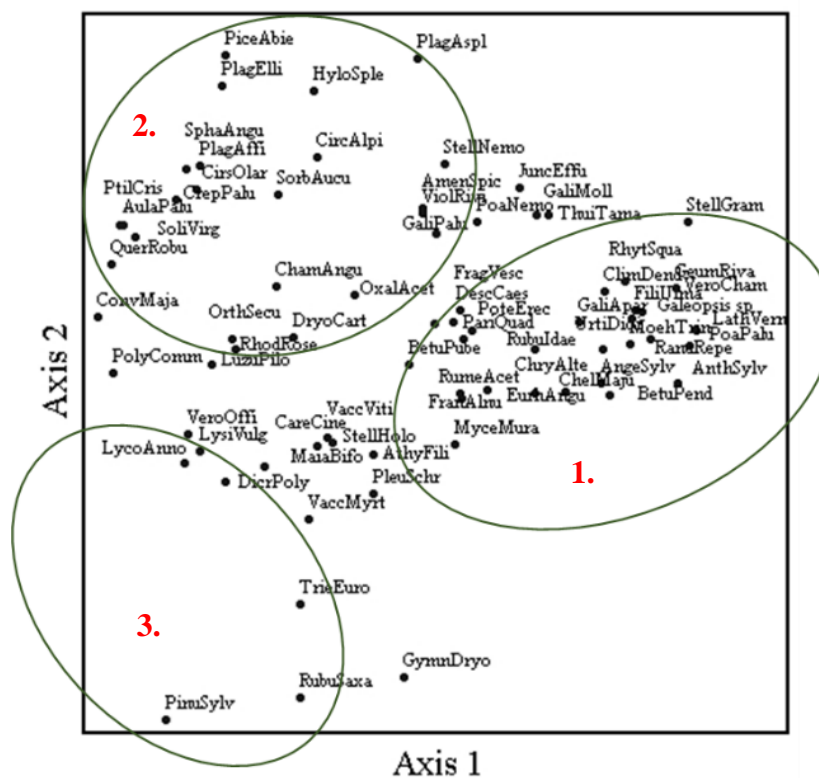
Sugu skaits un daudzveidība atkarībā no audzes veida (meliorācijas statusa).

Meliorācijas sistēmas statuss audzē	Sugu skaits			Šanona-Vīnera indekss	Simpsona indekss
	Min	Max	Vid		
Nav rekonstruēta	7	15	10,8	1,74	0,75
Rekonstruēta	3	10	6,2	1,38	0,67
Kontrole	7	16	10,4	1,89	0,80

Lielāka Šanona-Vīnera indeksa vērtība, jo lielāka sugu daudzveidība parauglaukumā. Simpsona indeksa vērtība atspoguļo varbūtību, ka divi nejauši izvēlēti indivīdi vienā parauglaukumā būs dažādu sugu.

Sugu daudzveidība. Vislielākā sugu daudzveidība, balstoties uz sugu daudzveidības indeksu vērtībām, konstatēta kontroles audzē, kuras parauglaukumu vidējais Šanona-Vīnera indekss (1,89) un Simpsona indekss (0,80) ir ar augstākajām vērtībām. Vismazākā bioloģiskā daudzveidība konstatēta meža nogabalā, kurā 2019. gadā atjaunoti meliorācijas grāvji (Šanona-Vīnera indekss – 1,38; Simpsona indekss – 0,67).

DCA ordinācijas 2D attēlā analizēti gan veģetācijas sugu, gan parauglaukumu gradienti saistībā ar audzes meliorācijas statusu (5.5. att.). Parauglaukumu izkliede DCA ordinācijas attēlā liecina, ka veģetācijas sugu sastāvs parauglaukumos atšķiras atkarībā no meliorācijas sistēmas statusa audzē. Ir novērojama parauglaukumu grupēšanās, taču redzama arī šo parauglaukumu klāsteru pārklāšanās, kas nozīmē, ka šajās parauglaukumu grupās aug līdzīgas sugas. Parauglaukumi, kuri raksturoti audzē, kurā nav veikta meliorācijas grāvju rekonstrukcija, veido izteiktu grupu (1. klāsteris). Ar šiem parauglaukumiem saistītas tādas sugas kā - *Poa Palustris*, *Filipendula Ulmaria*, *Geum Rivale*, *Veronica chamaedrys*, *Galium Aparine*, *Urtica Dioica*, *Paris Quadrifolia*, *Climacium Dendroides*, *Angelica Sylvestris* u.c. Šīs sugas biežāk sastopamas mēreni mitrās un bagātīgās augtenēs. Parauglaukumiem kontroles audzēs, kā arī audzēs, kurā rekonstruēta meliorācijas grāvju sistēma, ir novērojama grupēšanās, taču abas šo parauglaukumu grupas pārklājas. Lai analizētu ar katrai grupai piederīgajiem parauglaukumiem saistītās sugas, nodalītas tās klāsteru daļas, kuras nepārklājas (2. un 3. klāsteris). Kontroles audzes parauglaukumos sastopamas tādas sugas kā - *Solidago Virgaurea*, *Chamaenerion Angustifolium*, *Circaea Alpina*, *Orthilia Secunda*, *Dryopteris Carthusiana*, *Sorbus Aucuparia*, *Hylocomium Splendens*, *Ptilium Crista-castrensis*, *Plagiomnium Ellipticum*, *Plagiomnium Affine* u.c.



Numerācija – 1; 2; 3; apzīmē savstarpēji saistītos klāsterus. Ar vienu ciparu apzīmētais sugu klāsteris ir saistīts ar tā paša cipara parauglaukumu klāsteri.

5.5. attēls. Sugu (A) un parauglaukumu (B) DCA ordinācijas rezultāti.

Audzēs, kurā veikta grāvju atjaunošana, parauglaukumi sagrupējušies ordinācijas attēla kreisajā apakšējajā stūrī (3. klāsteris), taču līdzīgo augšanas apstākļu dēļ, tajos augošās sugas satopamas arī kontroles audzē un veido sugu grupu starp abu audžu parauglaukumu klāsteriem. Sugas, kuras izteikti saistītas ar audzi, kurā rekonstruēta meliorācijas sistēma - *Lycopodium*

Annotinum, *Trientalis Europaea*, *Rubus Saxatilis*, *Pinus Sylvestris* un *Dicranum Polysetum*. Šīs sugas biežāk sastopamas sausos augšanas apstākļos. Iespējams, *Pinus Sylvestris* izteiktā saistība ar šo audzes veidu skaidrojama ar to, ka *Pinus sylvestris* sējeņi veiksmīgi ieaugušies grāvju atjaunošanas un ūdens līmeņa samazināšanās rezultātā, citu, mitrāku sugu augiem kļūstot mazāk konkurēt spējīgiem. Spriežot gan pēc parauglaukumu ordinācijas attēla, gan pēc sugu izkārtojuma, novērojams mitruma/ūdens līmeņa gradients, kurā mitruma līmenis parauglaukumos pieaug, pieaugot X ass vērtībām.

Secinājumi

Pētāmajā teritorijā sastopamas boreālo-nemorālo mežu pārejas zonai raksturīgās veģetācijas sugas. Ir novērojamas sugu sastāva atšķirības starp dažādiem MPS nogabaliem. Sugu sastāvam un daudzveidībai ir saistība ar meliorācijas sistēmas grāvju rekonstrukciju – nogabalā, kurā veikta grāvju atjaunošana, vērojama vismazākā veģetācijas sugu daudzveidība. Straujas gruntsūdens līmeņa fluktuācijas visticamāk ietekmējušas sugu sastāvu, taču šīs izmaiņas prognozējamās kā īstermiņa, par ko liecina kontroles un ne-rekonstruēto nogabalu līdzīgā sugu daudzveidība. Iegūtie dati ir nozīmīgi konkrētā ilgtermiņa pētījuma sākotnējās situācijas un pētāmo meža ekosistēmu raksturošanai, kā arī tie būs noderīgi citu, ar mežu apsaimniekošanu saistīto, pētījumu kontekstā.

Literatūra

1. Felton, A. M. M., Wam, H. K., Solter, C., Mathisen, K.M., Wallgren, M. 2018. The complexity of interacting nutritional drivers behind food selection, a review of northern cervids. *Ecosphere*, 9 (5), e02230.
2. Laudon, H., Mosquera, V., Eklöf, K. et al. Consequences of rewetting and ditch cleaning on hydrology, water quality and greenhouse gas balance in a drained northern landscape. *Sci Rep* 13, 20218 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47528-4>
3. Sikström U., Hökkä H. (2016). Interactions between soil water conditions and forest stands in boreal forests with implications for ditch network maintenance. *Silva Fennica* vol. 50 no. 1 article id 1416. 29 p.

5.3. Meža masīva mēroga SEG gāzu apmaiņas raksturojums.

Pamatojums.

Mežu ekosistēmas nodrošina vairākas funkcijas un pakalpojumus, turklāt pēdējās desmitgadēs ir izcelta oglekļa (C) piesaistes loma klimata pārmaiņu mazināšanas kontekstā. Mežiem un mežsaimniecībai ir liela nozīme globālajā vides politikā, un meža ekosistēmas darbojas kā būtiskas oglekļa krātuves (Uri et al., 2022). Meža apsaimniekošana var būtiski ietekmēt C piesaisti, bilanci un siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisijas no augsnes (Mäkipää et al., 2023), taču ir svarīgi zināt ne tikai C uzkrājumu mežā dažādās C krātuvēs, kas raksturo summāro ilgtermiņa uzkrājumu, bet arī SEG emisijas, kas raksturo ikdienas ietekmi. Lielas neskaidrības klimata pārmaiņu mazināšanas kontekstā meža zemēs ir saistītas ar augsnes reakciju uz pielietoto meža apsaimniekošanas praksi, un papildus neskaidrības rodas saistībā ar turpmāko klimata pārmaiņu attīstības trajektoriju (IPCC, 2014). Intensīva organisko augšņu meliorēšana tika veikta no 1960. līdz 1980. gadam visās Baltijas valstīs un Somijā, lai uzlabotu koku augšanu un produktivitāti pārmitrās mežaudzēs (Paavilainen un Päivänen, 1995; Šnore, 2004), tāpēc ir svarīgi veidot padziļinātu izpratni par nosusinātām organiskām augsnēm mežu ekosistēmās, liekot kopā C uzkrājuma un SEG emisiju datus iespējams saprast šo abu faktoru izmaiņas un atbildes reakciju uz mežsaimniecības paņēmieniem.

Aktivitiātes mērķis šajā etapā ir veikt augsnes emisiju un to ietekmējošo dinamisko audzes komponentu datu ieguvu un apkopošanu pārskatā. Noslēdzošā analīze publikācijas formātā, kas izmantojama SEG inventarizāciju ziņojumu pamatojumos, plānota nākamajā etapā.

Piezīme: jau iepriekšējā etapa izpildes laikā tika konstatēts, ka šajā pētījumā nebūs iespējams īstenot sākotnējo plānu un analizēt Eddy-Covariance datus, jo infrastruktūras ierīkošana ir izkavējusies. Tādēļ tika saskaņotas izmaiņas un veikti augsnes emisiju mērījumi ar pārvietojamu analizatoru trīs nedēļās no maija līdz oktobrim, kopā 9 mērījumu ciklos. Šajā etapā

veikti kamerālie darbi un rezultātu analīze, nākamajā paredzot rezultātu publicēšanu. Tāpat šī darba uzdevuma ietvaros šajā pētījumā paredzēts metodiskais atbalsts iesaistītajam MPS personālam Eddy-Covariance infrastruktūras un teritorijas plānošanā. Šāds darbs veikts arī trešajā pētījuma etapā – saplānotas papildus sanitārās cirtes, audzes atjaunošana, sagatavots izejmateriāls stādījumiem tiem eksperimenta sektoriem, kur tas būs nepieciešams.

Objekti un metodika

Pētāmais objekts atrodas Kalsnavas mežu novadā, Meža pētīšanas stacijas (MPS) mežos 148. un 96. kvartālā un uz privātas meža zemes (5.3. att.). Pētījumā analizētas trīs mežaudzes, no kurām divās veikti meliorācijas sistēmas rekonstrukcijas un atjaunošanas darbi (turpmāk tekstā: Kalsnava_P un Kalsnava_M), un kontroles platība, kurā meliorācijas sistēma nav atjaunota (turpmāk tekstā: Kalsnava_C). Sīkāka informācija par pētāmo objektu atrašanās vietu, parauglaukumu shēmu un datu ievākšanas metodiku pieejama projekta pirmā etapa pārskatā.

Datu statistiskā analīze veikta datorprogrammā R (R Core Team, 2022). Kopējās un heterotrofās CO₂ un CH₄ emisijas tika aprēķinātas, izmantojot lineārās regresijas modeļi, kā gāzu koncentrācijas izmaiņas mērījumu laikā. Modeļa aprēķinātie koeficienti, kambara tilpums un kambara temperatūra tika izmantoti SEG emisiju aprēķinos katram mērījumu punktam. Lai aprakstītu mērījumu cikla vidējās CO₂, CH₄ emisijas, tika aprēķināta vidējā vērtība un 95% ticamības intervāls mērījumu ciklā katrā mēnesī. Uzsūcošo sakņu proporcionālais sadalījums vērtēts kā katras frakcijas procentuālais sadalījums no kopējā dzīvo uzsūcošo sakņu svara. Katras frakcijas vidējais parauga svārs aprēķināts dažādos paraugošanas dziļumos (0-10; 10-20; 20-30; 30-40 cm).

Aktivitātes rezultāti

Vērtējot augsnes ķīmisko sastāvu starp analizētajām mežaudzēm ar organiskajām augsnēm novērojams, ka augsnes blīvums ir ievērojami zemāks kontroles platībā, salīdzinot ar objektiem, kuros veikta meliorācijas sistēmu atjaunošana (Tabula 5.3.1.). Oglekļa koncentrācijā augsnē novērojams, ka objektā Kalsnava P oglekļa saturs ir ievērojami zemāks kā pārējās analizētajās mežaudzēs, savukārt slāpekļa koncentrācija objektā Kalsnava M ir ievērojami lielāka, kā citās mežaudzēs. Analizētajās mežaudzēs augsnes pH ir robežās no 3.3 līdz 4.0.

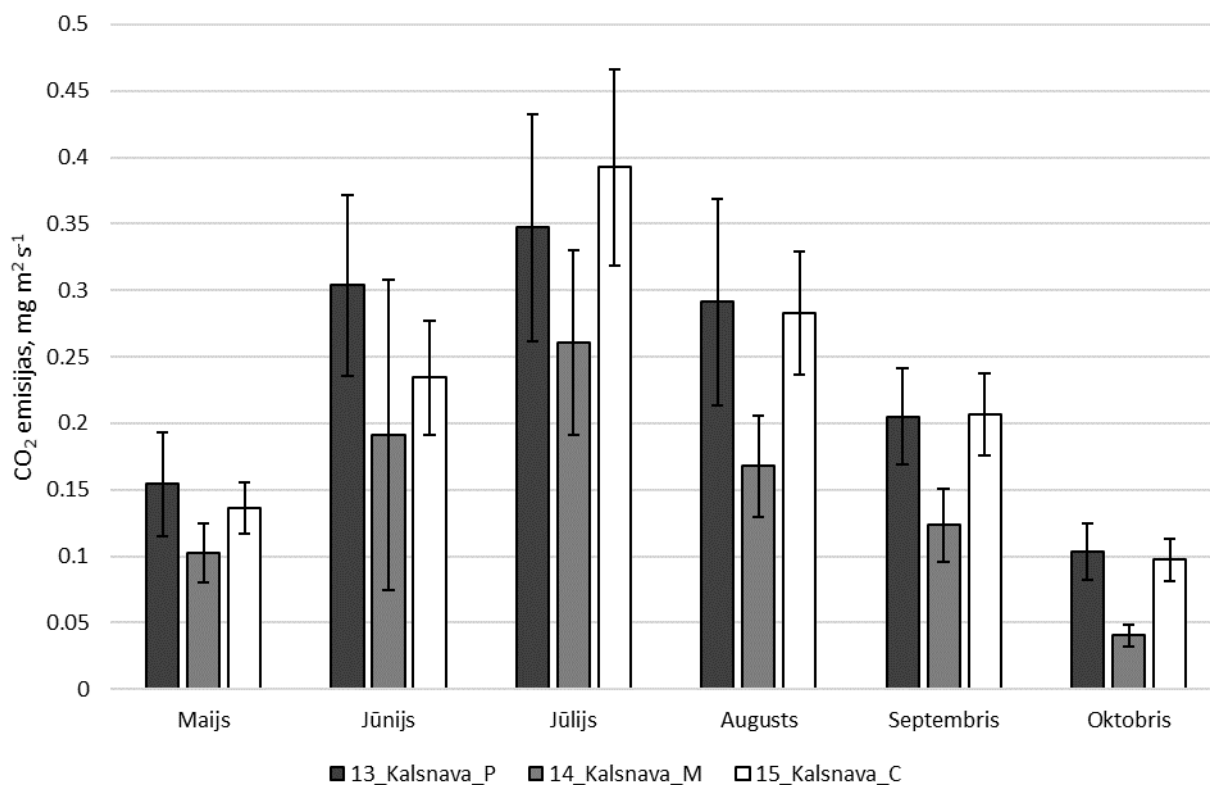
5.2. tabula.

Augsnes ķīmiskais sastāvs (vidējā vērtība±95% ticamības intervāls)

Pētījuma objekts	Augsnes blīvums, kg/m ³	C, g/kg	N, g/kg	pH
Kalsnava_P	248.0±57.1	437.1±67.2	27.5±4.1	4.0±0.07
Kalsnava_M	176.6±51.6	542.3±3.2	35.4±1.0	3.3±0.17
Kalsnava_C	111.5±16.7	504.8±5.3	29.2±2.2	3.8±0.21

SEG emisiju raksturojums

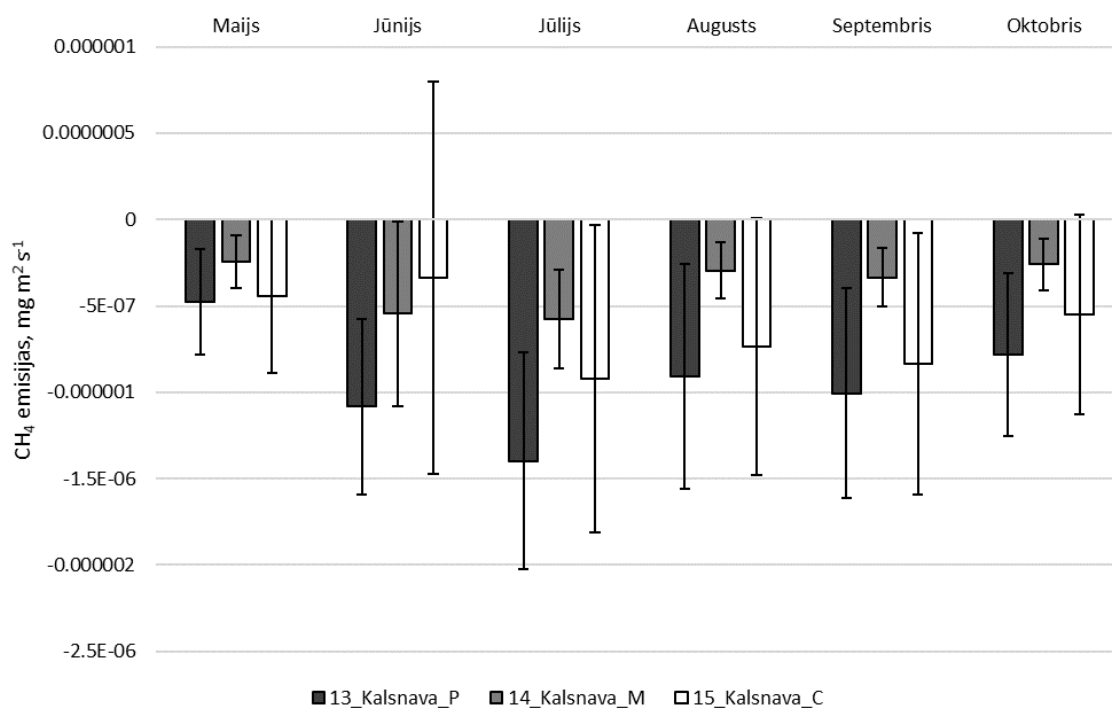
Augsnes SEG emisijas vērtētas vienas veģetācijas sezonas garumā no maija līdz oktobrim, kopumā 9 mērījumu ciklos. Rezultāti atspoguļoti, kā mēneša vidējais emisiju apjoms konkrētajā mežaudzē (5.6. att.). CO₂ emisijām novērojama sezonāla mainība: veģetācijas sezonas sākumā un beigās emisijas ir relatīvi zemākas, kā vasaras mēnešos. Objektā Kalsnava P CO₂ emisijas ir 0.23±0.03 mg m² s⁻¹ (vidējā vērtība±95% ticamības intervāls), objektā Kalsnava M 0.15±0.02 mg m² s⁻¹, savukārt Kalsnava C emisijas ir 0.23±0.03 mg m² s⁻¹. Novērojams, ka vidējais CO₂ emisiju apjoms mežaudzē Kalsnava M ir ievērojami zemāks salīdzinājumā ar pārējām analizētajām mežaudzēm. Pētījuma laikā veikti arī augsnes heterotrofo CO₂ emisiju mērījumi, turklāt atšķirības starp mežaudzēm nav tik izteiktas. Vidējās heterotrofās CO₂ emisijas ir 0.067±0.008 mg m² s⁻¹, 0.066±0.012 mg m² s⁻¹, 0.060±0.01 mg m² s⁻¹, attiecīgi Kalsnava P, Kalsnava M, un Kalsnava C.



5.6. attēls. Augsnes kopējās CO₂ emisijas mērījumu sezonā.

Visās audzēs novērojama CH₄ piesaiste, taču piesaistes apjoms atšķiras starp mežaudzēm (5.7.att.). Vidējā CH₄ piesaiste ir $-9.47\text{E-}07 \pm 5.76\text{E-}07 \text{ mg m}^2 \text{ s}^{-1}$, $-3.85\text{E-}07 \pm 2.83\text{E-}07 \text{ mg m}^2 \text{ s}^{-1}$, un $-6.71\text{E-}07 \pm 7.18\text{E-}07 \text{ mg m}^2 \text{ s}^{-1}$, attiecīgi Kalsnava P, Kalsnava M un Kalsnava C. Mežaudzē Kalsnava C, kurā meliorācijas sistēmu atjaunošanas darbi netika veikti, novērojama lielāka datu izkliede ($\pm 95\%$ ticamības intervāls), kas liecina par to, ka atsevišķos mēnešos un mērījumu punktos iespējamas arī CH₄ emisijas no augsnes.

Vērtējot SEG emisijas gada griezumā, aprēķinātas ikgadējās, kopējās un heterotrofās CO₂eq emisijas (5.3.tab.). Kopējās CO₂eq emisijas sastāda $10.1 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, $6.4 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, un $9.8 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, attiecīgi Kalsnava P, Kalsnava M un Kalsnava C mežaudzēs. Būtiski uzsvērt, ka mežaudzē Kalsnava M CO₂eq emisijas ir ievērojami zemākas, salīdzinot ar abām pārējām mežaudzēm. Taču, vērtējot augsnes heterotrofās CO₂eq emisijas, novērojams, ka atšķirības nav tik izteiktas, attiecīgi $2.9 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, $2.8 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, un $2.5 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, objektos Kalsnava P, Kalsnava M, un Kalsnava C. Ievērojamās atšķirības un zemākas CO₂eq emisijas mežaudzē Kalsnava M skaidrojamas ar lielāku noēnojumu no kokaudzes, kas rezultējas ar zemāku lakstaugu un sīkrūmu stāva proporciju (%) analizētajos veģetācijas parauglaukumos. Objektos Kalsnava P, Kalsnava M un Kalsnava C lakstaugu stāva kopējais projektīvais segums veido attiecīgi 57%, 27%, un 57%, bet krūmu stāva projektīvais segums attiecīgi 11%, 5% un 26%.



5.7. attēls. Augsnes kopējās CH₄ emisijas mērījumu sezonā.

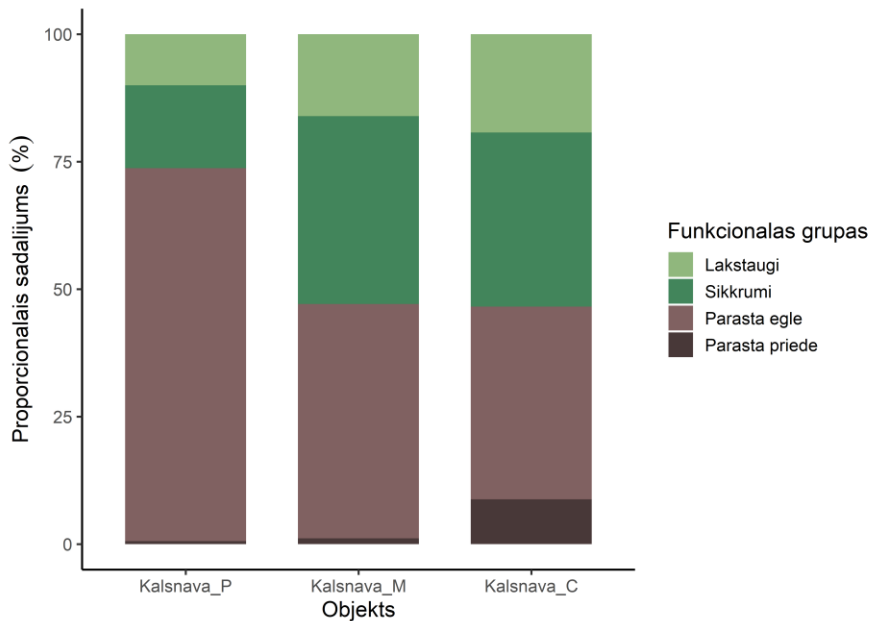
5.3. tabula.

Ikgadējās CO₂eq kopējās un heterotrofās emisijas.

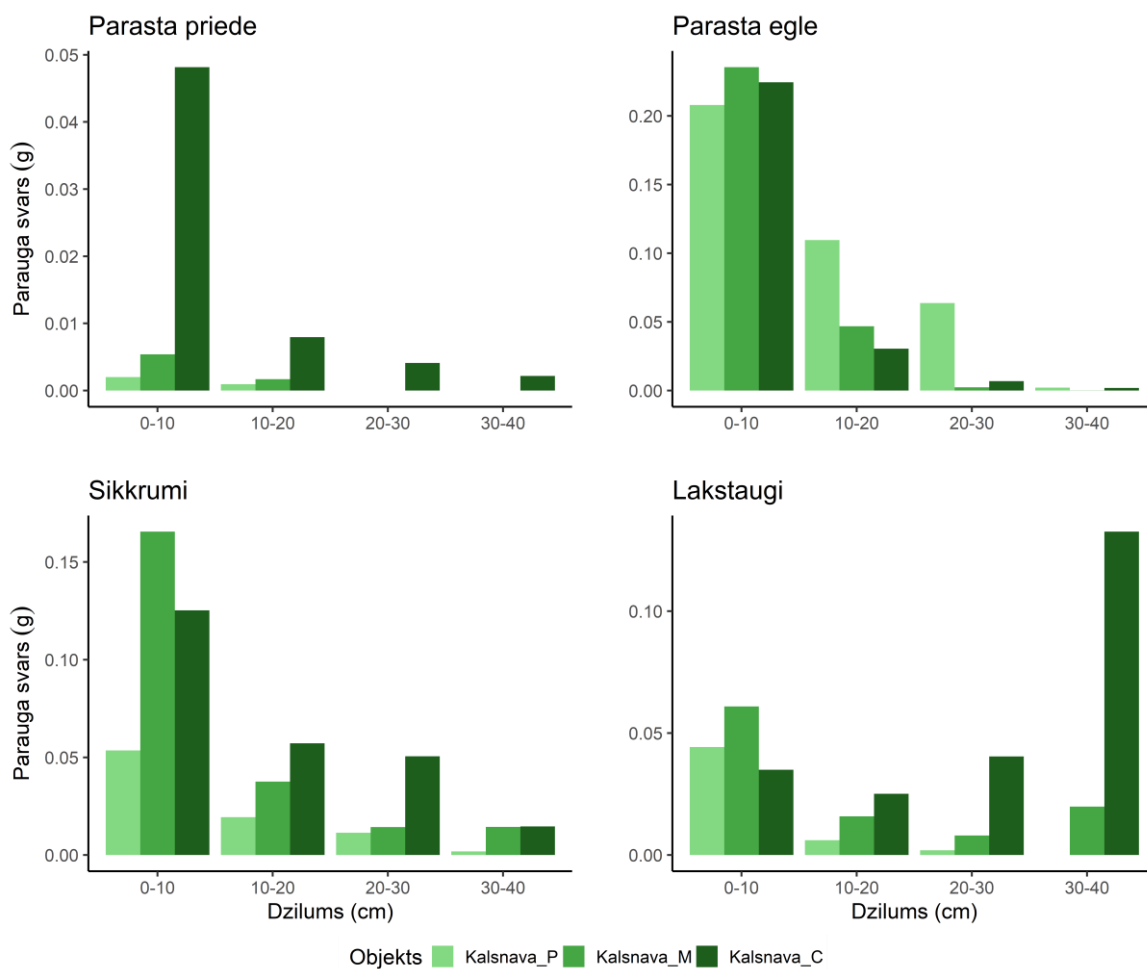
Pētījuma objekts	Kopējās CO ₂ eq, t ha ⁻¹ a ⁻¹	Heterotrofās CO ₂ eq, t ha ⁻¹ a ⁻¹
Kalsnava_P	10.1	2.9
Kalsnava_M	6.4	2.8
Kalsnava_C	9.8	2.5

Uzsūcošo sakņu (*fine-root*) biomasu veicina C ienesi augsnē, turklāt uzsūcošās saknes veido gan koki, gan lakstaugi, gan sīkrūmi (5.8.att.). Mežaudzē Kalsnava P vislielāko uzsūcošo sakņu biomasu veido egļu saknes (73%), kam seko sīkrūmu (16%) un lakstaugu (10%) saknes, taču priežu uzsūcošās saknes ir tikai 1%. Mežaudzē Kalsnava M būtiskāko daļu no uzsūcošo sakņu biomasas veido egļu (46%) un sīkrūmu (37%) saknes, lakstaugu saknes veido 16%, bet priežu saknes 1%. Mežaudzē Kalsnava C būtiskāko daļu no uzsūcošo sakņu biomasas veido egļu (38%) un sīkrūmu (34%) saknes, bet lakstaugu saknes 19% un priežu saknes 9%.

Analizējot dažādu uzsūcošo sakņu frakciju svaru paraugos, novērojams, ka priežu saknes šajās mežaudzēs ir proporcionāli vismazāk, turklāt novērojamas galvenokārt augsnes augšējā slāņā (0-20 cm) paraugos (5.9.att.). Turklāt visvairāk priežu uzsūcošās saknes novērotas objektā Kalsnava C. Egļu uzsūcošo sakņu svars neatšķiras starp objektiem 0-10 cm dziļumā, un, palielinoties paraugošanas dziļumam, novērojams, ka egļu sakņu sastopamība un biomasu samazinās. Sīkrūmu paraugu svaram novērojama līdzīga tendence: palielinoties paraugošanas dziļumam, uzsūcošo sakņu sastopamība un biomasu samazinās. Sīkrūmu uzsūcošo sakņu biomasu un parauga svars ir ievērojami lielāks objektos Kalsnava M un Kalsnava C, salīdzinot ar Kalsnava P. Lakstaugu uzsūcošo sakņu svars paraugos 0-10 cm dziļumā novērots līdzīgs starp analizētajām audzēm, taču mežaudzē Kalsnava C novērojams, ka dziļumā 30-40 cm ir ievērojami lielāks uzsūcošo sakņu svars. Uzsūcošo sakņu nekromasa (nedzīvās saknes) ievāktajos paraugos ir līdzīga starp visām analizētajām audzēm un veido 11% - 12% no kopējās parauga masas.



5.8. attēls. Sīko sakņu biomasas proporcionālais sadalījums (%) pa funkcionālajām grupām



5.9. attēls. Vidējais parauga svars analizētajām funkcionālajām grupām dažādos paraugošanas dziļumos.

Secinājumi

1. Augsnes ķīmiskais sastāvs un īpašības atšķiras starp analizētajām mežaudzēm. Kontroles platībā (Kalsnava C) ir ievērojami zemāks augsnes blīvums, salīdzinot ar platībām, kurās veikti meliorācijas sistēmas atjaunošanas darbi.
2. Augsnes kopējo SEG emisiju apjoms ir līdzīgs starp kontroles platību (Kalsnava C) un platību kurā meliorācijas sistēma ir atjaunota (Kalsnava P), taču mežaudzē Kalsnava M SEG emisijas ir ievērojami zemākas, tas ir skaidrojams ar divas reizes zemāku lakstaugu projektīvo segumu zemsedzē, iezīmējot lielāku kokaudzes apēnojumu šajā audzē.
3. Augsnes heterotrofās SEG emisijas ir līdzīgas starp mežaudzēm, kurās meliorācijas atjaunošanas darbi ir veikti, bet kontroles platībā heterotrofās CO₂ emisijas ir zemākas.
4. Visās vērtētajās mežaudzēs novērojama CH₄ piesaiste, taču kontroles platībā ir ievērojami lielāka emisiju izkliede, kas liecina par to, ka atsevišķos mēnešos un mērījumu punktos iespējamas arī CH₄ emisijas no augšnes.
5. Būtiskāko uzsūcošo sakņu biomasu visās audzēs veido egļu saknes, kam seko sīkrūmu un lakstaugu uzsūcošās saknes, turklāt lielākā daļa uzsūcošo sakņu ir augšnes virsējā slānī (0-20 cm).
6. Meliorācijas sistēmu atjaunošanai un rekonstrukcijai nav novērota būtiska negatīva ietekme uz augšnes C uzkrājumu, SEG emisijām vai uzsūcošo sakņu biomasu salīdzinājumā ar kontroles platību.
7. Iegūtie sākotnējie rezultāti ļauj labāk izprast esošā meža masīva oglekļa uzkrājumu dažādās oglekļa krātuvēs, turklāt sniedz būtisku ieguldījumu izpratnei par C bilanci mainīgākajās oglekļa krātuvēs (uzsūcošās saknes un ikgadējās SEG emisijas), lai precīzāk novērtētu ekosistēmas un meža masīva mērogā oglekļa bilanci, un vērtētu mežsaimniecības ietekmi.

Literatūra

1. Uri V, Kukumāgi M, Aosaar J, Varik M, Becker H, Aun K, Löhmus K et al (2022) The dynamics of the carbon storage and fluxes in Scots pine (*Pinus sylvestris*) chronosequence. *Sci Total Environ.* 817:152973. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.152973
2. Mäkipää R, Abramoff R, Adamczyk B, Baldy V, Biryol C, Bosela M, Casals P, Yuste JC et al (2023) How does management affect soil C sequestration and greenhouse gas fluxes in boreal and temperate forests?: A review. *Forest Ecol Manag* 529:120637. DOI: 10.1016/j.foreco.2022.120637
3. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change) 2014: Mitigation of Climate Change: Working Group III Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. DOI: 10.1017/CBO9781107415416
4. Paavilainen, E.; Päivänen, J. Peatland forestry – ecology and principles. *Ecological Studies*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1995), p. 248, 10.1007/978-3-662-03125-4
5. Šnore A. 2004. Kūdra Latvijā. Latvijas Kūdras ražotāju asociācija, Rīga.
6. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2002. URL <https://www.R-project.org/>.

5.5. Sagatavots koku pieauguma dinamikas un to ietekmējošo faktoru raksturojums.

Pamatojums.

Precīzākai ilgtermiņa eksperimentu plānošanai modeļteritorijā būtiska informācija par koku pieauguma dinamiku un veikto meliorācijas sistēmu izmaiņu ietekmi uz to.

Aktivitātes mērķis etapa ietvaros ir 2 transektu ierīkošanas (200 koki), pieauguma urbumu ievākšana un analīze un dinamikas raksturošana.

Objets un metodika

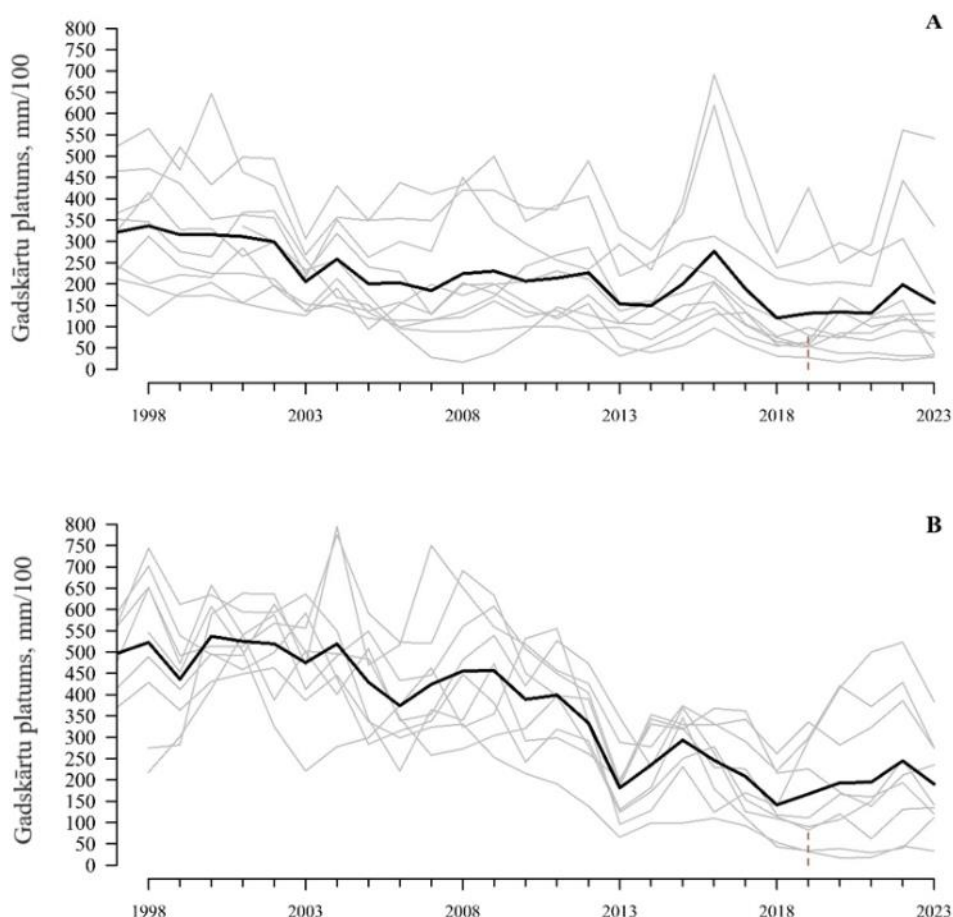
Koksnes urbumu ievākšanai izvēlētas divas lokācijas Vesetnieku poligonā, kas ir daļa no modeļteritorijas. Vienā no lokācijām (kontrolē) ir neietekmēta meliorācijas sistēma un otrā

veikta daļēja ūdens plūsmas bloķēšana 2019.gadā, un ūdens caurplūdes daļēji bloķētajā vietā mērījumi. Katrā no objektiem divos attālumos no grāvja malas (0–10m un ≥ 10 m) ar Preslera svārpstu pēc 2023. gada augšanas sezonas ievākti pieauguma urbumi no pirmā stāva eglēm, kurām nav konstatēti vizuāli defekti un kuras ir savstarpēji līdzīga caurmēra.

Ievāktie urbumi izžāvēti un ielīmēti koksnes platēs. Veikta to slīpēšana un gadskārtu platuma mērīšana ar LINTAB6 (RinnTech, Heidelberg, Vācija). Veikta šķērsdatēšana programmā COFECHA. Tā kā gadskārtu rindas garums starp objektiem un posmiem (attālumiem no grāvja) bija atšķirīgs, analīzei izmantota tikai tā laika rinda, kas pārstāvēta abos objektos un abos posmos.

Aktivitātes rezultāti

Ietekmētajā objekta daļā 0–10m un ≥ 10 m posmā koku diametrs bija attiecīgi 24.7 ± 2.9 cm un 24.0 ± 2.3 cm, savukārt neietekmētajā 25.2 ± 3.3 cm un 23.7 ± 1.7 cm. Koku augšana ietekmētajā teritorijā atkarībā no attāluma līdz meliorācijas grāvim pēdējos 10 gados noritējusi līdzīgi (1. attēls), taču neietekmētajā teritorijas daļā egļu augšana noritējusi līdzīgi visā aplūkotajā periodā – pēdējos 25 augšanas gadus (2. attēls). Attālumam no grāvja nav manāma izteikta ietekme uz koku augšanu, tuvākajos ~ 20 metros no meliorācijas grāvja egļu ikgadējā radiālā pieauguma variācija norit sinhroni.

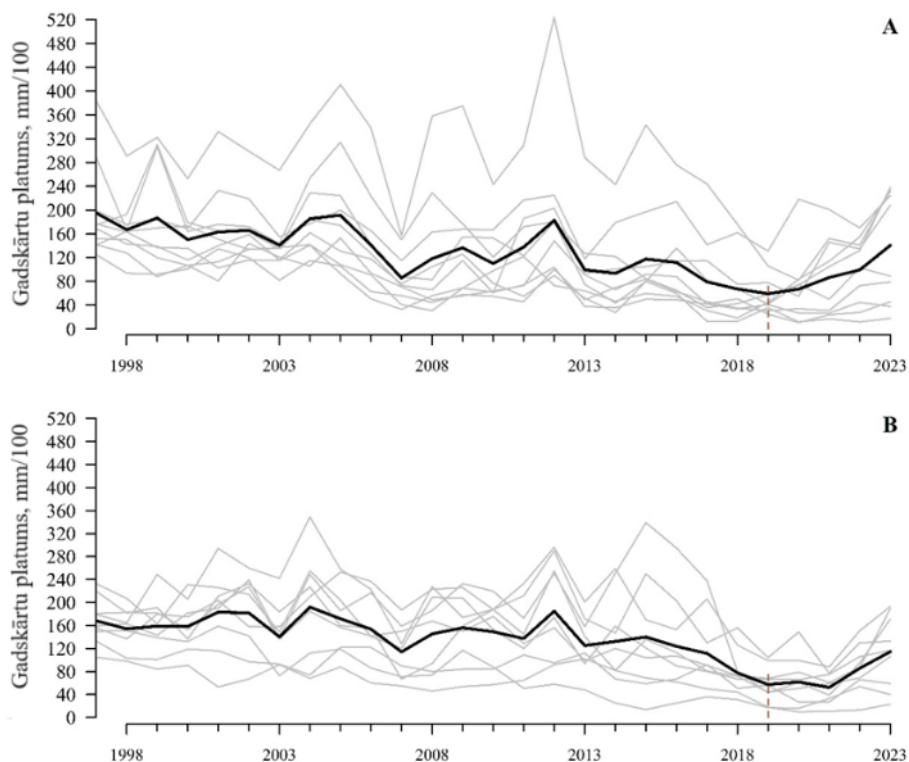


Pelēkās līnijas – koka caurmēru klašu ikgadējais radiālais pieaugums (mm/100), melnā līkne – vidējais ikgadējais radiālais pieaugums.

5.10. attēls. Daļējas ūdens plūsmas bloķēšanas ietekmēto egļu augšanas dinamika (A – eglēm, kas auga 0-10m attālumā no grāvja; B – eglēm, kas auga ≥ 10 m attālumā no grāvja).

Uzreiz pēc ūdens plūsmas daļējas bloķēšanas nav novērojamas izteiktas radiālā pieauguma izmaiņas, pieauguma tendence ir tāda pati, kā kontroles kokiem. Ietekmētajiem

kokiem abos gadījumos novērojams radiālā pieauguma kritums pēc 2022. gada, turpretim kontroles kokiem tajā pat gadā novērojama radiālā pieauguma palielināšanās.



Pelēkās līnijas – koka caurmēru klašu ikgadējais radiālais pieaugums (mm/100), melnā līkne – vidējais ikgadējais radiālais pieaugums.

5.11. attēls. Kontroles egļu augšanas dinamika (A – eglēm, kas auga 0-10m attālumā no grāvja; B – eglēm, kas auga ≥ 10 m attālumā no grāvja).

Kopsavilkums

Ietekmētajām eglēm 3 gadus pēc ūdenslīmeņa celšanas (2023. gadā) novērojama radiālā pieauguma samazināšanās – pretēji, kā tas konstatēts kontroles kokiem. Strauja ūdens līmeņa paaugstināšanās visticamāk negatīvi ietekmējusi egļu spēju tolerēt nelabvēlīgo meteoroloģisko faktoru ietekmi, kā rezultātā novērojama gadskārtu platumu samazināšanās.

Tā kā atšķirības radiālajā pieaugumā nav novērojamas periodā, kad notikušas ūdens līmeņa krasas fluktuācijas (2019.-2020.), bet gan 3 gadus vēlāk, būtu ieteicams veikt atkārtotus novērojumus un monitorēt egļu augšanu, lai pēc iespējas pilnvērtīgāk novērtētu tieši gruntsūdens līmeņa ietekmi.

Strauji paaugstinot ūdens līmeni, novērojama potenciāli negatīva ietekme uz egļu turpmāko augšanu, būtu ieteicams apsvērt dinamiskāku pieeju, kas izpaustos kā pakāpeniska jeb kavēta ūdens līmeņa izmainīšana ar atšķirībām sezonas laikā.

Kopsavikums par 2023. gada darba uzdevumiem un to izpildi

0.1. tabula

2023. gada darba uzdevumi un to izpilde

Darbs	Pamatojums, darbības un metodika (pētījums, darbs)	Rezultāts
1. Zināšanu uzkrāšana par Latvijā reti sastopamu vietējo un introducēto koku sugu atjaunošanu un audzēšanu.		
1.1. Veikt ierīkoto liepas, kļavas, dižskābarža, ozola jaunaudžu kopšanas objektu uzturēšanu, uzmērīšanu.	<p>Darbu nolūks: Veikt ierīkoto liepas, kļavas, dižskābarža un ozola jaunaudžu kopšanas objektu uzturēšanu, uzmērīšanu.</p> <p>Lauka darbu laikā Liepas, kļavas jaunaudžu objekti – 10 objekti – uzmērīšana, sagatavota informācija kopšanai.</p> <p>Kamerālo darbu laikā Šajā etapā detalizēta ievākto datu analīze nav plānota. Datu apkopojums un analīze kontekstā ar citos pētījuma objektos esošo informāciju par liepas tekošā pieauguma dinamiku.</p>	Veikta visu 10 iepriekš ierīkoto liepu jaunaudžu kopšanas objektu pārmērīšana un sagatavošana kopšanai.
1.2. Veikt ierīkoto dižskābarža, sarkanā ozola, hibrīdās lapegles stādījumu un kopšanas objektu uzturēšanu, uzmērīšanu.	<p>Darbu nolūks. Veikt ierīkoto dižskābarža, sarkanā ozola, hibrīdās lapegles stādījumu un kopšanas objektu uzturēšanu, uzmērīšanu.</p> <p>Lauka darbu laikā Veikt jauno stādījumu apsekošanu, kur nepieciešams, marķējumu atjaunošana, kopšanas kontrole (23 objekti, MPS Auces, Kalsnavas, Jelgavas, Šķēdes MN). Veikti bojājumus raksturojoši mērījumi tajos gadījumos, ja šādi bojājumi tika konstatēti, lai raksturotu iespējamās adaptācijas problēmas.</p> <p>Kamerālo darbu laikā Šajā etapā detalizēta ievākto datu analīze nav plānota. Sagatavots vispārīgs apkopojums.</p>	Veikti visi plānotie darbi – objektu uzturēšana, kā arī papildus dižskābaržu stādījuma ierīkošana un jauna stādījuma papildināšana.
1.3. Sagatavot platlapju piemistrojuma audzēšanas iespēju novērtējumu.	<p>Darbu nolūks. Sagatavot platlapju piemistrojuma audzēšanas iespēju novērtējumu.</p> <p>Lauka darbu laikā Platlapju piemistrojums – 10 liepas ilgtermiņa pētījumu objektu uzmērīšana. Publikācija (statuss: iesniegts)</p> <p>Kamerālo darbu laikā Šajā etapā detalizēta ievākto datu analīze nav plānota. Sagatavots vispārīgs datu apkopojums un veikti sākotnējie aprēķini.</p>	Veikta pārmērīšana visos plānotajos liepu ilgtermiņa pētījumu objektos un 2 papildus. Sagatavota un iesniegta publikācija.
2. Vētru un uguns bojājumu ietekme un tās izmaiņas nākotnes klimatā.		
2.1. Aprēķināti vēja noturību raksturojošie koeficienti modeļa pielāgošanai vēja bojājumu vērtēšanai Latvijā un rekomendāciju izstrādei vēja	<p>Darbu nolūks: Aprēķināt vēja noturību raksturojošos koeficientus modeļa pielāgošanai vēja bojājumu vērtēšanai Latvijā, rekomendāciju izstrāde vēja bojājumu mazināšanai.</p> <p>Lauka darbu laikā Šajā etapā nav plānoti.</p> <p>Kamerālo darbu laikā Iepriekšējos etapos ievākot datu analīze, sagatavotas publikācijas, ziņojums tematiskā konferencē.</p>	Nodrošināts ziņojums konferencē Wind & Trees un sagatavoti publikāciju manuskripti sadarbībā ar reģiona pētniekiem.

bojājumu mazināšanai.		
2.2. Vēja bojājumu varbūtības izmaiņas, mainoties audzes vecumam.	<p>Darbu nolūks: Raksturot vēja bojājumu varbūtības dinamiku.</p> <p>Lauka darbu laikā Papildus lauku darbu nav plānoti.</p> <p>Kamerālo darbu laikā Veikta sakņu sistēmas analīze audzes vecuma (līdz cirtmeta vecumam) un koku dimensiju ietekmes uz to atšķirību raksturojumam, izmantojot esošas datu kopas. Definēta papildus datu ievākšana.</p>	Veikts datu apkopojums un papildus datu ievākšana šī rudens vētru ietekmētajās audzēs; nodrošināta datu analīze.
2.3. Sagatavots vēja bojājumu varbūtības raksturojums nekailciršu mežsaimniecībā.	<p>Darbu nolūks: Raksturot vēja bojājumus saliktās audzēs.</p> <p>Lauka darbu laikā Papildus lauku darbi nav plānoti.</p> <p>Kamerālo darbu laikā Modeļa analīze un aprobācijas Latvijas empīriskajiem datiem, izmantojot datus no nekailcirtēm parastās egles audzēs.</p>	Veikta empīrisko datu analīze, sagatavots novērtējums.
2.4. Izstrādāti modeļi augsnes sasaluma novērtējumam mežaudzēs atkarībā no gaisa temperatūras un audzes parametriem.	<p>Darbu nolūks: Aprēķināt vēja noturību raksturojošos koeficientus modeļa pielāgošanai vēja bojājumu vērtēšanai Latvijā, rekomendāciju izstrāde vēja bojājumu mazināšanai.</p> <p>Lauka darbu laikā Sniega segas biezuma un temperatūras datu ievākšana, 5 transeksti pa 500m, paraugu ievākšana vidēji reizi 10 dienās uz transektiem ik pa 10m.</p> <p>Kamerālo darbu laikā Nav plānoti</p>	Veikta datu ievākšana (6 atkārtoti mērījumi) 2. etapā ierīkotajās transektēs un precizēta metodika darbiem 2023. gada noslēgumā, veikti mērījumi saskaņā ar šo metodiku.
2.7. Noskaidrota selekcijas un atjaunošanas ietekme uz vēja bojājumu varbūtību.	<p>Darbu nolūks. Novērtēta augsnes sagatavošanas veida ilgtermiņa ietekmi uz vēja noturību.</p> <p>Lauka darbu laikā: Veiktas vēja noturības pārbaudes 17 kokiem, kas aug stādījumos uz vagām.</p> <p>Kamerālo darbu laikā Datū pēcapstrāde. Sagatavota publikācija.</p>	Veikta visa plānotā datu ievākšana. Sagatavota analīze un publikācijas manuskripts.
2.8. Precizēti ugunsbīstamības izmaiņu un ugunsgrēku seku modeļi.	<p>Darbu nolūks. Precizēt ugunsbīstamības izmaiņas un ugunsgrēku seku modeļus.</p> <p>Lauka darbu laikā Pārmērīti parauglaukumi ugunsgrēku ilgtermiņa ietekmes uz koku atmiršanu un izdzīvojušo koku pieaugumu raksturošanai (novērtēti 8 objekti; papildus kontrole paraugkoki uguns neietekmētas audzēs).</p> <p>Kamerālo darbu laikā Veikta uguns ietekmēto koku atbildes reakcijas (pieauguma izmaiņu) datu ieguve – pieauguma urbumu apstrāde (līmēšana, slīpēšana, uzmērīšana) un iegūto datu apstrāde (šķēršdatēšana, papildpieauguma aprēķini), sagatavots apkopojums. Publikācija (statuss: iesniegts).</p>	Veikta visa plānotā datu ievākšana; to apstrāde un publikācijas manuskripta sagatavošana.
3. Biotisko faktoru ietekmes pārmaiņas nākotnes klimatā.		
3.1. Sagatavot dendrofāgo kukaiņu (kaitēkļu) masveida savairošanās	<p>Darbu nolūks: Sagatavot dendrofāgo kukaiņu (kaitēkļu) masveida savairošanās raksturojumu, izmantojot tiklāpseni kā modeļorganismu.</p> <p>Lauka darbu laikā Šajā etapā nav plānoti.</p> <p>Kamerālo darbu laikā</p>	Sagatavots plānotais kaitēkļu masveida savairošanās draudu raksturojums.

draudu raksturojumu.	Sagatavots dendrofāgo kukaiņu (kaitēkļu) masveida savairošanās draudu raksturojums (kopsavilkums).	
3.2. Klimata pārmaiņu ietekme uz egļu astoņzobu mizgrauzi novērtējums.	Darbu nolūks. Sagatavot novērtējumu par klimata pārmaiņu ietekmi uz egļu astoņzobu mizgrauža attīstības cikla sākumu un tālāko dinamiku. Lauka darbu laikā Noteikts egļu astoņzobu mizgrauža izlidošanas sākums 5 dažādos Latvijas reģionos. Kamerālo darbu laikā Nav plānoti. Datu analīze tiks veikta pētījuma noslēdzošajā etapā, apkopojot izlidošanas monitoringa rezultātus un vērtējot kontekstā ar savairošanos un bojājumiem mežaudzēs.	Pabeigti visi plānotie darbi: ievākti dati par egļu astoņzobu mizgrauža izlidošanas sākumu 5 dažādos Latvijas reģionos.
3.4. Veikta mistrojumu analīze audzes un meža masīva līmenī ar mērķi nākotnē nodrošināt noturīgu mežu izveidošanu.	Darbu nolūks. Sagatavot metodiku mistrojuma ietekmes uz dendrofāgu bojājumiem vērtēšanai. Lauka darbu laikā Datu ievākšana mizgrauža bojātās audzēs saskaņā ar 2. etapā izstrādāto metodiku. Kamerālo darbu laikā Rezultātu apkopojums. Detalizēta analīze paredzēta nākamajā etapā.	Veikta plānotā datu ievākšana: ar multispektrālo kameru un transektēs un datu analīze.
3.5. Izstrādāta videi draudzīga meža aizsardzības stratēģija meža kaitēkļu (jaunaudžu, skuju un lapu, stumbru kaitēkļi) ierobežošanai un dabisko ienaidnieku – parazītoīdu un patogēnu (bakulovīrusi, baktērijas un endomopatoģenās sēnes) vairošanās veicināšanai, mazinot dendrofāgu saimniecisko ietekmi.	Darbu nolūks: Vērtēt priežu galotņu sešzobu mizgrauža <i>Ips acuminatus</i> detektēšanas iespējas ar attālās izpētes metodēm. Lauka darbu laikā Veikt attālās izpētes datu ieguvu šī dendrofāga skartā platībā. Kamerālo darbu laikā Analizēts <i>I.acuminatus</i> savairošanās detektēšanas iespējas. Izstrādātas rekomendācijas priežu audžu apsaimniekošanai pēc ugunsgrēkiem - sumbra kaitēkļu savairošanās risku mazināšanai (fokusējoties uz galotņu sešzobu mizgrauža ierobežošanu).	Veikta slazdu izvietošana pētījuma platībās, tomēr šajā gadā gandrīz nav konstatēti bojājumi, līdz ar to kamerālo darbu ietvaros sagatavotas kopējas rekomendācijas audžu bojājumu risku mazināšanai.
4. Koku augšanas gaitas izmaiņas nākotnes klimatā		
4.1. Sagatavot klimata komponentes augstuma pieauguma modeļiem.	Darbu nolūks. Sagatavot klimata komponentes augstuma pieauguma modeļiem. Lauka darbu laikā: Šajā etapā nav plānoti Kamerālo darbu laikā Veikta ievākot datu analīze, sagatavota publikācija un koeficienti modeļiem.	Apkopots viss analīzei nepieciešamais materiāls, sagatavoti aprēķini, iesniegta publikācija.
4.2. Novērtēta meteoroloģisko apstākļu ekstrēmu ietekme uz koku pieaugumu.	Darbu nolūks. Novērtēt klimata ekstrēmu ietekmi uz koku pieaugumu. Lauka darbu laikā Atsevišķi darbi nav plānoti; paredzēts izmantot šķērsriezuma ripas no šī etapa 4.1. uzdevuma izpildes ietvaros esošajiem paraugkokiem. Kamerālo darbu laikā Datu kvalitātes pārbaude, veicot šķērsdatēšanu. Pieauguma ekstrēmu identificēšana, veicot laika	Veikta plānotā analīze un sagatavots pārskats.

	rindu specifisku standartizēšanu, gadu ar ekstrēmu gadskārtu platumu (t.s. "zīmīgo gadu") identificēšanai un sasaiste ar meteoroloģisko apstākļu ekstrēmiem.	
4.3. Sagatavots augšanu limitējošo faktoru izmaiņu novērtējums, ietverot klimata komponenti augšanas gaitas modeļos.	Darbu nolūks. Novērtēt klimata ekstrēmu ietekmi uz koku pieaugumu. Lauka darbu laikā Šajā etapā nav plānoti. Kamerālo darbu laikā Apkopotas jaunākās atziņas par klimata komponentu iekļaušanu augšanas gaitas modeļos un ietvertas pārskatā 4.1. sadaļā kontekstā ar empīrisko datu analīzi.	Literatūras analīze ietverta pārskatā kā daļa no 4.1. nodaļas.
5. Modeļteritorija kompleksiem ilgtermiņa novērojumiem par mežkopības ietekmi uz meža un ar to saistītajām ekosistēmām ar auglīgām kūdras augsniem.		
5.1. Sagatavot meliorācijas sistēmu renovācijas ietekmes uz augsnes mitruma režīma izmaiņām detalizētu novērtējumu.	Darbu nolūks. Sagatavot detalizētu meliorācijas sistēmu renovācijas ietekmes novērtējumu uz augsnes mitruma režīma izmaiņām. Lauka darbu laikā Objektu apsekošana, gruntsūdens, temperatūras mērījumi datu ievākšana iepriekš ierīkotajās transektēs. Kamerālo darbu laikā: Datu analīze plānota noslēdzošajā pētījuma etapā.	Turpināta datu ievākšana pētījuma 1. etapā ierīkotajās 3 transektēs un papildus šajā etapā pavasarī ierīkotajās 3 transektēs.
5.2. Sagatavot liela mēroga saimnieciskās darbības ietekmes uz mežu ar meliorētām augsniem ekosistēmu raksturojumu.	Darbu nolūks. Sagatavot raksturojumu liela mēroga saimnieciskās darbības ietekmei uz mežu ar meliorētām augsniem. Lauka darbu laikā Šajā etapā nav plānoti Kamerālo darbu laikā Zemesdzīves veģetācijas uzskaites laukumu datu analīze.	Veikta plānotā analīze, sagatavots pārskats.
5.3. Sagatavots meža masīva mēroga SEG gāzu apmaiņas raksturojums.	Darbu nolūks. Sagatavot meža masīva mēroga SEG gāzu apmaiņas raksturojumu. Lauka darbu laikā Nav plānota Kamerālo darbu laikā Darba uzdevuma izpildei saskaņā ar paredzēto apjomu plānota augsnes emisiju datu ieguve ar pārvietojamu kameru, tādā pat darbu izpildes apjomā (etapā tiks veikta datu analīze un pārskata sagatavošana), jo Eddy-Covariance infrastruktūras ierīkošana ir izkavējusies. Datu ievākšana ar šo metodi tiks veikta, tiklīdz infrastruktūra būs pieejama.	Veikta sīko sakņu paraugu laboratoriskā apstrāde un datu analīze, sagatavots pārskats.
5.5. Sagatavots koku pieauguma dinamikas un to ietekmējošo faktoru raksturojums.	Darbu nolūks: Vēsturiskās koku pieauguma dinamikas raksturojums. Lauka darbu laikā 2 transektu ierīkošanas (200 koki), pieauguma urbūmi. Kamerālo darbu laikā: Urbumu paraugu apstrāde, uzmērīšana, pieauguma dinamikas raksturošana.	Veikta datu ievākšana un analīze, sagatavots pārskats.