



PĀRSKATS
PAR PĒTĪJUMA 2022. 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:

Dr. 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, 2022

Kopsavilkums

Pētījuma otrajā etapā īstenoti visi plānotie darbu piecās aktivitātēs.

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

Veikta plānotā ilgtermiņa pētījumu objektu cieta lapu koku audzēs uzmērīšana, kā arī objektu jaunaudzēs uzraudzība Meža pētīšanas stacijas (MPS) teritorijā. Nodrošināta 16 ozola, 4 skābarža un 3 dižskābarža ilgtermiņa pētījumu objektu uzmērīšana (kokaudze un veģetācija).

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

Ierīkoti parauglaukumi vēja bojājumus ietekmējošo faktoru analīzei: transekti sniega segas biežuma vērtēšanai. Veikta augses sagatavošanas veida ietekmes uz koku vēja noturību analīze. Izvēlēti pētījuma objekti un ierīkoti parauglaukumi audzes raksturošanai, kur ziemā tiks veikti koku noturības testi. Pētījuma objektos (12) ievākti dati par ugunsbīstamību raksturojošo rādītāju izmaiņām un lokālajiem meteoroloģiskajiem rādītājiem. Nodrošināta viena prezentācija un publikācija.

3. Biotisko faktoru ietekmes pārmaiņas nākotnes klimatā.

Veikti plānotie darbi priežu audžu tīklapsenes (*Acantholyda posticalis*) savairošanās dinamikas izpētē, egļu astoņzobu mizgrauža (*Ips typographus*) izlidošanas laika monitoringā un galotņu sešzobu mizgrauža (*Ips accuminatus*) populācijas dinamikas ietekmējošo faktoru analīzē.

4. Koku augšanas gaitas izmaiņas nākotnes klimatā.

Veikta augstuma pieauguma rekonstrukcijai eglei kūdreņos paredzētā materiāla sagatavošana ar mērķi iegūt datus klimata komponentes augstuma pieauguma modeļu izstrādei. Veikta šo datu, kā arī klimata ekstrēmu ietekmes uz radiālo pieaugumu, analīze. Pētījuma rezultāti prezentēti zinātniskā konferencē.

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

Veikta infrastruktūras – gruntsūdens aku – ierīkošana papildus transektā, regulāra paraugu ievākšana, nodrošinot informāciju par meliorācijas sistēmas renovācijas ietekmi un sākotnējā stāvokļa raksturojumu platībās, kurās plānotas siltumnīcas efekta gāzu mērīšana. Ierīkots transekts un ievākti dati zemesdzīves veģetācijas, koku radiālo pieaugumu raksturošanai, kā arī papildus ievākti dati siltumnīcefektā gāzu emisiju no augsnes raksturošanai.

Summary

Research work had been carried out in all five thematic areas of the project during the first part of second stage of it.

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

Planned measurements in noble broadleaved trees stand as well as maintenance of young stands in Research forest station had been completed. Planned re-measurements of stand and ground vegetation in long term sample plots 16 oak, 4 hornbeams and 3 beech stands were carried out.

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

Sample plots had been established for assessment of specific aspects, linked to tree wind stability: snow cover evaluation. Assessed effect of soil preparation method on wind-stability of trees. Data on ground parameters, linked to fire danger, had been periodically collected in 12 sites, simultaneously with monitoring of local meteorological conditions. One presentation and publication ensured.

3. Changes in biotic factors due to climate change.

Planned field work has been carried out on the study of the dynamics of reproduction of pine grouse (*Acantholyda posticalis*), monitoring of spring activity of spruce bark beetle (*Ips typographus*) and the analysis of factors influencing the population dynamics of the top six-toothed bark beetle (*Ips accuminatus*).

4. Effect of climate change on increment of trees.

The material had been collected for height reconstruction of Norway spruce on drained organic soils for the model to estimate the increment in different climatic conditions. These data had been analysed as well as effect of climate extremes on the radial increment of trees assessed. Results presented in a scientific conference.

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.

Infrastructure for ground water measurements had been established (one additional transect during this stage) and periodic monitoring (sample collection) to evaluate water quality was carried out to ensure information on the influence of drainage system renovation as well as establish the data basis of the parameters in the case study before the planned management measures and initiation of forest landscape-scale greenhouse gas measurements. Transects were established and data was collected on ground vegetation and tree increment as well as for additional collection of soil greenhouse gas emissions.

Saturs

Kopsavilkums	2
Summary.....	3
Attēlu saraksts	5
Tabulu saraksts	7
2022. gada darba uzdevumi un to izpilde	9
1. Zināšanu uzkrāšana par Latvijā reti sastopamu vietējo un introducēto koku sugu atjaunošanu un audzēšanu.	17
1.1. Dižskābarža, sarkanā ozola, liepas un kļavas objektu uzmērīšana.....	17
1.2. Ierīkoto dižskābarža, sarkanā ozola, hibrīdās lapegles stādījumu un kopšanas objektu uzturēšana, uzmērīšana	18
1.3. Platlapju piemistrojuma audzēšanas iespēju novērtējums.....	18
2. Vētru un uguns bojājumu ietekme un tās izmaiņas nākotnes klimatā.....	22
2.1. Vēja noturību raksturojošie koeficienti modeļa pielāgošanai vēja bojājumu vērtēšanai Latvijā un rekomendācijas vēja bojājumu mazināšanai.	22
2.3. Vēja bojājumu varbūtības raksturojums nekailciršu mežsaimniecībā.....	22
2.4. Modeļi augsnes sasuluma novērtējumam mežaudzēs atkarībā no gaisa temperatūras un audzes parametriem.	29
2.6. Biotisko faktoru un vēja bojājumu ietekmes mijiedarbības novērtējums	39
2.7. Selekcijas un atjaunošanas ietekme uz vēja bojājumu varbūtību	41
2.8. Precizēti ugunsbīstamības izmaiņu un ugunsgrēku seku modeļi	51
3. Biotisko faktoru ietekmes pārmaiņas nākotnes klimatā.	56
3.1. Dendrofāgo kukaiņu (kaitēkļu) masveida savairošanās draudu raksturojums.	56
3.2. Klimata pārmaiņu ietekmes uz egļu astoņzobu mizgrauzi novērtējums	71
3.3. Klimata pārmaiņu ietekmētu dendrofāgo kukaiņu sugu novērtējums.	73
3.4. Mistrojumu analīze audzes un meža masīva līmenī ar mērķi nākotnē nodrošināt noturīgu mežu izveidošanu.....	80
3.5. Videi draudzīga meža aizsardzības stratēģija meža kaitēkļu ierobežošanai.....	81
3.6. Indikatoru sistēmas izstrāde veģetācijas kā indikatora izmantošanai klimata pārmaiņu indicēšanai	85
4. Koku augšanas gaitas izmaiņas nākotnes klimatā	89
4.1. Klimata komponentes augstuma pieauguma modeļiem	89
4.2. Meteoroloģisko apstākļu ekstrēmu ietekme uz koku pieaugumu.....	92
5. Modeļteritorija kompleksiem ilgtermiņa novērojumiem par mežkopības ietekmi uz meža un ar to saistītajām ekosistēmām platībās ar auglīgām kūdras augsnēm.....	100
5.1. Meliorācijas sistēmu renovācijas ietekmes uz augsnes mitruma režīma izmaiņām detalizēts novērtējums.	100
5.2. Liela mēroga saimnieciskās darbības ietekmes uz mežu ar meliorētām augsnēm ekosistēmu raksturojums.	100
5.3. Meža masīva mēroga SEG gāzu apmaiņas raksturojums.	102
5.5. Koku pieauguma dinamika un to ietekmējošo faktoru raksturojums.	103
Izmantotā literatūra.....	106

Attēlu saraksts

- 1.1. attēls. Dižskābarža gaismas apstākļu izmaiņu eksperiments
- 1.2. attēls. Dižskābarža reakcija uz gaismas apstākļu izmaiņām
- 3.1. attēls. Ilglaicīgo pētījumu objektu izvietojums (a) un uzmērīšana (b)
- 2.1. attēls. Koku vēja noturības demonstrācija MPS Jelgavas MN
- 2.2. attēls. Parauglaukumu izvietojuma piemērs nogabalā
- 2.3. attēls. Sniega segas ietekmes uz augsnes sasaluma izveidošanos novērojumu maršrutu atrašanās vietas Zemgales līdzenumā un Vidzemes augstienē
- 2.4. attēls. Sniega segas ietekmes uz augsnes sasaluma izveidošanos novērojumu maršruti LVM Zemgales reģiona Klīves iecirknī (609. kavrtālapgabala 48. un 60. kvartāli)
- 2.5. attēls. Sniega segas ietekmes uz augsnes sasaluma izveidošanos novērojumu maršruti LVM Rietumvidzemes reģiona Piebalgas iecirknī (411. kavrtālapgabala 343. un 337. kvartāli)
- 2.6. attēls. Sniega segas ietekmes uz augsnes sasaluma izveidošanos kontroles novērojumu maršruta novietojums Zemgales līdzenumā attiecībā pret LVM Zemgales reģiona Klīves iecirkņa (609. kavrtālapgabala) 48. un 60. Kvartāliem
- 2.7. attēls. Sniega segas ietekmes uz augsnes sasaluma izveidošanos kontroles novērojumu maršruta novietojums Vidzemes augstienē attiecībā pret LVM Rietumvidzemes reģiona Piebalgas iecirkņa (411. kavrtālapgabala) 343. un 337. kvartāliem.
- 2.8. attēls. Sniega segas biezuma mērīšana ar pastāvīgi novietotu mērlatu
- 2.9. attēls. Augsnes temperatūras mērījumi attīrītas zemes virskārtas apstākļos
- 2.10. attēls. Sniega segas biezuma izmaiņas atkarībā no novērojumu punktu novietojuma attiecībā pret mežaudžu vainagu klāju novērojumu maršrutos Vidzemes augstienē
- 2.11. attēls. Sniega segas biezuma izmaiņas atkarībā no novērojumu punktu novietojuma attiecībā pret mežaudžu vainagu klāju novērojumu maršrutos Zemgales līdzenumā
- 2.12. attēls. Stumbra mizas bojājuma un sakņu trapes ietekme uz parastās egles stumbra pamatnes lieces momentu pie primārās (BBM_{pl}) un sekundārās (BBM_{sl}) lūšanas.
- 2.13. attēls. Parastā priede stādījumā ārenī ar pacilām SIA "Rīgas meži" Daugavas mežniecībā
- 2.14. attēls. Koku statistiskās vilkšanas testa shematisks attēlojums.
- 2.15. attēls. Augsnes blīvuma un mitruma paraugu ievākšana ar 100 ml tilpuma cilindru
- 2.16. attēls. Parastās priedes (*Pinus sylvestris* L.) stumbra pamatnes lieces moments pie primārās (BBM_{pl}), un sekundārās (BBM_{sl}) lūšanas stādījumos āreņos ar pacilām, sausieņos un kūdreņos.
- 2.17. attēls. Vidējo gadskārtu platuma izmaiņas 28 gadu laika periodā (10 gadus pirms deguma un 18 gadus pēc deguma) pētāmajos objektos
- 2.18. attēls. Vidējo gadskārtu platuma izmaiņas 28 gadu laika periodā (10 gadus pirms deguma un 18 gadus pēc deguma) sadalījumā pa maksimālajiem stumbru apdeguma augstuma grupām, m.
- 2.19. attēls. Caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums 5, 10 un 18 gadus pēc deguma atkarībā no koku maksimālā apdeguma augstuma (ar standartklūdu)
- 2.20. attēls. Krājas kumulatīvais papildus pieaugums 5, 10 un 18 gadus pēc deguma atkarībā no koku stumbru maksimālā apdeguma augstuma
- 3.1. attēls. Zemes slazdu izvietojums mežā.
- 3.2. attēls. Zemsedzes slazdu konstruēšana un testēšana laboratorijā.
- 3.3. attēls. Priežu audžu tīklapsenes ziemojošo kāpuru attīstības stadijas uz 1. jūniju – novēroti pirmie iekūņojušies kāpuri
- 3.4. attēls. Zemsedzes slazdi mežā. Slazdu atrašanās vieta tika iezīmēta ar norobežojošām lentām un pievienots plakāts ar informāciju par slazdiem
- 3.5. attēls A – Eonimfa (bez tumša laukuma uz galvas kapsulas). B – Pronimfa – eonimfa, kas gatavojas pavasarī izlidot – uz galvas kapsulas izveidojies redzams, viegli lokveida, melns plankums

- 3.6. attēls. Priežu audžu tīklapsenes kāpuru daudzums uz 1 m² 2022. gada rudenī (A) un tā salīdzinājums ar 2021. gada rudenī konstatēto (B)
- 3.7. attēls. Priežu audžu tīklapsenes pronimfu proporcija pavasarī laikā no 2013. gada līdz 2023. gadam
- 3.8. attēls. Ziemejošo kāpuru svara (g) salīdzinājums.
- 3.9. attēls. Audžu defoliācija 2022. gada rudenī (A) un tās salīdzinājums ar 2021. gada rudenī konstatēto (B)
- 3.10. attēls. Priežu audžu tīklapsenes savairošanās nozīmīgi bojāto audžu (defoliācija rudenī lielāka par 50%) platību izmaiņas laikā no 2015. gada līdz 2022. gadam
- 3.11. attēls. Priežu audžu tīklapsenes savairošanās skarto audžu platību izmaiņas laikā no 2015. gada līdz 2022. gadam sadalījumā pēc ziemojošo kāpuru daudzuma uz 1 m²
- 3.12. attēls. Vidējās koku defoliācijas izmaiņas parauglaukumos no 2016. gada līdz 2022. gadam
- 3.13. attēls. Vidējā koku defoliācija pieaugumu parauglaukumos
- 3.14. attēls. Dzīvo koku skaita izmaiņas parauglaukumos
- 3.15. attēls. Egļu astoņzobu mizgrauža izlidošanas sākuma monitoringa reģioni.
- 3.16. attēls. Maksimālā diennakts temperatūra Cēsīs un Liepājā un *Ips typographus* lidošanas sākums.
- 3.17. attēls. Egļu astoņzobu mizgrauža (*Ips typographus*) lidošanas sākums Rietumu-Austrumu virzienā izvietotos parauglaukumos.
- 3.18. attēls. Pirmās vaboles izlidošanas datums (vidēji no 5 parauglaukumiem)
- 3.19. attēls. Sakarība starp egļu astoņzobu mizgrauža lidošanas sākumu un kopējo vidēji vienā slazdā noķerto vaboļu daudzumu sezonā
- 3.20. attēls. *Ips acuminatus* slazdu un paraugkoku atrašanās vieta
- 3.21. attēls. *Ips acuminatus* lidošanas monitoringam izmantotie slazdi.
- 3.22. attēls. *Ips acuminatus* vaboles: mātīte (A) un tēviņš (B).
- 3.23. attēls. Noķerto *Ips acuminatus* vaboļu skaits feromonu slazdos.
- 3.24. attēls. Egļu astoņzobu mizgrauža (*Ips typographus*) lidošanas aktivitāte Ventspils parauglaukumā (Meža kaitēkļu un slimību monitoringa dati) un galotņu sešzobu mizgrauža (*Ips acuminatus*) lidošanas aktivitāte Stiklu purva deguma teritorijā.
- 3.25. attēls. *Ips acuminatus* slazdos noķerto vaboļu garumi atkarībā no to izlidošanas laika un dzimuma.
- 3.26. attēls. Priežu kolonizācija ar stumbra kaitēkļiem (kaitēkļa saimju aizņemtā stumbra daļa) Stiklu deguma parauglaukumos 2021. gada vasarā.
- 3.27. attēls. Priežu vainaga atstarotās gaismas spektra atšķirības bojātā un neietekmētā audzē.
- 3.28. attēls. Galotņu sešzobu mizgrauža pievilināšana gāztiem priedes stumbriem, izmantojot feromonu dispenserus (A) un stumbra nogriežņi ar savācējtraukiem klimata kamerā *Ips acuminatus* dabisko ienaidnieku faunas izpētei (B).
- 3.29. attēls. No Stiklu deguma teritorijas un Pierīgas ievākto un laboratorijā inkubēto priežu stumbra nogriežņiem izlidojušo kukaiņu daudzums.
- 3.30. attēls. No priežu stumbra nogriežņiem izlidojuši *Ips acuminatus* vaboļu skaita dinamika.
- 3.31. attēls. Izlidojušo *Ips acuminatus* vaboļu daudzums vienā uzskaites reizē no dažādiem paraugkokiem iegūtajiem priežu nogriežņiem.
- 3.32. attēls. Izlidojušo kaitēkļu un to dabisko ienaidnieku daudzums priežu stumbra nogriežņos.
- 3.33. attēls. Baltalkšņa *Alnus incana* ziedēšanas sākuma trends (piecu novērojumu staciju dati) 1971.-2000. gads.
- 4.1. attēls. Augstuma pieauguma dinamikas mērījumiem sagatavotie paraugi (dēļi)
- 4.2. attēls. Paraugkoku serdes dziļuma noteikšana (a) un atsegšana (b) augstuma pieaugumu identificēšanai

- 4.3. attēls. Būtiskās korelācijas (būtstrapoti Pīrsona korelācijas koeficienti) starp meteoroloģiskajiem mainīgajiem un egles augstuma pieauguma atlikuma hronoloģiju. Nogriežņi parāda korelācijas koeficientu 95% ticamības intervālu. SPEI – sausuma indekss
- 4.4. attēls. Klimata un ģenētikas ietekme uz egles augšanas gaitu: prezentācija pie pēcnācēju pārbaužu stādījuma Ogres novadā.
- 4.5. attēls. Klonu īpatsvars, kas uzrāda zīmīgos radiālā pieauguma gadus (stabiņi) un tolerances indeksu iedzimstamības (H^2) un aditīvās ģenētiskās variācijas (CV_a) koeficienti (līnijas) pētītajās klonālajās parastās egles plantācijās.
- 4.6. attēls. Klonu īpatsvars, kas uzrāda būtiskas būtstrapotas korelācijas starp zīmīgo gadu intensitātes laika rindām, un meteoroloģiskajiem mainīgajiem periodā no 1985. gada līdz 2015. gadam.
- 4.7. attēls. Modelētās marginālās egles radiālā pieauguma (gadskārtu platuma) tolerances indeksētu vērtības atkarībā no provenienču reģiona laika posmam no 1985. līdz 2015. gadam.
- 5.1. attēls. Monitoringa teritorija MPS Kalsnavas MN.
- 5.2. attēls. Parauglaukumu atrašanās vieta.
- 5.3. attēls. Veģetācijas parauglaukumu izvietojums uz transektes.
- 5.4. attēls. Dzīvo egļu augšanas dinamika: detrendēto gadskārtu rindu hronoloģija.
- 5.5. attēls. Puskaltušo egļu augšanas dinamika: detrendēto gadskārtu rindu hronoloģija.
- 5.6. attēls. Nokaltušo egļu augšanas dinamika: detrendēto gadskārtu rindu hronoloģija.
- 5.7. attēls. Vidējā ikgadējā radiālā pieauguma salīdzinājums dzīvajām, puskaltušajām un nokaltušajām eglēm pēdējos piecos augšanas gados.

Tabulu saraksts

- 1.1. Ozolu, skābaržu un dižskābaržu parauglaukumi
- 1.2. Ilglaicīgo pētījumu objektu taksācijas rādītāji
- 2.1. Vispārināta lineāra jauktu efektu modeļa dispersijas Wald χ^2 tests un modeļa koeficienti, to standartklūdas un būtiskums vēja izraisītu bojājumu izveidošanos ietekmējošajiem faktoriem.
- 2.2. Ordināras binomiālas regresijas dispersijas Wald χ^2 tests un modeļa koeficienti, to standartklūdas un būtiskums vēja izraisītu bojājuma veida ietekmējošajiem faktoriem.
- 2.3. Lineāra jauka efektu modeļa dispersijas Wald χ^2 tests un modeļa koeficienti, to standartklūdas un būtiskums stumbra lūzuma absolūtā augstuma ietekmējošajiem faktoriem.
- 2.4. Lineāra jauka efektu modeļa dispersijas Wald χ^2 tests un modeļa koeficienti, to standartklūdas un būtiskums stumbra lūzuma relatīvā augstuma ietekmējošajiem faktoriem.
- 2.5. Mežaudzes, kurās ierīkoti sniega segu raksturojošo rādītāju novērojumu maršruti AS „Latvijas valsts meži” apsaimniekotajās platībās
- 2.6. Sniega segas virsmas stāvokļa raksturojums
- 2.7. Sniega segas stāvokļa raksturojums
- 2.8. Sniega segas saguluma raksturojums
- 2.9. Zemes virskārtas stāvokļa raksturojums
- 2.10. Novērojumu punktu novietojuma attiecībā pret mežaudžu vainagu klāja raksturojums
- 2.11. Sniega segas biezums un blīvums novērojumu maršrutos Vidzemes augstienē un Zemgales līdzenumā 2022.-2023. gada sezonā
- 2.12. Dispersijas analīzes rezultāti sniega segas biezuma un blīvuma atšķirībām pa reģioniem un atkarībā no novērojumu veikšanas datuma un novērojumu punktu novietojumu attiecībā pret mežaudzes vainagu klāju
- 2.13. Vispārināta lineāra jauktu efektu modeļa dispersijas Wald χ^2 tests un faktoru būtiskums parastās egles stumbra pamatnes lieces momentam pie primārās (BBM_{pl}) un sekundārās (BBM_{sl}) lūšanas

- 2.14. Paraugkoku skaits (N), vidējais (\pm standartklūda) caurmērs krūšu augstumā (DBH), augstums (H), stumbra koksnes tilpums (V_{st}) un sakņu-augsnes plātnes tilpums (V_{asp}) parastajai priedei (*Pinus sylvestris* L.) stādījumos āreņos ar pacilām, sausieņos un kūdreņos.
- 2.15. Vispārināta lineāra jauktu efektu modeļa dispersijas Wald χ^2 tests un modeļa koeficienti
- 2.16. Vispārināta lineāra jauktu efektu modeļa dispersijas Wald χ^2 tests un modeļa koeficienti
- 2.17. Vispārināta lineāra jauktu efektu modeļa dispersijas Wald χ^2 tests un modeļa koeficienti
- 2.18. Paraugkoku skaits (N), vidējais (\pm standartklūda) stumbra pamatnes lieces moments pie primārās (BBM_{pl}), un sekundārās (BBM_{sl}) lūšanas, elastības modulis (MOE) un lūzušo paraugkoku skaits parastajās priedes (*Pinus sylvestris* L.) statistiskās vilkšanas testos stādījumos āreņos ar pacilām, sausieņos un kūdreņos.
- 2.19. Vispārināta lineāra jauktu efektu modeļa dispersijas Wald χ^2 tests un modeļa koeficienti
- 2.20. Mežaudzes, kurās ievākti dati par degmateriāla mitruma izmaiņu dinamiku
- 2.21. Pētāmo objektu pirmā stāva taksācijas rādītāji ugunsgrēka gadā (2004) un 18 gadus (2022) pēc ugunsgrēka
- 2.22. Aprēķiniem izmantoto koku skaits un caurmērs degšanas gadā sadalījumā pa apdeguma augstumiem
- 3.1. Priežu vainagu defoliācijas pakāpe procentos un raksturojums
- 3.2. Sanitāro ciršu apjoms tīklapsenes savairošanās skartajās audzēs
- 3.3. *Ips acuminatus* lidošanas dinamika Stiklu deguma teritorijā 2022. gada vasarā
- 3.4. Stiklu degumā 2021. gada rudenī nokaltušo priežu stumbru kolonizācija ar bīstamākajiem priežu stumbra kaitēkļiem.
- 4.1. Analizēto koku dimensijas šaurlapju kūdreņos (kvartāls, nogabals) MPS Kalsnavas MN
- 4.2. Šķērsdatēto egles klonālo plantāciju paraugkoku gadskārtu platumu sēriju vides mainības informativitātes rādītāji.
- 4.3. Jaukta tipa modeļu, kas apskata tolerances indeksu izteiktākajos zīmīgajos gados periodā 1985. līdz 2015. gadam atkarību no klonu izcelsmes un koku dimensijām, statistiskie rādītāji.

2022. gada darba uzdevumi un to izpilde

Darbs	Darbs, nodevumi	Izpildes termiņš	Rezultāts
1. Zināšanu uzkrāšana par Latvijā reti sastopamu vietējo un introducēto koku sugu atjaunošanu un audzēšanu			
1.1. Veikt ierīkoto liepas, kļavas, dižskābarža, ozola jaunaudzū kopšanas objektu uzturēšanu, uzmērīšanu.	<p>Darbu nolūks: Veikt ierīkoto liepas, kļavas, dižskābarža un ozola jaunaudzū kopšanas objektu uzturēšanu, uzmērīšanu.</p> <p>Lauka darbu laikā Dižskābarža, sarkanā ozola objekti – 2 vēsturiskie stādījumi MPS Kalsnavas MN, viens Jelgavas MN – visiem uzmērīšana, diviem kopšanas izzīmēšana, uzraudzība. Liepas, kļavas jaunaudzū objekti – 2 objekti – uzmērīšana un kopšana.</p> <p>Kamerālo darbu laikā Šajā etapā detalizēta ievākto datu analīze nav plānota. Datu apkopojums un aprēķini par atkārtoti pārmērītajiem objektiem līdz stadijai, kas izmantojami publikācijas sagatavošanai.</p> <p>Rezultāts: pārskats</p>	01.09. 2022.	Veikti visi plānotie lauka darbi, datu apkopojums
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> <p>Rezultāts: pārskats</p>	01.09. 2022.	Veikt jauno stādījumu apsekošanu, un agrotehniskās kopšanas kontrole

1.3.Sagatavot platlapju piemistrojuma audzēšanas iespēju novērtējumu.	Darbu nolūks. Sagatavot platlapju piemistrojuma audzēšanas iespēju novērtējumu. Lauka darbu laikā Platlapju piemistrojums – 16 ozola, 4 skābarža un 3 dižskābarža ilgtermiņa pētījumu objektu uzmērīšana. Kamerālo darbu laikā Šajā etapā detalizēta ievākto datu analīze nav plānota. Sagatavots vispārīgs datu apkopojums un veikti sākotnējie aprēķini. Rezultāts: pārskats	01.09. 2022.	Veikta visa plānotā objektu uzmērīšana, sagatavots datu apkopojums
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 bojājumu mazināšanai.	Darbu nolūks: Aprēķināt vēja noturību raksturojošos koeficientus modeļa pielāgošanai vēja bojājumu vērtēšanai Latvijā, rekomendāciju izstrādei vēja bojājumu mazināšanai. Lauka darbu laikā Veiktas vēja noturības pārbaudes 17 kokiem. Koku apsekošana dabā, parauglaukumu ierīkošana, lauka darbu izpilde. Papildus plānota biomasas un augsnes paraugu ievākšana. Darbu izpilde plānota MPS Jelgavas MN. Kamerālo darbu laikā Datu pēcapstrāde. Rezultāts: pārskats	15.01. 2023.	Veikta objektu izvēlē, saskaņošana, datu ieguve par 17 kokiem un objekta raksturojošo datu ievākšana. Datu analīze veikta kompleksi ar 2.7. uzdevumā iegūtajiem
2.3.Sagatavots vēja bojājumu varbūtības raksturojums nekailciršu mežsaimniecībā.	Darbu nolūks: Raksturot vēja bojājumus saliktās audzēs. Lauka darbu laikā Papildus lauku darbu nav plānoti Kamerālo darbu laikā Literatūras un kopsavilkuma sagatavošana (sinerģija starp pētījumiem). Rezultāts: pārskats	15.01. 2023.	Papildus plānotajam veikta datu ieguve un nodrošināta iegūto rezultātu analīze zinātniskās literatūras rezultātu kontekstā
2.4.Izstrādāti modeļi augsnes sasaluma novērtējumam mežaudzēs atkarībā no gaisa temperatūras	Darbu nolūks: Aprēķināt vēja noturību raksturojošos koeficientus modeļa pielāgošanai vēja bojājumu vērtēšanai Latvijā, rekomendāciju izstrādei vēja bojājumu mazināšanai. Lauka darbu laikā Sniega segas biezuma un temperatūras datu ievākšana, 5	15.01. 2023.	Ierīkoti 6 transeksti (par vienu vairāk, nekā plānots), veikta datu ievākšana, vienādojot metodiku ar LGMC datu

un audzes parametriem.	transekti pa 500m, paraugu ievākšana vidēji reizi 10 dienās uz transektiem ik pa 10m Kamerālo darbu laikā Nav plānoti Rezultāts: pārskats		savietojamības nodrošināšanai
2.6.Veikts biotisko faktoru un vēja bojājumu ietekmes mijiedarbības novērtējums.	Darbu nolūks. Novērtēt biotisko faktoru un vēja bojājumu ietekmes mijiedarbības ietekmi. Lauka darbu laikā Nav plānoti Kamerālo darbu laikā Iepriekšējā etapa un literatūras datu papildus analīze un apkopojums publikācijā Rezultāts: pārskats, publikācija	15.01. 2023.	Sagatavota plānotā publikācija
2.7.Noskaidrota selekcijas un atjaunošanas ietekme uz vēja bojājumu varbūtību.	Darbu nolūks. Novērtēta augsnes sagatavošanas veida ilgtermiņa ietekmi uz vēja noturību. Lauka darbu laikā: Veiktas vēja noturības pārbaudes 17 kokiem, kas aug stādījumos uz pacilām Kamerālo darbu laikā Datu pēcaprāde. Rezultāts: pārskats	15.01. 2023.	Veikta pētījuma objekta ierīkošana, 17 paraugkoku testi, datu analīze.
2.8.Precizēti ugunsbīstamības izmaiņu un ugunsgrēku seku modeļi.	Darbu nolūks. Precizēt ugunsbīstamības izmaiņas un ugunsgrēku seku modeļus. Lauka darbu laikā Pārmērīti parauglaukumi ugunsgrēku ilgtermiņa ietekmes uz koku atmiršanu un izdzīvojušo koku pieaugumu raksturošanai (novērtēti 2 objekti; papildus kontrole paraugkoki uguns neietekmētas audzēs). Augsnes (dažādos dziļumos) un citu degmateriālu mitruma mērījumi un paraugu ievākšana 12 objektos. Pirmie dati tika iegūti līdz ar sniega nokušanu, lai raksturotu sākotnējo augsnes mitrumu. Kamerālo darbu laikā Veikta uguns ietekmēto koku atbildes reakcijas (pieauguma izmaiņu) datu ieguve – pieauguma urbumu apstrāde (līmēšana, slīpēšana, uzmērīšana) un iegūto datu apstrāde	15.01. 2023.	Veikta plānotā 2 objektu pieauguma datu matemātiska analīze, prezentēšana, publicēšana Ievākti augsnes (dažādos dziļumos) un citu degmateriālu mitruma dati 12 objektos. Sagatavot analīzes rezultāts kā publikācijas manuskripts.

	(šķērsdatēšana, papildpieauguma aprēķini), sagatavots apkopojums. Rezultāts: pārskats, publikācija		
3. Biotisko faktoru ietekmes pārmaiņas nākotnes klimatā.			
3.1.Sagatavot dendrofāgo kukaiņu (kaitēkļu) masveida savairošanās draudu raksturojumu.	Darbu nolūks: Sagatavot dendrofāgo kukaiņu (kaitēkļu) masveida savairošanās draudu raksturojumu, izmantojot tīklapseni kā modeļorganismu. Lauka darbu laikā Tīklapsenes savairošanās noslēguma raksturošana, kartējot bojājumus. Kamerālo darbu laikā Novērtēta tīklapsenes savairošanās gadījuma dinamika, veikta datu apkopošana, analīze, sagatavota publikācija. Rezultāts: pārskats, publikācija	15.01.2023.	Veikts kukaiņu lidošanas dinamikas monitorings izmantojot zemesdzies slazdus, populācijas izmaiņu novērtējums, publikācijas manuskripts.
3.2.Klimata pārmaiņu ietekmes 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. Rezultāts: pārskats, publikācija	15.01.2023.	Veikts egļu astoņzobu mizgrauža izlidošanas sākuma monitorings 5 parauglaukumos. Veikts mizgraužu lidošanas dinamikas novērtējums, uzskaitot vaboles reizi nedēļā. Sagatavot analīzes rezultāts kā publikācijas manuskripts.
3.3.Klimata pārmaiņu ietekmētu dendrofāgo kukaiņu sugu novērtējums.	Darbu nolūks. Veikt ar klimata pārmaiņām saistītu dendrofāgu novērtējumu. Lauka darbu laikā Novērtēta <i>Ips acuminatus</i> lidošanas dinamika (lidošanas sākums, maksimums, otrās paaudzes lidošanas sākums maksimums, māsu paaudze). Novērtēta galotņu sežzobu mizgrauža izplatīšanās ārpus deguma teritorijas, izmantojot audžu fotografēšanu ar hiperspektrālo kameru. Izstrādātas rekomendācijas priežu audžu apsaimniekošanai pēc	15.01.2023.	Turpinās galotņu sežzobu mizgrauža <i>Ips acuminatus</i> lidošanas monitorings Stiklu purva deguma teritorijā izmantojot feromonu slazdus. Veikta attālās izpētes datu ieguve un analīze.

	<p>ugunsgrēkiem - stumbra kaitēkļu savairošanās risku mazināšanai (fokusējoties uz galotņu sešzobu mizgrauža ierobežošanu).</p> <p>Kamerālo darbu laikā Novērtēta galotņu sešzobu mizgraužu lidošanas dinamika, sekmes. Novērtēta <i>I.accuminatus</i> izplatīšanās apkārtējās audzēs.</p> <p>Rezultāts: pārskats</p>		
3.4.Veikta mistrojumu analīze audzes un meža masīva līmenī ar mērķi nākotnē nodrošināt noturīgu mežu izveidošanu.	<p>Darbu nolūks. Sagatavot metodiku mistrojuma ietekmes uz dendrofāgu bojājumiem vērtēšanai</p> <p>Lauka darbu laikā Nav plānoti</p> <p>Kamerālo darbu laikā Izstrādāta metodika kaitēkļu apdraudējuma salīdzināšanai mistrotās audzēs un tīraudzēs, kā etalonsugu izmantojot egļu astonezobu mizgrauzi.</p> <p>Rezultāts: pārskats</p>	15.01.2023.	Veikta plānotā metodikas sagatavošana.
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 endomopatogēnās sēnes) vairošanās veicināšanai, mazinot dendrofāgu saimniecisko ietekmi.	<p>Darbu nolūks: Analizēt priežu galotņu sešzobu mizgrauža <i>Ips acuminatus</i> un tā dabisko ienaidnieku - kukaiņu - sugu klātbūtni mežā. Analizēt priežu galotņu sešzobu mizgrauža <i>Ips acuminatus</i> un tā dabisko ienaidnieku - kukaiņu - sugu sastāvu un dinamiku no stumbru nogriežņiem klimata kamerā.</p> <p>Lauka darbu laikā Noteikta dabisko ienaidnieku - plēsēju, parazītoīdu -klātbūtne mežā, ņemot mizas paraugus. Noteikta parazītoīdu lidošanas dinamika un daudzums no dabā ievāktiem stumbra nogriežņiem, inkubējot tos klimata kamerā.</p> <p>Kamerālo darbu laikā Analizēts <i>I.acuminatus</i> dabisko ienaidnieku sugu sastāvs, daudzums, ietekme uz mizgrauža populāciju.</p> <p>Rezultāts: pārskats</p>	15.01.2023.	Izmantojot feromonu dispenserus, galotņu sešzobu mizgrauzis piesaistīts maijā gāztiem paraugkokiem Stiklu degumā un endēmiskai populācijai Ropažu novadā, nogriežņi ievietoti klimata kamerā maisos ar savācējtraukiem. Regulāri ievākti un laboratorijā analizēti paraugi.
3.6.Indikatoru sistēmas izstrāde	Darbu nolūks:	15.01.2023.	Sagatavos pārskats un rekomendācijas

<p>veģetācijas kā indikatora izmantošanai klimata pārmaiņu indicēšanai.</p>	<p>Izstrādāt veģetācijas indikatoru sistēmu klimata pārmaiņu raksturošanai Lauka darbu laikā Nav plānoti Kamerālo darbu laikā Sagatavot metodisko risinājumu veģetācijas indikatoru sistēmas izveidei, ņemot vērā mērķi un notiekošos veģetācijas monitoringus Rezultāts: pārskats</p>		
<p>4. Koku augšanas gaitas izmaiņas nākotnes klimatā</p>			
<p>4.1. Sagatavot klimata komponentes augstuma pieauguma modeļiem.</p>	<p>Darbu nolūks. Sagatavot klimata komponentes augstuma pieauguma modeļiem. Lauka darbu laikā: Veikta paraugkoku nozāģēšanu, precīza uzmērīšana, sagarumošana, nogriežņu marķēšana un transports, centrālo dēļu izzāģēšana uz lentzāģa un marķēšana, frēzēšana precīzi līdz serdei (mērījumi 15 kūdreņos augušām eglēm). Kamerālo darbu laikā Darbs LVMI Silava Dendrohronoloģijas laboratorijā. Veikta augstuma pieauguma un meteoroloģisko faktoru saiknes analīze. Rezultāts: pārskats</p>	<p>15.01. 2023.</p>	<p>Veikti visi plānotie lauka darbi, un datu analīze.</p>
<p>4.2. Novērtēta meteoroloģisko apstākļu ekstrēmu ietekme uz koku pieaugumu.</p>	<p>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 nozāģētajiem paraugkokiem un 4.1. ietvaros noteiktos augstuma pieaugumus. Kamerālo darbu laikā Datu kvalitātes pārbaude, veicot šķērsdatēšanu. Pieauguma ekstrēmu identificēšana, veicot laika rindu specifisku standartizēšanu, gadu ar ekstrēmu gadskārtu platumu (t.s. "zīmīgo gadu") identificēšanai un sasaiste ar meteoroloģisko apstākļu ekstrēmiem.</p>	<p>15.01. 2023.</p>	<p>Veikta analīze, izmantojot papildus ievāktus pieaugumu urbumus un sagatavots pārskats</p>

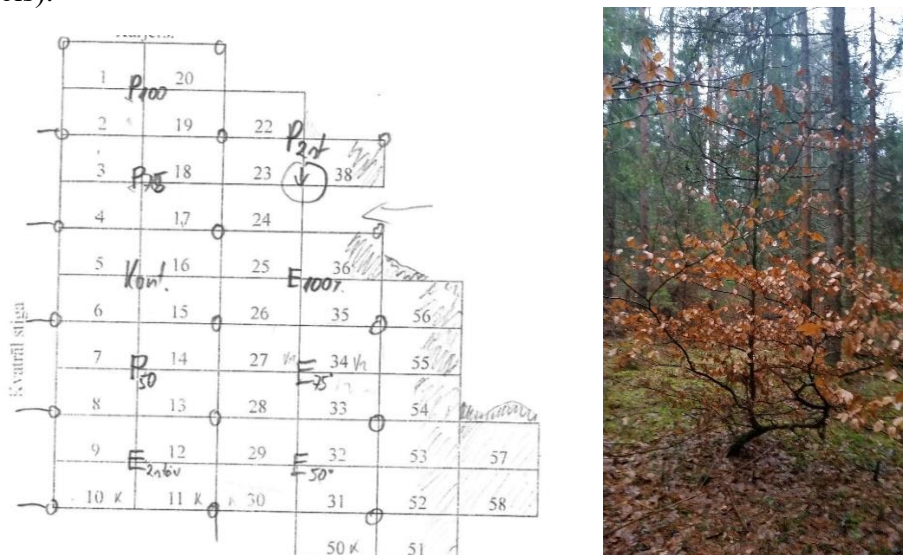
	Rezultāts: pārskats		
5. Modeļ-teritorija kompleksiem ilgtermiņa novērojumiem par mežkopības ietekmi uz meža un ar to saistītajām ekosistēmām ar auglīgām kūdras augsnēm			
5.1. Sagatavot meliorācijas sistēmu renovācijas ietekmes uz augsnes mitruma režīma izmaiņām detalizētu novērtējumu.	<p>Darbu nolūks. Sagatavot detalizētu meliorācijas sistēmu renovācijas ietekmes novērtējumu uz augsnes mitruma režīma izmaiņām.</p> <p>Lauka darbu laikā Plānots ierīkot papildus sistēmas 2 pētījuma objektos MPS Kalsnavas MN. Infrastruktūras ierīkošana paredzēta tajās platībās, kur nākotnē plānota gāzu analizatoru uzstādīšana, lai vienlaikus nodrošinātu iespējami detalizētus datus par siltumnīcefekta gāzu emisijas ietekmējošo parametru stāvokli pirms šo analizatoru uzstādīšanas, kā arī, turpinot monitoringu – pēc uzstādīšanas un pēc veiktās saimnieciskās darbības. Lauku darbi ietver objektu apsekošanu, gruntsūdens aku ierīkošanu, regulāru (reizi mēnesī) paraugu ievākšanu no akām.</p> <p>Kamerālo darbu laikā: Datu analīze plānota noslēdzošajā pētījuma etapā.</p> <p>Rezultāts: pārskats</p>	15.01. 2023.	Veikta šajā pētījuma etapā plānotā divu papildus transektu ierīkošana MPS Kalsnavas MN tajās platībās, kur nākotnē plānota gāzu analizatoru uzstādīšana.
5.2. Sagatavot liela mēroga saimnieciskās darbības ietekmes uz mežu ar meliorētām augsnēm ekosistēmu raksturojumu.	<p>Darbu nolūks. Sagatavot raksturojumu liela mēroga saimnieciskās darbības ietekmei uz mežu ar meliorētām augsnēm.</p> <p>Lauka darbu laikā Plānota ekosistēmu raksturojošo indikatoru inventarizācija: zemsedzes veģētācijas uzskaites laukumu ierīkošana un datu ieguve.</p> <p>Kamerālo darbu laikā Datu apstrāde plānota nākamajā etapā.</p> <p>Rezultāts: pārskats</p>	15.01. 2023.	Veikta zemsedzes veģētācijas uzskaites laukumu ierīkošana, datu ievākšana
5.3. Sagatavots meža masīva mēroga SEG gāzu apmaiņas raksturojums.	<p>Darbu nolūks. Sagatavot meža masīva mēroga SEG gāzu apmaiņas raksturojumu.</p> <p>Lauka darbu laikā Mežsaimniecisko darbu plānošana, uzraudzība.</p>	15.01. 2023.	Saskaņā ar plānu nodrošināt metodiskais atbalsts iesaistītajam MPS personālam, t.sk.

	<p>Kamerālo darbu laikā Metodiskā atbalsta sniegšana iesaistītajam MPS personālam. Rezultāts: pārskats</p>		<p>saplānotas sanitārās cirtes un sekojošie pasākumi ietekmēto audžu nomaiņai tādā veidā, lai nodrošinātu tālākajā izpētē izmantojamu datu kopu. Veikta papildus datu ievākšana.</p>
<p>5.5. Sagatavots koku pieauguma dinamikas un to ietekmējošo faktoru raksturojums.</p>	<p>Darbu nolūks: Vēsturiskās koku pieauguma dinamikas raksturojums. Lauka darbu laikā Pieauguma urbumu datu ievākšana 4 transektēs (400 koki). Kamerālo darbu laikā: Urbumu paraugu apstrāde, uzmērīšana, pieauguma dinamikas raksturošana. Rezultāts: pārskats</p>	<p>15.01. 2023.</p>	<p>Veikta paredzētā transektu ierīkošana un pieauguma urbumu ievākšana, apstrāde, analīze</p>

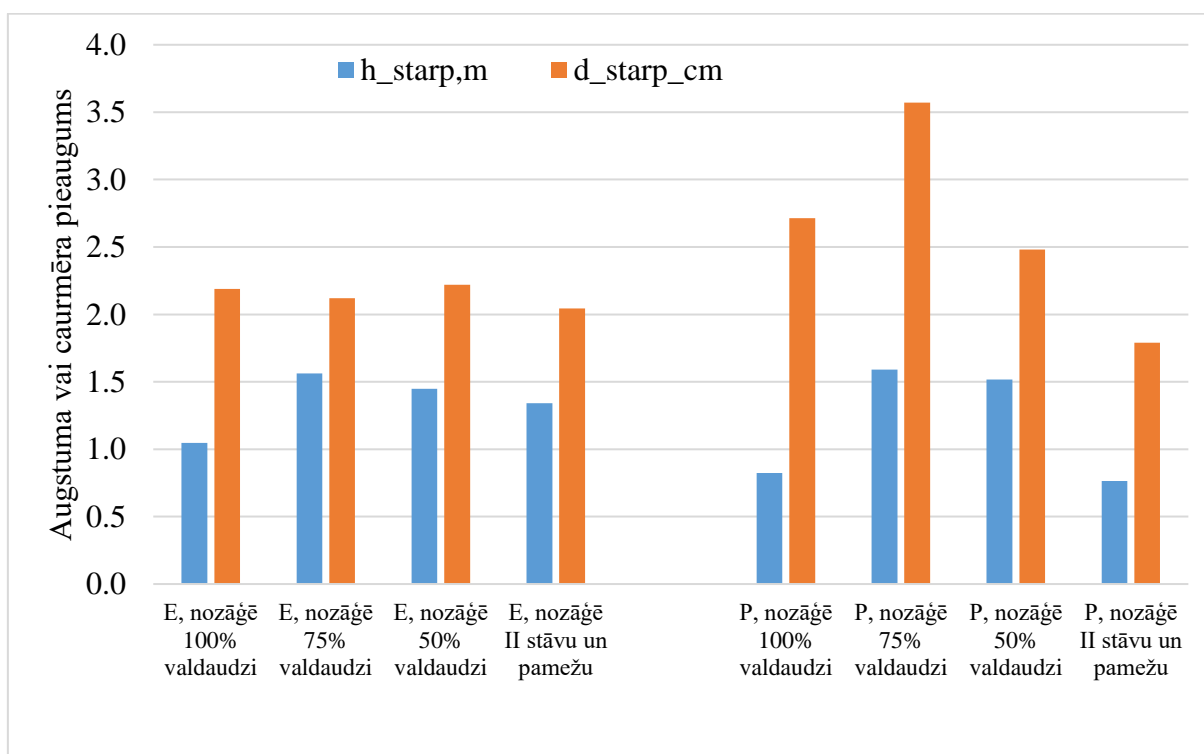
1. Zināšanu uzkrāšana par Latvijā reti sastopamu vietējo un introducēto koku sugu atjaunošanu un audzēšanu.

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

Dižskābarža stādījumā zem audzes vainagu klāja Meža pētīšanas stacija (MPS) Kalsnavas meža novadā (MN) 158. kvartāla 6. nogabalā veikta robežu atjaunošana starp pētījuma parcilām un atkārtota uzmērīšana, lai novērtētu atbildes reakciju uz gaismas apstākļu izmaiņām (1.1., 1.2. attēls).



1.1. attēls. Dižskābarža gaismas apstākļu izmaiņu eksperiments



h_starp,m – augstuma starpība (pieaugums) starp mērījumiem 2016. un 2022. gada, m
d_starp,cm – caurmēra starpība (pieaugums) starp mērījumiem 2016. un 2022. gada, cm

1.2. attēls. Dižskābarža reakcija uz gaismas apstākļu izmaiņām

Nozīmīgākie pieaugumi konstatēti parcilās, kur izvākti 75% no valdaudzes (egles vai priedes) kokiem, tikai tieši konkurējošo audzes otrā stāva un paugas koku izvākšana nav nodrošinājusi ievērojamu efektu.

Sarkanā ozola objektā MPS Kalsnavas MN 208.kv. uzmērīti visi koki, lai iegūtu informāciju izmantotu datu apstrādei un lēmumu pieņemšanai par kopšanas variantiem. Vidējais caurmērs stādījumā 2022. gadā 11.4 ± 0.69 m. Izzīmētas parces kopšanai nākamajā pētījuma etapā.

Tapat veikti sagatavošanas darbi kopšanai – uzmērīšana, atstājamo koku un parcelu robežu izzīmēšana – MPS Jelgavas MN 81.kvartālā.

Veikta iepriekš ierīkoto liepas (1), kļavas jaunaudžu kopšanas objektu atkārtota kopšana. Datu apstrāde un secinājumi šajā darba uzdevumā paredzēti pētījuma noslēguma etapā.

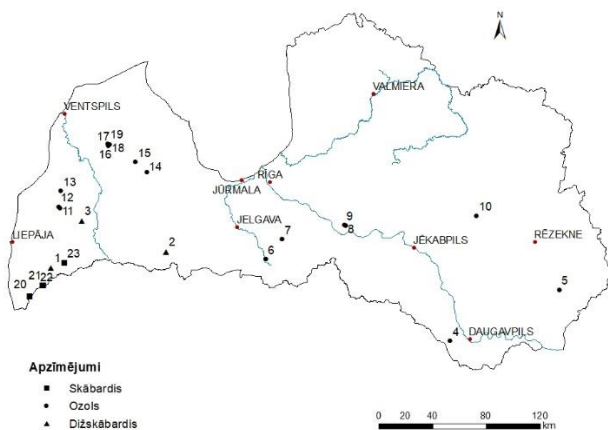
1.2. Ierīkoto dižskābarža, sarkanā ozola, hibrīdās lapegles stādījumu un kopšanas objektu uzturēšana, uzmērīšana

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

Papildus apsekots arī 2021. gadā (pētījuma 1. etapā) ierīkotais dižskābarža stādījums MPS Jelgavas MN, kurā iestādīti viengadīgi dižskābarža ietvarstādi, viengadīgi kailsakņu stādi un līdzīgu dimensiju mežeņi no MPS Šķēdes MN dižskābarža atlasītajām audzēm.

1.3. Platlapju piemistrojuma audzēšanas iespēju novērtējums

Platlapju piemistrojama audzēšanai nozīmīgi raksturot šo kok sugu pašsējas (dabiskās atjaunošanās) sekmes un augšanas gaitu. Šim mērķim pētījumā tiek atkārtoti pārmērīti monitoringa paraglaukumi platlapju audzēs. Saskaņā ar plānoto, šajā etapā pārņemjami veikti ozola, skābarža un dižskābarža audzēs (1.3. attēls, 1.1. tabula), t.sk. ar Dabas aizsardzības pārvaldes atļauju Moricsalas dabas rezervātā.



A



B

1.3. attēls. Ilglaicīgo pētījumu objektu izvietojums (a) un uzmērīšana (b)

1.1.tabula.

Ozolu, skārbaržu un dižskābaržu parauglaukumi

Nr.	Vieta	Valdošā suga	LKS-92	
			X	Y
1	Kalēti	Dižskābardis	345090	6248907
2	Auce	Dižskābardis	430723	6261062
3	Valtaiķi	Dižskābardis	367791	6283696
4	Rauda	Ozols	642487	6194649
5	Pīlori	Ozols	723842	6232747
6	Mežotne	Ozols	504947	6255547
7	Iecava	Ozols	517328	6270443
8	Skrīveri_1	Ozols	564478	6280467
9	Skrīveri_2	Ozols	563641	6281065
10	Barkava	Ozols	661997	6287916
11	Padure	Ozols	351628	6293257
12	Apriķi	Ozols	350606	6294537
13	Gudenieki	Ozols	352190	6306175
14	Sabile	Ozols	416309	6320382
15	Veģi	Ozols	407735	6327879
16	Moricsala_Dakterrags	Ozols	387543	6340057
17	Moricsala_Kaķukalns	Ozols	387746	6340348
18	Moricsala_Dziļdangkalns	Ozols	388454	6341027
19	Dzirkaļrags	Ozols	387319	6341563
20	Liepnieki	Skābardis	329052	6227858
21	Lukna_2	Skābardis	338951	6235820
22	Lukna_1	Skābardis	339041	6235847
23	Mazgramzda	Skābardis	354879	6252488

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 (1.2. tabula). Parauglaukumos novērtēta arī veģetācija, uzskaitīts pamežs, kā arī uzmērītas kritālas un novērtēta to sadalīšanās pakāpe.

Ilglaicīgo pētījumu objektu taksācijas rādītāji

Objekts	Stāvs	Formula	D, cm	H, m	G, m ² ha ⁻¹	M, m ³ ha ⁻¹	N, gab ha ⁻¹
Apriķi	I	10Oz + E	40.0	29.4	48.0	636.6	382
	II	10E	8.0	8.7	0.2	1.2	42
Auce	I	9Sk1Oz + E,Le,BI	28.7	31.1	48.4	714.0	750
	II	10Dk	9.1	10.8	0.2	1.0	28
Barkava	I	10Oz + E,M,A	43.2	30.7	33.3	461.0	226
	II	6M3Os1B + A	11.4	14.4	5.5	40.0	538
	III	3M3Os2B1E1K + Ie	5.2	6.6	0.5	2.0	241
Dzirkaļrags	I	5Oz5P + E	20.2	20.5	14.5	142.5	453
	II	7Oz3PI	6.2	7.2	0.2	0.8	57
Gudenieki	I	9Oz1B + PI	16.6	15.3	13.2	103.9	608
	II	8Oz2B + Os,K	5.4	6.7	0.7	3.1	297
Iecava	I	9Oz1E	36.9	30.5	37.9	520.8	354
	II	10E + K	14.5	17.6	0.9	8.8	57
	III	4PI4Ie2G	4.1	6.6	0.1	0.4	71
Kalēti	I	8Dk2B + L,K	41.6	31.8	34.7	516.3	255
	II						
	III	10Dk	3.3	5.1	0.2	0.5	198
Liepnieki	I	6Oz3Sk1L + Vī	32.5	23.3	32.9	363.1	396
	II	5Ie3Vilk2Sk	7.3	6.9	0.2	0.9	57
Lukna_1	I	7Sk3L	39.6	28.5	41.9	558.9	340
	II	10E	14.1	11.5	0.9	5.2	57
	III	10E	7.3	5.6	1.1	4.1	269
Lukna_2	I	9Sk1L	41.7	28.8	34.7	473.5	255
	II	5E5L	10.7	10.4	1.5	8.3	170
	III	10E	7.4	5.5	0.3	1.1	71
Mazgramzda	I	7Sk3Os + Ba,G,K	56.2	28.3	45.6	599.9	184
	II	7G3Sk	15.2	15.3	3.3	26.1	184
	III	8G2Sk	7.4	7.5	0.9	3.8	198
Mežotne	I	10Oz	77.3	30.9	46.5	656.6	99
	II	10K	29.6	20.8	3.9	38.9	57
	III	9Ie1L	7.5	9.1	1.1	4.9	241
Moricsala_Dakterrags	I	4P4Oz1K1E	38.7	26.0	31.6	372.1	269
	II	7Oz2K1PI	17.7	15.0	1.7	13.3	71
	III	5B5K	7.1	8.3	0.1	0.5	28
Moricsala_Dziļdangkalns	I	8Oz2K	51.9	28.7	51.0	670.5	241
	II	10K + PI	15.6	18.5	2.4	22.2	127
	III	10K	5.2	7.7	0.1	0.3	28
Moricsala_Kaķukalns	I	7Oz3L	48.6	33.2	52.4	780.3	283
	II						
	III	5L5K	5.1	6.6	0.9	3.5	453
Padure	I	10Oz	52.7	31.0	37.1	518.5	170
	II	7G3L	10.7	11.1	0.3	1.5	28
	III	8PI2E	6.4	6.8	0.4	1.5	127
Piloni	I	10Oz + L	57.6	29.4	25.8	346.5	99
	II	6L3E1B	16.0	16.3	2.3	18.0	113
	III	7PI3E	5.7	6.2	0.1	0.5	57
Rauda	I	8Oz1B1K + A	48.4	28.7	26.0	340.7	141

	II	5K2L1P1P1Os	10.4	15.0	4.7	35.4	552
	III	9K1L + Os	3.8	7.0	0.6	2.4	495
Sabīle	I	9Oz1Os	53.3	23.7	34.7	389.6	156
	II	5G5Os	18.7	13.4	1.2	8.1	42
	III	10G	5.8	6.7	0.3	1.2	113
Skrīveri_1	I	6Oz4E	37.3	29.4	44.8	592.9	410
	II	5E3G2Ba + Os	18.8	15.9	3.9	30.8	141
	III	6G3K1Os	8.7	9.4	0.8	4.0	127
Skrīveri_2	I	10E + E,Os	43.4	29.9	37.6	508.5	255
	II	7E2Ba1Os	17.3	19.3	1.7	16.2	71
	III	10E	8.2	8.4	1.3	6.6	241
Valtaiķi	I	8Dk1P1K + E	30.9	26.1	24.4	303.4	325
	II	8Dk2Oz	10.9	16.1	1.6	12.7	170
	III	10Dk	4.1	7.0	0.3	1.0	198
Veģi	I	10Oz + P	59.0	26.2	42.6	520.9	156
	II	7E1P1P1A	19.7	17.6	2.6	21.9	85
	III	10E	5.9	5.5	0.3	1.1	99

Ar Brauna-Blankē metodi transektēs uzmērīta veģetācija kā procentuāls sugu klājums četros stāvos:

- koku stāvā
- krūmu stāvā
- lakstaugu stāvā
- sūnu stāvā

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

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

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

Saskaņā ar pētījuma plānu pirmajos 4 etapos tiek veikta empīrisku datu ievākšana un noslēdzošajā etapā visi ievāktie dati tiek izmantoti analīze vēja noturību raksturojošo modeļu koeficientu aprēķināšanai.

Veikta objektu izvēle, saskaņošana, datu ieguve par 17 kokiem un objekta raksturojošo datu ievākšana. Koku statistiskās vilkšanas testos ir iegūti mehāniskās noturības raksturojošie rādītāji – lieces momenti stumbra pamatnē (kNm) pie primārās un sekundārās lūšanas. Lai izslēgtu vēja un arī paraugkoka galotnes svāra ietekmi uz vilkšanas spēka, stumbra saliekuma un koksnes deformācijas mērījumiem, paraugkoks pirms statistiskās vilkšanas testa izpildes tika nogalotņots. Vilkšana tikai veikta ar divtaktu dzinēja motorvinču (Nordforest, Grube Group, Vācija) un trīšu bloku sistēmu, kas piestiprināta pie enkurkoka pamatnes. Vilkšanas spēks, koka stumbra saliekums un koksnes deformācija tika mērīta, izmantojot TreeQinetic sistēmu (Argus Electronic gmbh, Vācija).

Nodrošināta praktiskā demonstrācija meža īpašniekiem seminārā MPS Jelgavas MN 19.05.2022. (2.1. attēls).



2.1. attēls. Koku vēja noturības demonstrācija MPS Jelgavas MN

Iegūto rezultātu analīze veikta kopā ar 2.7. uzdevuma datu analīzi un ietverta pārskata 2.7. nodaļā.

2.3. Vēja bojājumu varbūtības raksturojums nekailciršu mežsaimniecībā

Tēmas izziņātība

Vejš ir izplatītākais dabiskais traucējums Eiropas mežos, un tā bojātās krājas īpatsvaram pēdējās desmitgadēs ir tendence palielināties (Gregow et al., 2017), radot nozīmīgus sociālekonomiskos un ekoloģiskos zaudējumus (Blennow et al., 2013; Hanewinkel et al., 2013; Schwarzbauer and Rauch, 2013; Thürig, et al., 2013). Mežaudžu platība, kurā ir konstatēti vēja izraisīti bojājumi (ar saknēm izgāzti vai nolūzuši koki), kā arī bojātās kopējās krājas apjoms ir palielinājies arī Latvijā (kopš 2008. gada attiecīgi no 386,2 uz 759,0 tūkst. ha un no 4,7 uz 10,0 milj. m³) (Latvijas meža resursu statistiskā inventarizācija (MSI), 2019). Tomēr patiesais vēja ietekmēto mežaudžu un krājas apjoms var būt lielāks, jo nozīmīgi strukturāli koksnes bojājumi

– vadaudu vai traheīdu saspiešanās (primārā lūšana) (Detter et al., 2015), veidojas pie mazākas vēja slodzes, nekā nepieciešams tā izgāšanai vai nolūšanai (sekundārā lūšana) (Detter et al., 2015). Primārās lūšanas bojājuma ietekmē koks saglabā dzīvotspēju, tomēr samazinās tā mehāniskā stabilitāte un vitalitāte, ilgtermiņā veicinot koka bojāeju (Detter et al., 2015) gan vēja slodzes, gan citu traucējumu, piemēram, sausuma, kaitēkļu vai patogēnu ietekmē (Csilléry et al., 2017; Gardiner et al., 2016; Grillakis, 2019). Primārās lūšanas bojājums var būt atgriezenisks, jo ir novērota koku mehāniskās stabilitātes atjaunošanās, tomēr šis process ir lēns, un tā laikā koks ar pazeminātu noturību ir ilgstoši pakļauts regulārai vēja ietekmei (Detter et al., 2019). Tas paaugstina strukturālu koksnes bojājumu atkārtošanos un līdz ar to arī akumulācijas risku jau pie zemākas vēja slodzes, mazinot noturību pret sekundāro lūšanu (Detter et al., 2019).

Individuālu koku parametri, kā arī visas mežaudzes taksācijas rādītāji, piemēram, biežība, vidējais augstums un caurmērs, sugu sastāvs un kopšanas režīms, būtiski ietekmē visas mežaudzes noturību pret vēja izraisītajiem bojājumiem (Donis et al., 2018). Mežaudzes augstākie koki ir vairāk pakļauti vēja radītajai slodzei, bet resnākie koki būs noturīgāki, savukārt straujas augšanas (vecuma) posmā kokiem augstākas biežības audzēs var veidoties lielāka augstuma/caurmēra attiecība, kas samazina to noturību (Gardiner et al., 2013). Audzes lielākie koki, kā arī koki atvērumu malās (balsta blakus, iekšpus audzē esošos kokus) var uzņemt līdz pat 7-15 reizes lielāku vēja slodzi, nekā pēc augstuma vidējie un otrā stāva koki (Bauhus et al., 2017; Gardiner et al., 2013; Quine, Gardiner, 2007; Gardiner et al., 2013; Peltola et al., 2013). Šāds mehānisms īpaši nozīmīgs ir heterogēnās audzēs, kur koku svārstības vējā ir nevienmērīgas (Bauhus et al., 2017), jo primāro un sekundāro lūšanu audzes līmenī var ierosināt arī atšķirības koku svārstību ritmos (Gardiner et al., 2013).

Atsevišķu audzes pirmā stāva koku sekundārās lūšanas gadījumā var veidoties spējš vainagu klāja nevienmērīgums, kas augstākai vēja ietekmei atsedz līdz tam aizvējā esošos zemākos kokus, kuru individuālā mehāniskā stabilitāte ir mazāk attīstīta (Gardiner et al., 2013). Līdz ar to lielāko koku – vēja aizturētāju/uztvērēju bojāeja vējā var izraisīt visas audzes kopējās mehāniskās stabilitātes pazemināšanos. Tas īpaši nozīmīgi ir saliktās audzēs ar lielāku pirmā stāva koku dimensiju izkliedi (Gardiner, 2021), turklāt bojājumu risku paaugstina, ja to sastāvā ir pēc mehāniskās noturības atšķirīgas koku sugas (Gardiner, 2021).

Saliktajās audzēs pirmo stāvu var veidot gaismas prasīgākās sugas, no kurām apse nereti sasniedz lielākās individuālu koku dimensijas, attīstot augstākus un asimetriskas struktūras vainagus, kas attiecīgi ir pakļauti lielākai vēja slodzei un ir mazāk noturīgi. Individuālu koku primārās un sekundārās lūšanas sasniegšanai nepieciešamā slodze palielinās līdz ar koku stumbra tilpumu (Krišāns et al., 2021, 2022a, 2022b, 2022c), kas apsēm var būt daudzkārt lielāks kā citiem kokiem līdzīgā vecumā. Tomēr individuālu apšu mehāniskā stabilitāte ir būtiski zemāka nekā citām līdzīgu dimensiju gaismas prasīgajām sugām, kā piemēram, bērzam (Krišāns et al., 2022a).

Abas sugas spēj attīstīt spēcīgas sakņu sistēmas, kas nodrošina to noturību pret izgāšanos, bet apses un bērza koksnes mehāniskās izturības atšķirības (Krišāns et al., 2022a) nosaka to, ka pie vienlīdz spēcīga sakņu-augsnes ieenkurojuma ir augstāka iespējamība, ka apse lūzīs (Krišāns et al., 2022a). Savukārt bērzs, lai arī saliekts, tomēr spēs vairāk pretoties sekundārajai lūšanai (Krišāns et al., 2021, 2022a, 2022c). Bērza sakņu sistēmas ļoti veiksmīgās pielāgošanās spējas nodrošina ievērojamu mehānisko stabilitāti arī nestabilās augsnēs (regulāri pārmitras minerālaugsnes, kūdra) (Krišāns et al., 2021, 2022c, 2022d), kas savukārt nav raksturīgi eglei (Krišāns et al., 2020). Latvijas apstākļos egļu veido seklu sakņu sistēmu, kas ir īpaši nenoturīga pret izgāšanos kā sekundārās lūšanas veidu (Krišāns et al., 2020). Tomēr eglei atrodoties audzes otrajā stāvā vēja izraisīto bojājumu risks ir zemāks (Krišāns et al., 2022b).

Šāds novērojums ir iegūts no koku statistiskās vilkšanas testiem, ar kuru palīdzību ir iespējams salīdzināt dažādu sugu vai augšanas apstākļu ietekmi uz koku augsnēs-sakņu ieenkurojuma vai stumbra izturību (Krišāns et al., 2021, 2022a, 2022b, 2022c). Lai arī statistiskās

vilkšanas tests ir universāls koku noturības pārbaudes veids, kura laikā ir iespējams kontrolēt lielu daļu apstākļu, tomēr tas sniedz informāciju tikai par individuālu koku mehāniskās stabilitātes īpašībām (Krišāns et al., 2021, 2022a, 2022b, 2022c). Ar tā palīdzību nav iespējams novērtēt visu audzi veidojošo koku savstarpējās mijiedarbības ietekmi uz kopējo noturību pret dinamisku slodzi, kādu rada vējš (Krišāns et al. 2022b).

Šāds novērtējums ir iespējams salīdzinot spēcīga vēja gadījumā skarto audžu izdzīvojušo un bojājājušo koku parametrus, kas ļauj raksturot to ietekmi uz noturību pret sekundāro lūšanu. Noturībai pret primāro un sekundāro lūšanu ir cieša korelācija, kas nozīmē zemāku sākotnējo noturību pret primāro lūšanu bojājājušajiem kokiem, salīdzinājumā ar izdzīvojušajiem (Krišāns et al., 2021, 2022a, 2022b, 2022c).

Materiāls un metodes

Pētījuma objekts ir pērkonā negaisā bojātas audzes LVM Austrumvidzemes reģiona Pededzes un Lejasciema iecirkņos. Koku dimensiju ietekmes uz bojājuma veidu un to izveidošanās iespējamības raksturošanai vēja skartajās mežaudzēs tika veikta bojātu un ne bojātu koku uzņēmība. Vējā bojāto mežaudžu atlase tika veikta sadarbībā ar LVM Austrumvidzemes reģiona administrāciju, izmantojot attālinātās apsekošanas metodes, ar kurām tika noteikti vējā bojātie nogabali, un, vizuāli novērtējot, atlasīti ar bojāto platību vismaz 30 %.

Pēc transekta metodes pa nogabala garāko asi (diagonāli) izveidoja apļveida parauglaukumus (PL) ar 500 m² platību (2.2. attēls.). Pētījuma veikšanai tika atlasīti tādi nogabali, kuros pēc transekta metodes pa nogabala garāko asi (diagonāli) bija iespējams izveidot vismaz četrus PL. Ja kādā nogabala stūrī, kas nebija uz transekta, bija izteikti bojājumi, tad tādās vietās ielika papildus PL atkarībā no postījumu izvietojuma. Vēja izraisītie bojājumu novērtējums ir veikts 1348 kokiem no 37 PL, kas izvietoti pa deviņiem nogabaliem.

Nogabalos izvietotajos PL katram kokam (gan bojātajiem, gan ne bojātajiem) mērīja stumbra caurmēru 1,3 m augstumā no sakņu kakla (DBH, cm), kopējo un, ja bija, tad arī lūzuma augstumu, kā arī noteica bojājuma veidu: “Nav”, “Izgāzts”, “Lauzts”, “Liekts”, “Slīps” (pacelta augsnes-sakņu plātne). Kā “Slīpi” tika novērtēti tie koki, kuri nebija nogāzušies pilnībā un to stumbri nebija saliekti, bet tiem bija pacelta augsnes-sakņu plātne (slīpums līdz 45°). Savukārt “Izgāzti” tika novērtēti tie koki, kuriem augsnes-sakņu plātne bija pacelta slīpumā virs 45°. No datu kopas izslēgtas koku sugas, kas nesastādīja 5% īpatsvaru no kopējā koku skaita. Pētījumā ir veikta analīze individuālu koku dimensiju un sugas ietekmes uz vēja noturību novērtēšanai.



2.2. attēls. Parauglaukumu izvietojuma piemērs nogabalā

Izmantojot programmu R (versija 4.0.3.) (R Core Team, 2020), ir veikta datu statistiskā apstrāde. Pērkona negaisa izraisīta vēja bojājumu izveidošanās raksturošanai ir izveidots vispārināts lineārs jauktu efektu modelis, kura vispārinātā forma ir šāda:

$$y_{ij} = \mu + suga_i + G_j + HD_i + V_i + (HD_i|kvar tāls_j; nogabals_j) + \varepsilon, \quad (1)$$

kurā kā fiksētie efekti ir iekļauti koka suga, audzes šķērslaukums (G_j), koka augstuma-caurmēra attiecība (HD_i) un koka stumbra tilpums (G_j). Koka augstuma-caurmēra attiecība (HD_i), kvartāls un nogabals ir iekļauti kā nejaušās izvēles (randoma) efekti.

Bojājuma veida (liekts, lauzts, izgāzts vai nebojāts) ietekmējošos faktorus novērtēja ar ordināro binomiālo regresiju:

$$y_{ij} = \mu + suga_i + G\%_j + G_j + D_i + (kvar tāls_j; nogabals_j) + \varepsilon, \quad (2)$$

kurā koka suga, sugas īpatsvars no audzes šķērslaukuma ($G\%_j$), audzes šķērslaukums (G_j), koka DBH (D_i) ir iekļauti kā fiksētie efekti, savukārt kvartāls un nogabals ir iekļauti kā randoma efekti.

Stumbra lūzuma absolūtā augstuma raksturošanai izmantoja lineāru jauktu efektu modeli:

$$y_{ij} = \mu + D_{i REL} + G_j + (kvar tāls_j; nogabals_j) + \varepsilon, \quad (3)$$

kurā kā fiksētie efekti ir iekļauti koka relatīvais DBH (pret audzes vidējo) ($D_{i REL}$) un audzes šķērslaukums (G_j), bet kā randoma efekti ir iekļauti kvartāls un nogabals. Arī stumbra lūzuma relatīvā augstuma (no koka kopējā augstuma) raksturošanai izmantoja lineāru jauktu efektu modeli:

$$y_{ij} = \mu + H_i + D_{i REL} + G_j + (kvar tāls_j) + \varepsilon, \quad (4)$$

kurā koka augstums (H_i) un relatīvais stumbra caurmērs krūšu augstumā ($D_{i REL}$), un audzes šķērslaukums (G_j) ir iekļauti kā fiksētie efekti, savukārt kvartāls ir randoma efekts. Iegūto modeļu fiksēto efektu būtiskumu novērtēja ar Wald χ^2 testu,

Rezultāti un diskusija

Vēja izraisītos bojājumus ietekmē vairāki faktori, kas dažādās vietās un laikā var atšķirties (Gardiner, 2021; Gardiner et al., 2013; Gardiner et al., 2016). Vispārināta lineāra jauktu efektu modeļa dispersijas Wald χ^2 tests (2.1. tabula) uzrādīja būtisku sugas ($p < 0.05$) un HD attiecības ($p < 0.05$), audzes šķērslaukuma ($p < 0.001$) un stumbra tilpuma ($p < 0.001$) ietekmi uz bojājumu izveidošanos. Sugas būtiskums skaidrojams ar apses klātbūtni bojātajās audzēs, par ko liecina būtiskā ($p < 0.05$) modeļa “intercept” vērtība (saistīta ar modeļa koeficientu apsei) (2.1. tabula). Apses kā gaismas prasīgas sugas koku vainagi ir vieni no audzē vislielākajiem un tādējādi tie ir vairāk pakļauti vējam. Attiecīgi, audzes lielākajiem kokiem ir sagaidāms augstāks bojājumu risks, nekā zemākiem kokiem vai kokiem ar šaurākiem vainagiem un mehāniski noturīgāku skeletzaru struktūru (Gardiner, 2021; Gardiner et al., 2013; Gardiner et al., 2016).

Par lielu koku klātbūtnes ietekmi uz bojājumu izveidošanos liecina arī būtiski negatīvie audzes šķērslaukuma ($p < 0.001$) un koku HD attiecības ($p < 0.05$) koeficienti (2.1. tabula). Audzes šķērslaukuma ietekme liecina, ka bojātajās audzēs ir bijusi augstāks lielu koku īpatsvars pie mazāka kopējā koku skaita, bet HD attiecība norāda, ka šie lielākie koki ir bijuši audzē dominējošie, kas attiecīgi ir uztvēruši lielāko daļu vēja slodzes. Turklāt stumbra tilpuma būtiski pozitīvā ($p < 0.001$) ietekme liecina par augstāku bojājumu izveidošanās risku audzēs ar lielākiem kokiem. Stumbra tilpums ir uzskatāms par mehānisko stabilitāti vislabāk raksturojošo radītāju (Gardiner et al., 2016). No vienas puses, koku mehāniskā noturība (nepieciešamās kritiskās vēja slodzes apjoms) paaugstinās līdz ar koku stumbra tilpumu (Krišāns et al., 2022a), tomēr tajā pašā laikā lielāki koki ir vairāk pakļauti vēja slodzei. Turklāt tie var būt arī bioloģiski vecāki, un attiecīgi ar augstāku patogēnu vai citu biotisko bojājumu klātbūtnes iespējamību, kas pazemina to mehānisko stabilitāti (Krisans et al., 2020; Šņepsts et al., 2022).

Vispārināta lineāra jauktu efektu modeļa dispersijas Wald χ^2 tests un modeļa koeficienti, to standartklūdas un būtiskums vēja izraisītu bojājumu izveidošanos ietekmējošajiem faktoriem.

Ietekmējošie faktori	<i>Est.</i>	<i>Std. Error</i>	χ^2
Fiksētie efekti			
Koka suga			27.17*
(Intercept)	2.372*	1.052	
Bērzs	0.152	0.703	
Egle	-0.839	0.726	
Priede	-0.459	0.953	
Audzės šķērslaukums	-0.090**	0.020	21.14***
Augstuma – caurmēra attiecība	-1.288*	0.511	6.34*
Stumbra tilpums	0.941***	0.262	12.91***
$R^2 = 0.62$			

Est. – koeficientu vērtības, *Std. Error* – standartklūda, χ^2 – faktoru ietekme
Būtiskuma līmeņi: *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

Koku sugai, stumbra DBH ($p < 0.001$) un audzės šķērslaukumam ($p < 0.05$) ir būtiska ietekme uz bojājuma veidu (liekts, laužts, izgāzts vai nebojāts) (2.2. tabula).

Ordināras binomiālas regresijas dispersijas Wald χ^2 tests un modeļa koeficienti, to standartklūdas un būtiskums vēja izraisītu bojājuma veida ietekmējošajiem faktoriem.

Ietekmējošie faktori	<i>Est.</i>	<i>Std. Error</i>	χ^2
Fiksētie efekti			
Koka suga			31.90***
Bērzs	-3.564**	1.221	
Egle	-2.440*	1.230	
Priede	1.542	1.542	
Sugas īpatsvars no audzės šķērslaukuma	-0.023	0.014	3.52
Audzės šķērslaukums	-0.068	0.042	5.90*
Stumbra caurmērs	0.079*	0.015	26.78***
$R^2 = 0.29$			

Būtiskuma līmeņi: *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; *Est.* – koeficientu vērtības, *Std. Error* – standartklūda, χ^2 – faktoru ietekme

Koki ar lielāku DBH ir grūtāk nolaužami vai saliekami (Gardiner et al., 2016), tādēļ tādus biežāk izgāž ar saknēm. Tomēr, salīdzinot pa sugām, apses, kurām bija lielāki DBH, vairāk bija laužtas, nekā izgāztas, kas skaidrojams ar sugai raksturīgi spēcīgo un plašo sakņu sistēmu un zemāku koksnes mehānisko izturību (Krišāns et al., 2022a). Bērzi vairāk bija liekti vai izgāzti, un liektie koki ir ar augstāku HD attiecību, kurus var uzskatīt par izstūdzējušiem un tādējādi nenoturīgiem (Gardiner et al., 2016). Augsta koku HD attiecība var veidoties audzēs ar lielu šķērslaukumu, un šādās audzēs kokiem ir salīdzinoši īsāki, augstāk izveidojušies vainagi (Dreimanis, 2016), kas paaugstina to smaguma centrus, samazinot to mehānisko noturību (Gardiner et al., 2013). Savukārt egles biežāk bija izgāztas, ko skaidro sugai raksturīgi vājākā

sakņu sistēma (Nicoll and Ray, 1996). Turklāt dabiski atjaunojušajās audzēs ir izteiktāka sakņu konkurence (Curt and Prevosto, 2003), kas samazina augsnes-sakņu plātnes apjomu, un tādējādi arī sakņu ieenkurojumu (Krišāns et al., 2021).

Lūzuma augstums ietekmē vājgāzē iegūstamo koku monetāro vērtību (Nieuwenhuis and Fitzpatrick, 2002), jo, palielinoties lūzuma augstumam, samazinās bojāto vērtīgāko sortimentu īpatsvars. Tomēr augstāka monetārā vērtība ir ar saknēm izgāztajiem tās pašas sugas kokiem. Izteiktākā būtiskā ietekme uz stumbra lūzuma absolūto augstumu ir novērota relatīvajam DBH (koka DBH pret audzes vidējo DBH), par ko liecina augstāka Wald χ^2 vērtība (Wald $\chi^2 = 12.21$; $p < 0.001$) (2.3. tabula). Audzes lielākajiem kokiem sagaidāmais stumbra lūzums atradīsies augstāk, notiekot pie lielāka pieliktā spēka (Krišāns et al., 2022a).

2.3. tabula.

Lineāra jauka efektu modeļa dispersijas Wald χ^2 tests un modeļa koeficienti, to standartklūdas un būtiskums stumbra lūzuma absolūtā augstuma ietekmējošajiem faktoriem.

Ietekmējošie faktori	<i>Est.</i>	<i>Std. Error</i>	χ^2
Fiksētie efekti			
(Intercept)	-8.442***	3.835	
Relatīvais stumbra caurmērs	5.326*	1.524	12.21***
Audzės šķērslaukums	0.261	0.131	3.95*
$R^2 = 0.42$			

Est. – koeficientu vērtības, *Std. Error* – standartklūda, χ^2 – faktoru ietekme
Būtiskuma līmeņi: *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

Tajā pašā laikā audzes lielākie koki, kas ir augstāki par mežaudzes vidējo koku augstumu būs pakļauti lielākām vēja slodzēm, kas var ietekmēt stumbra lūzuma relatīvo augstumu – lūzuma augstums attiecībā pret koka kopējo augstumu. To būtisks ($p < 0.05$) ietekmējošais faktors ir paša koka augstums (2.4. tabula), kas ir viens no galvenajiem mehānisko stabilitāti raksturojošajiem rādītājiem (Gardiner et al., 2016).

2.4. tabula.

Lineāra jauka efektu modeļa dispersijas Wald χ^2 tests un modeļa koeficienti, to standartklūdas un būtiskums stumbra lūzuma relatīvā augstuma ietekmējošajiem faktoriem.

Ietekmējošie faktori	<i>Est.</i>	<i>Std. Error</i>	χ^2
Fiksētie efekti			
(Intercept)	0.005	0.219	
Koka augstums	-0.019*	0.008	6.49*
Stumbra relatīvais caurmērs	0.231*	0.110	4.42*
Audzės šķērslaukums	0.014*	0.007	4.72*
$R^2 = 0.41$			

Est. – koeficientu vērtības, *Std. Error* – standartklūda, χ^2 – faktoru ietekme
Būtiskuma līmeņi: *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

Valdaudzes koku (audzes augstākos koku) lūšanas augstums veidojas proporcionāli zemāk, nekā audzes zemākajiem kokiem, jo vainagu klāja augšdaļa ir pakļauta lielākai vēja slodzei, kas izraisa lielāku lieces momentu stumbra pamatnē, un tādējādi spēj nolauzt stumbrus ar lielākiem DBH. Turklāt, ja audzes augstākie koki ir ar zemāku koksnes mehānisko noturību un plašu sakņu sistēmu, kā, piemēram, apses, tad šis efekts būs vēl izteiktāks (Krišāns et al., 2022a).

Audzes šķērslaukumam ir būtiska ietekme gan uz stumbra lūzuma absolūto (Wald $\chi^2 = 3.95$; $p < 0.05$), gan relatīvo (Wald $\chi^2 = 4.72$; $p < 0.05$) augstumu (2.3. un 2.4. tabula). Palielinoties audzes šķērslaukumam palielinājās gan absolūtais, gan relatīvais stumbra lūzuma augstums – šķērslaukuma palielināšanās rezultātā stumbra lūzums izveidojās augstāk. Tas ir skaidrojams ar augstu lielu koku īpatsvaru audzē pie lielāka kopējā koku skaita, ko veido otrā stāva koki. Otrā stāva klātbūtne būtiski paaugstina valdaudzes koku sakņu-augsnes sasaisti, novēršot to izgāšanos. Tā vietā pie lielas vēja slodzes var veidoties stumbra lūzums (Krišāns et al., 2022b).

Kopsavilkums

Apsei, bērzam un eglei novērotie raksturīgākie bojājumi (attiecīgi pa sugām– stumbra lūzums (31%) , saliekums (18%) un izgāšanās ar saknēm (14%)) norāda uz koku adaptīvo īpašību ietekmi uz mehānisko noturību pret pērkona negaisa izraisīto vēju. Tas nozīmē, ka sagaidāmo pērkona negaisa izraisīto mežaudžu bojājumu raksturs (koku bojājumu veids–lauzts, saliekts vai izgāzts) var būt daļēji atkarīgs no sugu sastāva (Wald $\chi^2 = 31.90$; $p < 0.001$).

Būtiskā stumbra tilpuma (Wald $\chi^2 = 12.91$; $p < 0.001$) un relatīvā caurmēra (Wald $\chi^2 = 4.42$; $p < 0.05$) ietekme attiecīgi uz bojājumu izveidošanos un stumbra lūzuma relatīvo augstumu norāda, ka mežaudžu ietvaros individuāli lielākie koki ir pakļauti augstākam bojājumu riskam. Ņemot vērā mežaudžu kolektīvās noturības universālās īpatnības, nevienmērīga sastāva un liela dimensiju diapazona apstākļos, ir sagaidāms augstāks bojājumu risks.

Sanitārās cirtes vērtīgāko sortimentu potenciālais iznākums pēc pērkona negaisa vēja izraisītajiem mežaudžu bojājumiem negatīvāk var tikt ietekmēts audžu lielākajiem kokiem potenciāli vērtīgākā stumbra nogriežņa daļā. Jāņem vērā, ka pētījums veikts no meža īpašnieka perspektīvas, nevērtējot mikroplaisas koksni, kuru apjomā un ietekmē uz faktisko zāģmateriālu iznākumu arī var būt atšķirības starp vērtētajām koku sugām.

Vēja izraisīto mežaudžu bojājumu mazināšana būtu iespējama, mežaudzes veidojot homogēnākās gan pēc sugu sastāva, gan individuālu koku dimensiju līmenī. Tas ir īpaši nozīmīgi, palielinoties kokaudzes augstumam un līdz ar to arī sagaidāmajai vēja slodzei. Tāpēc būtu rekomendējama savlaicīga jaunaudžu kopšana un galvenās cirtes veikšana pēc mērķa caurmēra sasniegšanas. Tādējādi tiktu samazināts laika periods, kurā pieaugušas mežaudzes ir pakļautas vēja izraisīto bojājumu riskam.

Audzes ietvaros esošās nevienmērības ietekmes sakarība ir esktrapolējama uz spēcīga vēja (vēja ar augstu ātrumu brāzmās) ietekmi, tādu, kāda ir nākotnē sagaidāma, plašākā reģionā. Tomēr, lai uzlabotu sagaidāmo risku novērtēšanu, ir nepieciešami papildus pētījumi par vēju ietekmi uz mežaudzēm, kā arī par bojājumu novēršanu un nepieciešamo darbu organizēšanu seku likvidēšanai. Tādējādi būtu iespējams pielāgot un arī uzlabot līdzšinējās meža apsaimniekošanas darbības gan pirms, gan pēc bojājumu izveidošanās.

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

Tēmas izziņātība

Rudens-ziemas sezonā – laikā, kad gada griezumā ir vērojami spēcīgākie cikloniskie vēji (Stewart, 1985; Gardiner et al., 2013; Gregow et al., 2017), augsnes sasaluma izveidošanās būtiski paaugstina koku noturību pret vēja izraisītajiem mežaudžu bojājumiem (Peltola et al., 2000; Laapas et al., 2019). Tomēr klimata pasiltināšanās sinerģijā ar pieaugošo nokrišņu heterogenitāti (lielāks lietus nokrišņu apjoms vai dziļāka sniega sega) ziemas sezonā saīsina periodu, kurā augsne varētu sasalt (Venäläinen et al., 2001; Ossó et al., 2022). Augsnes sasaluma izveidošanos ietekmē augsnes mitrums (gruntsūdens līmenis), kā arī sniega sega (biezums un blīvums) (Kellomäki et al., 2010; Gregow et al., 2011) – kura, mežaudzēs ir atkarīga no koku vainagu klāja blīvuma, kas uztver sniegu (Davis et al., 1997).

Koku vainagu klāja blīvums (sniega caurlaidība) ir atkarīgs kā no kokaudzes telpiskās struktūras, tā arī no sugu sastāva (Strasser et al., 2011; Pretzsch & Schütze, 2016). Zem lapu kokiem sniega segas biežums ir līdzīgs kā zem vainagu klāja atvērumiem, bet skuju koku, īpaši egles mežaudzēs, kuras tiek uzskatītas par vēja nenoturīgākām, sniega segas biežums var būt mazāks (Schneider et al., 2019). Tomēr sniega segas biežums dažāda vecuma egles mežaudzēs var atšķirties (Horstkotte & Roturier, 2013). Vecākās mežaudzēs, biežāku un plašāku vainagu klāja atvērumu ietekmē, var izveidoties biežāka sniega sega (Horstkotte & Roturier, 2013), kas kavē augsnes sasaluma veidošanos (Iwata et al., 2010), paaugstinot vēja izraisīto bojājumu iespējamību (Gregow et al., 2011; Kellomäki et al., 2010). Savukārt jaunākā, neretinātā mežaudzē sniega sega var būt plānāka (Horstkotte & Roturier, 2013), sekmējot augsnes sasaluma veidošanos (Iwata et al., 2010), kas savukārt spēj nodrošināt augstāku visas mežaudzes kopējo stabilitāti spēcīga vēja gadījumā (Gregow et al., 2011; Kellomäki et al., 2010).

Gan augsnes sasalumam, gan sniega segai Latvijā ir vērojamas izteiktas reģionālas atšķirības (Rimkus et al., 2018), kas nozīmē arī iespējamās atšķirības mežaudžu noturībā pret vēja izraisītajiem bojājumiem rudens-ziemas sezonā (Gregow et al., 2011; Kellomäki et al., 2010). Tomēr Latvijas centrālajā un austrumu daļā raksturīgajai zemākai gaisa temperatūrai un retākiem atkušņiem (LVĢMC, 2023) var nebūt pozitīvas ietekmes uz augsnes sasaluma izveidošanos pie biezas (blīvas) sniega segas (Iwata et al., 2010). Tādējādi egles mežaudžu noturība pret vēja izraisītajiem bojājumiem ziemas sezonā var būtiski neatšķirties visā Latvijas teritorijā.

Materiāls un metodes

Augsnes sasaluma novērtēšanai egles mežaudzēs pēc meteoroloģiskajiem apstākļiem atšķirīgos Latvijas reģionos (Zemgales līdzenums un Vidzemes augstiene) ir paredzēts izstrādāt modeli, kuram ir nepieciešama informācija par sniega segu raksturojošajiem rādītājiem (piemēram, biežumu, blīvumu, seguma pakāpi un sagulumu, zemes virskārtas stāvokli zem sniega un ledus garozu, ūdens krājumu sniegā) un to saistību ar augsnes sasaluma dziļumu. To ir paredzēts iegūt, veicot regulārus (reizi nedēļā) sniega segu raksturojošo rādītāju un augsnes temperatūras novērojumus no sniega segas izveidošanās brīža līdz tā pilnīgai izzušanai, sākot ar 2022. - 2023. gada ziemas sezonu. Sniega segu raksturojošo rādītāju novērojumi tiek veikti izmantojot Latvijas Vides ģeoloģijas un meteoroloģijas centrā (LVĢMC) pielietoto sniega segas monitoringa metodiku (LVĢMC, 2016). Saskaņā ar to mērījumu veikšanai mežā ir nepieciešams izveidot 500 m garus sniega segas biežuma un blīvuma mērījumu transektus (maršrutus), kā arī kontroli (atklāts lauks ~ 5 km attālumā) 1000 m garumā.

Novērojumu periods ar paraugu ievākšanu vidēji reizi 10 dienās ir sākts līdz ar 2022./2023. gada rudens-ziemas sezonas pirmajām sniega dienām. Pētījuma objekti kopā ir seši (vairāk, nekā plānots) transekti (novērojumu maršruti), kuri ir ierīkoti mežaudzēs un uz lauksaimniecības zemēm Vidzemes augstienē un Zemgales līdzenumā (2.5. tabula; 2.3-2.7. attēli). Novērojumu maršruti mežā ir ierīkoti vidēja vecuma pieaugušās (30–60 un virs 60 gadus vecas) mežaudzēs (katrs 500 m garumā) ar egli kā valdošo sugu. Kontroles mērījumiem ir ierīkoti divi novērojumu maršruti (katrs 1000 m), attiecīgajām mežaudzēm tiešā tuvumā esošās, pēc platības un mikroreljefa piemērotās lauksaimniecības zemju platībās – ganības un sējumi.

2.5. tabula

Mežaudzes, kurās ierīkoti sniega segu raksturojošo rādītāju novērojumu maršruti AS „Latvijas valsts meži” apsaimniekotajās platībās

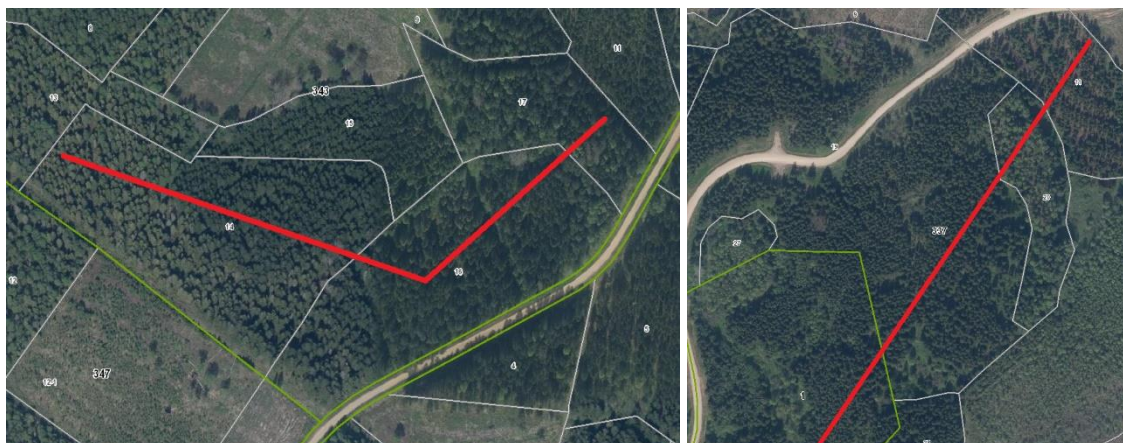
Nr.	Reģions	Veids	Garums (m)	LVM nomenklatūra	Cits apsaimniekotājs
1	Vidzemes augst.	Mežaudze	500	411-337-11, 19, 20, 27, 28	SIA Ingka Investments Management” (kad. nr. 42860040046)
2	Vidzeme augst.	Mežaudze	500	411-434-14, 16, 17	—
3	Vidzeme augst.	Kontrole	1000	—	Kad. nr. 42780100035 un 42780100045
4	Zemgales līdz.	Mežaudze	500	609-60-5	—
5	Zemgales līdz.	Mežaudze	500	609-48-12, 29	—
6	Zemgales līdz.	Kontrole	1000	—	Kad. nr. 80480170061, 80480170060, 80480170059 un 80480170058



2.3. attēls. Sniega segas ietekmes uz augsnes sasaluma izveidošanos novērojumu maršrutu atrašanās vietas Zemgales līdzenumā un Vidzemes augstienē



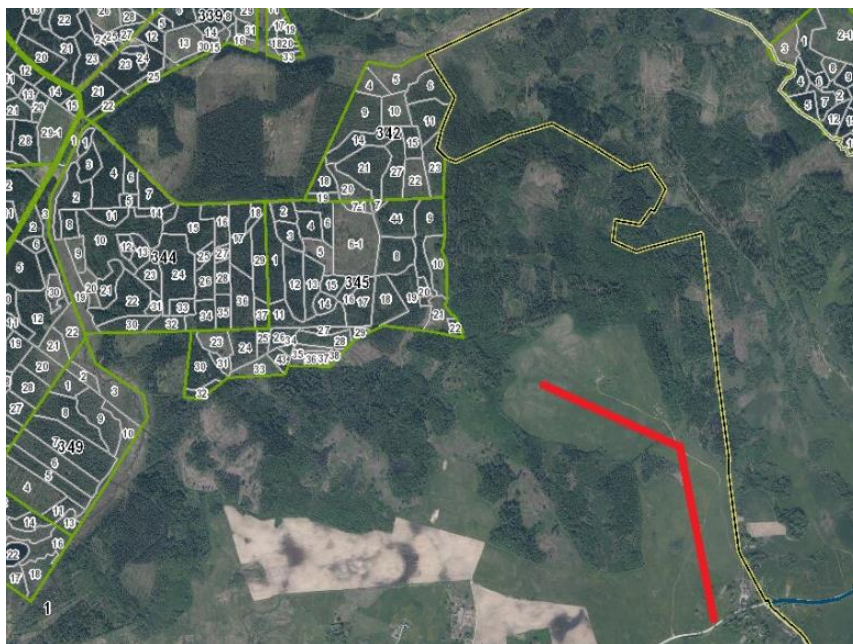
2.4. attēls. Sniega segas ietekmes uz augsnes sasaluma izveidošanos novērojumu maršruti LVM Zemgales reģiona Klīves iecirknī (609. kvartālapgabala 48. un 60. kvartāli)



2.5. attēls. Sniega segas ietekmes uz augsnes sasaluma izveidošanos novērojumu maršruti LVM Rietumvidzemes reģiona Piebalgas iecirknī (411. kvartālapgabala 343. un 337. kvartāli)



2.6. attēls. Sniega segas ietekmes uz augsnes sasaluma izveidošanos kontroles novērojumu maršruta novietojums Zemgales līdzenumā attiecībā pret LVM Zemgales reģiona Klīves iecirkņa (609. kvartālapgabala) 48. un 60. kvartāliem



2.7. attēls. Sniega segas ietekmes uz augsnes sasaluma izveidošanos kontroles novērojumu maršruta novietojums Vidzemes augstienē attiecībā pret LVM Rietumvidzemes reģiona Piebalgas iecirkņa (411. kavrtālapgabala) 343. un 337. kvartāliem.

Maršrutu sākumu un beigu punktiem ir noteiktas GPS koordinātas un ir veikta to marķēšana dabā. Katrā maršrutā (gan mežā, gan uz lauka) sniega segas biežumu ar mērlatu (precizitāte 1 cm) mēra pēc katrām 10 m, bet pēc pirmajiem 50 m katros nākamajos 100 m nosaka sniega svaru noteiktam tilpumam, izmantojot mērcilindru un rokas svarus (precizitāte 5 g).

Novērojumu sezonas gaitā mērījumu punktos meža maršrutos ir paredzēts izvietot pastāvīgas mērlatas, lai novērtētu to izmantošanas iespējas turpmākajās sezonās (2.8. attēls). Pastāvīgo mērlatu izmantojamības pārbaude un salīdzinājums ar pārnēsājamo mērlatu ir nepieciešams, lai noskaidrotu sniega segas izveidošanās īpatnības ap to, jo ir vērojama pastiprināta sniega uzkrāšanās, kā arī tās ietekme uz sniega kušanu (latas akumulētā siltuma vai ēnas ietekmē).



2.8. attēls. Sniega segas biežuma mērīšana ar pastāvīgi novietotu mērlatu

Sniega segas kvantitatīvo un kvalitatīvo īpašību raksturojums paredz sniega īpašību ietekmes uz augsnes sasaluma izveidošanos, dziļumu un noturību novērtēšanu. Sniega segas un tās virsmas, kā arī zemes virskārtas stāvokli novērtē, raksturojot to kvalitatīvās īpašības atbilstoši LVGMC metodikai (2.6.–2.9. tabulas) (LVGMC, 2016).

2.6. tabula.

Sniega segas virsmas stāvokļa raksturojums

Sniega (ledus) raksturojums	Redzamās apkārtnes pārklātība ar sniegu (balles)	Kods	
Ledus	> 1	0	
Slapjš vai sablīvējies sniegs (ar vai bez ledus)	2-4	1	
	5-9	2	
	10	vienmērīgs slānis	3
	10	nevienmērīgs slānis	4
Sauss, irdens sniegs	2 - 4	5	
	5 - 9	6	
	10	vienmērīgs slānis	7
	10	nevienmērīgs slānis	8
Sniegs ar dziļām kupenām, sanesumiem		9	

2.7. tabula.

Sniega segas stāvokļa raksturojums

Stāvoklis	Kods
Svaigs puteklīveida sniegs	0
Svaigs pūkains sniegs	1
Svaigs ķepīgs sniegs	2
Vecs irdens sniegs	3
Vecs blīvs sniegs	4
Vecs mitrs sniegs	5
Sniega garoza nesaistīta ar sniegu zem tās	6
Blīvs sniegs ar garozu virspusē	7
Mitrs sniegs ar garozu virspusē	8
Pārlietu mitrs (slapjš) sniegs	9

Sniega segas saguluma raksturojums

Sagulums	Kods
Vienmērīga sniega sega, sasalusi augsne, kupenu nav	0
Vienmērīga sniega sega, atkususi augsne, kupenu nav	1
Vienmērīga sniega sega, augsnes stāvoklis nav zināms, kupenu nav	2
Nevienmērīga sniega sega, sasalusi augsne, nelielas kupenas	3
Nevienmērīga sniega sega, atkususi augsne, nelielas kupenas	4
Nevienmērīga sniega sega, augsnes stāvoklis nav zināms, nelielas kupenas	5
Ļoti nevienmērīga sniega sega, sasalusi augsne, lielas kupenas	6
Ļoti nevienmērīga sniega sega, atkususi augsne, lielas kupenas	7
Ļoti nevienmērīga sniega sega, augsnes stāvoklis nav zināms, lielas kupenas	8
Sniega sega ar atkusumiem	9

Piezīme: Raksturojot kupenas, jāņem vērā sniega biezuma starpību starp vidējo sniega biezumu apkārtnē un kupenu biezumu.

Zemes virskārtas stāvokļa raksturojums

Stāvoklis	Kods
Augsne atkususi	0
Sasalusi sausa augsne (augšne cementēta ar ledu, ledus kristāli nav redzami)	1
Sasalusi, vāji cementēta ar ledu (mēreni cieta augsne)	2
Sasalusi, vāji cementēta ar ledu (cieta augsne)	3
Sasalusi, stipra cementēta ar ledu (ļoti cieta augsne)	4

Sniega seguma pakāpe maršrutā, kā arī sniega seguma pakāpe ar ledus garozu uz zemes, sniega blīvums un ūdens krājums sniegā tiek aprēķināts atbilstoši LVĢMC metodikai (LVĢMC, 2016).

Sniega seguma pakāpe uzmērīšanas maršrutā:

$$L_m = B / K * 10 \quad (1)$$

kur B – faktiskais punktu skaits ar sniega segas biezumu;

K – kopējo mērījumu punktu skaits.

Sniega seguma pakāpi ap lauka maršrutu nosaka vizuāli - 1 balle ir 1/10 daļa no maršruta redzamas apkārtnes.

Sniega seguma pakāpe ar ledus garozu uz zemes:

$$L_k = L / K * 10, \quad (2)$$

kur L - faktiskais punktu skaits ar ledus garozu uz zemes,

K - kopējais mērījumu punktu skaits

Sniega blīvums ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$):

$$\rho_{\text{SNIEGS}} = m / 10 * h, \quad (3)$$

kur m – sniega masa (g);

h – cilindra skalas nolasījums.

Ūdens krājums sniegā (mm):

$$Q_C = 10 * g * h, \quad (4)$$

kur g – vidējais sniega blīvums ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$);

h – vidējais sniega biezums (cm).

Ūdens ledus garozā (mm):

$$Q_k = Z_k * 0,8, \quad (5)$$

kur Z_k – vidējais ledus garozas biezums (mm).

Ūdens krājums ar ūdeni piesātinātā sniegā (mm):

$$Q_{Cb} = Z_{cb} * 8, \quad (6)$$

kur Z_{cb} – vidējais ar ūdeni piesātināta sniega biezums (cm).

Ūdens krājums tīra sniega ūdenī (mm):

$$Q_b = Z_b * 10, \quad (7)$$

kur Z_b – vidējais tīra sniega ūdens biezums (cm).

Kopējais ūdens krājums (mm):

$$Q = Q_C + Q_k + Q_{Cb} + Q_b, \quad (8)$$

kur Q_C – ūdens krājums sniegā,

Q_k – ūdens ledus garozā,

Q_{Cb} – ūdens krājums ar ūdeni piesātinātā sniegā,

Q_b – ūdens krājums tīra sniega ūdenī.

Lai arī sniega blīvuma aprēķināšanai nepieciešamos mērījumus pēc LVĢMC metodikas neveic, ja mērījumu punktā un 5 m rādiusā ap to sniega segas biezums ir mazāks par 5 cm vai ir tikai kušanas ūdens, sniegs piesātināts ar ūdeni vai ledus garoza, tomēr šajā pētījumā tas tiks darīts, lai sniega segas izveidošanās ietekme uz augsnes sasalumu tiktu pilnīgāk novērtēta. Turklāt atsevišķos gados 5 cm bieža sniega sega var būt visas sezonas maksimālā vērtība.

2022./2023. gada novērojumu sezonā mežaudžu vainaga klāja ietekmes uz sniega segas izveidošanos novērtējumam katrā novērojumu punktā novērtē tā novietojumu zem koku vainagu klāja vai atvērumā/laucē (2.10. tabula).

Novērojumu punktu novietojuma attiecībā pret mežaudžu vainagu klāja raksturojums

Novietojums	Raksturojums
Zem vainagu klāja	Virs mērījuma punkta ir gan mežaudzes pirmā vai/un otrā stāva koki.
Atvērums	Mērījuma punkts atrodas atvērumā/laucē, kuras malās esošo koku vainagi ir attīstījušies audzes malas efekta ietekmē, vai tur esošie koki ir gājuši bojā/nocirsti.

Šāds samērā robusts novietojuma iedalījums ir izvēlēts tāpēc, ka ir ņemta vērā sniega segas izveidošanās mežā augstā heterogenitāte. To ietekmē ne tikai koku sugu sastāvs, to vainagu klāja īpatnības un morfometriskās īpašības, bet arī vēja ātrums un gaisa turbulenta kustība snigšanas laikā, kā arī sniega uzkrāšanās vainagos un vēlāka tā nokrišana uz zemes (Link & Marks, 1999).

Sniega segas ietekmes uz augsnes sasaluma dziļuma izplatību novērtēšanai katrā maršrutā tiek veikti pastāvīgi augsnes temperatūras mērījumi ($0,5^{\circ}\text{C}$ precizitāte) ar ielasīšanas intervālu reizi divās stundās, izmantojot temperatūras logerus "21G" (ProgesPlus, Francija). Mērījumi tiek veikti dabiskas sniega segas un attīrītas zemes virskārtas apstākļos 10, 20, 30, 40 un 50 cm dziļumā (2.11. attēls). Negatīvas temperatūras vērtības tiek pieņemtas kā augsnes sasalums. Novērojumu sezonas beigās šie mērījumi tiks apkopoti un augsnes temperatūras (sasaluma) vertikālais gradients tiks analizēts saistībā ar sniega segas biezumu, blīvumu, saguluma raksturu un ūdens krājumu.



2.9. attēls. Augsnes temperatūras mērījumi attīrītas zemes virskārtas apstākļos

Rezultāti un diskusija

Novērojumu maršrutos fiksētais sniega segas biezums un blīvums 2022.-2023. gada sezonā atšķīrās būtiski ($p < 0.05$) starp Vidzemes augstieni un Zemgales līdzenumu (2.11. un 2.12. tabula, 2.10. un 2.11. attēls.). Sniega segas biezums bija būtiski atšķirīgs arī mežaudžu ietvaros atkarībā no novērojumu punktu novietojuma attiecībā pret vainagu klāju. Atvērumos tas bija lielāks, kas Vidzemē arī būtiski neatšķīrās no kontroles novērojumiem. Līdzšinējā novērojumu periodā ir fiksēta regulāra snigšana, kas kombinācijā ar Latvijas teritorijas reģionālajām meteoroloģisko apstākļu atšķirībām (Rimkus et al., 2018; LVĢMC, 2023) izskaidro gan pastāvīgu sniega segas biezuma palielinājumu, gan tās lielākās vērtības Vidzemes augstienē. Novērojumu periodā fiksētā regulārā snigšana (sniega uzkrāšanās bez atkušņu dienām) izskaidro novērojumu datuma būtisko ietekmi uz sniega blīvumu abos reģionos.

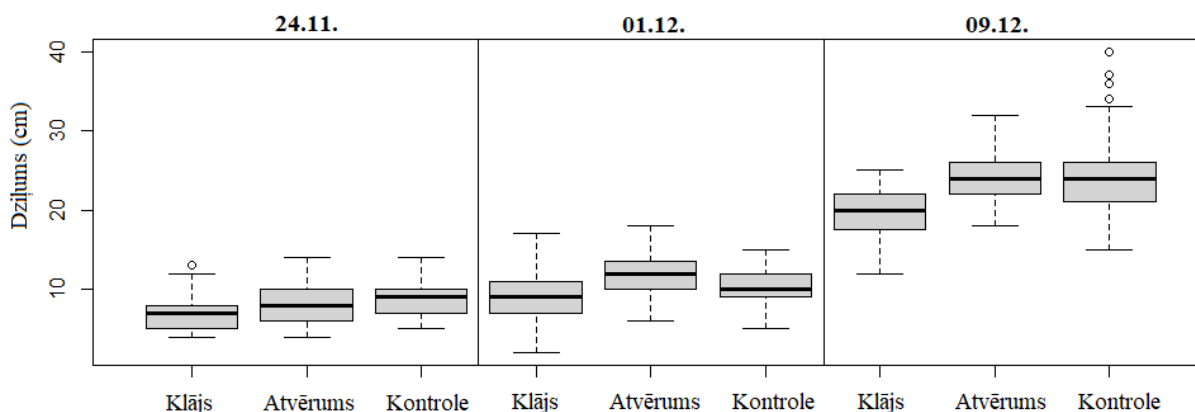
Sniega segas biezums un blīvums novērojumu maršrutos Vidzemes augstienē un Zemgales līdzenumā 2022.-2023. gada sezonā

Vieta	Sniega segas biezums (cm)			Sniega blīvums ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	
	24.11.	01.12.	09.12.	01.12.	09.12.
Vidzemes augstiene	8.4±0.4	10.2±0.4	22.5±0.7	0.02±0.06	1.42±0.06
LVM 411-337 kv.	7.4±0.6	8.6±0.8	19.2±1.0	0.02±0.09	1.75±0.18
LVM 411-343 kv.	8.0±0.4	11.4±0.4	22.4±0.9	0.02±0.09	1.30±0.05
Kontrole	9.0±0.4	10.4±0.4	24.2±0.9	0.02±0.09	1.31±0.05
Zemgales līdzenums	3.6±0.2	5.3±0.2	16.4±1.0	0.09±0.03	0.13±0.04
LVM 609-48 kv.	2.9±0.2	5.5±0.3	11.6±0.8	0.09±0.04	0.14±0.09
LVM 609-60 kv.	2.6±0.2	5.0±0.4	9.7±0.7	0.09±0.04	0.14±0.09
Kontrole	4.5±0.3	5.4±0.2	22.2±0.5	0.09±0.03	0.12±0.02

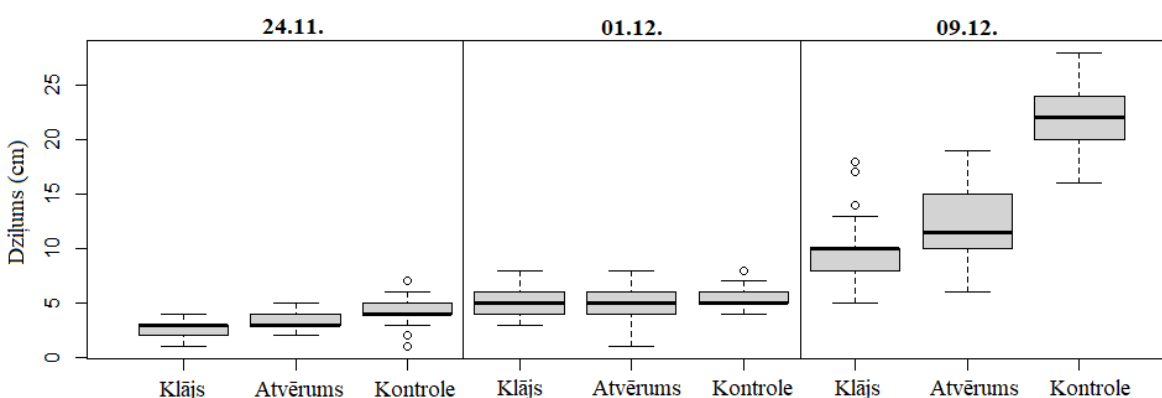
Dispersijas analīzes rezultāti sniega segas biezuma un blīvuma atšķirībām pa reģioniem un atkarībā no novērojumu veikšanas datuma un novērojumu punktu novietojumu attiecībā pret mežaudzes vainagu klāju

Parametrs	Brīvības pakāpju skaits	Noviržu kvadrātu summa	Vidējā noviržu kvadrātu summa	F-vērtība	P-vērtība
<i>Sniega dziļums</i>					
Reģions	1	8253,00	8253,00	170,20	<0.001*
Atlikumi	1198	58098,00	48,00		
<i>Sniega blīvums</i>					
Reģions	1	0,27	0,28	16,71	<0.001*
Atlikumi	78	1,29	0,02		
<i>Sniega dziļums Vidzemē</i>					
Novietojums	2	456,00	228,00	15,00	<0.001*
Datums	1	20495,00	20495,00	1347,43	<0.001*
Novietojums : datums	2	90,00	45,00	2,96	0.05
Atlikumi	594	9035,00	15,00		
<i>Sniega dziļums Zemgalē</i>					
Novietojums	2	3135,00	1568,00	150,40	<0.001*
Datums	1	16230,00	16230,00	1557,30	<0.001*
Novietojums : datums	2	2465,00	1233,00	118,30	<0.001*
Atlikumi	594	6190,00	10,00		
<i>Sniega blīvums Vidzemē</i>					
Novietojums	2	0,01	0,00	0,29	0.75
Datums	1	0,18	0,18	12,01	<0.01*
Novietojums : datums	2	0,02	0,01	0,72	0.49
Atlikumi	34	0,51	0,02		
<i>Sniega blīvums Zemgalē</i>					
Novietojums	2	0,01	0,00	0,67	0.52
Datums	1	0,40	0,40	105,65	<0.01*
Novietojums : datums	2	0,03	0,02	4,37	<0.05*
Atlikumi	34	0,13	0,00		

Novērots, ka novietojumam vai nu zem koku vainagu klāja vai atvērumā/laucē ir būtiska ietekme uz sniega segas biezumu abos reģionos. Šīs atšķirības izteiktākas bija novērojumu sezonas sākumā, kā arī trešajā nedēļā, kad sniega segas biezuma palielinājums bija straujāks. Vidzemē mežaudžu sniega segas biezums starp atvērumiem un kontroli būtiski neatšķīrās, kamēr Zemgalē kontroles novērojumos ir fiksētas būtiski ($P < 0,05$) lielākas biezuma vērtības.



2.10. attēls. Sniega segas biezuma izmaiņas atkarībā no novērojumu punktu novietojuma attiecībā pret mežaudžu vainagu klāju novērojumu maršrutos Vidzemes augstienē



2.11. attēls. Sniega segas biezuma izmaiņas atkarībā no novērojumu punktu novietojuma attiecībā pret mežaudžu vainagu klāju novērojumu maršrutos Zemgales līdzenumā

Saskaņā ar projekta izpildē plānoto, ierīkotajos novērojumu maršrutos (transektos), sākotnējie iegūtie dati kvantificē būtisko vainagu klāja ietekmi uz sniega segas biezumu, norādot uz koku vainagu klāja sniega caurlaidības īpatnībām. Tādējādi sakņu-augsnes plātnes projekcijas zonā sniega segas biezums var būt mazāks (Iwata et al., 2010; Horstkotte & Roturier, 2013). Šādā situācijā augsnes sasalums var izveidoties pietiekams, lai nozīmīgi paaugstinātu sakņu-augsnes sasaisti (Kellomäki et al., 2010; Gregow et al., 2011), īpaši egles mežaudzēs, kuras tiek uzskatītas par vēja nenoturīgākām (Peltola et al., 2000). Saikne ar augsnes sasalumu un sniega segas parametriem mežaudzēs un arī uz atklātā lauka (kontrolē) tiks raksturota turpmākajā novērojumu periodā, ievācot lielāku datu kopu. Papildus tam, nākamajā novērojumu sezonā ir nepieciešams paplašināt (dažādot) novērojumus gan ar augstas (līdz pirmās kopšanas vecumam), gan zemas biežības (šā brīža rotācijas vecums) mežaudzēm (arī pēc meža tipa), kurās vainagu klāja ietekme uz sniega segas un attiecīgi arī augsnes sasalumu būtu labāk savstarpēji salīdzināma. Tāpat ir nepieciešama novērojumu maršrutu garumu (novērojumu punktu skaita) pielāgošana konkrētās mežaudzes platībai, kā arī sniega segas biezuma, blīvuma un augsnes sasaluma novērtēšana koku sakņu (vainagu) projekciju zonā.

2.6. Biotisko faktoru un vēja bojājumu ietekmes mijiedarbības novērtējums

Saskaņā ar plānoto veikta analīze un sagatavota publikācija (statuss – publicēts): Šnepsts G., Krišāns O., Matisons R., Seipulis A., Jansons Ā. (2022) Cervid Bark-Stripping is an Explicit Amplifier of Storm Legacy Effects in Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) Stands. *Forests*, 13(11), 1947; <https://doi.org/10.3390/f13111947>

Materiāls un metodes

Vērtēta biotisko faktoru – briežu dzimtas dzīvnieku izraisīto stumbru mizas bojājumu un sakņu trupes – ietekme uz parastās egles mehānisko stabilitāti (noturību pret vēja ietekmi), balsoties uz citā LVMI Silavas pētījumā ievāktiem datiem, jo jaunu empīrisku datu ievākšana šajā uzdevumā nebija plānota. Kopā analizēti dati par 87 pirmā stāva kokiem (40 līdz 80 gadus veci) no piecām audzēm sausieņos un kūdreņos. Paraugkoku caurmēri un augstumi variēja attiecīgi no 16 līdz 46 cm un no 15 līdz 31 m.

Stumbra mizas un sakņu trupes ietekmi uz stumbra pamatnes lieces momentu pie primārās un sekundārās lūšanas novērtēja attiecinātu pret koka izmēru (stumbra tilpumu) ar vispārinātiem jaukta efekta modeļiem:

$$y_{ijk} = vol_{ij} + bv_k + vol_{ij} : bv_k + (audze_j) + \varepsilon_{ij}, \quad (1)$$

kur kā fiksētie faktori ir iekļauti vol_{ij} koka izmēra kovariante (stumbra tilpums) un bv_k biotiskā bojājuma veids, bet $vol_{ij} : bv_k$ ir koka izmēra un biotiskā bojājuma veida mijiedarbība. Lai ņemtu vērā nevienādo paraugkoku sadalījumu, audze modelī tika iekļauta kā brīvā izvēles (randoma) faktors ($audze_j$). Fiksēto faktoru būtiskumu novērtēja ar Walda χ^2 testu. Datu analīze veikta programmā “R” (versija 4.2.1) (R Core Team, 2022) ar funkciju pakotni “lme4” (Bates et al., 2015).

Rezultāti un diskusija

Ar vēja izraisītajiem mežaudžu bojājumiem visbiežāk saprot koku nolūšanu vai izgāšanos ar saknēm, bet nozīmīgi ir arī sākotnējie koksnes strukturālie bojājumi (primārā lūšana), kuri nav vizuāli novērojami (Detter et al., 2013, 2015). To ietekmē tiek traucēti koka fizioloģiskie procesi, kas var izraisīti sausuma stresu (Detter et al., 2013, 2015) un paaugstināt koka uzņēmību pret negatīvajiem spēcīga vēja gadījumu pēctecības efektiem, piemēram, kaitēkļiem (Seidl and Rammer, 2017). Šie efekti, savukārt, samazina koku noturību pret vēja slodzēm, izraisot negatīvu ietekmju atgriezenisko saiti (Honkaniemi et al., 2018). Lai arī abu biotisko faktoru ietekmē būtiski samazinās parastās egles mehāniskā stabilitāte (Krisans et al., 2020a, 2020b; Snepsts et al., 2020), tomēr mizas bojājumu efekts bija stiprāks (izteiktāks). Par to liecina būtiski ($p < 0,01$) atšķirīgā mijiedarbība (mazāks taisnes slīpums) starp stumbra pamatnes lieces momentu pie primārās lūšanas un stumbra tilpumu kokiem ar mizas bojājumiem (2.12. attēls, 2.13. tabula). Tas nozīmē, ka augstāks koksnes strukturālo bojājumu risks ir eglei ar mizas bojājumiem nekā ar sakņu trupī, kas attiecīgi norāda arī uz augstāku jutību pret negatīvajiem spēcīga vēja gadījumu pēctecības efektiem (Cawley et al., 2014; Csilléry et al., 2017). Stiprāka mizas bojājumu ietekme ir skaidrojama ar to, ka šāds bojājums izraisa arī patogēnu invāziju, pastiprinot koka fizioloģisko procesu traucējumus, un līdz ar to arī asimilātu pārvietošanu un augšanu (Burneviča et al., 2016; Cukor et al., 2019; Vacek et al., 2020). Savukārt sakņu trupe ir hronisks bojājums, kuram koks spēj pielāgoties, kompensējot koka bazālās daļas un sakņu mehāniskās izturības pazeminājumu (Puhe, 2003).

Augstais egles izgāzušos koku īpatsvars gan testos (Krisans et al., 2020a, 2020b), gan spēcīga vēja gadījumos (Krišāns et al., 2020c), liecina par sakņu sistēmas zemāku noturību salīdzinājumā ar stumbru. Abu biotisko bojājumu līdzīgā ietekme ($p > 0,05$) uz sekundāro lūšanu (izgāšanas ar saknēm vai stumbra lūzums) nozīmē līdzīgas bojāto koku izdzīvošanas iespējas spēcīga vēja gadījumā neatkarīgi no bojājuma veida. Biotiskie bojājumi nerada tiešu

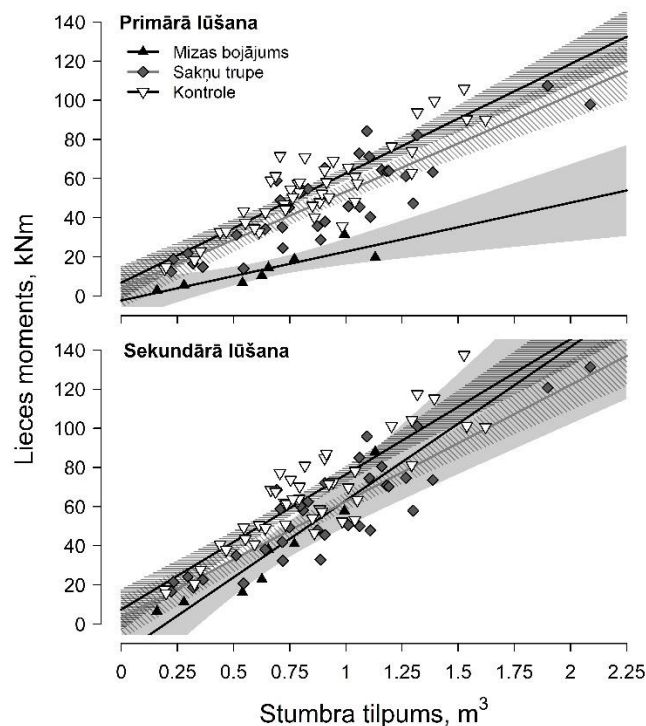
egles audžu kopējās stabilitātes samazinājumu īstermiņā (Díaz-Yáñez et al., 2017), bet gan identificē kokus ar augstāku jutību pret negatīvajiem spēcīga vēja gadījumu pēctecības efektiem (Cawley et al., 2014; Csilléry et al., 2017), kuru klātbūtne audzēs samazina to kopējo noturību ilgtermiņā (Díaz-Yáñez et al., 2017).

2.13. tabula.

Vispārināta lineāra jauktu efektu modeļa dispersijas Wald χ^2 tests un faktoru būtiskums parastās egles stumbra pamatnes lieces momentam pie primārās (BBM_{pl}) un sekundārās (BBM_{st}) lūšanas atkarībā no biotisko faktoru (stumbra mizas bojājuma un sakņu trupes) klātbūtnes. σ^2 —kopējā variācija; τ_{00} —variācija atkarībā no nejaušās izvēles (randoma) faktora (audze); ICC— nejaušās izvēles (randoma) faktora ietekmes īpatsvars.

Fiksētie faktori (χ^2)	Primārā lūšana		Sekundārā lūšana	
	χ^2	<i>p</i> -vērtība	χ^2	<i>p</i> -vērtība
(Intercept)	0,14	0,71	4,29	< 0,05
V _{st}	5,59	< 0,05	35,13	< 0,001
Bojājuma veids	0,47	0,79	5,08	0,08
V _{st} : Bojājuma veids	10,48	< 0,05	3,76	0,15
Randoma efekti				
σ^2	84,2		132,18	
τ_{00}	38,33 _{site}		36,24 _{site}	
ICC	0,31		0,22	
N _{audze}	5 _{audze}		5 _{audze}	
N _{koki}	87		87	
Modeļa R ² bez randoma faktora	0,82		0,82	
Modeļa R ² ar randoma faktoru	0,88		0,86	

Spēcīgā vēja ietekmju uz mežaudzēm intensificēšanās (Della-Marta 2009; Forzieri et al., 2021; Hanewinkel et al., 2013; Oouchi et al., 2006) rezultātā paaugstinās biotisko bojājumu nozīmīgums attiecībā uz egles mežsaimniecisko ilgtspēju, kas norāda uz lielāku elastīgumu egles audžu apsaimniekošanā (Sousa-Silva et al., 2018). Mērķtiecīga briežu dzimtas pārnadžu izraisīto stumbru mizas bojājumu īpatsvara samazināšana, kas ir vienkāršāk realizējama salīdzinājumā ar kaitēkļu savairošanos vai patogēnu izplatību (Hothorn & Müller, 2010; Suzuki et al., 2022), ir prioritārs pasākums, lai mazinātu spēcīga vēja gadījumu negatīvo pēctecības efektu ietekmi 40-80 gadus vecās parastās egles audzēs.



2.12 attēls. Stumbra mizas bojājuma un sakņu trapes ietekme uz parastās egles stumbra pamatnes lieces momentu pie primārās (BBM_{pl}) un sekundārās (BBM_{sl}) lūšanas.

2.7. Selekcijas un atjaunošanas ietekme uz vēja bojājumu varbūtību

Saskaņā ar plānoto šajā pētījuma etapā analizēta augsnes sagatavošanas pacilās priekš meža atjaunošanas stādot selekcionētu parastās priedes stādmaterālu ilgtermiņa ietekme uz koku vēja noturību.

Tēmas izziņātība

Koku izgāšanās ar saknēm ir biežākais vēja izraisīto neatgriezenisko mežaudžu bojājumu veids, kura izveidošanās iespējamību nosaka sakņu ienakurojuma spēks augsnē (augšnes-sakņu sasaiste) (Krišāns et al., 2022a; Peltola et al., 2000), kurš, savukārt, ir atkarīgs no katra individuālā koka vai visas mežaudzes (tajā skaitā arī otrā stāva un pameža) sakņu izplatības (Krišāns et al., 2022b; Ray un Nicoll, 1998). Sakņu dziļums un laterālā izplatība nosaka augsnes-sakņu plātnes (kamola) tilpumu (masu), un tā palielināšanās nodrošina koka pamatnes stabilitāti, pieaugot koka virszemes daļām (Krišāns et al., 2020). Tomēr mežaudzēs ir vērojama koku sakņu izplatību ierobežojoši apstākļi, kā, piemēram, zemas mehāniskās noturības augsnes cilmiezis, granulometriskais sastāvs, blīvums, augsts mitruma saturs/gruntsūdens līmenis, kas kavē vai nu dziļuma, vai laterālo attīstību (Gardiner, 2021), un līdz ar to arī berzes spēku starp sakņu virsmu un augsnes daļiņām (Liu un Zhang, 2022).

Koku sakņu sistēmu pielāgošanas mehānismi atšķirīgiem augšanas apstākļiem, lai, piemēram, nodrošinātu pietiekamu aerāciju vai mitrumu, vienlaicīgi attīsta arī pēc iespējas lielākus augsnes-sakņu plātņu tilpumus, mazinot sakņu-augsnes sasaisti pazeminošo apstākļu ietekmi (Krišāns et al., 2022c). Piemēram, kūdreņos ar augstu gruntsūdens līmeni, kas ierobežo sakņu dziļuma izplatību, attīstās lielāki sakņu projekcijas virsmas rādiusi (Krišāns et al., 2022c; Ray un Nicoll, 1998). Savukārt sausienos, lai kokam tiktu nodrošināts pietiekams mitruma apjoms, saknes ietiecas dziļākos slāņos, sakņu laterālajai izplatībai saglabājoties otršķirīgai (Krišāns et al., 2022c; Nicoll un Ray, 1996). Abos šādos gadījumos augsnes-sakņu plātnes masa, kas nosaka koka virszemes daļu mehānisko stabilitāti var būt vienāda, lai gan lielāka ietekme uz augsnes-sakņu sasaisti ir dziļumam (Ray un Nicoll, 1998; Nicoll un Ray, 1996). Turklāt

labāk drenētās augsnēs būs augstāka berze starp sakņu virsmu un augsnes daļiņām, izskaidrojot mazāku vēja izraisīto mežaudžu bojājumu īpatsvaru sausienos (Gardiner, 2021).

Mehāniski mazāk noturīgas augsnes apstākļos, piemēram, ar pastāvīgi augstu gruntsūdens līmeni, labāku koku augsnes-sakņu sasaisti var nodrošināt ar piemērotu augsnes sagatavošanas veidu (Gardiner, 2021), kas var sekmēt koku noturību pret vēja izraisītajiem bojājumiem paaugstinošas sakņu sistēmas struktūras attīstību. Kociem, kuri pastāvīgi augsta gruntsūdens apstākļos ir stādīti uz pacilām, ir sagaidāma dziļāka sakņu sistēma (Celma et al., 2019), kas spētu nodrošināt nepieciešamo augsnes-sakņu sasaisti un līdz ar to arī ieenkurojumu/noturību pret izgāšanos (Ray un Nicoll, 1998; Nicoll un Ray, 1996). Lai būtu iespējams pilnībā izmantot stabilitātes potenciālu, tas īpaši nozīmīgi ir koku sugām/proveniencēm, kuras spēj attīstīt dziļāku sakņu sistēmu (Danjon et al. 2005; Danquechin Dorval et al. 2016; Yang et al. 2018), kā, piemēram, parastā priede (*Pinus sylvestris* L.).

Materiāls un metodes

Koku mehāniskās noturības novērtēšanai 40–50 gadus vecos priedes stādījumos āreņos ar pacilām ir veikti statistiskās vilkšanas testi – 17 koki SIA ”Rīgas meži” Daugavas mežniecībā (2.13. attēls) un 32 kontroles kokiem sausienos un kūdreņos Meža pētīšanas stacijas platībās (2.14. tabula), tai skaitā 17 koki šī pētījuma ietvaros (2.1. aktivitāte). Ap katru paraugkoku 12,62 m rādiusā noteiktais audzes šķērslaukums un biomasa bija vidējais (\pm standartklūda) $21,9 \pm 2,2$ un 797 ± 133 ; $20,6 \pm 2,7$ un 459 ± 51 ; un $22,6 \pm 10,2$ un 350 ± 90 $m^2 \cdot ha^{-1}$ un kg attiecīgi sausienos, kūdreņos un āreņos ar pacilām.



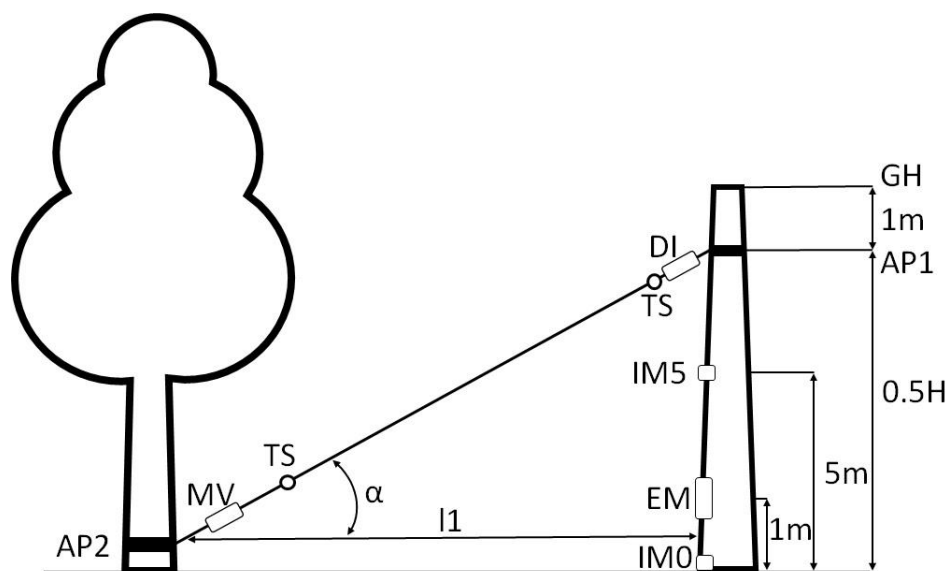
2.13. attēls. Parastā priede stādījumā ārenī ar pacilām SIA ”Rīgas meži” Daugavas mežniecībā

Paraugkoku skaits (N), vidējais (\pm standartklūda) caurmērs krūšu augstumā (DBH), augstums (H), stumbra koksnes tilpums (V_{st}) un sakņu-augsnes plātnes tilpums (V_{asp}) parastajai priedei (*Pinus sylvestris* L.) stādījumos āreņos ar pacilām, sausieņos un kūdreņos.

Audzē	N	DBH (cm)	H (m)	V_{st} (m³)	V_{asp} (m³)
Sausieņi					
1	4	30,2 \pm 3,0	27,3 \pm 1,7	0,89 \pm 0,19	4,51 \pm 2,15
2	12	26,8 \pm 5,0	25,3 \pm 1,3	0,72 \pm 0,24	3,43 \pm 1,50
Kūdreņi					
3	4	25,5 \pm 1,1	24,2 \pm 0,8	0,57 \pm 0,06	4,40 \pm 3,00
4	4	23,3 \pm 2,4	20,2 \pm 0,6	0,41 \pm 0,09	7,24 \pm 2,87
5	4	22,6 \pm 2,4	20,7 \pm 0,9	0,39 \pm 0,08	7,51 \pm 2,31
6	4	22,8 \pm 2,6	21,9 \pm 1,7	0,42 \pm 0,12	7,93 \pm 3,83
Pacilas					
7	6	19,5 \pm 3,3	16,8 \pm 0,9	0,25 \pm 0,08	0,87 \pm 0,36
8	6	20,1 \pm 4,3	16,2 \pm 2,0	0,26 \pm 0,13	0,82 \pm 0,32
9	5	19,9 \pm 2,6	17,3 \pm 1,4	0,26 \pm 0,08	1,01 \pm 0,39

Pētījumā apsekotajās stādījumos āreņos ar pacilām pēdējo 3-5 gadu laikā ir veiktas krājas kopšanas circes, pēc kurām nav fiksēti vēja izgāzti koki. Katrā audzē ir testēti pirmā stāva koki bez vizuālām patogēnu un kaitēkļu darbības pēdām vai mehānisku bojājumu rētām. Kā arī tādi koki, kuriem bija iespējams izveidot (attīrīt) vismaz 25° gāšanas sektoru virzienā uz enkurkoku attālumā, kas vienāds vismaz ar vienu attiecīgā paraugkoka augstumu.

Pirms statistiskās vilkšanas testa izpildes, paraugkoki tika nogalototi, lai mazinātu vēja, kā arī koka stumbra un vainaga masas ietekmi uz vilkšanas spēka mērījumiem (2.14 attēls). Vilkšanu veica ar divtaktu dzinēja motorvinču (1800 Capstan Cable Winch, Nordforest, Vācija) (piestiprināta pie cita (enkurkoka) koka pamatnes (2.14 attēls AP2) 30–40 m attālumā (2.14 attēls I1)) (2.14 attēls MV) un trīšu sistēmu (2.14 attēls TS), kas izveidota no diviem pretēji novietotiem dubultajiem trīšiem un 11 mm diametra poliestera virvi. Trīšu sistēmas piestiprinājuma punkts (enkurpunkts) pie paraugkoka bija pusē no tā sākotnējā augstuma (2.14 attēls AP1), un, lai novērstu enkurpunkta noslīdēšanu, galotņošanas augstums bija vienu metru virs puses no katra paraugkoka sākotnējā augstuma (2.14 attēls GH).



2.14. attēls. Koku statiskās vilkšanas testa shematiskais attēlojums. AP1 un AP2 – vilkšanas līnijas (trīšu sistēmas) enkurspunkti; MV – motorvinča; TS – trīšu sistēma; DI – dinamometrs; α – leņķis starp trīšu sistēmu un gaisa līniju starp enkurskoku un paraugkoku; IM0 un IM5 – inklinometri pie stumbra pamatnes un 5 m augstumā; l_1 – attālums starp paraugkoku un enkurskoku; EM – elastometrs; GH – galotņošanas augstums.

Vilkšanu veica līdz paraugkoks vai nu izgāzās ar saknēm, vai nolūza. Testa laikā paraugkoku mehānisko stabilitāti raksturojošos mērījumus veica ar *TreeQinetic* sistēmu (Argus Electronic GmbH, Rostoka, Vācija). Dinamometrs (2.14 attēls DI), ko izmantoja, lai mēritu vilkšanas spēku un vilkšanas līnijas (trīšu sistēmas) leņķi (2.14 attēls α), tika novietots starp trīšu sistēmu un paraugkoku. Stumbra sasvērums tika mērīts tā pamatnē un 5 m augstumā, izmantojot inklinometrus (2.14 attēls IM0 un IM5). Stumbra koksnes spiedes deformāciju mērīja ar elastometru (2.14 attēls EM).

Paraugkokiem, kuri izgāzās ar saknēm, veica augsnes-sakņu plātnes morfometrisko parametru mērījumus – piecus rādījumus pa tās virsmu no paraugkoka stumbra līdz perifērijai un dziļuma mērījumus pēc katriem 20 cm, sākot no paraugkoka stumbra līdz perifērijai divos (perpendikulāros) plātnes virsmas rādījumos.

Pēc statiskās vilkšanas testa pie katra paraugkoka tika izraktas bedres, no kuru sienām ar 100 ml tilpuma cilindru (2.15 attēls) tika ievākti augsnes paraugi 0-10, 10-20, 20-40 un 40-80 cm dziļumā augsnes mitruma un blīvuma noteikšanai. Augsnes paraugi ievietoti hermētiski noslēdzamos maisiņos un nogādāti uz Latvijas Valsts mežzinātnes institūta "Silava" Meža vides laboratoriju, kur tiem, noteica blīvumu (kg m^{-3}) un gravimetriskā ūdens saturu (%) jeb augsnes mitrumu kā starpību no dabiski mitrās un sausās masas (augsnes paraugus 48 h žāvēja 105 °C temperatūrā).



2.15. attēls. Augsnes blīvuma un mitruma paraugu ievākšana ar 100 ml tilpuma cilindru

No statistiskās vilkšanas testos iegūtajiem koku mehāniskās stabilitātes parametriem katram paraugkokam aprēķināja tā pamatnes lieces momentu (BBM, kNm) pēc Krišāns et al. (2021) kā:

$$BBM = F \cdot h_{ap1} \cdot \cos(Me_{\alpha}), \quad (1)$$

kur:

F – vilkšanas spēks (kNm);

h_{ap1} – puse no paraugkoka sākotnējā augstuma jeb augstums, kurā piestiprināta trišu sistēma pie paraugkoka (m);

Me_{α} – trišu sistēmas un gaisa līniju starp enkurkoku un paraugkoku leņķa mediāna ($^{\circ}$).

Paraugkoka stumbra saliekumu izteica kā starpību (N_{Δ} , $^{\circ}$) no abu inklinometru mērījumiem (pie stumbra pamatnes (N_0) un 5 m augstumā (N_{5m})):

$$N_{\Delta} = N_{5m} - N_0 \quad (2)$$

Koka stumbram liecoties, tā saliekums (N_{Δ} , $^{\circ}$) palielinās proporcionāli liekšanas spēkam (BBM) (Detter et al., 2015), bet kad notiek koksnes šķiedru bojājums, stumbrs saliekšanās kļūst straujāka nekā liekšanai nepieciešamā spēka palielināšanās. Šajā brīdī ir pārsniegta noturība pret primāro lūšanu (PL) (Detter et al., 2015). Savukārt koka izgāšanās ar saknēm vai stumbra lūzums ir sekundārā lūšana (SL). PL ir strukturāli koksnes bojājumi, kas apgrūtina koka fizioloģiskos procesus un var izraisīt noturības pazemināšanos pret SL. Augstāks PL slodzes īpatsvars no SL slodzes nozīmē, augstāku pilnīgu koka bojāejas iespējamību pēc strukturālu koksnes bojājumu izveidošanās.

Kokiem, kuru SL veids bija stumbra lūzums, stumbra šķērsvirziena pārrāvuma izturība jeb plīsuma modulis (MOR, MPa) tika aprēķināts pēc Peltola et al. (2000):

$$MOR = \frac{32 \cdot (BBM_{sl} / DBH^3)}{\pi} \quad (4)$$

kur:

BBM_{sl} – stumbra pamatnes lieces moments pie SL;

DBH – stumbra caurmērs 1,3 m augstumā no sakņu kakla (cm).

Augsnes-sakņu plātnes tilpums (V_{asp} , m³) aprēķināts kā puse no eliptiska paraboloīda tilpuma:

$$V_{asp} = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \pi \cdot h \cdot a \cdot b, \quad (5)$$

kur:

h – augsnes-sakņu plātnes centra vidējais dziļums (m);

a – augsnes-sakņu plātnes vidējais vertikālais rādiuss (m);

b – augsnes-sakņu plātnes vidējais horizontālais rādiuss (m).

Koku stumbru koksnes tilpums (V_{st} , m³) aprēķināts pēc pielāgotas stumbra tilpuma izteiksmes kā:

$$V_{st} = 0.00016541 \cdot H^{0.56582} \cdot DBH^{0.25924 \cdot 0.4343 \cdot \ln(H) + 1.59689}, \quad (6)$$

kur:

DBH – stumbra caurmērs 1,3 m augstumā no sakņu kakla (cm);

H – koka augstums (m).

Augsnes veida ietekme uz priedes noturību pret PL un SL ir analizēta atkarībā no koka dimensijām. BBM gan pie PL (BBM_{pl}), gan SL (BBM_{sl}) ir raksturošanai ir izveidoti vispārināti lineāri jauktu efektu modeļi, kura vispārinātās forma ir šāda:

$$y_{ij} = \mu + V_{ij} + av_{ij} + V_{ij}: av_{ij} + (audze_j) + \varepsilon \quad (7)$$

kuros kā fiksētie efekti ir koku dimensiju (V_{st}) kovariante (V_{ij}), un augsnes veids (av_{ij}), kā arī šo faktoru mijiedarbība ($V_{ij}: av_{ij}$), bet audze ($audze_j$) ir izmantotā kā nejaušās izvēles (randoma) efekts. Ar šādiem modeļiem ir raksturotas arī MOR un V_{asp} atšķirības starp augsnes veidiem. Datu statistiskā apstrāde ir veikta, izmantojot programmu R (versija 4.0.3.) (R Core Team, 2020). Iegūto modeļu fiksēto efektu būtiskumu novērtēja ar Wald χ^2 testu.

Rezultāti un diskusija

Koku mehānisko noturību vislabāk raksturojošās dimensiju kovariantes V_{st} izmantošana, līdzīgi kā iepriekšējos pētījumos (Krišāns et al., 2021, 2022a, 2022b, 2022c), nodrošināja augstu vispārināta lineāra jauktu efektu modeļa R^2 (gan ar randoma, gan bez randoma faktora), un līdz ar to arī lielu izskaidrotās atkarīgās pazīmes īpatsvaru ($R^2 < 0.90$) (2.15 un 2.16. tabula). Par to liecināja arī augstās un būtiskās χ^2 un modeļu koeficientu vērtības. Koku mehāniskās stabilitātes un V_{st} saistība norāda uz kompleksu noturības pret vēja izraisīto bojājumu izveidošanos visā koka augšanas laikā, jo V_{st} raksturo uzkrātās koksnes daudzumu virszemes daļās, kam ir tendence būt proporcionālam ar sakņu apjomu (Palardy, 2010), un līdz ar to arī augsnes-sakņu ienkurojamu (Nicoll and Ray, 1996; Gardiner, 2021). Lai nodrošinātu koku vēja noturību mazāk stabilās augsnēs, piemēram, kūdreņos, augsnes-sakņu plātnes tilpums attīstās būtiski lielāks attiecībā pret koka virszemes daļu dimensijām (Krišāns et al., 2020). Ar to ir izskaidrojamas $V_{st} \cdot V_{asp}^{-1}$ attiecības atšķirības starp augsnes veidiem, kad kūdreņos V_{asp} proporcija pret V_{st} bija būtiski ($p < 0,001$) augstāka nekā sausieņos vai āreņos ar pacilām (2.17. tabula). Mazāk stabilas augsnes apstākļos ir novērota koku sakņu sistēmu pielāgošanās, lai nodrošinātu mehānisko stabilitāti un tādējādi arī noturību pret vēja izraisītajiem bojājumiem (Krišāns et al., 2020). Tajā pašā laikā arī šādos gadījumos ir vērojams samazināts augsnes-sakņu ienkurojums (Krišāns et al., 2021).

2.15. tabula.

Vispārināta lineāra jauktu efektu modeļa dispersijas Wald χ^2 tests un modeļa koeficienti, to standartklūdas un būtiskums stumbra pamatnes lieces momentam pie primārās lūšanas (BBM_{pl}) pret augsnes veidu. *Est.* – koeficientu vērtības, *Std. Error* – standartklūda, χ^2 – faktora ietekme

Ietekmējošais faktors	<i>Est.</i>	<i>Std. Error</i>	χ^2
Augsnes veids			6,37*
(Intercept)	-10,36*	4,29	5,84***
V_{st}	95,75***	5,38	316,35***
Kūdreņi	17,01*	6,93	
Pacilas	9,40	5,57	
V_{ST} : Augsnes veids [kūdreņi]	-55,80***	13,04	20,14***
V_{ST} : Augsnes veids [pacilas]	-28,17	13,99	
Modeļa R^2 bez randoma faktora		0,96	
Modeļa R^2 ar randoma faktoru		0,96	

Būtiskuma līmeņi: *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

2.16. tabula.

Vispārināta lineāra jauktu efektu modeļa dispersijas Wald χ^2 tests un modeļa koeficienti, to standartklūdas un būtiskums stumbra pamatnes lieces momentam pie sekundārās lūšanas (BBM_{sl}) pret augsnes veidu. *Est.* – koeficientu vērtības, *Std. Error* – standartklūda, χ^2 – faktora ietekme.

Ietekmējošais faktors	<i>Est.</i>	<i>Std. Error</i>	χ^2
Augsnes veids			4,52
(Intercept)	-16,07*	7,11	5,10*
V_{st}	136,37***	8,33	268,20***
Kūdreņi	19,99	11,44	
Pacilas	17,32	9,07	
V_{ST} : Augsnes veids [kūdreņi]	-62,82**	21,03	10,72**
V_{ST} : Augsnes veids [pacilas]	-38,00	21,24	
Modeļa R^2 bez randoma faktora		0,94	
Modeļa R^2 ar randoma faktoru		0,95	

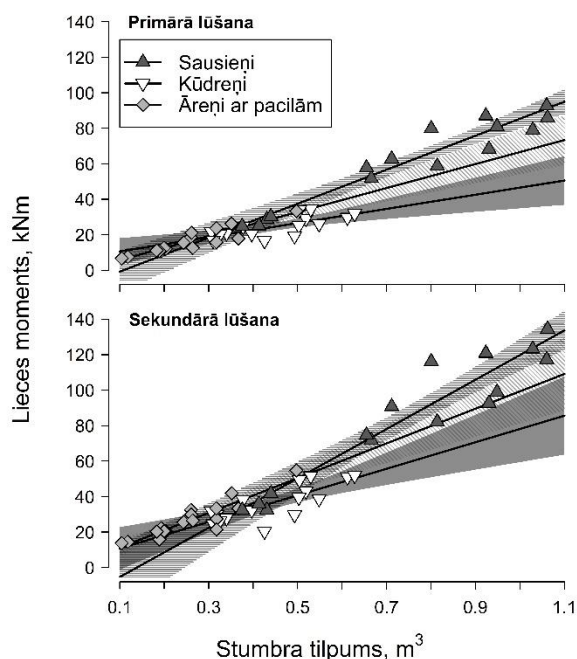
Būtiskuma līmeņi: *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

Vispārināta lineāra jauktu efektu modeļa dispersijas Wald χ^2 tests un modeļa koeficienti, to standartklūdas un būtiskums stumbrā koksnes un augsnes-sakņu plātnes tilpumu ($V_{st} \cdot V_{asp}^{-1}$) attiecībai pret augsnes veidu. *Est.* – koeficientu vērtības, *Std. Error* – standartklūda, χ^2 – faktora ietekme.

Ietekmējošais faktors	<i>Est.</i>	<i>Std. Error</i>	χ^2
Augsnes veids			63.43***
(Intercept)	3,76***	0.54	48.28***
Kūdreņi	3,49***	0.84	
Pacilas	-2,85***	0.72	
Modeļa R^2 bez randoma faktora	0,67		
Modeļa R^2 ar randoma faktoru	0,67		

Būtiskuma līmeņi: *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

Analizējot parastās priedes mehānisko noturību attiecībā pret V_{st} un pa augšņu veidiem, ir novērotas būtiski atšķirīgas BBM un V_{st} mijiedarbības (taišņu slīpumi) gan pie PL (BBM_{pl}) ($\chi^2 = 20,14$; $p < 0,001$), gan SL (BBM_{sl}) ($\chi^2 = 10,72$; $p < 0,01$) (2.16. attēls). Tas nozīmē būtiskas atšķirības līdzīgu dimensiju koku noturībā gan pret strukturāliem koksnes šķiedru bojājumiem (PL), gan koka nolūšanu stumbrā vai izgāšanos ar saknēm (SL). Priedes noturība pret PL un SL (BBM pret attiecībā pret V_{st}) būtiski atšķīrās starp augsnes veidiem, un augstākā tā bija sausieņos, bet zemākā kūdreņos – par 30,3% pret PL un 24,7% pret SL (2.18. tabula). Savukārt tādā pašā veidā izteikta noturība pret PL un SL āreņos ar pacilām bija attiecīgi par 20,8% un 4,3% zemāka nekā sausieņos. Tādējādi ir novērots, ka pastāvīgi augsta gruntsūdens apstākļos priedes audžu ierīkošana uz pacilām var paaugstināt koku individuālos mehānisko stabilitāti, un attiecīgi arī visas audzes kopējo noturību pret vēja izraisītajiem bojājumiem (Díaz-Yáñez et al., 2017). Salīdzinājums ar kokiem sausieņos un kūdreņos sniedz priekšstatu par priedes mehāniskās noturības spēju spektru atkarībā no augšanas apstākļiem. Starp sausieņiem un kūdreņiem atšķirīgie augsnes blīvumi un mitrumi (attiecīgi 1312 kg m⁻³ un 18%, un 158 kg m⁻³ un 81%) arī raksturo attiecīgi augstāku un zemāku sakņu-augšņu ieenkurojuma iespējas (Krišāns et al., 2022c) un potenciālos vēja izraisītos bojājumus gan kā PL, gan SL.



2.16. attēls. Parastās priedes (*Pinus sylvestris* L.) stumbra pamatnes lieces moments pie primārās (BBM_{pl}), un sekundārās (BBM_{sl}) lūšanas stādījumos āreņos ar pacilām, sausieņos un kūdreņos. Iekrāsotie poligoni apzīmē 95% ticamības intervālu.

2.18. tabula.

Paraugkoku skaits (N), vidējais (\pm standartklūda) stumbra pamatnes lieces moments pie primārās (BBM_{pl}), un sekundārās (BBM_{sl}) lūšanas, elastības modulis (MOE) un lūzušo paraugkoku skaits parastajās priedes (*Pinus sylvestris* L.) statistiskās vilkšanas testos stādījumos āreņos ar pacilām, sausieņos un kūdreņos.

Audze	N	BBM_{pl} (kNm)	BBM_{sl} (kNm)	Stumbra lūzums (N)
Sausieņi				
1	4	74,2 \pm 14,9	111,4 \pm 26,9	1
2	12	58,7 \pm 25,3	78,4 \pm 34,0	4
Kūdreņi				
3	4	29,0 \pm 2,7	46,4 \pm 6,0	2
4	4	24,9 \pm 6,6	38,0 \pm 9,6	4
5	4	19,7 \pm 2,2	27,5 \pm 4,9	1
6	4	24,2 \pm 7,4	34,8 \pm 11,4	1
Pacilas				
7	6	17,0 \pm 7,1	27,4 \pm 9,1	1
8	6	18,3 \pm 9,5	28,8 \pm 14,3	1
9	5	13,7 \pm 3,0	23,5 \pm 6,6	0

Augstāka priedes noturība pret PL audzēs, kas stādītas uz pacilām salīdzinājumā ar kūdreņiem, nozīmē to, ka šādos stādījumos ir sagaidāma zemāka koksnes strukturālo bojājumu izveidošanās iespējamība (Detter et al., 2013, 2015, Wessolly, 1995). Šādu bojājumu ietekmē

notiek vadaudu un traheīdu saspiešanās, samazinot ūdens pārvades spējas, un tādējādi pēc spēcīga vēja gadījumiem kokiem paaugstinās fizioloģiskā sausuma risks, un līdz ar to arī pastiprināta negatīvo pēctecības efektu, piemēram, sekundāro biotisko bojājumu un temperatūras stresa ietekme (Cawley et al., 2014; Csilléry et al., 2017; Seidl and Rammer, 2017). PL var izveidoties gan saknēs, gan stumbrā (Detter et al., 2013, 2015, Wessolly, 1995), un zemais stumbra lūzuma kā SL veids visos augsnes veidos norāda uz to, ka stumbra mehāniskā noturība pārsniedza augsnes-sakņu ieenkurojuma spēku (2.18. tabula). Tomēr spēcīga augsnes-sakņu ieenkurojuma apstākļos koka vēja noturība var kļūt atkarīga no stumbra izturības (Krišāns et al., 2022a).

Zemas noturības augsnēs (kūdreņos) koku sakņu sistēmas attīstās plašākas, lai paaugstinātu mehānisko stabilitāti, kas arī šajā pētījumā tā tika novērots. Priedei kūdreņos virszemes daļu un sakņu dimensiju attiecības liecināja par zemākas noturības augsnes apstākļiem, salīdzinājumā ar sausieņiem (Krišāns et al., 2020). Tas nodrošināja ieenkurojumu, tomēr nepaaugstināja tā spēku, par ko liecina zemāka noturība pret PL un SL ar tajā pašā laikā augstāku lūzušo koku īpatsvaru (2.18. tabula), jo nebija statistiski būtiskas ($p > 0,05$) ietekmes uz BBM_{pl} vai BBM_{sl} . Tas tāpēc, ka priedei kūdreņos ir novērota būtiski zemāka ($p < 0,05$) stumbru noturība pret lūšanu kā SL veidu, kas izteikta kā stumbra plīsuma modulis (MOR, MPa) (2.19. tabula). Zemāks lūzušo koku īpatsvars ir saistāms ar augstākām MOR vērtībām (vidējās±standartklūda), kas āreņos ar pacilām un sausieņos sasniedza attiecīgi $45,1\pm 16,0$ un $40,6\pm 4,2$ MPa, bet kūdreņos $31,5\pm 3,7$ MPa. Šādām atšķirībām par iemeslu varētu būt augšanas apstākļu ietekme uz koksnes mehāniskajām īpašībām (Kozakiewicz et al., 2020), bet tas šajā pētījumā nav atsevišķi analizēts. Jāatzīmē, ka pētījumos, kuros ir salīdzinātas koksnes mehāniskās īpašības starp mērījumiem augošam kokam un no tā ņemtam paraugam laboratorijā, MOR būtiski atšķirās, kas skaidrojams ar stumbra koksnes anatomijas kā kompozītmateriāla īpatnībām (Detter et al., 2013).

2.19. tabula.

Vispārināta lineāra jauktu efektu modeļa dispersijas Wald χ^2 tests un modeļa koeficienti, to standartklūdas un būtiskums stumbra plīsuma moduļim (MOR) pret augsnes veidu. *Est.* – koeficientu vērtības, *Std. Error* – standartklūda, χ^2 – faktora ietekme.

Ietekmējošais faktors	<i>Est.</i>	<i>Std. Error</i>	χ^2
Augsnes veids			9,51**
(Intercept)	40,65***	3,27	154,83***
Kūdreņi	-9,17*	4,16	
Pacilas	4,46	5,33	
Modeļa R^2 bez randoma faktora			0,39
Modeļa R^2 ar randoma faktoru			0,39

Būtiskuma līmeņi: *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

Atbilstošs augsnes sagatavošanas veids (pacilas) audzēs ar pastāvīgi augstu gruntsūdens līmeni, nodrošina būtiski augstāku priedes augsnes-sakņu ieenkurojuma spēku, nekā tas ir salīdzinājumā ar citām zemākas noturības augsnēm, piemēram, kūdreņos. Tas liecina par augsnes sagatavošanas veida pozitīvo ietekmi uz sakņu izplatību, nodrošinot pietiekamu augsnes-sakņu plātnes tilpumu attiecībā pret koka stumbra koksnes tilpumu, kas paaugstina koku mehānisko stabilitāti.

Līdz ar augstāku noturību pret sekundāro lūšanu, spēcīgāks priedes augsnes-sakņu ieenkurojuma spēks nozīmē arī zemāku primārās lūšanas izveidošanās iespējamību un tam sekojošo fizioloģiskā sausuma (spēcīga vēja negatīvo pēctecības efektu) risku āreņos ar pacilām, salīdzinājumā ar kūdreņiem.

Izgāšanās ar saknēm (nepieciešamais spēks neatšķīrās no stumbra lūzuma) kā dominējošais sekundārās lūšanas veids nozīmē augstāku vērtīgāko priedes sortimentu īpatsvaru sanitārajās cirtēs pēc vēja izraisīto bojājumu izveidošanās āreņos ar pacilām.

2.8. Precizēti ugunsbīstamības izmaiņu un ugunsgrēku seku modeļi

Ugunsbīstamību raksturojošo modeļu precizēšanai veikta augsnes (dažādos dziļumos) mitruma mērījumi un paraugu ievākšana 12 pētījuma objektos (2.20.tabula), vienlaikus iegūstot datus par temperatūru un nokrišņiem iespējami tuvu šiem objektiem. Datu ievākšana uzsākta līdz ar sniega nokūšanu, lai raksturotu sākotnējo augsnes mitrumu un veikta deviņas reizes (līdz veģetācijas perioda noslēgumam).

Iegūtie rezultāti tiks analizēti nākamajā pētījuma etapā, kopā ar pirmajā ievāktajiem, sagatavojot modeli par mitruma izmaiņām degmateriālā.

2.20. tabula.

Mežaudzes, kurās ievākti dati par degmateriāla mitruma izmaiņu dinamiku

Nr.	kv_apg	kv	nog	apnog	S10	MT	vec.kl	bonit	m ³ ha ⁻¹
1	705	237	22		P	Dms	5	II	138
2	705	254	3	1	E	Dm	2	II	14
3	705	275	12		P	As	2	II	15
4	705	277	27		B	Nd	1	IV	9
5	705	278	6		P	Km	13	IV	219
6	705	287	2		P	Mrs	3	IV	32
7	705	303	3		P	Mr	12	IV	242
8	705	305	20		B	As	2	II	24
9	705	305	32		P	As	5	II	207
10	705	309	2(1)		P	Mrs	5	II	132
11	705	312	37(29)		E	Ks	6	I	376
12	705	313	8		E	Vr	6	Ia	263

Deguma ietekmes uz koku pieaugumu raksturošanai pētījuma etapā saskaņā ar plānoto 2022.g. rudenī atkārtoti uzmērīti koku caurmēri 710. kv.apg. 167.kv. 6. un 8. nogabalā 2004.g.

degumā ierīkotajos parauglaukumos. Kokiem noteikts stāvoklis – dzīvs, sausoknis, kritala, celms. Izlases veidā katrā nogabalā 20 kokiem uzmērīti koku augstumi (augstumliknes izveidei objektā). Dzīvajiem kokiem ar pieauguma svārpstu krūšaugstumā iegūti radiālā pieauguma paraugi no priedes uzskaites kokiem parauglaukumos. Urbšanas virziens - virzienā pret parauglaukuma (PL) centru. Objektā 710-167-6 no 3 PL iegūti 26 gadskārtu urbumi izurbjot 8 vai 9 kokus PL. Objektā 710-167-8 no 5 PL iegūti 37 gadskārtu urbumi izurbjot 7 līdz 9 kokus PL. Kopumā gadskārtu urbumi iegūti no 63 kokiem.

Gadskārtu platumi ar izšķirtspēju 0,01mm uzmērīti izmantojot gadskārtu platumu mērīšanas ierīci LINTAB5. Pieauguma izmaiņu novērtējumam izmantota prof. I. Liepas izstrādāta papildus pieauguma novērtēšanas metode (Liepa, 1996). Kontrolei izmantoti 293 koki no 6 kontroles audzēm. Papildus pieauguma aprēķiniem katram degušajos objektos urbtajam kokam atlasīti adekvātie kontroles koki pēc 2 pakāpju sistēmas. 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 platumā. Pēc iepriekš minētās atlases aprēķiniem tālākai analīzei izmantoti 53 koki.

Pētāmajos objektos veiktas sanitārās cirtes. Kopējais bojāgājušo un nozāģēto koku īpatsvars pēc šķērslaukuma ir 49% objektā 710-167-6 un 43% objektā 710-167-8. Izdzīvojušo koku augšanas rezultātā audzes šķērslaukums 18 gadus pēc ugunsgrēka ir attiecīgi par 31% un 21% mazāks nekā pirms ugunsgrēka, bet krāja 24% un 12% mazāka. Dzīvo koku taksācijas rādītāji 2004.g. un 2022.g. atspoguļoti 2.21. tabulā.

2.21.tabula.

Pētāmo objektu pirmā stāva taksācijas rādītāji ugunsgrēka gadā (2004) un 18 gadus (2022) pēc ugunsgrēka

	710-167-6		710-167-8	
	2004	2022	2004	2022
D, cm	25.1	33.1	19.9	26.6
H, m	21.4	25.0	17.0	20.2
G, m ² ha ⁻¹	34.4	23.6	25.0	19.7
V, m ³ ha ⁻¹	354	268	209	183
N, koki ha ⁻¹	693	273	820	356

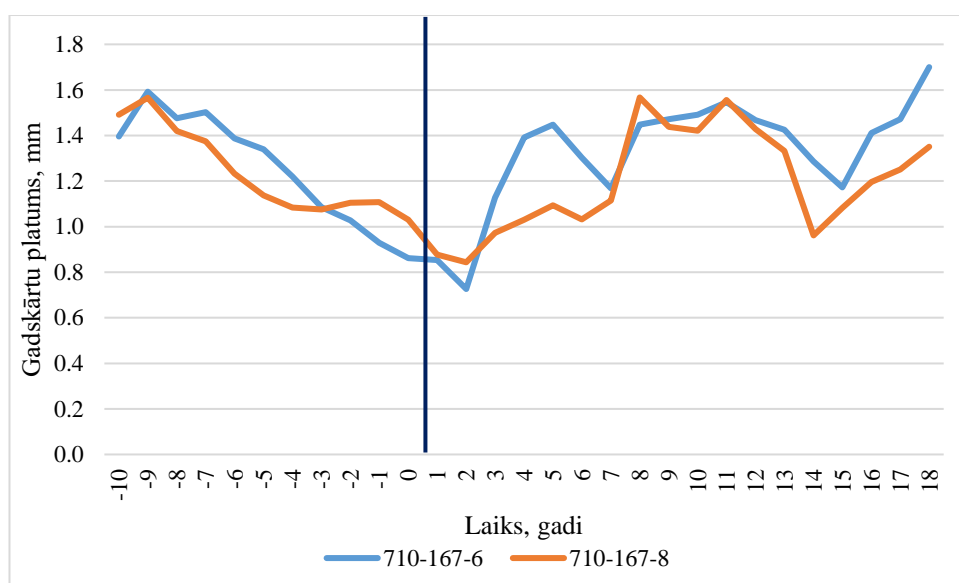
Aprēķinos izmantoto paraugkoku sadalījums pa stumbra apdeguma augstuma grupām, to skaits un caurmērs atspoguļots 2.22. tabulā.

2.22. tabula.

Aprēķiniem izmantoto koku skaits un caurmērs degšanas gadā sadalījumā pa apdeguma augstumiem

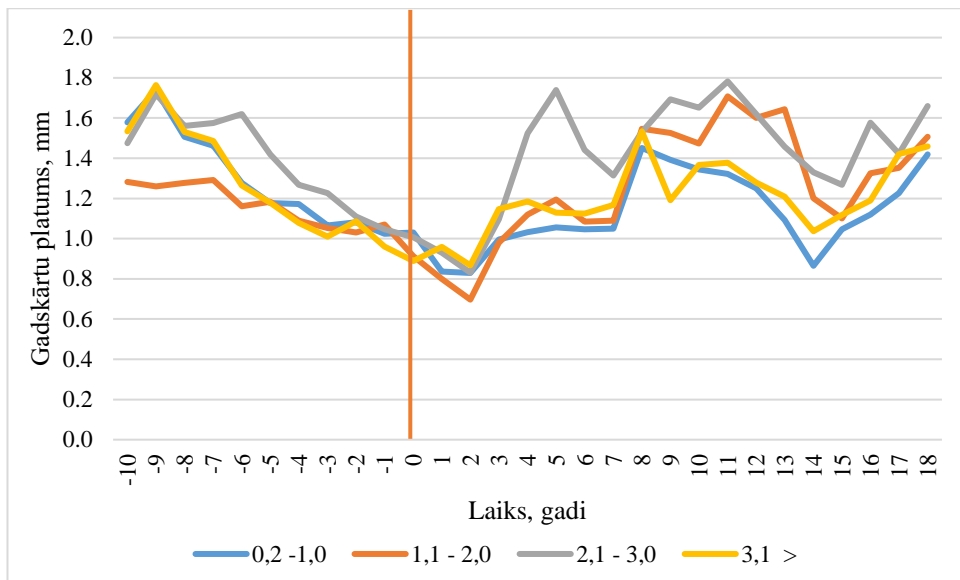
Apdeguma augstums, m	Koku skaits	D _{1,3} vid, cm	D _{min} , cm	D _{max} , cm
0,2 -1,0	14	28	18	45
1,1 - 2,0	18	24	13	36
2,1 - 3,0	10	27	19	34
3,1 >	11	26	16	41
Kopā	53	26	13	45

Izdzīvojušo koku radiālie pieaugumi kopumā objektos 10 gadus pirms ugunsgrēka ir bijuši ar tendenci samazināties (2.17.attēls), kas norāda uz iespējamu paaugstinātu koku savstarpējo konkurenci tajā periodā. Savukārt pēc ugunsgrēka koku radiālais pieaugums atgriezies sākotnējā līmenī ap 1,5mm gadā.



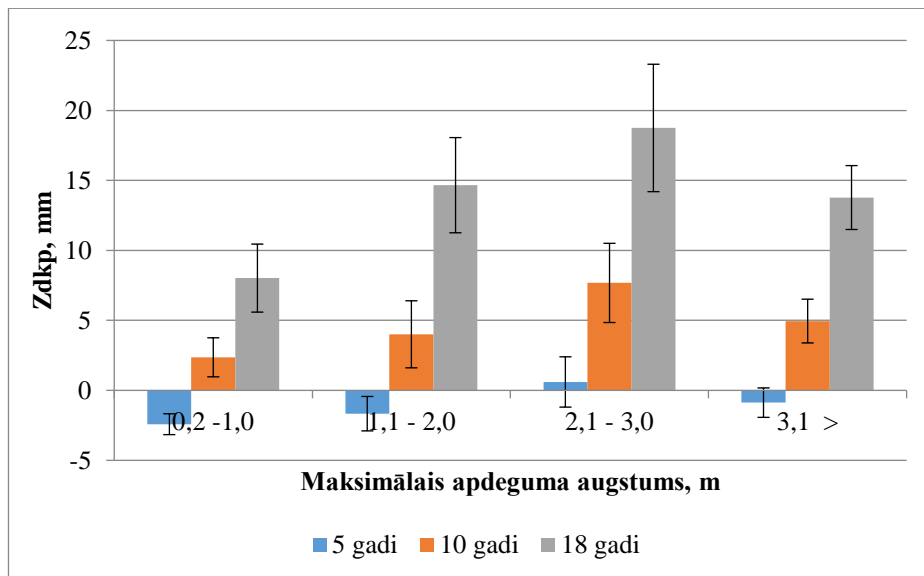
2.17.attēls. Vidējo gadskārtu platuma izmaiņas 28 gadu laika periodā (10 gadus pirms deguma un 18 gadus pēc deguma) pētāmajos objektos

Vizuāli salīdzinot radiālā pieauguma izmaiņas kokiem, kuru stumbru maksimālais apdegumu augstums ir bijis no 2,1-3m, radiālais pieaugums iepriekšējā līmenī atjaunojies visstraujāk – jau ceturtajā gadā pēc ugunsgrēka un tas arī bijis vislielākais, ja salīdzina ar grupām “līdz 2m” un “3.1 un vairāk metru” (2.18.attēls).

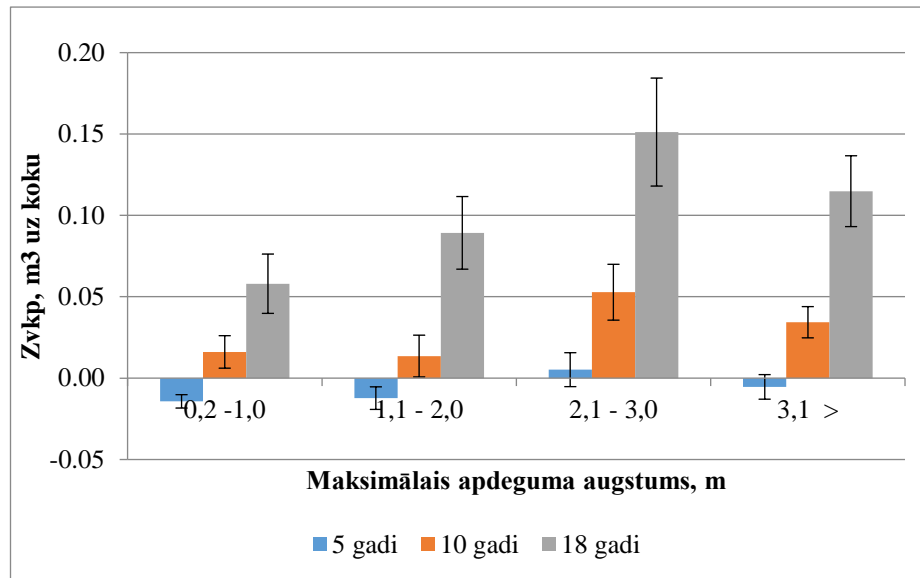


2.18.attēls. Vidējo gadskārtu platuma izmaiņas 28 gadu laikā (10 gadus pirms deguma un 18 gadus pēc deguma) sadalījumā pa maksimālajiem stumbru apdeguma augstuma grupām, m.

Salīdzinot ar kontroles kokiem, caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums pirmajos 5 gados pēc ugunsgrēka ir bijis negatīvs stumbra augstuma apdeguma grupās ar apdeguma augstumu līdz 2,0m, bet kokiem ar apdeguma augstumu vairāk par 2m, tas ir bijis nenoteikts (2.19. attēls). Savukārt 18 gadus pēc ugunsgrēka izdzīvojušajiem kokiem neatkarīgi no stumbra apdeguma augstuma ir bijis pozitīvs kumulatīvais caurmēra papildus pieaugums. Vidēji atkarībā no apdeguma augstuma grupas, tas ir bijis 7 līdz 18mm. Līdzīgas tendences ir arī novērojamas ar krājas kumulatīvo papildus pieaugumu (2.20. attēls).



2.19.attēls. Caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums 5, 10 un 18 gadus pēc deguma atkarībā no koku maksimālā apdeguma augstuma (ar standartklūdu)



2.20.attēls. Krājas kumulatīvais papildus pieaugums 5, 10 un 18 gadus pēc deguma atkarībā no koku stumbru maksimālā apdeguma augstuma

Kopsavilkums

Lai arī pētāmajos objektos ilgtermiņā (18 gadu laikā pēc ugunsgrēka) izdzīvojušo koku kumulatīvais kājas papildus pieaugums ir pozitīvs, tomēr tas nekompensē koku atmiršanas rezultātā radušos dzīvo koku krājas samazinājumu un krāja 18 gadus pēc ugunsgrēka ir mazāka nekā tā bija kokaudzei pirms ugunsgrēka. Nākamajos pētījuma etapos mērījumi veicami lielākā objektu skaitā, novērtējot šo sākotnējo secinājumu vispārināmību.

Papildus plānotajam turpināta iepriekšējā etapā uzņēmīto pieauguma datu analīze un sagatavota publikācija (statuss – publicēts): Donis J., Zdors L., Šņepsts G., Treimane A., Kitenberga M., Jansons A. (2022) Trees as a Legacy of Forest Fires in Scots-Pine-Dominated Stands: Case Study in Latvia. Environ. Sci. Proc. 2022, 17(1), 20; <https://doi.org/10.3390/envirosciproc2022017020>

3. Biotisko faktoru ietekmes pārmaiņas nākotnes klimatā.

3.1. Dendrofāgo kukaiņu (kaitēkļu) masveida savairošanās draudu raksturojums.

Tēmas izzinātība

Pētījumā kā modeļa sugu tiek izmantota priežu audžu tīklapsene (*Acantholyda posticalis* (Matsumura, 1912), *Hymenoptera*, *Pamphiliidae*).

Priežu audžu tīklapsene lido maija otrajā pusē līdz jūnija vidum, dēj olas uz priežu skužām. Olas ir atklātas, gaišas, pēc formas laivveidīgas – to gali pacelti uz augšu no skužas. Jau jūnija sākumā parādās pirmie kāpuri, kuri veido tīklojumus, ar ko aptver skužas. Kāpuriem augot, arvien vairāk skužas tiek satīklotas un tiek noēstas gan vecās, gan jaunās skužas. Liela ieagrauztu skuju daļa nobirst zemē vai paliek satīklojumā neapēstas. Kāpuri ir blāvi zaļā krāsā ar brūnganu zīmējumu. Galva gaiši brūna ar tumšiem punktiem. Satīklojums ir samērā skrajš. Tajā sakrājas daļa ekskrementu un skuju fragmenti. Kāpuri ātri aug un jau jūlija otrajā pusē tie ir pieauguši un, nokrītot no koku vainaga, dodas zemsegā, ierokoties smiltīs līdz pat 40 cm dziļumam (Ozols 1985). Tur kāpuri maina krāsu- kļūst dzeltenbrūni un pārvēršas par eonimfām. Daļa eonimfu diapauzē un ziemo eonimfu stadijā, bet daļa eonimfu pārvēršas par mazkustīgām pronimfām, kas pavasarī iekūņojas (raksturīga vaļēja kūniņa) un izlido pieaugušās tīklapsenes.

Priežu audžu tīklapsene ir plaši izplatīta suga. Daudzviet tā ir fona suga un populācija masveida savairošanās apmēru nesasniedz. Priežu audžu tīklapsene sastopama uz dažāda vecuma priedēm sākot ar 10 gadus vecām kultūrām, parasti, nabadzīgos meža tipos. Šī kaitēkļa savairošanās var ilgt daudzus gadus. Ilgstošā savairošanās skaidrojama ar šī kukaiņa bioloģiju. Daļa no ziemojošajiem kāpuriem eonimfas stadijā diapauzē. Diapauze var ilgt līdz pat 6 gadiem. Priedes, kurām apēstas visas skužas, spēj atlabt un nākošā gadā plaukst jaunas skužas. Tomēr, ilgstošas savairošanās gadījumā, koki var tikt atskujoti vairākus gadus pēc kārtas. Tas var izraisīt koku nokalšanu masveidā. Novājināto koku mirstību veicina sekundārie – stumbra, kaitēkļi. Bieži novājinātie koki kļūst par upuri priežu lūksngrauziņiem *Tomicus* spp., kas savairojas meža degumos un vēja gāztos kokos, kā arī skuju grauzēju novājinātos kokos. No sekundārajiem kaitēkļiem priedei vēl jāmin sveķotājsmecernieki *Pissodes* spp. un galotņu sešzobu mizgrauzis *Ips acuminatus* Gyll..

Masveida savairošanās priežu audžu tīklapsenei galvenokārt novērojamas priežu audzēs Eiropas centrālajā un austrumu daļā, īpaši Polijā un Austrumvācijā (Glowacka et al., 2014). Masveida savairošanās bieži novērota arī Krievijas Eiropas daļas dienvidos, Rietumsibīrijā un Kazahstānas ziemeļu daļā (Гниненко et. al. 2015, Соколов 2009, Voolma et.al.2016).

Latvijā priežu audžu tīklapsene sastopama visā teritorijā, bet masu savairošanās iepriekš bija dokumentēta tikai vienu reizi.

Pirmā zināmā priežu audžu tīklapsenes masveida savairošanās Latvijas teritorijā tika konstatēta Varnoviču apkārtnē, Baltkrievijas pierobežā, uz dienvidaustrumiem no Krāslavas. Savairošanās tika atklāta 1966. gadā 200 ha platībā. Kulmināciju tā sasniedza 1968. gadā. Uz diapauzējošo eonimfu rēķina savairošanās ligzda eksistēja līdz 1976. gadam, tad strauji samazinājās, kaut gan vēl 1982. gadā tā eksistēja ap 20 ha platībā (Ozols 1985).

Aptuveni tajā pašā laikā, 1957. gadā, priežu audžu tīklapsenes masveida savairošanās tika novērota Baltkrievijā Vitebskas reģionā, kur tā skāra 60-80 gadus vecu priežu audzi. Priežu pieaugumi samazinājās 2,5-3,5 reizes un vēl pēc desmit gadiem audze nebija pilnībā atkopusies (Л.П. Малый. 1972 in Gedminas A. 2003)

Ar nelielu laika atstarpi priežu audžu tīklapsenes populācijas uzliesmojums pirmo reizi novērots arī Lietuvas teritorijā Ignalinas un Švenčionijas apkārtnē. Masveida savairošanās 1973. - 1978. gadā aptvēra priežu audzes apmēram 5000 ha platībā (Monitoring System of Pine Defoliating Insects in Lithuania ppt) (Jonaitis 2004; Ozolinėius 2012).

Sakarības starp klimata pārmaiņām un masveida savairošanās uzliesmojumiem ir zināmas dažādām skuju-lapu-grauzēju kukaiņu sugām (Haynes et al., 2014). Priežu audžu tīklapsenes

masveida savairošanās gadījumu izplatības zonas izplešanās uz ziemeļiem liecina arī par tās spēju izdzīvot zemās temperatūrās, kas sastopamas aukstās ziemās ziemeļu reģionos. Neapšaubāmi, arī daudzi citi faktori ietekmē masveida savairošanās reģionu. Divas lokālas priežu audžu tīklapsenes masveida savairošanās nesēn novērotas Ziemeļeiropā – Somijā un Igaunijā. Tās gan ir koncentrētas maigākos jūras klimata reģionos netālu no Baltijas jūras krasta (Vapaavuori et al. 2010, Voolma et al. 2016)

Somijā priežu audžu tīklapsenes masveidā savairojušās netālu no pilsētas Pori 2006. gadā, ekstremāli sausas vasaras apstākļos. Savairošanās skāra 200 ha pieaugušas priežu audzes, kur 30 ha tika smagi bojātas. Divu gadu laikā bojāto audžu platība bija izpletusies līdz 100 ha (Vapaavuori et al. 2010).

Igaunijā priežu audžu tīklapsenes masveida savairošanos pirmo reizi konstatēja 2008. gadā Saremā salā, kur tika atskujotas aptuveni 250 ha priežu audzes (Voolma et al. 2009).

Šobrīd novērojamā priežu audžu tīklapsenes masveida savairošanās Daugavpils pašvaldības mežos pie Stropu ezera pamanīta 2013.g. pavasarī apmēram 80 ha platībā. Atsevišķu koku defoliācija sasniedza 100%.

Lai gan jebkuru kukaiņu populāciju būtiski ietekmē dažādi abiotiskie faktori – kā klimatiskās izmaiņas, dzīvotnes īpatnības (ainava un ar to saistītā barības pieejamība), tomēr liela nozīme ir arī biotiskajiem faktoriem (Price, 1997). Kukaiņiem savairojoties, to populācija parasti pārsniedz ekoloģisko kapacitāti. Šajā savairošanās (eruptīvajā) fāzē mirstību visbūtiskāk ietekmē biotiskie faktori – kā iekšējā konkurence par atlikušajiem barības resursiem un dabiskie ienaidnieki (Price, 1997; Barbosa, et al., 2012). Ar tīklapsēņu olām barojas zeltactiņu un mārītes *Cocinella septempunctata* L. kāpuri. Ar kāpuriem un pieaugušajām tīklapsenēm barojas dažas putnu sugas (pamatā zīlītes un mušķērāji), dažādi plēsīgie posmkāji (laupītājmušas, spāres, medniekblaktis, zirnekļi) (Коломиец, 1967).

Pēc savairošanās periodā tīklapsēņu mirstību veicina arī dažādi parazitoīdi. Olu mirstību būtiski ietekmē trihogrammas, bet ziemojošos kāpuros, eonimfās, pamatā parazitē – entomofāga sēne *Beauveria basiana*, kas tos mumificē un pārklāj ar augļķermeņiem, kas zem neapbruņotas acs izskatās kā balts “aplikums” un spēj samazināt ziemojošu eonimfu skaitu līdz vidēji 43,8 % (Коломиец, 1967). Turklāt, zemē nonākušos kāpuros rudens laikā, kad augsnes temperatūras stabiņš samazinās līdz 7 – 3 grādiem pēc Celsija, parazitē *Neoaplectana* ģints nematodes. Šo nematožu inokulācija tīklapsenes kāpurā notiek caur tā mutes orgāniem. Nematodes spēj samazināt ziemojošu kāpuru skaitu līdz vidēji 33 %. Šie augsnē dzīvojošie parazīti pamatā inokulē eonimfas, un tikai retos gadījumos pronimfas. Tas skaidrojams ar to, ka pronimfas kutikulu veido divi slāņi – jaunais (endokutikula) un vecais (eksokutikula). Šāda kutikula kāpuru relatīvi labāk aizsargā no ārējās ietekmes. Kāpuru mirstību sekmē arī parazitoīdās lapsenes – jātniecīņi (Ichneumonidae) (Коломиец, 1967; Kenis, Kloosterman, 2001).

Tīklapsenes kāpuriem nonākot zemē, to mirstību pirmsziemošanas laikā nozīmīgi ietekmē dažādu jātniecīņu sugas (Коломиец, 1967; Kenis, Kloosterman, 2001). Jāatzīmē, ka jātniecīņi tīklapsenes kāpurus to dabiskajā vidē meklē ar kombinēta mehānisma palīdzību (Danchin, et al., 2008; Wajnberg, et al., 2008). Noskaidrots, ka tīklapsēņu kāpuru skartos kokus jātniecīņu mātītes pamatā atrod pēc to agregācijas feromona, kas palīdz tiem veidot klāsterus barošanās laikā (Wajnberg, Colazza, 2013). Nonākot šāda koka tuvumā, jātniecīņu mātītes vizuāli spēj noteikt tīklapsēņu kāpuru veidotās ligzdas. Nolaižoties uz pašas kāpuru ligzdas, jātniecīņš tīklapsenes kāpuru sameklē un tālāk kontrolē pamatā ar taustes palīdzību (Коломиец, 1967; Quicke, 2015).

No priežu audžu tīklapsenes kāpuriem izaudzēto parazitoīdu attēlus skatīt 1. pielikumā.

Olesicampe ģints pieauguši jātniecīņi uzsāk lidot aptuveni nedēļu pēc pirmo priežu audžu tīklapsenes kāpuru parādīšanās. Jātniecīņa mātītes savas olas iedēj vidēji II – III . attīstības stadijas tīklapsenes kāpuros. Viena *Olesicampe sp* jātniecīņa mātīte saimniekorganismā spējīga

iedēt no divām līdz septiņām olām (Muldrew, 1967; Longhurst, Baker, 1981). Mātītes tiklapsesnes skartās priedes pamatā atrod, vadoties pēc bojāto koku izdalītā α – pinēna (Wajnberg, Colazza, 2013). Šīs ģints jātnieciņi pārsvarā ir monovoltīni (raksturīga viena paaudze gadā), un ir oligofāgi – spēj parazitēt uz vairākām vienas dzimtas tiklapsesņu (šajā dalījumā – Pamphiliidae) sugām (Коломиец, 1967). Parazitoīda kāpuri tiklapsesņu kāpuru ķermenī (kas ir to saimnieks), un diapauzē kopā ar to zem zemes. Jātnieciņu *Olesicampe sp.* kāpuri no saimnieka šķīļas un nekavējoties iekūņojas maija beigās. Pieaugušie jātnieciņi no kūniņām sāk atbrīvoties un izlien no zemes jūnija pirmajā nedēļā, kuras laikā kopulē un meklē tiklapsesnes kāpurus (Коломиец, 1967; Billany, Brown, 1980).

Ctenopelma ģintī ir pārstāvēti 43 sugu jātnieciņi, kas pamatā ir monovoltīni oligofāgi. Šīs dzimtas jātnieciņi ir visbiežāk sastopamie pēc īpatņu skaita Austrumeiropas priežu audžu tiklapsesnes savairošanās populācijās; visvairāk konstatēti tieši *Ctenopelma luciferum* (Коломиец, 1967; Billany, Brown, 1980; Kenis, Kloosterman, 2001). *Ctenopelma* lapsenes no kūniņām šķīļas, kad dabā vairs pieejami tikai pusaugu priežu audžu tiklapsesnes kāpuri, uz kuriem tās parazitē (Коломиец, 1967). Jātnieciņa mātītes atrod tiklapsesnes kāpuru ligzdas priežu lapotnē. Tiklapsesnes kāpurs tiek uzmeklēts ar taustes palīdzību un tā krūšu daļā iedēta viena ola, kas vēlāk iekapsulējas, izveido saistaudu saslēgumu tālākai parazitoīda preimago attīstībai. Šo jātnieciņu kāpuri šķīļas, kad tiklapsene nonāk zemē, un ziemo kūniņas stadijā, līdzās saimniekam, līdz maijam (Коломиец, 1967).

Ctenopelma luciferum, savukārt, ir raksturīga atšķirīgāka bioloģija, salīdzinot ar citiem šīs ģints pārstāvjiem. Pieaugušo jātnieciņu mātītes sasniedz vidēji 14mm, bet tēviņi 10mm ķermeņa garumu. *C. luciferum* parazitē tikai uz priežu audžu tiklapsesnes kāpuriem – t.i. šī suga ir speciālists (Коломиец, 1967; Kenis, Kloosterman, 2001). Jātnieciņa kāpurs izšķīļas un izveido kūniņu, kas sagatavojas ziemošanai, tiklīdz tiklapsesnes kāpurs rudenī nonāk zemē un izveido sev gaisa kambari. *C. luciferum* kūniņas spēj diapauzēt zemē vienu līdz trīs gadus, līdz jūnija vidum, kad šķīļas un izlido pieaudzis jātnieciņš. Šie jātnieciņi lido līdz jūlija beigām un prioritāri parazitē uz priežu audžu tiklapsesnes liela auguma (pirmspēdējās attīstības stadijas) kāpuriem (Коломиец, 1967; Billany, Brown, 1980; Kenis, Kloosterman, 2001).

Homaspis rufina jātnieciņi parazitē tikai uz priežu audžu tiklapsesnes un priežu zilās tiklapsesnes *Acantholyda erythrocephala* kāpuriem (Kenis, Kloosterman, 2001). Mātītes sasniedz vidēji 16 mm, bet tēviņi 11 mm ķermeņa garumu. Pieaugušie jātnieciņi lido no maija līdz jūlijam, un dēj olas 2., 3. stadijas *A. posticalis* kāpuros. *H. rufina* mātīte pielido pie *A. posticalis* kāpuru ligzdas un ar taustes, smaržas palīdzību atrod un izvēlas vienu, kurā iedēj olu. Dēšanas laikā jātnieciņš ar taustekļiem kontrolē tiklapsesnes kāpuru, neļaujot tam pārvietoties. Parazitoīda kāpurs šķīļas zemē, rudenī un ziemo kūniņas veidā, līdzās mirušajam saimniekam, līdz nākamā pavasara marta beigām (Коломиец, 1967).

Xenoschesis fulvipes līdzīgi pārējām jātnieciņiem, ir oligofāfi (parazitē pamatā uz *Acantholyda arvensis*, *A. erythrocephala* un *A. posticalis*) monovoltīni (Коломиец, 1967; Li, Sheng, 2012). Pieauguši jātnieciņi sasniedz vidēji 12 mm. *X. fulvipes* lidošanu uzsāk jūnija pirmajā pusē. Jātnieciņa kāpurs pārziemo saimniekā līdz nākošā pavasara maija beigām. Parazitoīda kāpurs šķīļas un kūniņas stadijā attīstās līdz jūnija sākumam (Коломиец, 1967). Interesanti, ka *X. fulvipes* parazitē tikai eonimfas (Коломиец, 1967; Kenis, Kloosterman, 2001). Turklāt, šis jātnieciņš ir vienīgais no šeit minētajiem parazitoīdiem, kam ir konstatēts lielākais hiperparazitisma risks. *X. fulvipes* kāpuros parazitē citi Ichneumonidae dzimtas pārstāvji – pamatā *Holocremnus sp.* un *Meiochorus sp.* (Коломиец, 1967; Kenis, Kloosterman, 2001; Quickle, 2015).

Nemorilla maculosa ir monovoltīns parazitoīds, kas pieder Tachinidae kāpurmušu dzimtai. Atšķirībā no jātnieciņiem, *N. maculosa* ir ģenerālists – barojas virstaksona robežās (Ichneumonidae). Šī kāpurmuša konstatēta daudzās *A. erythrocephala* un *A. posticalis*, kā arī Tethredinidae tiklapsesņu savairošanās populācijās kā patstāvīgs parazitoīds (Коломиец, 1967). Neliels šī parazitoīda skaita pieaugums parasti novērojams 2 - 3 gadus pēc tiklapsesnes savairošanās “pīķa” (Kenis, Kloosterman, 2001). Pieaugušās *N. maculosa* kāpurmušas lido

jūlija pirmajā pusē. Kāpurmušas mātīte rūpīgi izvēlās tīklapseņu kāpuru ligzdas, un 3 – 9 olas dēj klāsteros – rindās – galvenokārt uz jaunajām skujām. Šīs olas *A. posticalis* kāpuri apēd. Kāpurmušu olas klāj izteikti biezs un ciets horijs, kurš daļēji sadalās tīklapsesnes gremošanas traktā. *N. maculosa* kāpuri izšķīloties, ir pietiekami sīki, ka spēj izgrauzties cauri *A. posticalis* saimnieka gremošanas traktam, atstājot to praktiski neskartu; un tālāk pārvācas baroties tīklapsesnes kāpura tauku slāņos. Kad mušu kāpuri saimnieka ķermenī sasniedz kritisko izmēru (parasti tad, kad tas ir ieracies jau zemē), tie apēd saimnieka iekšējos orgānus – beigās arī tos, kas nodrošina vitālās funkcijas. Jāatzīmē, ka pat šajā gadījumā kāpurmušas kāpuri saimnieka organismā nav noslēguši savu augšanu, bet pārtrauc to ziemas diapauzes laikā. Iestājoties pavasarim, *N. maculosa* kāpuri atsāk savu attīstību mirušā saimniekā, izmantojot pēdējās atlikušās rezerves, kas saglabājušās pēc ziemas. Kad izbeidzās tās, kāpuri kļūst izteikti kanibālistiski, un nogalina vājākos no savējiem. Parasti 1/3 līdz 2/3 no kāpuriem saimniekā vēlāk kalpo par resursu, lai pārējie varētu pabeigt savu augšanu un sekmīgi iekūņotos turpat pie saimnieka (Kenis, Kloosterman, 2001.; Wajnberg, et al., 2008). *N. maculosa* parazitē pamatā *A. posticalis* eonimfas (Коломиец, 1967; Kenis, Kloosterman, 2001).

Trichogramma embryophagum spožlapsesnes ir parazitoīdi, kuru kāpuri barojas arī ar *A. posticalis* olu saturu. Pēc barošanās iezīmēm, trihogrammas iedalāmas pie ģenerālistiem, jo neatrodot izvēlētās mērķsugas olas, meklē alternatīvos saimniekus – bieži vien starp dažādiem lidojošo kukaiņu virstaksoniem (zināmas vairāk kā 27 dažādas zvīņspārņu un plēvspārņu sugas). Trihogrammas ir vieni no efektīvākajiem olu parazitoīdiem, tāpēc bieži tiek izmantotas, pamatā lauksaimniecības kaitēkļu, bioloģiskajā kontrolē (Коломиец, 1967; Kenis, Kloosterman, 2001).

Lai noritētu sekmīga *T. embryophagum* attīstība, ir svarīga cieša to attīstības cikla sinhronizācija ar saimniekorganismu. Trihogrammu izlaišana visefektīvāk strādā laikā, kad pieejams pēc iespējas lielāks parazitējamā organisma olu skaits. Laika nobīde *T. embryophagum* izlaišanā var rezultēties nepietiekamā kaitēkļa mirstībā. Tas tāpēc, ka trihogrammām raksturīgs straujš metabolisms un īss dzīves cikls, kas daļēji skaidrojams ar to niecīgajiem ķermeņa izmēriem (mātītes – 0,5-0,8 mm, tēviņi – 0,3-0,4 mm) (Коломиец, 1967; Price, 1997; Kenis, Kloosterman, 2001). Pieaugušās trihogrammas kopulē un dēj olas jau pirmajās divās dienās kopš izšķīšanās no saimnieka olām. Viena *T. embryophagum* mātīte saimnieka olā iedēj 5- 14 savu olu. No tām vēlāk šķīļas kāpuri un barojas ar saimnieka olu saturu un aug līdz iekūņojas un izlido 8-10 dienu laikā. Ar trihogrammām invadētās *A. posticalis* olas pirmajās 3 dienās iegūst grūtāk pamanāmus rozā plankumus, bet 5-7 dienu laikā kļūst melnas, spīdīgas. Jaunā trihogrammu paaudze pirms izlidošanas saimnieka olā izgrauž vidēji 2 - 3 ejas. Caur tām, tās izlido no saimnieka olas. Ja trihogrammas olas tiek iedētas laikā, kad saimnieka olā jau attīstījies embrijs – tad parasti neizdzīvo abas organismu grupas (Коломиец, 1967). Pieaugušās trihogrammas spēj baroties ar medusrasu un uzņemt dažādus monosaharīdus – piemēram, fruktozi un glikozi, un šādi papildināt savas enerģijas rezerves (Price, 1997; Danchin, et al., 2008). *T. embryophagum* imago dabā bez barības spēj izdzīvot vien dažas dienas, bet papildusbarojoties – līdz nedēļai. Veicot bioloģisko kontroli, šāds paņēmieni palielina mērķsugas mirstību un sekmē parazitoīda vairošanos (Коломиец, 1967; Kenis, Kloosterman, 2001). Dabā trihogrammas ievērojami ietekmē ne tikai saimnieku pieejamība, bet arī laikapstākļi (Price, 1997; Wajnberg, et al., 2008). Sekmīgu trihogrammu vairošanos negatīvi ietekmē ilgstošs lietus un vējš (Коломиец, 1967; Kenis, Kloosterman, 2001).

Materiāls un metodes

Daugavpils pilsētas apsaimniekoto mežu teritorijā pie Stropu ezera 2013. gada vasarā tika novērota priežu audžu tīklapsesnes *Acantholyda posticalis* (Matsumura, 1912) savairošanās apmēram 100 ha platībā. Kopš tā laika savairošanās paplašinājusies, skarot arī audzes akciju sabiedrības “Latvijas valsts meži” (turpmāk tekstā – LVM) apsaimniekotajās meža platībās.

Dažādu pētījuma aktivitāšu parauglaukumi izvietoti Daugavpils pilsētas mežos un LVM apsaimniekotajos mežos 310. kvartālapgabala 220, 222., 227., 228., 233., un 285 kvartālā.

Zemes slazdi izrakti 2021. gada rudenī, pēc tam, kad tīkklapseņu lidošanas laikā netika noķerta neviena tīkklapsene, ne arī tīkklapsesenes parazitoīdi. 2022. gada vasarā Zemes slazdu vietā tika izvietoti zemesedzes slazdi, lai monitorētu tīkklapsesenes un tās dabisko ienaidnieku lidošanu (3.1. attēls).



3.1. attēls. Zemes slazdu izvietojums mežā. Katrs Δ apzīmē vienu slazdu pāri.

Priežu audžu tīkklapsesenes kāpuri pārziemo augsnē, kur pavasarī iekūpojas un izlido jau pieaugušas tīkklapsesenes. Lai novērotu pieaugušo tīkklapseņu izlidošanu pavasarī – izlidošanas laiku, dzimumproporciju un parazitoīdu daudzumu, tika konstruēti zemesedzes slazdi (3.2. attēls A, B). Slazda iekšpuse ir izklāta ar melnu audumu piltuves veidā. Slazda augšpusē novietots uztvērējs. Slazda zemei pieguļošā daļa ir aplis ar diametru 38 cm (laukums ir $0,1\text{m}^2$) (sakrīt ar zemē ieraktajiem cilindriem – zemes slazdiem). Slazdi konstruēti 2016./2017.gada ziemā

Pirms izvietojšanas mežā, slazdi testēti laboratorijā 2017.gada pavasarī. Aprīlī Daugavpils pilsētas mežos ievākti tīkklapsesenes ziemojošie kāpuri ar visu augsni un ievietoti traukos, kuru atvērums sakrita ar slazdu pamatni, un tie savienoti. Laboratorijā, turot slazdus temperatūrā apmēram 17 grādi pēc Celsija, tika stimulēta kāpuru attīstība un novērtēta slazdu efektivitāte. Tika secināts, ka izšķīlušās tīkklapsesenes nonāk uztvērējā, kurā ielietais ūdens tās fiksē (3.2. attēls C,D).



3.2 attēls. Zemsedzes slazdu konstruēšana un testēšana laboratorijā: A) zemsedzes slazdu pamatnes veidošana, B) pamatnes iekšpuse, C) augsne ar kāpurim slazdu efektivitātes novērtēšanai laboratorijā, D) uztvērējā noķertā tīklapsene. (A. Šmita foto)

Desmit zemsedzes slazdi 2017. gada pavasarī tika izvietoti mežaudzēs netālu no 2016. gadā ieraktajiem zemes slazdiem, ar mērķi novērtēt slazdu efektivitāti lauka apstākļos. Pirms tam tika veikta pronimfu iekūņošanās novērojumi. Slazdi mežā izlikti 1. jūnijā, kad augsnē tika konstatētas pirmās kūniņas. (3.3. attēls). Kopumā secināts, ka zemsedzes slazdi ir efektīvi un ir pilnībā atbilstoši lidošanas monitoringa mērķiem. Slazdu izmēģināšanas laikā tika noķertas 277 tīklapsenes un 91 parazitoīds.



3.3. attēls. Priežu audžu tīklapsenes ziemojošo kāpuru attīstības stadijas uz 1.jūniju – novēroti pirmie iekūņojušies kāpuri (A. Šmita foto).

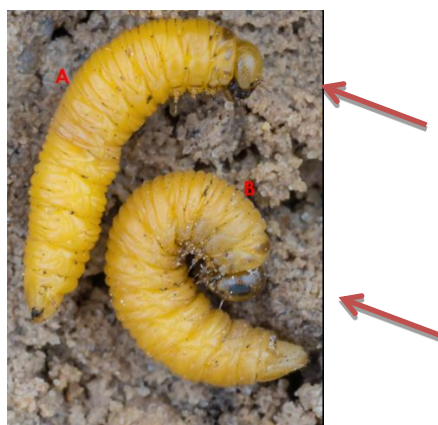
2018.gadā laikā no februāra līdz aprīlim izgatavoti vēl 16 zemsedzes slazdi atbilstoši iepriekšējā gadā aprobētajai metodei. Visi 26 zemsedzes slazdi izvietoti virs priežu audžu tīklapsenes savairošanās skartajās audzēs iekārtotajiem zemes slazdiem (virs slazda A) 2018., 2019. 2020. un 2021. gada maija beigās (3.4. attēls.) un eksponēti līdz 1.jūlijam. 2022.gadā zemsedzes slazdi izvietoti blakus zemes slazdu atrašanās vietai. Zemes slazdi izrakti 2021. gada oktobrī.



3.4. attēls. Zemesdzies slazdi mežā. Slazdu atrašanās vieta tika iezīmēta ar norobežojošām lentām un pievienots plakāts ar informāciju par slazdiem (A. Šmita foto)

Kāpuri pamet ligzdas priežu vainagos un krīt zemē jūlija beigās. Tie izlien cauri zemsegai un ierokas augsnē 15-30 cm dziļi un pārvēršas eonimfās (3.5.attēls. A). Tās izvietojas priežu vainagu projekcijas attālumā no stumbra. Tās eonimfas, kas nākamajā pavasarī iekūņosies, jau augustā un septembrī pārvēršas pronimfās (3.5.attēls. B). Pieaugušie īpatņi sāk izlidot maija beigās (Ozols 1985). Līdz ar to optimālais uzskaites laiks, prognozējot masveida savairošanos vai ieilgušas masveida savairošanās ligzdas tālāko attīstību, ir no septembra vidus līdz maija vidum (15.09 - 15.05).

Saskaņā ar 2016. gadā aprobēto metodiku 2017., 2018., 2019., 2020., 2021. un 2022. gada rudenī, laikā no 5. septembra līdz 15. oktobrim, veikta tīklapsenes ziemojošo kāpuru uzskaitē 80 parauglaukumā. Kāpuri 2017., 2018., 2019., 2020., un 2021. gada rudenī uzskaitīti tajās pašās vietās kur 2016. gadā, papildinot uzskaites ar vēl vienu parauglaukumu. 2021. gada rudenī kartēšana veikta no 29. septembra līdz 30. septembrim. Katrā parauglaukumā kāpuri tiek uzskaitīti trīs augsnes paraugos. Augsnes paraugi tiek ņemti zem priežu vainaga projekcijas, 15-20 m attālumā viens no otra. Augsnes parauga izmēri - 25 cm dziļi 20x20 cm² laukumi.



3.5. attēls A – Eonimfa (bez tumša laukuma uz galvas kapsulas). B – Pronimfa – eonimfa, kas gatavojas pavasarī izlidot – uz galvas kapsulas izveidojies redzams, viegli lokveida, melns plankums

Augsnes paraugs tiek rūpīgi pārmeklēts, un uzskaitīti visi kāpuri, atsevišķi skaitot eonimfas, pronimfas, mirušus kāpurus (sabrūnējuši un bez kustības), tiek atzīmēta arī paraugā atrastie parazītu kokoni un kāpuri ar parazīta klātbūtnes pazīmēm. Kāpuru, kas attīstījušies

2017., 2018., un 2020. svars iegūts, sverot tikai tos kāpurus, kas nokļuva ierīkotajos zemes slazdos kontroles tilpumos. 2019. gadā un 2021. gadā zemsedzes slazdos netika atrasts neviens kāpurs, tāpēc datus par 2019. gada kāpuru populācijas svaru nebija iespējams iegūt. 2019., 2021., un 2022. gados kāpuru svars iegūts no kāpuriem zemsedzes uzskaitē 80 kontroles punktos. Salīdzināšanai izmantoti 2017. gada pavasarī ievākto pronimfu masas parametri. Šiem kāpuriem svars iegūts atsevišķi mātītēm un tēviņiem, kā arī parazitētiem kāpuriem. Tas panākts pronimfas iepriekš nosverot un tad audzējot līdz imago, jo pieaugušo īpatņu dzimumu ir vizuāli viegli atšķirt.

Katrā ziemojošo kāpuru uzskaites vietā 50m rādiusā ap parauglaukuma centru mežaudzei tiek novērtēta vidējā priežu vainagu defoliācijas pakāpe procentos ar 10 % soli (3.1.tabula.)

3.1.tabula

Priežu vainagu defoliācijas pakāpe procentos un raksturojums

Skuju zaudējuma pakāpe procentos	Defoliācijas pakāpe
0–10	nav defoliācijas
11–25	neliela defoliācija
26–60	vidēja defoliācija
61–99	stīpra defoliācija
100	gājis bojā

Iegūtie ziemojošo kāpuru skaita dati tika apstrādāti un vizualizēti izmantojot interpolācijas metodi "Spline" (ArcGis, Qgis SAGA).

Lai novērtētu priežu audžu tīklapsenes radītās defoliācijas ietekmi uz koksnes pieaugumiem, tika izveidotas trīs parauglaukumu grupas ar trīs pastāvīgiem 500 m² lieliem apļveida mežaudzes parauglaukumiem katrā grupā. Parauglaukumi tika iekārtoti 2016. gada vasarā. Ceturta, jeb kontroles parauglaukumu grupa, izveidota 2018.gada vasarā (jo iepriekš, 2017. gadā, izvēlētajā kontroles teritorijā tika plānota saimnieciskā darbība), audzēs bez defoliācijas pazīmēm. Kontroles parauglaukumi atrodas apmēram 2 kilometru attālumā no savairošanās epicentra.

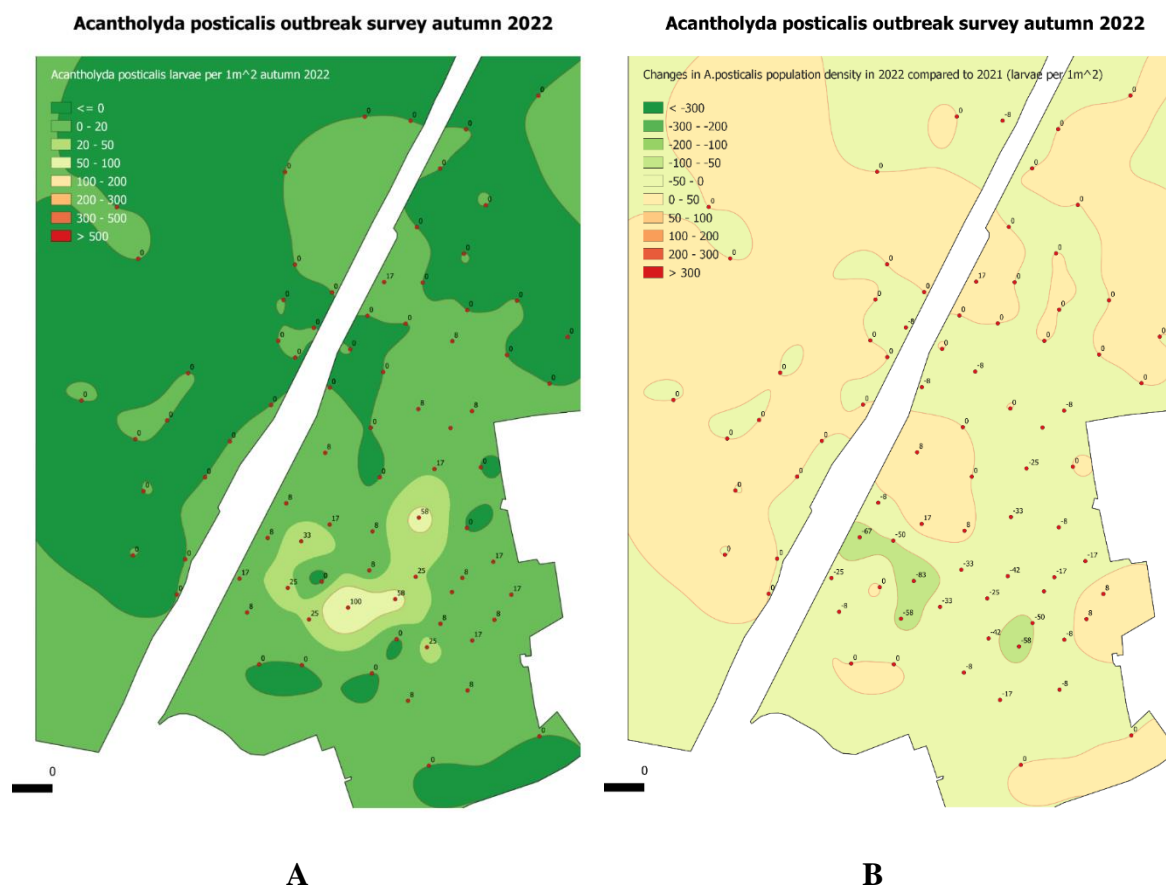
Katra parauglaukuma centrs marķēts ar krāsotu centra mietiņu. Visi koki parauglaukumā numurēti un noteikta to atrašanās vieta parauglaukumā – noteikts attālums un azimuts no parauglaukuma centra. Koku stumbra diametrs uzmērīts diametrs 1,3m augstumā. Katru gadu vizuāli tiek novērtēta katra koka vainaga defoliācija. Viena parauglaukumu grupa reprezentē savairošanās epicentru, otra – vidēji bojātas audzes, trešā – maz bojātas audzes, bet ceturta ir kontroles audze.

Rezultāti

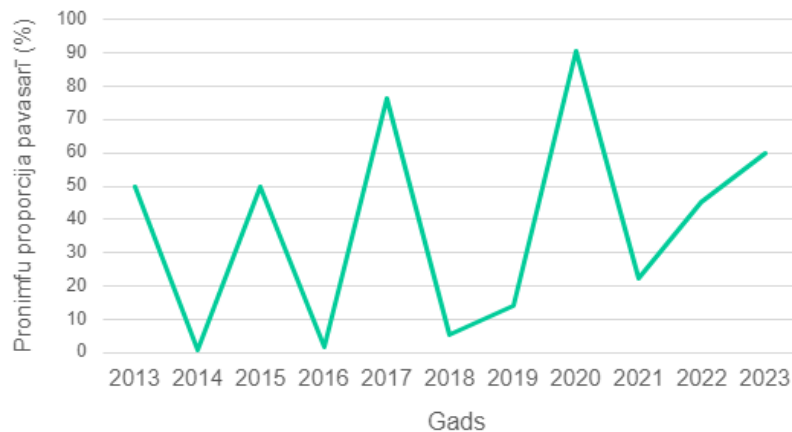
Veicot ziemojošo kāpuru novērtējums zemē ieraktajos cilindros – zemes slazdos – tie tika izrakti 2021. gada rudenī, kad tīklapsēņu lidošanas laikā zemsedzes slazdos netika noķerta neviena pieaugusi tīklapsene, ne arī parazitoīdi. Zemes slazdos netika atrasti atlikuši kāpuri. Slazdi atkārtoti tika izlikti 2022. gadā 26. aprīlī ar mērķi noteikt arī *Ips acuminatus* 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 jātnieciņ- tīklapsenes dabiskie ienaidnieki.

Vērtējot priežu audžu tīklapsenes populācijas dinamiku konstatēts, ka 2022. gada vasarā izlidoja 60% no visiem kāpuriem, tomēr savairošanās teritorijā uz koku stumbriem varēja atrast

tikai dažas pieaugušas tīklapsenes. 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. Tikai vienā uzskaites punktā (#76) kāpuru daudzums augsnē sasniedza 100 kāpurus uz 1 m², kas pētījuma gaitā subjektīvi pieņemts par masu savairošanās sliekšni (3.6. attēls). Arī 2021. gadā šajā uzskaites punktā tika novērots lielākais kāpuru daudzums uz 1 m². 2021. gadā tas bija 133 kāpuri uz 1 m². 2022. gadā platība kurā kāpuru skaits uz 1 m² sasniedz 100 ir daudzkārt mazāka par 1 ha (95 m²). Salīdzināšanai jāmin, ka 2016. gada pavasara pārbaudē lielākais vienā parauglaukumā atrasto kāpuru skaits pārsniedza 1200 kāpurus uz 1 m². Salīdzinot ar 2021. gadu, 2022. gadā ziemojošo (diapauzējošo) vairākos uzskaites punktos kāpuru daudzums palielinājies, tomēr absolūtais kāpuru daudzums uz m² bija neliels. Lielākais kāpuru pieaugums novērots 31. un 37. uzskaites punktos. Šajos uzskaites punktos kāpuru daudzums palielinājies par 17 kāpuriem uz 1 m². Vairumā uzskaites laukumu novērots būtisks kāpuru skaita samazinājums. Lielākais kāpuru skaita samazinājums novērots 28. uzskaites punktā - 83 kāpuri uz 1 m². Pronimfu proporcija populācijā pa gadiem ievērojami atšķirās (3.7.attēls).

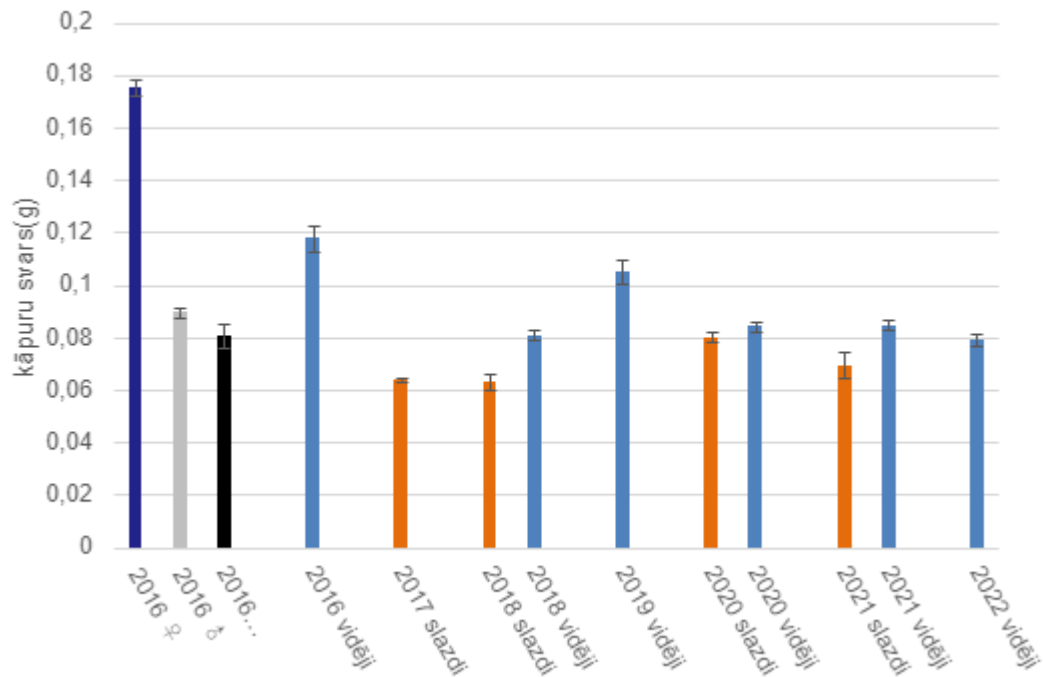


3.6. attēls. Priežu audžu tīklapsenes kāpuru daudzums uz 1 m² 2022. gada rudenī (A) un tā salīdzinājums ar 2021. gada rudenī konstatēto (B)



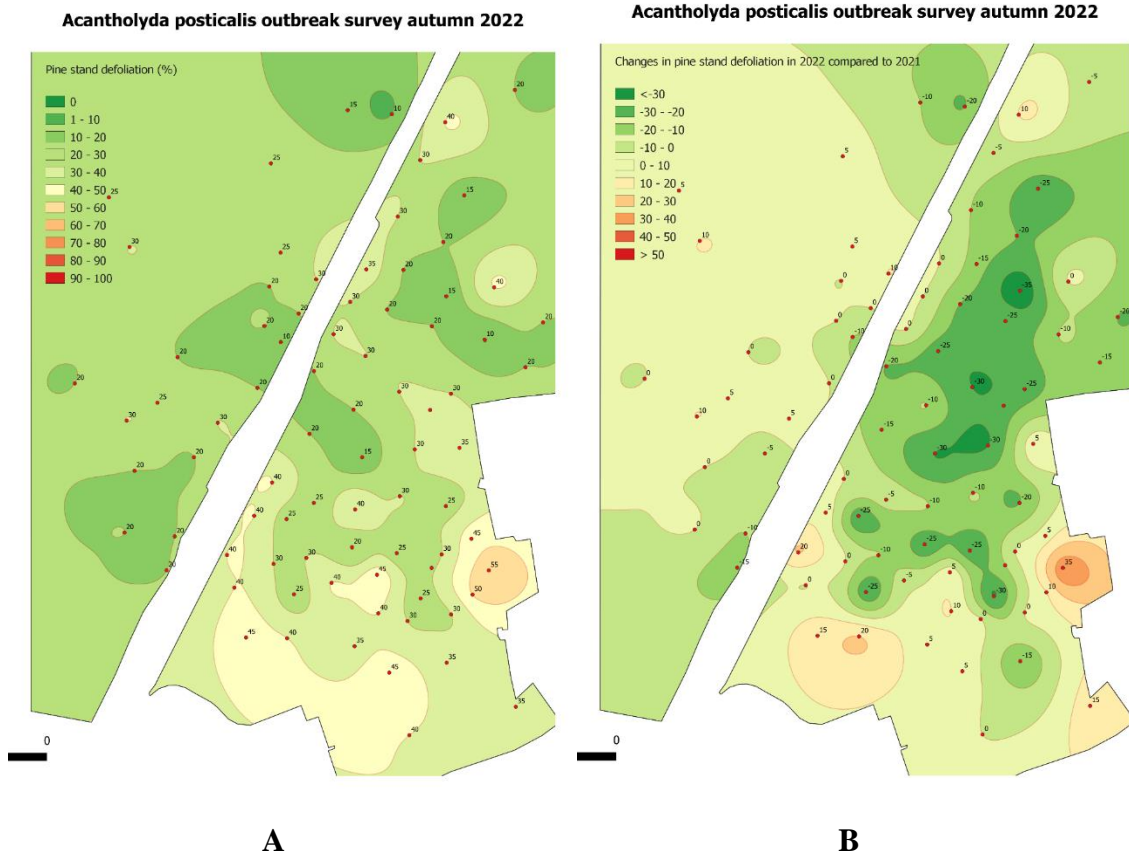
3.7. attēls. Priežu audžu tīklapsenes pronimfu proporcija pavasarī laikā no 2013. gada līdz 2023. gadam

Intensīvā tīklapseņu lidošana 2017. gada vasarā izraisīja iekšsugas konkurenci un augstu kāpuru mirstību. To kāpuru svars, kas koku vainagos barojās 2017. gada vasarā bija par 45% mazāks nekā ziemojošajiem kāpuriem 2017. gada pavasarī (3.8. attēls.). Vidējais svars visiem ziemojošiem kāpuriem 2022. gada rudenī salīdzinot ar 2021. gada rudenī vēl vairāk samazinājies sasniedzot zemāko rādījumu kopš 2016. gadā uzsāktā kāpuru svara novērtējumiem. Mazais kāpuru svars norāda uz to, ka tīklapsenes populācija ir depresijas stadijā. Tas nozīmē, ka, neskatoties uz populācijas samazinājumu un priežu vainagu atjaunošanos un labākiem kāpuru barošanās apstākļiem to svars rudenī turpina samazināties. Iespējams tas saistīts ar priedes inducēto aizsargreakciju uz koku defoliāciju (Moreira et al. 2013; Ferrenberg et al., 2015; Bittnera et al. 2019 u.c.). Kāpuru svars tieši korelē ar tīklapseņu potenciālo auglību un netieši norāda uz populācijas stāvokli. Pēdējos gados tīklapsenes populācija ir strauji samazinājusies un novērotais kāpuru svara samazinājums raksturīgs strauji sarūkošai populācijai. Dabisko ienaidnieku, sevišķi parazītoīdu, ietekme arvien palielinās.

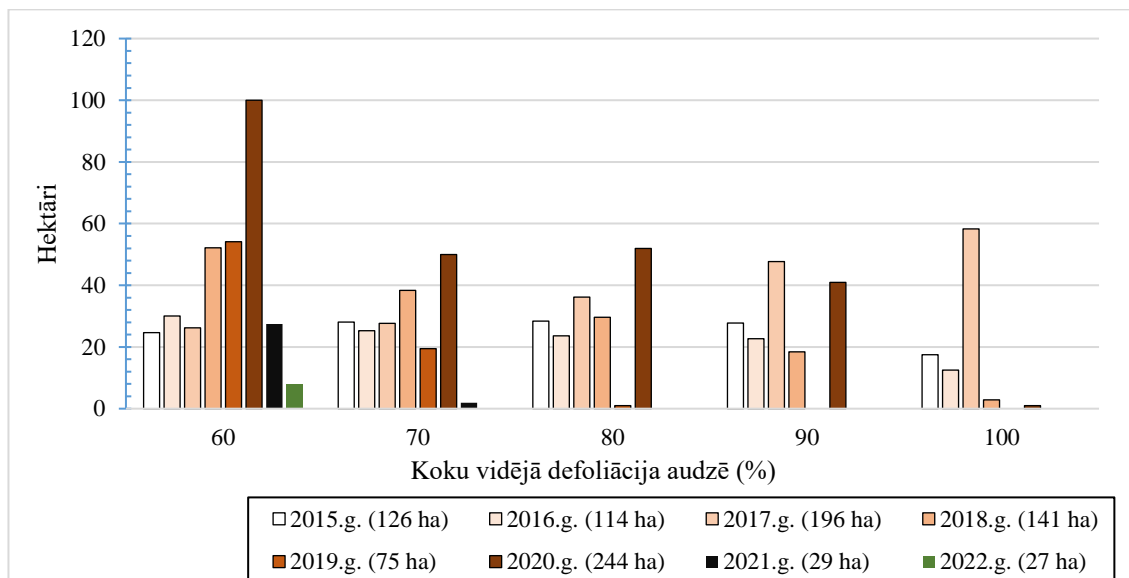


3.8. attēls. Ziemujošo kāpuru svara (g) salīdzinājums. Oranžie stabiņi ir kāpuru svari konkrētajā attīstības gadā (ievākti no zemes slazdiem). Pārējie stabiņi reprezentē kāpuru svaru konkrētajā gadā no dažādos gados attīstījušos kāpuru populācijas.

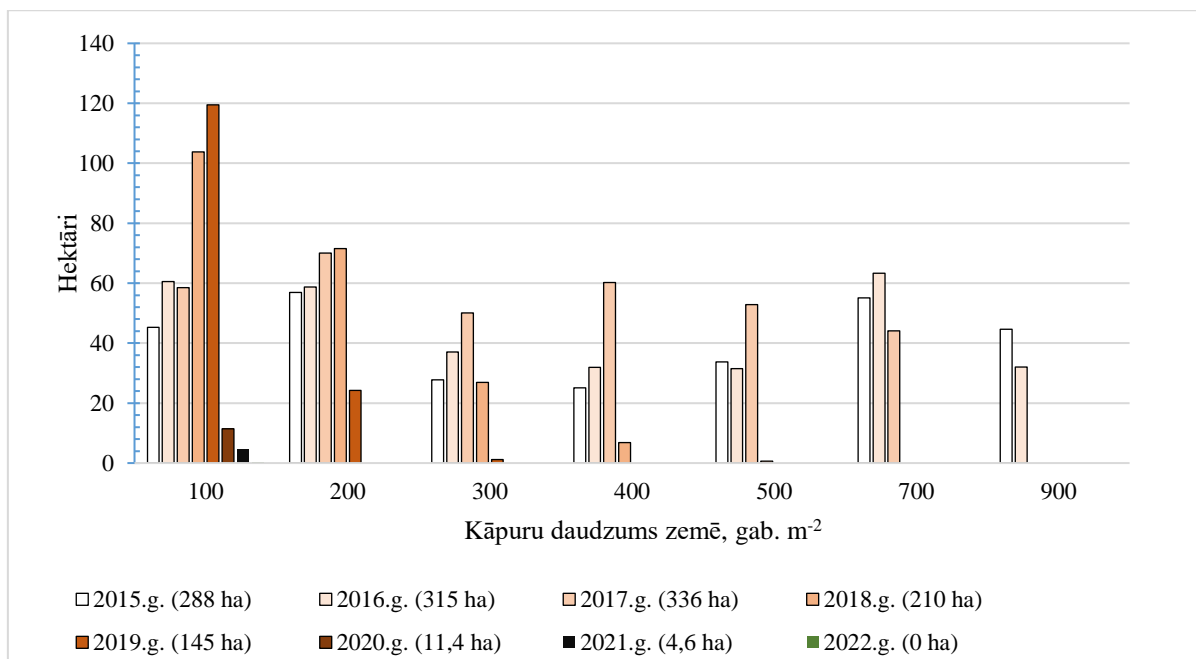
Koku defoliāciju un koku fizioloģisko procesu reakciju uz defoliāciju ietekmē kāpuru attīstību (sekundāro metabolītu sintēze u.c. (Bennett & Wallsgrrove, 1994)). Līdz ar to neskatoties uz vairāku gadu periodu bez būtiskas koku defoliācijas, skuju barības vērtība kāpuru attīstībai, iespējams, ir zemāka, nekā savairošanās sākumā. Tīklapsenes populācija kopš 2016. gada ir sarukusi vairāk nekā 10 reizes, likumsakarīgi, samazinoties arī koku defoliācijai (3.9., 3.10. attēls.). Turpinoties ziemujošo kāpuru daudzuma uz platības vienību kritumam (3.11.attēls), tuvākajā nākotnē nav sagaidāma augsta to ietekme (t.i. koku defoliācija).



3.9. attēls. Audžu defoliācija 2022. gada rudenī (A) un tās salīdzinājums ar 2021.gada rudenī konstatēto (B)

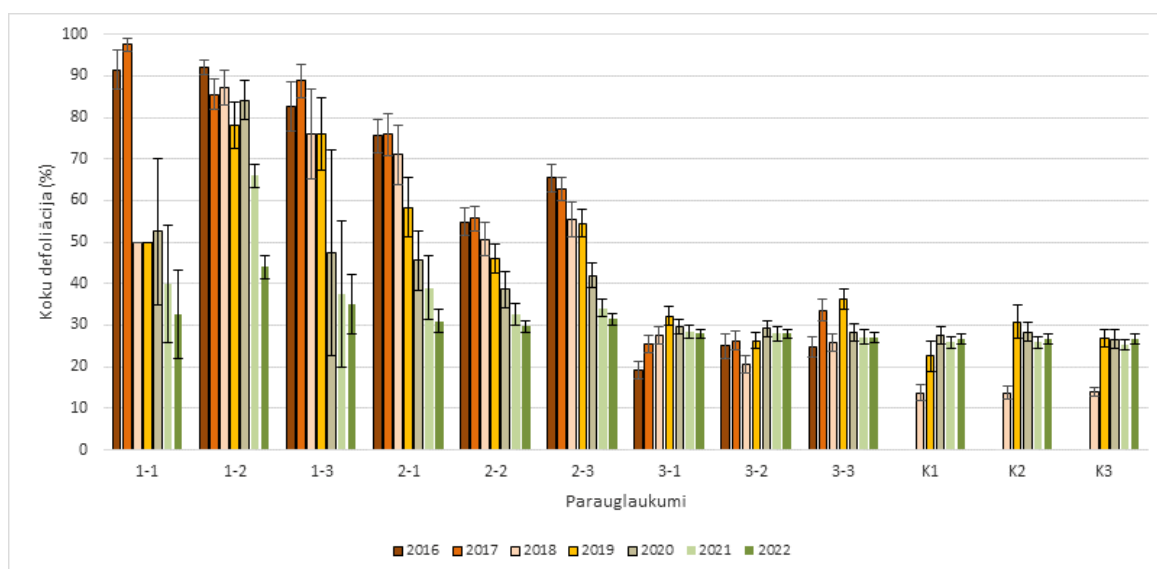


3.10. attēls. Priežu audžu tīklapsenes savairošanās nozīmīgi bojāto audžu (defoliācija rudenī lielāka par 50%) platību izmaiņas laikā no 2015. gada līdz 2022. gadam



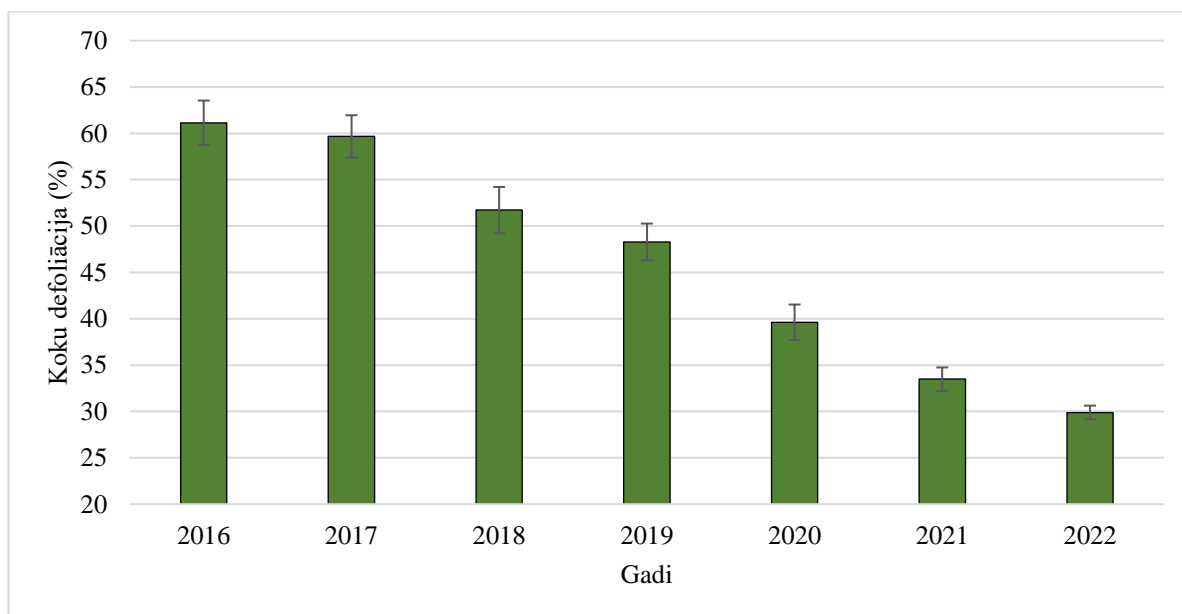
3.11. attēls. Priežu audžu tīklapsenes savairošanās skarto audžu platību izmaiņas laikā no 2015. gada līdz 2022. gadam sadalījumā pēc ziemojošo kāpuru daudzuma uz 1 m²

Mežaudzes pieauguma parauglaukumos 2016., 2017., 2018., 2019., 2020., 20221. un arī 2022. gada augustā novērtētā koku defoliācija (3.12., 3.13. attēls) liecina par pakāpenisku koku vainagu atjaunošanos tīklapsenes masveida savairošanās skartajās platībās. Kopējo audžu defoliācijas vērtējumu ietekmēja arī veiktās sanitārās cirtes, kurās izvēkti stipri atskujoti koki (3.2. tabula). Vairāk bojātajās mežaudzēs augsta koku defoliācija novērota vairākus gadus pēc kārtas, izraisot koku nokalšanu (3.14. attēls).



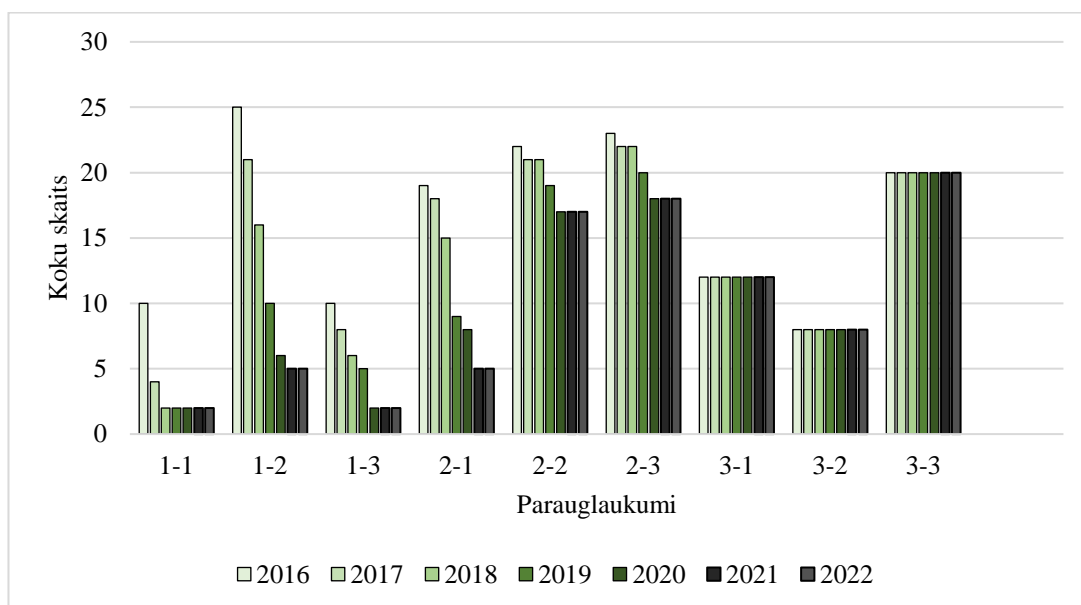
3.12. attēls. Vidējās koku defoliācijas izmaiņas parauglaukumos no 2016. gada līdz 2022. gadam

Ietekmētās (novājinātās) priedes invadē priežu lūksngrauži (*Tomicus spp*). 2019.-2022. gadā novērota arī priežu galotņu mizgrauža (*Ips acuminatus*) lokāla savairošanās. Konstatē arī sveķotājsmecernieku (*Pissodes spp*) un priežu divpadsmitzobu mizgrauža (*Ips sexdentatus*) klātbūtne.



*nav ietverti kontroles parauglaukumu dati

3.13. attēls. Vidējā koku defoliācija pieaugumu parauglaukumos



3.14 attēls. Dzīvo koku skaita izmaiņas parauglaukumos

Sanitāro ciršu apjoms tīklapsenes savairošanās skartajās audzēs

Gads	Faktiski izcirstā platība (ha)	Faktiski izcirstais koksnes apjoms, (m ³)
2013	11,8	13
2014	185,98	221
2015	186,28	214
2016	163,49	238
2017	164,87	461
2018	143,7	673
2019	173	1405
2020		
KOPĀ	1029,12	3225

Kopsavilkums

Tīklapsenes savairošanās savu maksimumu sasniedza 2017. gada vasarā, kad izlidoja 90% tīklapseņu. 2022. gadā kāpuru daudzums augsnē, kā arī šajā gadā attīstījušos kāpuru svars būtiski samazinājies, likumsakarīgi kritoties arī audžu vidējai defoliācijai. Šajā pētījuma etapā veiktajā uzskaitē konstatēts, ka pronimfu proporcija ir 60%. Tātad 2023. gada vasarā izlidos lielākā daļa no atlikušajiem ziemojošiem/diapauzējošiem kāpuriem. Ņemot vērā ievērojami sarukušo populācijas lielumu, nākamgad tīklapseņu lidošanas aktivitāte būs zema un atlikušo koku defoliācija nebūs manāma. Tīklapsenes novājinātās priedes jau kopš 2017. gada invadē stumbra kaitēkli, visvairāk – priežu lūksngrauzi (*Tomicus spp.*) un priežu galotņu mizgrauzis (*Ips acuminatus*).

Priežu audžu tīklapsenes savairošanās ir ilgstoša, bet lokāla. Šo savairošanos varbūtību vēlams vērtēt, ja tīklapsenes pamanītas uz koku stumbriem (parasti jūnija sākumā) vai ir citas indikācijas par iespējamu paaugstinātu to populācijas blīvumu. Vērtēšana noteikti veicama jau ietekmētajās audzēs, kur priežu defoliācija pārsniedz 50%. Savairošanās varbūtības vērtēšanas paņēmiens: ziemojošo kāpuru uzskaiti paraugbedrēs rudenī (oktobrī – novembrī) vai pavasarī pirms tīklapseņu izlidošanas (martā – maijā) – laikā, kad visa populācija atrodas augsnē un ir iespēja novērtēt eonimfu un pronimfu proporciju. Nepieciešamo turpmāko pasākumu kopums atkarīgs no paraugbedrēs konstatētā ziemojošo kāpuru daudzuma uz m²:

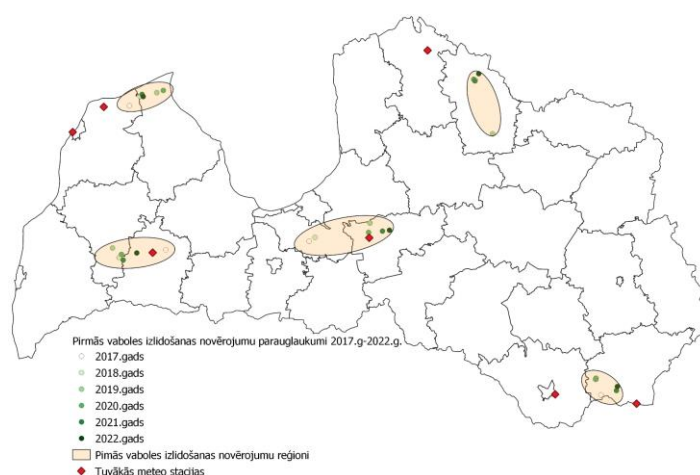
- 1) ja tas <20 – izvieto putnu būrus dobumperētāju putnu piesaistīšanai (ap 5 uz ha);
- 2) ja tas >20 un <50 – veic savairošanās kartēšanu novērtējot koku defoliāciju un novērtē prognozējamo lidošanas intensitāti konkrētajā gadā (pronimfu proporcija). Aprīlī – maijā veic priežu apsekošanu, meklējot stumbra kaitēkļu svaigi invadētas priedes. Šos kokus izvāc sanitārajā cirtē līdz 1. jūnijam;
- 3) ja tas >50 – veic ziemojošo kāpuru blīvuma detalizētu kartēšanu, nosakot arī parazītoīdu klātbūtni. Par parazītoīdu klātbūtni un izlidošanas intensitāti iegūst arī papildus informāciju no audzēs izvietotiem zemsedes slazdiem (eksponēšanas laiks – 1. jūnijs līdz 15. jūlijs). Ja audze atbilst galvenās cirtes kritērijiem, plānot kailcirti jūnijā vai jūlijā. Tas nodrošina, ka attīstību nepabeigušie kāpuri iet bojā, būtiski samazinot populāciju. Ja audze neatbilst galvenās cirtes kritērijiem, katru pavasari līdz 1. jūnijam veic sanitāro cirti, kā arī regulārus atkārtotus apsekojumus vasarā un nepieciešamības gadījumā izlases cirti arī rudenī. 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. Audžu apsekošana veicama līdz laikam, kad priedes atjaunojušas vainagus un koku defoliācija ir mazāka par 50%.

Pētījuma pārskatā ietvertā analīze sagatavota arī publikācijas manuskripta formā.

3.2. Klimata pārmaiņu ietekmes uz egļu astoņzobu mizgrauzi novērtējums

Egļu astoņzobu mizgrauža lidošanas monitoringam katru gadu tiek ierīkoti parauglaukumi 5 Latvijas reģionos (3.15. attēls). Analogi mizgraužu lidošanas dinamikas monitoringam, svaigās skuju koku cīsmās 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 LVGMC stacijās.



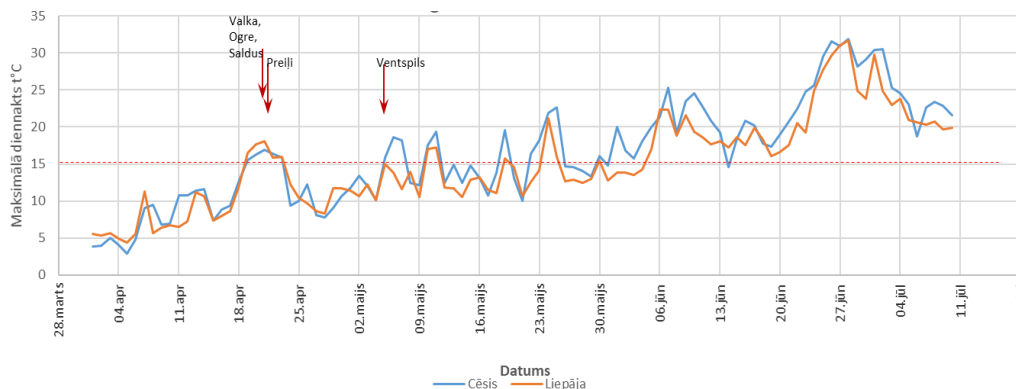
3.15. attēls. Egļu astoņzobu mizgrauža izlidošanas sākuma monitoringa reģioni.

Rezultāti

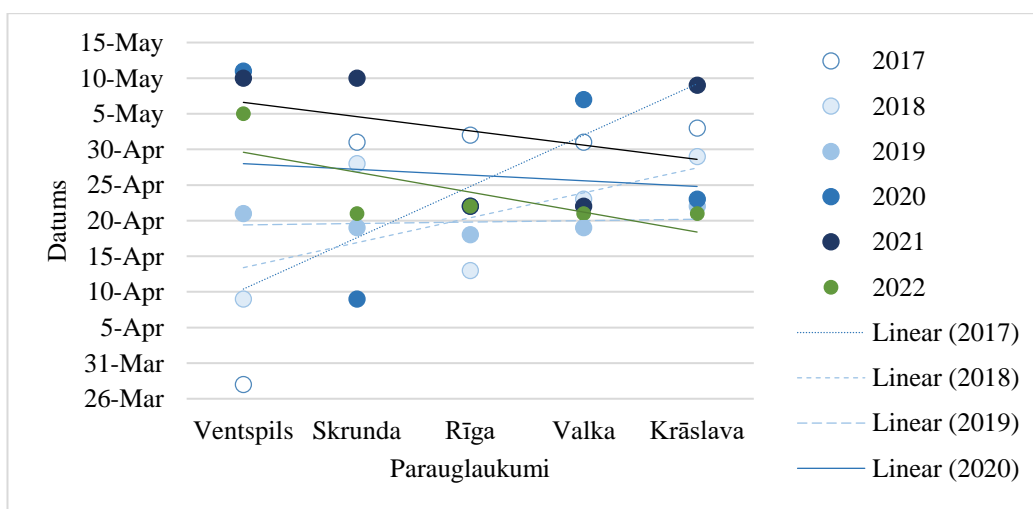
2022. gadā egļu astoņzobu mizgraužu lidošanas sākums bija atšķirīgs dažādos Latvijas reģionos. Latvijas rietumos- Ventspils parauglaukumā, mizgraužu lidošana aizkavējās un pirmās vaboles izlidoja tikai 5.maijā (3.16. attēls). Tajā pašā laikā lielākajā daļā Latvijas teritorijas mizgraužu izlidošana novērota jau aprīļa beigās. Tas skaidrojams ar to ka aprīļa vidū bija vērojams “karstuma vilnis”, kas sekmēja samērā agru mizgraužu lidošanas sākumu, tomēr sekojošais zemas temperatūras periods apturēja mizgraužu lidošanu un austrumu pusē, kur mizgrauži nepaspēja izlidot siltā perioda laikā, lidošanas sākums aizkavējās par 2 nedēļām, kad Latvijā atgriezās silts un saulains laiks. Pretēji 2022. gadā novērotajam, gan 2017. gadā, gan 2018. gadā mizgrauža vaboles visagrāk izlidoja Latvijas Rietumos - Ventspils rajonā, kas iespējams, saistīts ar jūras ietekmi, kas veicina agrāku pavasara iestāšanos. 6 gadu novērojumi rāda pilnīgi atšķirīgu tendenci vaboļu izlidošanas gradientam rietumu-austrumu virzienā (3.17. attēls). Trīs gadus novērota tendence, ka pirmās vaboles izlido rietumu daļā un trīs gadus pilnīgi pretēji- austrumu daļā. Nepieciešami ilglaicīgāki novērojumi, lai secinātu cik lielā mērā mizgraužu lidošanu ietekmē lokāli laika apstākļi un cik liela nozīme ir piejūras klimatam. Latvijā mizgraužu masveida izlidošana parasti novērojama maija pirmajā dekādē (Ozols, 1985) un ir tieši saistīta ar temperatūras paaugstināšanos. Masveida lidošana novērojama, kad gaiss dienā uzsilst virs 18°C (Harding & Ravn, 1985).

2022. gada pavasarī egļu astoņzobu mizgrauža izlidošana salīdzinot ar iepriekšējo gadu novērota 9 dienas agrāk nekā 2021. gadā, tomēr vēlāk nekā laikā no 2017. līdz 2019. gadam.

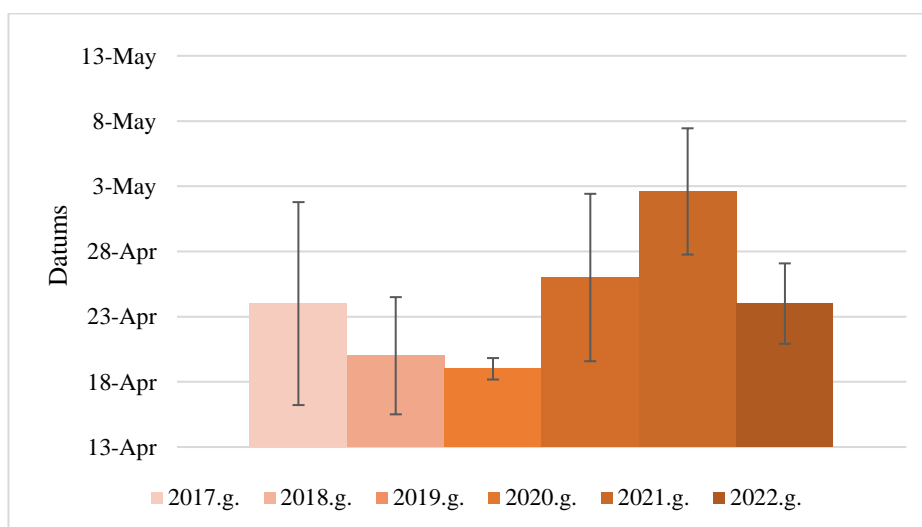
(3.18. attēls). Ļoti vēlā lidošana 2021. gadā skaidrojama ar nepiemērotiem apstākļiem mizgraužu lidošanai aprīļa beigās – maija sākumā.



3.16. attēls. Maksimālā diennakts temperatūra Cēsīs un Liepājā un *I. typographus* lidošanas sākums.

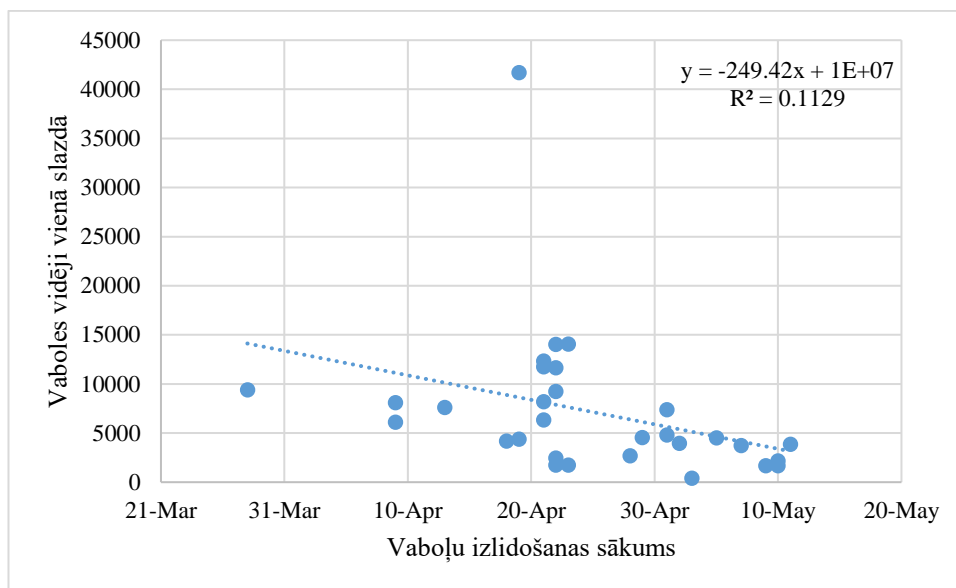


3.17. attēls. Egļu astoņzobu mizgrauža (*Ips typographus* L.) lidošanas sākums Rietumu-Austrumu virzienā izvietotos parauglaukumos.



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

Pastāv tendence, ka reģionos, kuros mizgraužu izlidošana sākas agrāk, kopējā lidošanas aktivitāte visā sezonā ir augstāka (3.19 attēls). Tomēr datu apjoms papildināms šīs tendences apliecināšanai vai noliegšanai.



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

Rezultāti ietverti publikācijas manuskriptā.

Kopsavilkums

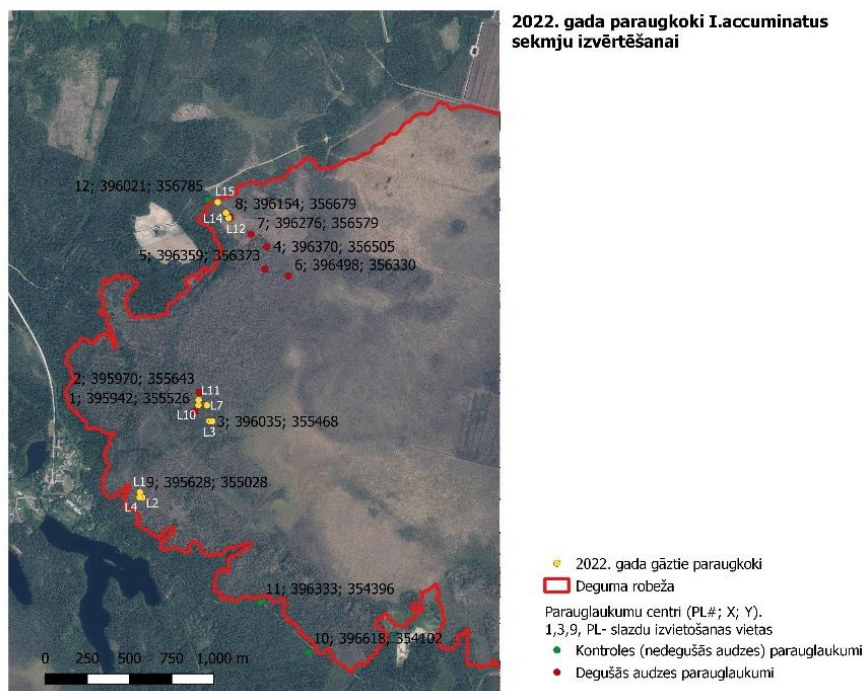
1. 2022. gada pavasarī egļu astoņzobu mizgrauža izlidošana salīdzinot ar iepriekšējo gadu novērota 9 dienas agrāk nekā 2021. gadā, tomēr vēlāk nekā laikā no 2017. līdz 2019. gadam.
2. Novērojama tendence, ka agrāka vaboļu izlidošana rezultējas ar augstāku lidošanas intensitāti visas sezonas garumā.

3.3. Klimata pārmaiņu ietekmētu dendrofāgo kukaiņu sugu novērtējums.

Saskaņā ar plānoto šajā etapā turpināts priežu galotņu sešzobu mizgrauža (*Ips acuminatus*) lidošanas aktivitātes monitorings, veikts ietekmes uz mežaudzi novērtējums un populācijas raksturojums.

Materiāls un metodes

Monitorings veikts Stiklu purva deguma teritorijā, izmantojot zemsedzes slazdus. *I. acuminatus* lidošanas aktivitāte novērtēta, izmantojot Austrijā Witasek kompānijā ražotus tāfešslazdus (*WitaTrap Bark Beetle Slit Trap*). Slazdi izlikti priežu audzēs 23. maijā, 3 vietās Stiklu deguma teritorijā, degumā vairāk cietušajā daļā, 2019. gadā ierīkotos kokaudzes parauglaukumos #1, #3, un #9 (koordinātas sakrīt ar parauglaukumu centriem – 3.20. attēls). Katrā parauglaukumā izvietoti 3 slazdi grupā zvaigznes izkārtojumā (3.21. attēls). Mizgraužu lidošanas sākumā slazdi pārbaudīti reizi nedēļā, bet sezonas beigās – reizi divās nedēļās. Katrā pārbaudes reizē slazdi iztīrīti un mizgrauži savākti izpētei laboratorijā. Feromoni nomainīti pret svaigiem 13. jūlijā.

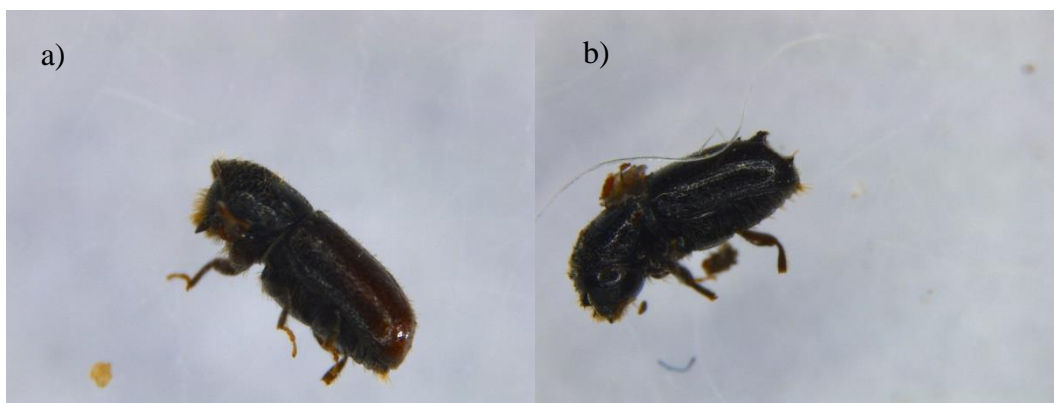


3.20. attēls. *I. acuminatus* slazdu un paraugkoku atrašanās vieta

100 nejauši izvēlētiem *I. acuminatus* no katra slazda katrā uzskaitē (ja bija mazāk, tad visiem) tika mērīts garums milimetros, un visām vabolēm noteikts dzimums (šai sugai ir izteikts dzimuma dimorfisms (3.22. attēls). Slazdos uzskaitīti gan mizgrauži, gan to atliekas, kuru skaits tika aptuveni novērtēts, skaitot segspārnu pārus, rezultātu pierakstot ar soli 5. Tāpat tika uzskaitīti pārējie kukaiņi, piem. skudruliši.



3.21. attēls. *Ips acuminatus* lidošanas monitoringam izmantotie slazdi.



A

B

3.22. attēls. *Ips acuminatus* vaboles: mātīte (A) un tēviņš (B).

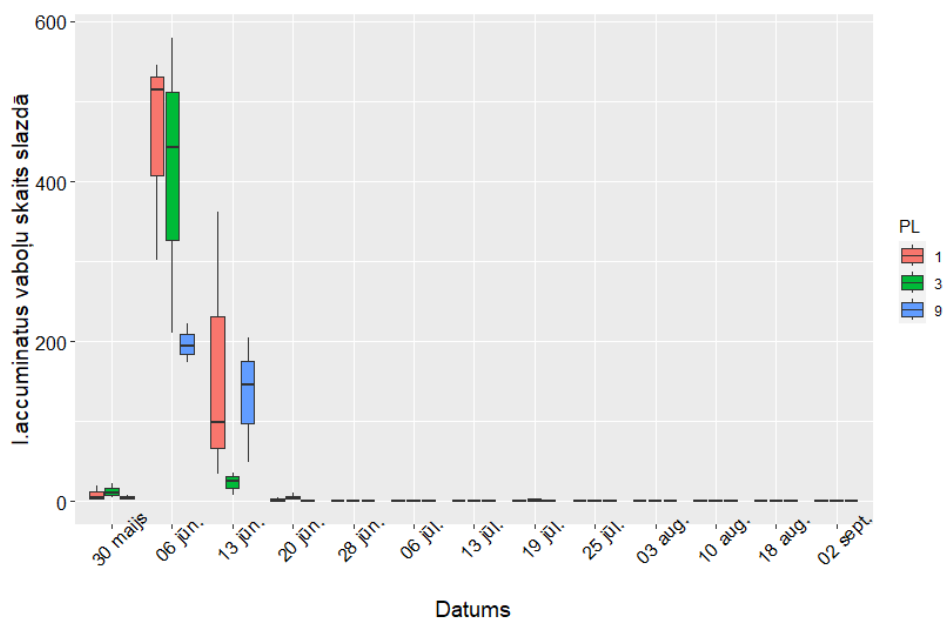
Lai novērtētu mizgraužu lomu koku bojāejā, Stiklu purva deguma parauglaukumos 21. februārī tika nozāģētas 15 iepriekšējā rudenī kaltošas priedes (3.21. attēls). Nozāģētie koki pilnībā nomizoti un noteikta *Ips acuminatus* un citu ekonomiski nozīmīgu sugu (*T. minor*, *T. piniperda*, *Pissodes* sp.) klātbūtne pēc tām raksturīgajām ejām. Balstoties uz Borkowski et al., 2015 publikāciju par mizgraužu sadalījumu uz priedes, atsevišķi tika skatīta ziemeļu un dienvidu puse. Noteikta katras sugas (*Pissodes* gadījumā – ģints) apdzīvotā stumbra zona, nomērot attālumu no stumbra līdz pirmajai un pēdējai ejai. Fiksēta arī citu dendrofāgo kukaiņu sugu klātbūtne, ja tās bija iespējams noteikt pēc eju galerijām.

Lai novērtētu *I. acuminatus* izplatīšanās potenciālu, rudenī veikta audžu kartēšana ar bezpilota lidaparātu, izmantojot hyperspektrālo kameru. 2023. gada vasarā plānoti atkārtoti veikt šo audžu kartēšanu. Kameras raksturlielumi: PIKA-L Airborne, spektra diapazons 400-1000nm, skata leņķis 17°. Lidojuma maršrutā izvēlēti tipiski 100 m² apgabali, kuros analizēti absorbētie gaismas spektri. Analizēts atstarotās gaismas spektrs ar viļņu garumu no 380nm līdz 1030nm ar soli 3.3nm, kas sadala visu pētāmo spektra diapazonu 181 joslā.

Rezultāti

Ips acuminatus lidošanai bija ļoti izteikts maksimums jūnija vidū (3.23.), kad nedēļas laikā tika noķerti vairāki simti vaboļu. Devītajā parauglaukumā, kas atradās tuvāk deguma malai, noķerto vaboļu skaits bija ievērojami mazāks, nekā pirmajā un trešajā parauglaukumā, kas atradās dziļāk degumā.

Otrās paaudzes lidošana bija ļoti zema – jūlija vidū un augustā noķertas tikai dažas *I. acuminatus* vaboles (3.3. tabula). Iespējams arī, ka feromonu efektivitāte, pievienojot otro mizgraužu paaudzi, bija zemāka.



PL - parauglaukums

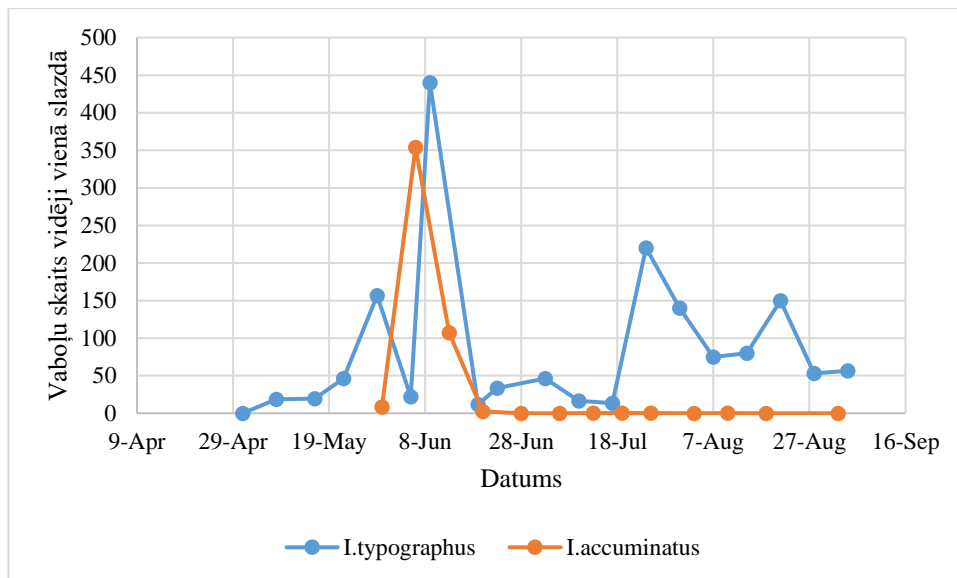
3.23. attēls. Noķerto *Ips acuminatus* vaboļu skaits feromonu slazdos.

3.3. tabula

***Ips acuminatus* lidošanas dinamika Stiklu deguma teritorijā 2022. gada vasarā (ar sarkano izdalīti apsekošanas datumi, kuros netika konstatēta neviena noķerta mizgraužu vabole, ar zaļu izdalītas apsekošanas reizes, kurās, analizējot laboratorijā, atrasti arī tēviņi)**

Slazdi	Apsekošanas datums												
	30.maijs	06.jūn	13.jūn	20.jūn	28.jūn	06.jūl	13.jūl	19.jūl	25.jūl	03.aug	10.aug	18.aug	02.sept
1-1	5	301	99	4	0	0	1	0	0	0	1	0	0
1-2	19	546	362	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1-3	2	515	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-1	10	442	36	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0
3-2	4	211	8	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0
3-3	23	580	25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9-1	8	222	146	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9-2	3	174	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9-3	3	195	205	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

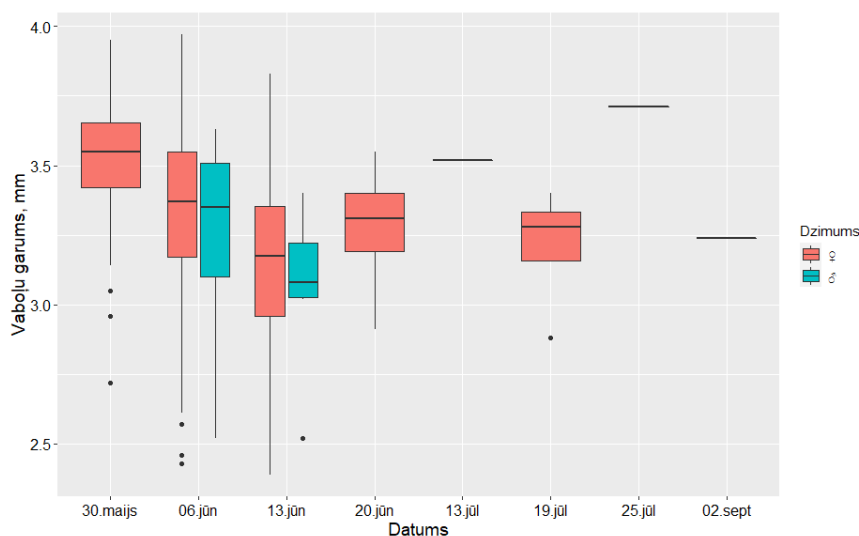
Ips acuminatus un *Ips typographus* pirmās paaudzes lidošanas aktivitāte ir līdzīga, bet *I. acuminatus* lidošanas maksimums ir konstatēts nedaudz agrāk nekā *I. typographus* (3.24. attēls). Otrās paaudzes lidošana galotņu sešzobu mizgrauzīm ir daudzkārt mazāk izteikta nekā *I. typographus*. To gan var skaidrot arī ar feromonu pievilināšanas efektivitāti. Egļu astoņzobu mizgrauža gadījumā otrās paaudzes pievilināšanai tiek izmantoti speciāli, vasaras periodam pielāgoti feromoni.



3.24. attēls. Egļu astonezobu mizgrauža (*Ips typographus*) lidošanas aktivitāte Ventspils parauglaukumā (Meža kaitēkļu un slimību monitoringa dati) un galotņu sežobu mizgrauža (*Ips acuminatus*) lidošanas aktivitāte Stiklu purva deguma teritorijā.

Galotņu sežobu mizgrauža populācijā raksturīga liela atšķirība mātīšu un tēviņu daudzumā: saskaņā ar citu pētījumu datiem 4:1 līdz 20:1 (Bakke, 1968). Tas skaidrojams ar to ka mātītēm ir raksturīga gan dzimuma vairošanās (resultātā vienādu skaitu nākamās paaudzes tēviņu un mātīšu), gan pseido-dzimumvairošanās, kad rodas tikai mātītes (Bakke, 1968). Mūsu pētījumā slazdos noķerto vaboļu dzimuma attiecība bija 1:213. Iespējams, ka slazdos izmatoto feromonu pievilināšanas efektivitāte mātītēm un tēviņiem bija atšķirīga.

Vaboļu dzimums neietekmēja to garumu, savukārt izlidošanas laiks – ietekmēja: agrāk izlidojušās vaboles bija lielākas nekā vēlāk izlidojušās vaboles (3.25. attēls). Tas varētu nozīmēt, ka spēcīgākās vaboles izlido pirmās.



3.25. attēls. *Ips acuminatus* slazdos noķerto vaboļu garumi atkarībā no to izlidošanas laika un dzimuma.

Priežu galotņu sežobu mizgrauža ietekme uz priedēm kopš pirmā gada pēc deguma ir ļoti strauji samazinājusies. Tikai vienā kokā konstatēta viena *I. acuminatus* saime (3.4. tabula,

3.26. attēls). 2021. gada sezonā dominē sveķotājsmecernieki, kuri ir izkonkurējuši galotņu sešzobu mizgrauzi, kas 2020. gadā bija dominējošā suga (Šmits, 2020). Iespējams, ka ļoti mazais tēviņu īpatsvars, kas konstatēts feromonu slazdos, liecina par to ka *Ips acuminatus* spēja kolonizēt dzīvus kokus ir būtiski samazinājusies. Paraugkokos L12 un L13 priežu mazā lūksngrauža eju galerijas pārklājas ar sveķotājsmecernieka galerijām. Tas liecina par intensīvu starpsugu konkurenci šo divu kaitēkļu starpā. Neraksturīgi ir arī L12 kokā novērotā priežu mazā un priežu lielā lūksngraužu galeriju pārklāšanās stumbra lejas daļā. Netipiski, ka *Tomicus minor* izmanto stumbra daļu ar biezo kreves mizu.

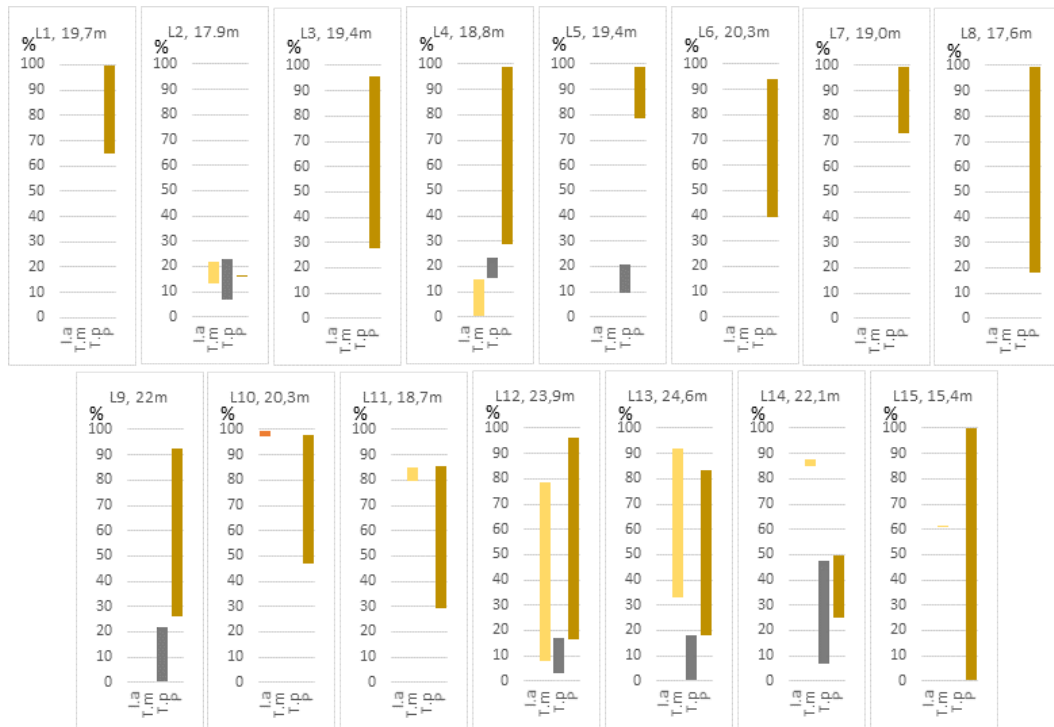
3.4. tabula

Stiklu degumā 2021. gada rudenī nokaltušo priežu stumbru kolonizācija ar bīstamākajiem priežu stumbra kaitēkļiem.

Koka nr	Koka koordinātas		H _k , m	<i>Ips acuminatus</i>		<i>Tomicus minor</i>		<i>Tomicus piniperda</i>		<i>Pissodes</i>	
	X	Y		h, m	H, m	h, m	H, m	h, m	H, m	h, m	H, m
L1	395617	355048	19.7							12.8	19.6
L2	395633	355017	17.9			2.4	3.9	1.2	4.1	2.9	3
L3	396029	355471	19.4							5.4	18.6
L4	395616	355017	18.8			2.9	4.4	0	2.8	5.4	18.6
L5	396029	355471	19.4					1.9	4	15.2	19.2
L6	396046	355471	20.3							8	19.1
L7	396015	355564	19							13.9	18.9
L8	395965	355565	17.6							3.2	17.5
L9	395965	355565	22					0.1	4.8	5.7	20.3
L10	395965	355565	20.3	19.7	20.2					9.5	19.9
L11	395966	355596	18.7			14.9	15.9			5.5	16
L12	396144	356675	23.9			1.9	18.8	0.8	4.1	4	23
L13	396128	356706	24.6			8.1	22.6	0.1	4.5	4.5	20.5
L14	396128	356706	22.1			18.8	19.4	1.5	10.5	5.5	11
L15	396079	356769	15.4					9.4	9.4	0	15.4

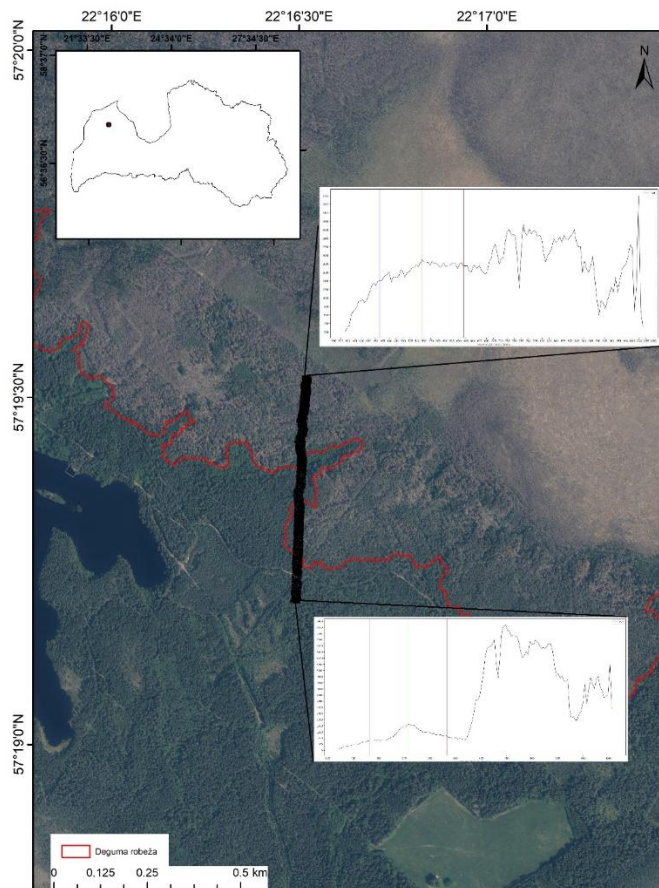
H_k,m- koka augstums metros; h, m- kaitēkļa galeriju zemāk novērotā klātbūtne stumbrā metros; H, m- kaitēkļa galeriju augstāk novērotā klātbūtne stumbrā metros

Novērtējot priežu vainagu atstarotās gaismas spektrus stiklu deguma skartajās priežu audzēs un kontroles priežu audzēs, bojātajās audzēs konstatēts straujš kāpums spektra apgabalā no 460nm līdz 640nm (3.27. attēls). Šis spektra apgabals tiks izmantots analizējot priežu vainagu stāvokli 2023. gada vasarā. At šo metodi indetificētās iespējami ietekmētās audzēs tiks zāģēti paraugkoki faktiskā stāvokļa raksturošanai.



100% reprezentē visu stumbra garumu. I.a- Ips acuminatus; T.m- Tomicus minor, T.p- Tomicus piniperda; P- Pissodes spp.

3.26. attēls. Priežu kolonizācija ar stumbra kaitēkļiem (kaitēkļa saimju aizņemtā stumbra daļa) Stiklu deguma parauglaukumos 2021. gada vasarā.



3.27. attēls. Priežu vainaga atstarotās gaismas spektra atšķirības bojātā un neietekmētā audzē.

Kopsavikums

Ips acuminatus pirmās paaudzes lidošanas maksimums novērojams jūnija sākumā gandrīz nedēļu pirms *I. typographus* lidošanas maksimuma. Turklāt šī mizgrauža otrās paaudzes lidošana daudz mazāk izteikta, salīdzinot ar *I. typographus*.

Ips acuminatus ietekme, palielinoties laikam kopš ugunsgrēka, strauji samazinās, to nomainot (izkonkurējot) citām dendrofāgu sugām: 2021. gada vasarā svaigi kaltošajos kokos dominē sveķotājsmecernieka saimes.

Pētījuma etapā iegūtajos attālās izpētes datos fiksēts spektra apgabals, kas potenciāli var būt izmantojams *Ips acuminatus* ietekmēto koku savlaicīgai (pirms nokalšanas) identificēšanai. Tomēr nākamajā etapā izpēte jāturpina, verificējot un/vai papildinot iegūtos rezultātus.

3.4. Mistrojumu analīze audzes un meža masīva līmenī ar mērķi nākotnē nodrošināt noturīgu mežu izveidošanu.

Pētījuma etapā saskaņā ar plānoto izstrādāta metodika kaitēkļu apdraudējuma salīdzināšanai mistrotās audzēs un tīraudzēs, kā etalonsugu izmantojot egļu astoņzobu mizgrauzi.

Eiropā veiktajos pētījumus aizvien vairāk tiek uzsvērts mistrotu mežaudžu potenciāls ilgtspējīgai ekosistēmu pārvaldībai, risku mazināšanai. Tomēr jāsaprot, ka mistrojuma ietekme atkarīga no tajā ietvertajām sugām, mistrojuma mēroga un vērtētā faktora (t.i. tā faktora, pret kur potenciāli var tikt nodrošināta paaugstināta noturība). Tāpat to ietekmē klimats, augsnes auglība, un audzes attīstības stadija (Ammer, 2021; Pretzsch, Schütze, 2021).

Klimata pārmaiņas nākotnē saistāmas ar jaunu kaitēkļu un patogēnu ieviešanos, veidojoties tiem labvēlīgai dzīves videi, kā arī izmainītu jau esošo kaitēkļu un patogēnu sugu uzvedību un fizioloģiju (Pautasso et al. 2010). Viena no galvenajām stratēģijām šādu risku samazināšanai ir dažādot koku sugu sastāvu audzes vai meža masīva līmenī. Bērzu vai priežu iekļaušana egļu masīvā (vai audzē) ir viena no stratēģijām pilnīga audzes bojāejas riska mazināšanai (Millar et al. 2007). Mērķtiecīga mistrotu audžu izveide un uzturēšana, *de facto* nodrošinot ieguvumus no mistrojuma, ir komplikēta (Felton et al. 2016).

Vērtējot mistraudžu potenciālu samazināt kaitēkļu un patogēnu bojājumu risku, jāņem vērā vairāki faktori:

- 1) papildus ieviestā koku suga konkrētajā audzē pati var būt neaizsargāta pret dažādu kaitēkļu un patogēnu bojājumiem;
- 2) lai gan mistrotās audzēs kopējais bojājumu risks no speciālistu kaitēkļu un patogēnu sugām samazinās, ģenerālistu sugu bojājumu apjoms var palielināties (Plath et al. 2012). Tomēr, palielināta koku daudzveidība audzē var tieši vai netieši pozitīvi ietekmēt kaitēkļu sugu dabisko ienaidnieku skaitu un daudzveidību (Underwood et al. 2014).

Egļu astoņzobu mizgrauža bojājumu risks mežaudzē bieži vien ir mazāks, ja samazinās egļu īpatsvars mežaudzē (Overbeck and Schmidt, 2012), kas visticamāk ir saistīts ar šī kaitēkļa populācijas blīvuma samazināšanos. Citu sugu (kā bērza) izdalītā smarža atbaida (vai nepievelina) egļu astoņzobu mizgrauzi (Zhang and Schlyter, 2004; Kärverno et al., 2016). Tomēr pētījumi par mistrojuma un mežsaimniecības prakses ietekmi uz egļu astoņzobu mizgrauža ietekmes apjomu un efektu atsevišķos aspektos joprojām ir fragmentāri vai tendenciozi. Daļu šo nepilnību plānots novērst nākamajos pētījuma etapos veiktā analīzē, kuras fokuss būs mizgraužu ietekmes empīrisks novērtējums, identificējot statistiski būtiskos to nosakošos faktoros.

Šādas pieejas izmantošanai būtiska liela datu kopa. Nosacījumam atbilst egļu audzes, kurās 2022. gada pavasarī-vasarā veikta retināšana (krājas kopšanas cirtē): kopā 877. Šīs audzes ir ar atšķirīgu vecumu, sugu sastāvu, retināšanas laiku, lokālo mizgraužu ietekmi un citiem parametriem. No visas kopas plānots apsekot ne mazāk kā 400 audzes, kas vecākas par 40 gadiem, ar platību virs 0,5 ha un egles īpatsvaru vismaz 30%.

Pieņemot, ka krājas kopšanas cirtē tika izvāktas visas vizuāli bojātās egles (un arī citu sugu koki), tad, veicot mizgraužu ietekmes novērtējumu, visas mizgraužu ietekmē nokaltušās egles tiks uzskaitītas par nokaltušām pēc kopšanas cirtes beigām.

Mizgraužu ietekme tiks uzskaitīta ar 2 metodēm, kur salīdzinājums veicams konkrētās uzskaites veida ietvaros:

- 1) kaltsušo egļu uzskaitē atsegtās audzes malās. Tā kā mizgraužu invāzija sākotnēji koncentrējas egļu audžu malās, tad šī uzskaitāma par vieglāko invāzijas novērtējuma metodi;
- 2) kaltsušo egļu uzskaitē transektēs – invadētās egles uzskaitē transektē, kuras garums ir 290 m (30 uzskaites punkti ar intervālu 10 m). Ja transekte ir garāka par konkrētās mežaudzes garumu, transektes līniju drīkst lauzt. Transektes sākums uzskatāms par pirmo uzskaites punktu. Katrā uzskaites punktā potenciāli novērtē trīs egles. Kā pirmo novērtē 4 m rādiusā mietiņam tuvāko egli, pēc tam divas šai eglei tuvākās egles. Ja tuvākā egle uzskaites punktam atrodas tālāk par 4 m, tad uzskaitē konkrētā punktā neveic, un šis punkts uzskatāms par “tukšo” punktu. Tāpat, ja pārējās egles no pirmās novērtētās egles atrodas tālāk par 4 m, tās neuzskaita. Kad koki pirmajā uzskaites punktā uzskaitīti, izvēlas transekta virzienu (azimutu), perpendikulāri potenciālajam mizgraužu avotam (svaigai egļu vējgāzei vai savairošanās ligzdai, meža sienai, ciršanas atlieku zaru kaudzēm u.c.), vai brīvi izvēlēto virzienu, ja šāda potenciālā avota nav. Ja egļu audzes platība ir neliela, apseko visas egles audzē.

Iegūtos datus plānots analizēt ar lineāru jauktu efektu regresijas modelis. Lineārie jauktie efektu regresijas modeļi ir vienkāršu lineāro modeļu paplašinājums, lai atļautu veikt gan fiksētu, gan nejaušu efektu analīzi.

Sagaidāmie rezultāti:

- 1) raksturoti (identificēti) faktori, kas statistiski būtiski ietekmē egļu astoņzobu mizgrauža ietekmi pēc krājas kopšanas cirtēm vasarā, t.sk. vērtējot audzes mistrojuma pakāpes, vecuma, kopšanas izpildes laika, audzes platības u.c. ietekmes;
- 2) bāze bojājuma apjoma izmaiņu dinamikas raksturošanai, veicot atkārtotu inventarizāciju 2023. gada rudenī, vai 2024. gada ziemā-pavasarī. Hipotētiski noturīgākās audzēs mizgraužu invāzijas pieauguma dinamika ir lēnāka nekā nenoturīgākās audzēs.

3.5. Videi draudzīga meža aizsardzības stratēģija meža kaitēkļu ierobežošanai

Atbilstoši etapa uzdevumam analizēts priežu galotņu sešzobu mizgrauža *Ips acuminatus* un tā dabisko ienaidnieku – kukaiņu – sugu sastāvs un dinamika, izmantojot dedrofāga invadētus stumbra nogriežņus kontrolētā vidē (klimata kamerā).

Materiāls un metodes

Nogriežņi iegūti no kokiem, kuri ir novājināti, bet vēl nav nokaltuši. Tādi izvēlēti divās teritorijās: vietā ar zināmu masveida mizgrauža savairošanos un kontroles teritorijā, kur šī dendrofāga klātbūtne nav konstatēta. Paraugkoki nozāģēti 2022. gada 21. februārī un atstāti pētījuma vietās. 2-3 maijā tiem galotnes daļā pie stumbra ar skavotāju tika piestiprināts sugai specifisks agregācijas feromons – Chemipan ražotais Accumodor – un koki atstāti mežā līdz

28.-29. jūnijam. Tad nozāgētie koki tika atzaroti un sazāgēti viena metra garos stumbra nogriežņos. Stumbra nogriežņi tika iegūti no koka galotnes daļas secīgi virzoties uz leju. Kopā no katra koka ieguva piecus viena metra garus nogriežņus (baļķus), uz kuriem bija atrodamas mizgraužu darbības pēdas (kopā no 10 kokiem – 50 gab.) no teritorijas ar zināmu šī dendrofāga savairošanās un 16 nogriežņus (kopā no 5 kokiem) no kontroles teritorijas (3.28. attēls).

2022. gada 30. jūnijā visus ievākotus baļķus ievietoja slazdos, kas tika turēti klimata kamerā līdz 25. oktobrim. Slazdus veidoja no tumšiem, necaurspīdīgiem 250 l lieliem plastmasas maisiem un bezkrāsainām, caurspīdīgām, plastmasas pudelēm ar 1 litru tilpumu. Maisiem vienā stūrī tik izgriezts aptuveni 10 centimetri rādiusā liels caurums. Plastmasas pudelei nogrieza augšējo, smailo, daļu. Pudeles smailo daļu ar līmlenti piestiprināja maisa caurajai daļai. Piestiprinātajai pudelei virsū uzlika pudeli, kurai bija nogriezta tikai pati apakšējā daļa un abas pudeles ar līmlenti salīmēja kopā. Pudelei, kas bija ārpusē tika uzskrūvēts korķis. Katrā maisā tika ievietots viens baļķis. Maisa lejas daļa tika rūpīgi noslēgta ar līmlenti. Uz pudeles korķa tika uzrakstīts baļķa numurs. Slazdi tika novietoti vertikāli, ar pudelēm uz augšu, atbalstoties pret sienām (3.28. attēls). Klimata telpā tika uzturēts stabils klimats, ar gaisa temperatūru 25°C un 14 stundu dienas gaišo periodu.

Pirmā paraugu ievākšana no slazdiem tika veikta 14. jūlijā. Slazdam tika noņemta virsējā pudele un visi kukaiņi, kas bija iznākuši no maisa, tika savākti nelielos plastmasas trauciņos. Kukaiņus eitanizēja ar nelielu devu etilacetāta. Katram trauciņam, kurā tika uzglabāti mirušie kukaiņi, ar marķieri uzrakstīja datumu un baļķa numuru, no kura paraugs tika ievākts. No 14. jūlija līdz 25. oktobrim kopā tika veiktas 9 paraugu ievākšanas. Kopā tika ievākti 305 paraugi.

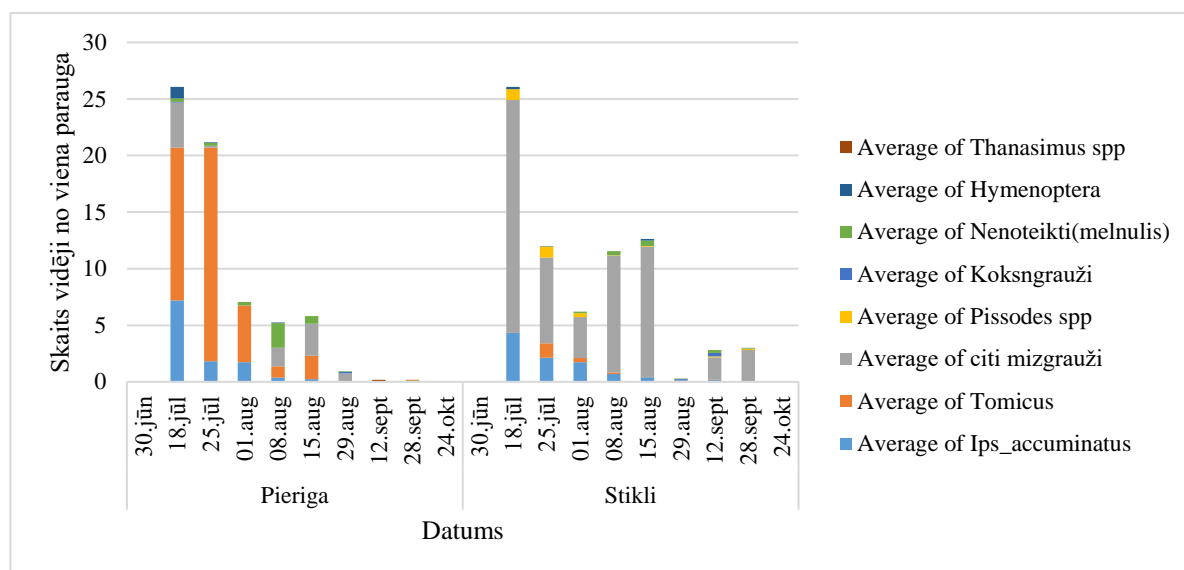


3.28. attēls. Galotņu sežozbu mizgrauža pievilināšana gāztiem priedes stumbriem, izmantojot feromonu dispenserus (A) un stumbra nogriežņi ar savācējtraukiem klimata kamerā *I.accuminatus* dabisko ienaidnieku faunas izpētei (B).

Rezultāti

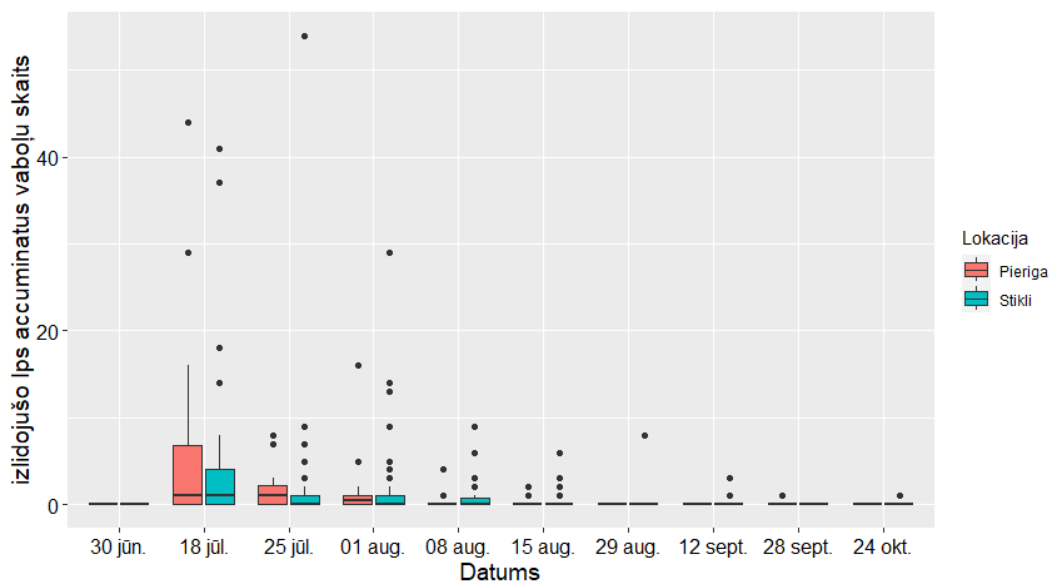
No priežu stumbru nogriežņiem izlidojušo kukaiņu sugu skaitliskais sastāvs būtiski atšķīrās paraugkokiem no dedrofāga savairošanās (Stikli) un kontroles (Pierīga) teritorijas. Pierīgā, kur paragrāvu vitalitāte bija ievērojami augstāka, būtiski lielākā skaitā izlidoja *Tomicus spp.* lūksngrauži (3.29. attēls). Lūksngraužus, visticamāk, pievilināja vīstošo skuju terpēnu smarža. Lielais lūksngraužu daudzums būtiski neietekmēja *I.accuminatus* attīstības sekmes, jo netika konstatētas būtiskas atšķirības izlidojušo *I.accuminatus* vaboļu daudzumā no Stiklu degumā ievāktajiem priežu stumbru nogriežņiem un Pierīgā ievāktajiem priežu stumbru nogriežņiem. Tas nozīmē, ka priežu galotņu sežozbu mizgrauža populācija ir samērā liela arī ārpus savairošanās reģiona. Koku mirstību, iespējams, būtiski ietekmē to vitalitāte. Novājinātajām priedēm daudz lielākā skaitā tika piesaistītas dendrofāgās sugas, kas nav pieskaitāmas pie kaitēkļiem: 3.29. attēlā apzīmētas kā “Citi mizgrauži”, “Hymenoptera” un

“Koksngrauži”. Izlidojušais *I. acuminatus* dabisko ienaidnieku skaits bija neliels. Kopā noķerti 35 parazītoīdi (18 no Pierīgas un 17 no Stiklu parauglaukuma) un 4 skudruļiši.



3.29. attēls. No Stiklu deguma teritorijas un Pierīgas ievāktu un laboratorijā inkubētu priežu stumbra nogriežņiem izlidojušo kukaiņu daudzums.

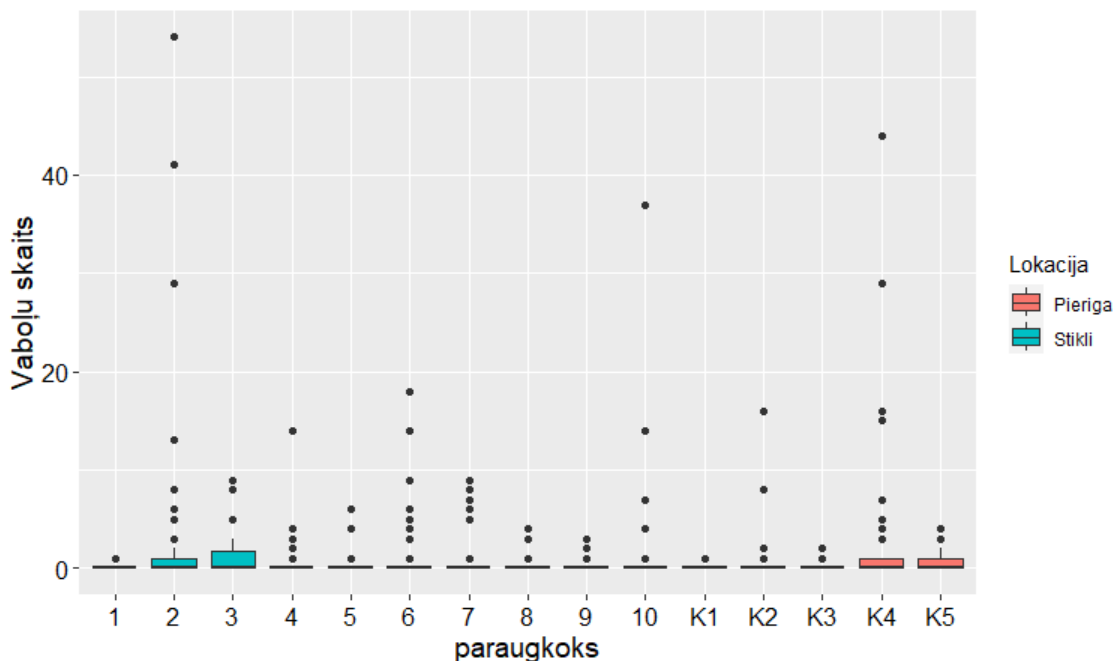
Vairums *Ips acuminatus* jaunās paaudzes vaboles izlidoja apmēram mēneša laikā (no 18. jūlija līdz 15. augustam) (3.30. attēls), tomēr vēl 24. oktobrī tika noķerta viena vabole. Pavisam noķertas 667 priežu galotņu sešzobu mizgrauža vaboles. Lidošanas dinamika būtiski neatšķīrās starp Stiklu un Pierīgas paraugiem.



3.30. attēls. No priežu stumbru nogriežņiem izlidojuši *I. acuminatus* vaboļu skaita dinamika.

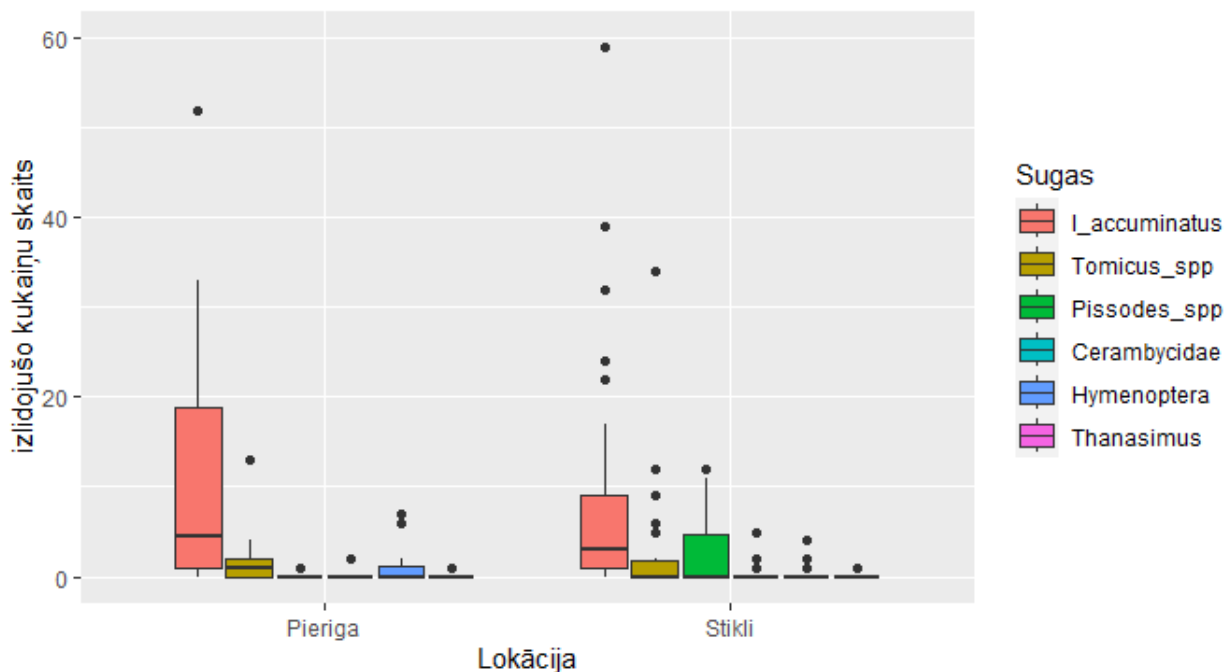
Izlidojušo mizgraužu daudzums no paraugkoka nozīmīgi atšķīrās (3.31. attēls). Viens no ietekmējošajiem faktoriem bija caurmērs: konstatēts, ka no nogriežņiem ar lielāku diametru no katras laukuma vienības izlido lielāks šī dendrofāgu skaits (3.32. attēls). Priežu lūksngrauži būtiski vairāk konstatēti stumbra nogriežņos no kontroles (Pierīgas) priedēm, tomēr izlidojušo vaboļu skaitu uz 1 m² mizas neietekmēja priežu nogriežņu diametrs.

Būtiski vairāk priežu sveķotājsmecernieku (*Pissodes* spp.) izlidoja no stumbra nogriežņiem, kuri tika ievākti Stiklu deguma parauglaukumos. *Pissodes* spp. attīstības sekmes neietekmēja stumbra nogriežņu diametrs.



Pierīga – apzīmēti ar Nr. K1-K5, Stikli – ar Nr. 1-10

3.31. attēls. Izlidojušo *Ips acuminatus* vaboļu daudzums vienā uzskaites reizē no dažādiem paraugkokiem iegūtajiem priežu nogriežņiem.



3.32. attēls. Izlidojušo kaitēkļu un to dabisko ienaidnieku daudzums priežu stumbra nogriežņos.

Kopsavilkums

1. Netika konstatētas būtiskas atšķirības no stumbra nogriežņiem izlidojušo *I. acuminatus* vaboļu daudzumā no teritorijas, kurā novērtā *I. acuminatus* savairošanās vairāku gadu garumā un teritorijas, kur savairošanās nav novērota. Tas nozīmē, ka priežu galotņu sešzobu mizgrauža populācija ir samērā liela arī ārpus savairošanās reģiona.
2. Priežu lūksngrauži lielākā skaitā attīstījās svaigos priežu stumbros Pierīgā nevis vairāk novājinātajās priedēs Stiklu degumā.
3. Priežu sveķotājsmecernieki aktīvāk kolonizē novājinātās priedes Stiklu deguma teritorijā nevis svaigi gāztās priedes Pierīgā.
4. Inkubējot priežu stumbra nogriežņus laboratorijā tika noķerti 35 plēvspārņi- mizgraužu parazītīdi un 4 skudrulīši- mizgraužu dabiskie ienaidnieki, plēsēji. Tas ir daudzkārt mazāk par izlidojušo mizgraužu daudzumu (667 *Ips acuminatus* vaboles).

3.6. Indikatoru sistēmas izstrāde veģetācijas kā indikatora izmantošanai klimata pārmaiņu indicēšanai

Līdzšinējo klimatisko apstākļu, kā arī prognozēto nākotnes klimata pārmaiņu scenāriju analīze demonstrē, ka visa šī gadsimta laikā klimata pārmaiņu tendencēm sagaidāms turpinājums. Prognozējams, ka klimatisko parametru ekstremālās vērtības piedzīvos visbūtiskākās izmaiņas – Latvijas teritorijā nākotnē arvien biežāk nāksies novērot ekstremālus un neraksturīgus laikapstākļus. Latvijā identificētie nozīmīgākie riski ir sezonu, t.sk. veģetācijas perioda, izmaiņas; ugunsgrēki, kaitēkļu un patogēnu savairošanās, koku slimības, vietējo sugu izkonkurēšana, jaunu sugu ienākšana, nokrišņu izraisīti plūdi, vētras, sasaluma mazināšanās, kailsals, izkalšana, eutrofikācija, ūdens noteces samazināšanās vasaras sezonā u.c. (Avotniece et al., 2017).

Laika gaitā izmaiņas klimatiskajos parametros ietekmē ne vien dabas kapitālu (sugas, biotopus, ekosistēmas), bet arī iedzīvotāju veselību, drošību, labsajūtu un saimnieciskās aktivitātes. Lai izprastu klimata pārmaiņu ietekmes izpausmes un notiekošo pārmaiņu ātrumu Latvijas dabiskajā teritorijā, vairākas veģetācijai piemītošās īpašības var tikt izmantotas kā indikatori, ar kuru palīdzību iespējams faktiski novērot un reģistrēt laika gaitā notikušās pārmaiņas.

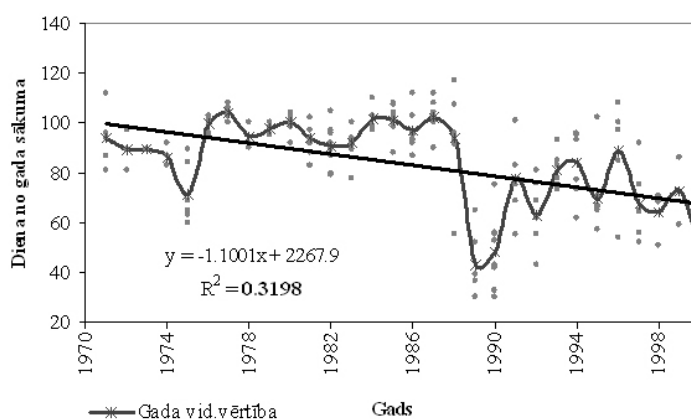
Augu fenoloģiskie parametri

Fenoloģija ir zinātnes nozare, kas pēta dzīvās dabas parādību periodiskumu (lapu plaukšanas sākums, ziedēšana, pirmā salna, lapu dzeltēšana, augļu nogatavošanās, putnu migrācija, zivju nārsts), savstarpējo saistību un atkarību no vides apstākļiem. Augu fenoloģija ir svarīga augu funkcionēšanai un ekosistēmu pakalpojumiem un to biofizikālajām, bioģeoķīmiskajām atgriezeniskajām saitēm ar klimata sistēmu, reprezentējot ikgadēju augu attīstības posmu secību (Briede 2008). Arvien biežāk fenoloģiskie dati tiek izmantoti klimata mainības pētījumos.

Ikgadējie klimatisko datu novērojumi ļauj spriest par izmaiņām biosfērā, analizējot meteoroloģiskos apstākļus iepriekšējā un esošā veģetācijas sezonā, kā arī miera periodā (Spark, Menzel, 2002). Piemēram, klimata pārmaiņu ietekmes uz augu esošo un potenciālo izplatības areālu raksturošanai, lapu plaukšana un iekrāsošanās var tikt izmantoti kā bioklimatiski parametri (Defila, Clot, 2001). Gaisa temperatūrai ir tieša saistība ar šiem fenoloģiskajiem parametriem, tādējādi iespējams prognozēt fenoloģisko fāžu sākšanos un beigšanos pavasara un rudens sezonā (Dose, Menzel, 2006, Piao et al., 2019). Fenoloģisko modeļu savienošana ar

vispārīgiem modeļiem par klimata pārmaiņu ietekmi uz meža augšanas izmaiņām kļūst par nozīmīgu instrumentu klimata pārmaiņu ietekmes analīzei (Schwartz, 2013).

Lai detalizētāk izziņātu un raksturotu klimatisko pārmaiņu ietekmi uz fenoloģiju izmaiņām, Eiropā laika posmā no 1960–1970. gadam ierīkoti fenoloģisko novērojumu objekti. Viens no modelēšanas piemēriem ir FORGRO (forest growth) (Kramer et al., 2000), kuru pielieto klimata pārmaiņu ietekmes uz meža augšanu novērtēšanai, kā arī oglekļa un ūdens plūsmu aprēķināšanai. Šo modeli iespējams pielietot, lai novērtētu dažādu koku sugu fenoloģisko parametru atšķirību ietekmi uz neto primāro produkciju (NPP). Sistemātiski fenoloģiskie novērojumi visā Latvijas teritorijā uzsākti 1926. gadā. Līdz šim Latvijā veiktajos augu fenoloģiskajos pētījumos būtiskas izmaiņas konstatētas koku agrā pavasara fāzēs. Piemēram, kopš novērojumu sākuma (1971. gads) baltalkšņa ziedēšanas fāze katru gadu iestājas par 1,1 dienu agrāk (3.33. attēls).



3.33. attēls. Baltalkšņa *Alnus incana* ziedēšanas sākuma trends (piecu novērojumu staciju dati) 1971.-2000. gads (Briede 2008).

Kopš 2008. gada Latvijas Universitātes Pētniecības projekta ietvaros uzsākta fenoloģisko tīkla modernizācija, veicinot novērojumu automatizāciju (Briede 2008).

Veģetācijas monitoringa sistēma

Veģetācijas augšanu būtiski ietekmē klimata izraisītas pārmaiņas (Gratani 2014). Klimata pārmaiņu rezultātā tiek izmainīta veģetācijas dinamika un ekosistēmu darbība (Callaghan et al., 2019). Gaisa temperatūras izmaiņu un nokrišņu mijiedarbība ietekmē augu izplatību un vitalitāti, tādējādi potenciāli izmainot veģetācijas perioda ilgumu (Piao et al., 2019). Izpratne par veģetācijas reakciju uz klimata pārmaiņām ir svarīga, lai pieņemtu mērķtiecīgus, efektīvus klimata pārmaiņu negatīvās ietekmes mazināšanas pasākumus, lai nodrošinātu bioloģiskās daudzveidības ilgtspējību, tostarp veģetācijas saglabāšanu.

Lai veiktu ilglaicīgu ekoloģisko un ekonomisko meža ekosistēmu vērtību novērtējumu, meža monitoringa pētījumā ietver ne tikai meža struktūru uzskaiti, bet arī bioloģiskās daudzveidības uzskaiti. Bioloģiskās daudzveidības monitoringam tiek izvēlētas organismu grupas, kas cieši saistītas ar meža dinamiku. Dotajā meža monitoringa programmā paredzēta veģetācijas, kā arī sūnu un ķērpju sugu uzskaitē uz dzīviem kokiem un kritālām. Sūnas un ķērpji ir indikatori gan meža struktūrām un meža dinamikai, gan apkārtējiem vides apstākļiem. Augu sugu uzskaitē (veģetācijas monitorings) ļauj iegūt datus par izmaiņām mežaudzes florā (veģetācijā) noteiktā laika periodā, kā arī novērtēt dažādus – dabiskas izcelsmes vai saimnieciskās darbības ietekmes rezultātus. Ilgtermiņā meža bioloģiskās daudzveidības monitoringa dati atspoguļotu sugu daudzveidību dažādos meža tipos, vecumgrupās, kā arī reģionālās atšķirības. Nacionālā meža monitoringā iegūtajiem rezultātiem šobrīd vairāk ir uzkrājuma nozīme, tomēr nākotnē, atkārtoti pārmērot šos parauglaikumus, iegūto pētījuma

rezultātu salīdzinājums ar klimatiskajiem faktoriem ļautu novērtēt vaskulāro augu, sūnaugu un ķērpju seguma un sastopamības izmaiņas Latvijas teritorijā ilgākā laika periodā.

Svešzemju vaskulāro augu sugas

Klimata izraisīto pārmaiņu rezultātā pastāv vairāki riski, kas varētu radīt negatīvas sekas bioloģiskās daudzveidības un ekosistēmu pakalpojumu jomā. Meteoroloģisko un augšanas apstākļu izmaiņu rezultātā notiek vietējo sugu sastāva un biotopu pārveidošanās. Tiek prognozēts, ka 21. gadsimta beigās 60% Eiropas augu sugu areāls nobīdīsies Ziemeļu virzienā par vairākiem simtiem kilometru (Feehan et al., 2009). Latvijas teritorijā novērojams neraksturīgu, ekspansīvu un agresīvu svešzemju sugu (kura attiecīgajā valstī vai reģionā nav ilgstoši un dabiski pastāvējusi) skaita pieaugums, un ekoloģiski plastiskās sugas izkonkurē ekoloģiski jutīgās sugas, kā rezultātā samazinās bioloģiskā daudzveidība (Ozols et al., 2021). Lai apkopotu un uzkrātu klimata pārmaiņu ietekmes raksturojošus datus, kā arī pieņemtu atbilstošas pielāgošanās pasākumu stratēģijas, izstrādāta Latvijas klimata pārmaiņu monitoringa sistēma (LVGMC).

Bioloģiskās daudzveidības un ekosistēmas pakalpojumu jomā, kā klimata pārmaiņu ietekmes indikators, pieņemta svešzemju vaskulāro augu sugu sastopamība Latvijas savvaļas teritorijā (Latvijas klimata pārmaiņu monitoringa sistēmas apraksts; 2018). Šis indikators ir nozīmīgs, tas palīdz konstatēt, kad sugas sāk mainīt savu izplatības areālu un nostabilizēt populāciju, palielinot risku kļūt invazīvām. Par invazīvām sauc sugas, kuru introdukcija vai izplatīšanās apdraud vai nelabvēlīgi ietekmē bioloģisko daudzveidību un saistītos ekosistēmu pakalpojumus (Ozols et al., 2021). Indikators tiek vērtēts pēc Latvijā savvaļā konstatēto svešzemju paparžaugu un sēklaugu sugu skaita procentos no visu Latvijas savvaļā konstatēto paparžaugu un sēklaugu sugu kopējā skaita. Iegūtie dati izmantojami funkcionālas sakarību vērtības – *ievainojamības* (apzīmēta ar indeksu INS) iegūšanai.

Tiek ņemta vērā arī klimata pārmaiņu dinamika, ko raksturo ar temperatūras izmaiņām (T) sešu gadu perioda, kas beidzās iepriekšējās inventarizācijas gadā Latvijas vidējās temperatūras izmaiņas salīdzinājumā ar sešu gadu periodu, kas beidzas pēdējās inventarizācijas gadā procentos. Kā arī pēdējā inventarizācijā konstatētais svešzemju vaskulāro augu sugu skaits.

INS \leq 6.00 – zema ievainojamība;

6.00 < INS < 8.50 – vidēja ievainojamība;

INS \geq 8.50 – augsta ievainojamība

Ievainojamība iekļauj vairākus elementus un konceptus – jutīgumu un nespēju pielāgoties, būt uzņēmīgam vai tikt galā ar kaitējumu, tā raksturojama kā tieksme būt nelabvēlīgi ietekmētai/-tam. Datu ievākšanu plānots veikt reizi 20 gados. Pēdējie novērojumi veikti 1999. gadā, un papildinājumi veikti 2005. gadā. Gan pašreizējie, gan arī nākotnē prognozējamie rezultāti vēsta, ka kopš 19. gadsimta vidus svešzemju vaskulāro sugu skaits Latvijas teritorijā strauji pieaug, kā arī turpinās pieaugt (Latvijas Botāniķu biedrība, 2023). Pēdējā vaskulāro augu floras izdevumā ziņots, ka Latvijas teritorijā kopumā konstatētas un reģistrētas 1937 sugas, no kurām 1304 (tai skaitā izzudušās) ir vietējās un 633 svešzemju (293 dārzeņgli un 340 neapzināti introducētas) sugas (Gavrilova, Šulcs, 1999). Par dārzeņgliem sauc kultivētus augus, kurus parasti stāda dārzos un apstādījumos. Tie nav sastopami konkrētās valsts dabiskajā florā, bet izplatības stratēģiju dēļ, spēj ieviesties un vairoties savvaļā, potenciāli kļūstot invazīviem. Sugu introdukcija ir sugas ieviešana valstī ar apzinātu, vai neapzinātu (neapzināta introdukcija) cilvēka starpniecību (Ozols et al., 2021).

Kad svešzemju suga spēj pastāvēt, vairoties un patstāvīgi izplatīties vietējās ekosistēmās, tā kļūst par naturalizētu sugu (Hester, Harrison 2007). Šādu procesu analizēšana saistībā ar meteoroloģisko faktoru pārmaiņu tendencēm ļauj novērtēt, cik lielā mērā svešzemju sugu sastopamība un naturalizēšanās saistīta ar klimata pārmaiņām. Sugu ieviešanās un

naturalizācija ir dabisks process, kas ir atkarīgs no kompleksām mijiedarbībām starp sugu individuālām īpašībām, lokālajiem abiotiskajiem un biotiskajiem faktoriem, reģionālām īpatnībām un antropogēnās ietekmes (Richardson, Pyšek 2012). Tomēr klimata pārmaiņu rezultātā šis process noris straujāk, nekā vietējās sugas spēj adaptēties, tādējādi ietekmējot ekosistēmu stabilitāti (Feehan et al., 2008).

Kopsavilkums

Augu sugu sastopamības atkarība no konkrētiem augšanas apstākļu un klimatisko faktoru gradientiem padara tās par labiem klimata pārmaiņu indikatoriem, jo veģetācijas sastāva izmaiņas tiešā veidā atspoguļo klimata pārmaiņu ierosināto vides faktoru gradienta nobīdi. Klimata pārmaiņu raksturošanai, izmantojot veģetācijas indikatorus, ieteicamie metodiskie risinājumi:

1) ieteicams izveidot fenoloģisko novērojumu tīkla pārskatu, lai pārlicinātos par datu spēju reprezentēt visu Latvijas teritoriju. Tājā ietverama informācija kā no stacionāro monitoringa punktu automatizētajiem novērojumiem, tā no apkopotajiem iedzīvotāju iesūtītajiem datiem. Fenoloģisko novērojumu datu sistēmas izveide būtu nozīmīga fenoloģisko parametru pielietošanas klimata pārmaiņu seku novērtēšanai veltīto pētījumu veicināšanai un aktualizēšanai. Iespējams nepieciešama jaunu stacionāro monitoringa punktu izveide, ņemot vērā ne vien stratificētu teritoriālo izvietojumu, bet arī fokusējoties uz pārstāvētākajiem meža tipiem, kā arī valsts un Eiropas līmenī aizsargājamām mežu teritorijām;

2) pamatojoties uz plānotiem un regulāriem novērojumiem, tiek iegūta iespēja izprast, kāda ir veģetācijas atbildes reakcijas uz klimatisko apstākļu pārmaiņām, kā arī izdarīt prognozes par nākotnē gaidāmajām pārmaiņu tendencēm. Rekomendējams turpināt Nacionālajā mežu monitoringā ietilpstošo bioloģiskās daudzveidības monitoringu, informācijas uzkrāšanas nolūkos. Lai iegūtu klimata pārmaiņu ietekmes novērtējumu plašākā Latvijas teritorijā, būtu ieteicams to paplašināt, ietverot sistemātisku veģetācijas sastāva un daudzveidības, kā arī svešzemju sugu sastopamības novērtējumu vairākās nemainīgās teritorijās. Tāpat sistēmā būtu apvienojami dati, kas iegūti dažādos pētījumos, efektīvi paplašinot informācijas bāzi. Gadījumos, kad tiek veikti veģetācijas novērojumi (piemēram, periodiski aktualizējot dažādu dabas aizsardzības teritoriju aizsardzības un apsaimniekošanas plānus), ieviešama vienota sistēma datu ievākšanai un uzglabāšanai, lai arī tie būtu savietojami ar bioloģiskās daudzveidības monitoringā iegūto informāciju.

4. Koku augšanas gaitas izmaiņas nākotnes klimatā

4.1. Klimata komponentes augstuma pieauguma modeļiem

Tēmas izziņātība

Klimata pārmaiņu rezultātā 21. gs. ekonomiski nozīmīgo koku sugu izplatībā Baltijas jūras reģiona austrumu daļā ir sagaidāmas ievērojamas pārmaiņas, kas galvenokārt saistītas ar egles īpatsvara mazināšanos (Frejaville et al., 2020; Buras and Menzel, 2019). Šajā reģionā īpaši produktīvas egles audzes ir uz kūdras augsnēm (Päivänen & Hånell, 2012; Pretzsch et al., 2014), un Latvijā sastopamās egļu audzes meža tipos ar kūdras augsnēm – šaurlapju un platlapju kūdreņos (Bušs, 1976), ir ar augstu saimniecisko nozīmi. To kopplatība un krāja laika posmā no 2008. līdz 2019. gadam ir palielinājusies attiecīgi par 1,78 tūkst. ha un 0,86 milj. m³

Šajā kontekstā ir nepieciešams meteoroloģisko un klimatisko apstākļu izmaiņu straujuma un potenciālās ietekmes novērtējums, lai raksturotu šādu audžu mežsaimnieciskās adaptācijas iespējas (Nabuurs et al., 2017), kuras var izteikt kā koku augšanas produktivitātes saglabāšanos. Kā viens no tās rādītājiem ir augstuma pieaugums jeb primārā augšana, kas ir galvenais kokaugu konkurētspēju ietekmējošais faktors (Cao et al., 2021). Primārās augšanas saistības ar meteoroloģiskajiem un klimatiskajiem apstākļiem novērtēšana ir nozīmīga augstuma pieaugumu modeļu izstrādē (Manso et al., 2021), jo nodrošina iespēju precīzāk prognozēt koku augšanu ilgtermiņā, kas ir īpaši nozīmīgi mainīga klimata apstākļos. Lai arī šādiem mērķiem tiek attīstītas dažādas attālinātās izpētes metodes, ar kurām ir iespējams precīzi noteikt koku augstuma pieaugumu, tomēr tās nespēj nodrošināt garas (kokaudzes rotācijas perioda garumā) mērījumu sērijas meteoroloģisko apstākļu ietekmes novērtēšanai (Tyminska-Czabanska et al., 2021). Tādēļ koku augšanas jutības novērtēšanai un genotipu piemērotības novērtējumam joprojām ir nozīmīgas pieauguma tiešo mērījumu sērijas (Hayatgheibi et al., 2021).

Pētījuma sadaļas mērķis ir novērtēt parastās egles augstuma pieauguma jutību pret meteoroloģiskajiem faktoriem, lai raksturotu sugas mežsaimniecisko ilgtspēju kūdreņos Baltijas jūras reģiona austrumu daļā.

Materiāls un metodes

Pētījuma lauka darbu etapā saskaņā ar plānu ir ievākts materiāls no 15 kokiem 40-49 gadus vecās egles audzēs šaurlapju kūdreņos MPS Kalsnavas MN. Paraugkoku atlase veikta atbilstoši II-III vecumklases egles caurmēra krūšu augstumā (D) variācijai šaurlapju un platlapju kūdreņos pēc Nacionālā meža monitoringa datiem (4.1. tabula). Atlasīto paraugkoku D un augstums (vidējās±standartklūda) bija attiecīgi 24,0±2,0 cm un 21,0±1,2 m.

4.1. tabula.

Analizēto koku dimensijas šaurlapju kūdreņos (kvartāls, nogabals) MPS Kalsnavas MN

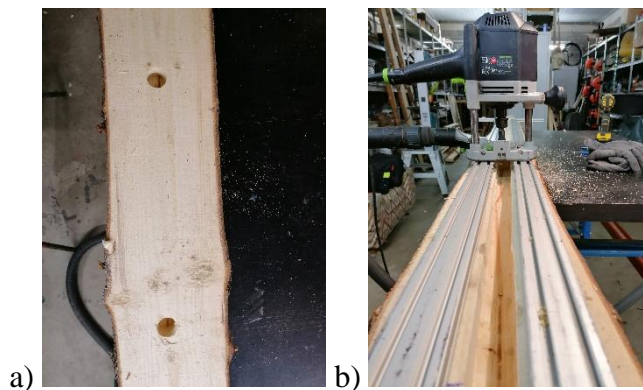
Audze	Koka nr.	D (cm)	H (m)	Audze	Koka nr.	D (cm)	H (m)
201-2	1	28,5	21,6	201-4	1	21,5	19,1
	2	21,4	24,4		2	19,6	17,9
	3	27,5	22,3		3	22,5	20,7
	4	26,6	22,3		4	25,0	20,8
	5	22,3	23,1		5	23,7	21,0
	6	24,4	23,8		6	24,6	20,9
	7	20,2	22,5		7	20,7	18,6
	8	27,4	22,6				

Atlasītie paraugkoki nozāgēti, un to stumbri pēc atzarošanas sagarināti 2–3 m garos baļķos, kuri nogādāti kokzāģētavā, kur no to vidusdaļām ar lentzāģi izzāģēti 5 cm biezi dēļi. Izzāģēšanas laikā nodrošināts, ka dēlis (iegūstamais paraugs) satur koka serdi. Dēļi marķēti, lai nodrošinātu tā identifikāciju tālākajā apstrādes procesā un izzāvēti līdz gaissausam mitrumam (4.1. attēls).



4.1. attēls. Augstuma pieauguma dinamikas mērījumiem sagatavotie paraugi (dēļi)

Izzāvētajiem dēļiem visā to garumā ar kontrolurbumiem tika noteikts serdes dziļums (4.2.a. attēls), un pakāpeniski, ar rokas frēzi noņemot koksni noteiktajā apjomā, atsegta koka serde (4.2. b. attēls). Serde galotnes daļā ($D < 6$ cm) atsegta, izmantojot rokas lentes slīpmašīnu. Koka serdes posmi starp galvenajiem mieturiem attiecināti kā ikgadējais augstuma pieaugums, kura robežas starp galvenajiem mieturiem uz serdes bija viegli identificējamas pēc zaru savienojumiem.



4.2. attēls. Paraugkoku serdes dziļuma noteikšana (a) un atsegšana (b) augstuma pieaugumu identificēšanai

Augstuma pieaugumu mērīšana veikta ar mērlenti (1 mm precizitāte). Lai nodrošinātu korektu augstuma pieaugumu mērījumu datējumu, katra dēļa tievgalis un resgalis datēts, balstoties uz gadskārtu skaitu. Precīzai gadskārtu skaita noteikšanai dēļu gali slīpēti, izmantojot slīppapīru ar raupjumu no 80 līdz 400 graudiem uz kvadrātcollu. Gadskārtas skaitītas, izmantojot palielināmo stiklu (15× palielinājums).

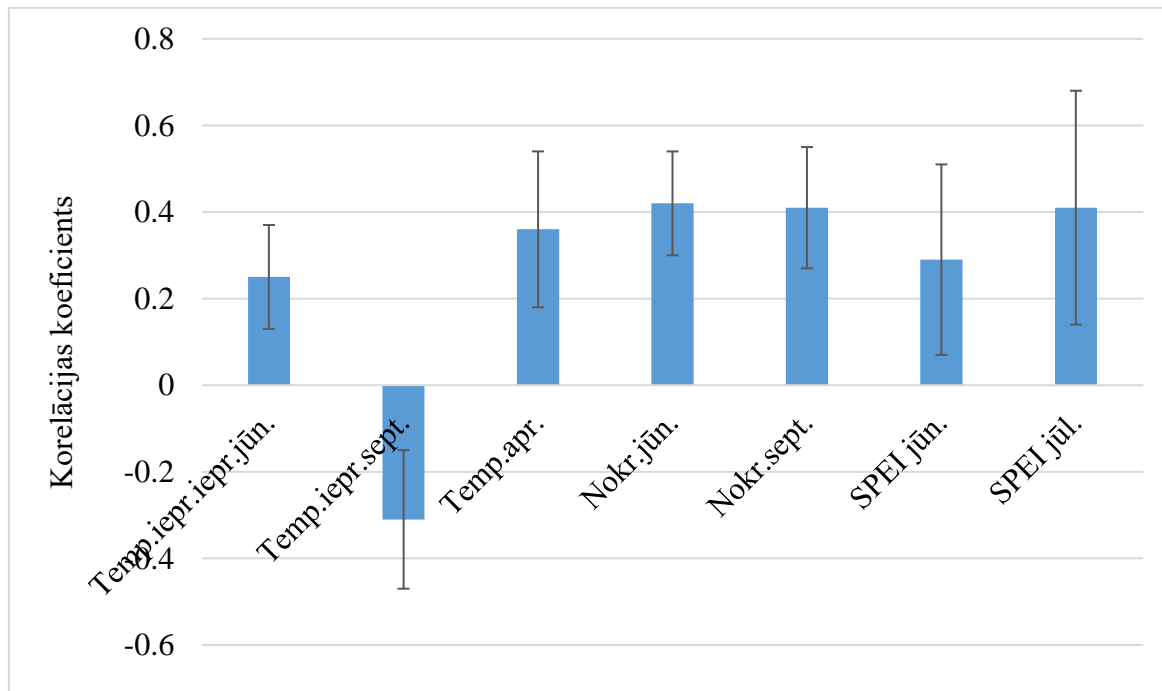
Augstuma pieauguma sēriju datējuma kvalitātes nodrošināšanai veikta grafiska (ar uzsvāru uz pieauguma kritumu) un statistiska (izmantojot programmu COFECHA; Holmes, 1983)

šķērsdatēšana. Sēriju datu kopas informativitāte raksturota ar vispārpieņemtajiem dendrohronoloģijas koeficientiem, kas aprēķināti detrendētām vērībām (Wigley et al., 1984; Bunn, 2008). Lai raksturotu augstuma pieauguma jutību pret meteoroloģiskajiem apstākļiem, izmantojot dubulto detrendēšanu ar negatīvi eksponenciālo un trešās kārtas polinomiālo līkni (viļņa garums 25 gadi), kā arī autokorelācijas noņemšanu, izveidota pieauguma atlikumu hronoloģija (Bunn, 2008). Individuālu koku detrendētās sērijas apvienotas ar *biweight robust mean* funkciju. Šāda atlikumu hronoloģija reprezentē tiešo ikgadējo relatīvo papildpieaugumu, kas mainās meteoroloģisko apstākļu ietekmē (Cook et al., 1987).

Rezultāti

Parastās egles augstuma pieauguma ikgadējā mainība parādīja jutību pret meteoroloģiskajiem apstākļiem (4.3. attēls). Apstākļi pirms augšanas sezonas ietekmēja egles augstuma pieaugumu jutību. Izteiktākā ietekme (augstākās korelācijas vērtības) konstatētas sausumam (gan izteiktam kā nokrišņu summa, gan kā sausuma indekss) veģetācijas sezonas vidū. Tas saskan ar iepriekšējā etapā eglēm sausienos konstatēto, korelācijas tikai mazliet ciešākas. Temperatūras ietekme parādās vēlāk pavasarī, iespējams, saistībā ar lēnāku kūdras augšņu atsilsanu pēc ziemas perioda

Šajā analīzē, līdzīgi kā iepriekš veiktajā, konstatējama līdzīga augstuma un caurmēra pieaugumu ietekmējošo faktoru kopa. Vienlaikus jāatzīmē, ka augstuma pieauguma jutība ir augstāka, liecinot par nozīmīgāku šīs koku sugas uzņēmību pret sagaidāmajām klimata pārmaiņām (Hartmann et al., 2013) un apliecinot sagaidāmo izplatības samazinājumu reģionā (Buran and Menzel, 2019). Nākamajā pētījuma etapā nepieciešamas datu kopas papildināšana un padziļināta analīze, apvienojot iegūtos rezultātus ar klimata pārmaiņu prognožu datiem.



4.3. attēls. Būtiskās korelācijas (būtstrapoti Pīrsona korelācijas koeficienti) starp meteoroloģiskajiem mainīgajiem un egles augstuma pieauguma atlikuma hronoloģiju. Nogriežņi parāda korelācijas koeficientu 95% ticamības intervālu. SPEI – sausuma indekss

Kopsavilkums

Egles augstuma pieaugumam ir ievērojama ikgadēja mainība. Šī pieauguma un meteoroloģisko faktoru būtiskās korelācijas norāda uz egles izteikto jutību pret sausumu, kā arī pavasara temperatūru, norādot uz kompleksiem pieauguma kontroles mehānismiem. Izteiktā pieauguma jutība pret meteoroloģiskajiem apstākļiem norāda uz augošiem klimatiskajiem riskiem, un līdz ar to uz pieaugošu nepieciešamību pēc adaptīvas mežsaimniecības. Novērotās pieauguma ikgadējas mainības atšķirības starp kokiem norāda uz vides un genotipa mijiedarbības ietekmi uz tā jutību, kas savukārt liecina par selekcijas potenciālu mazināt identificētos riskus.

Pētījuma rezultāti prezentēti starptautiskā zinātniskā konferencē “Local solutions for regional and global forest management challenges”, 7.-9. jūnijā Latvijā, kurā pulcējās Ziemeļeiropas valstu augšanas gaitas modelēšanas pētnieki (4.4. attēls).



4.4. attēls. Klimata un ģenētikas ietekme uz egles augšanas gaitu: prezentācija pie pēcnācēju pārbaužu stādījuma Ogres novadā.

4.2. Meteoroloģisko apstākļu ekstrēmu ietekme uz koku pieaugumu

Tēmas izziņātība

Baltijas jūras reģiona mežaudžu sugu sastāva izmaiņas uzrāda krasu parastās egles īpatsvara samazinājumu jau līdz 21. gs. beigām (Buras and Menzel, 2019). Lai arī klimata pārmaiņu ietekme uz mežu augšanu reģionā ir lokāla un var būt kontrastējoša (Harvey et al., 2020; Isaac-Renton et al., 2018; Nabuurs et al., 2018), izmaiņas egles īpatsvarā ir saistāmas ar abiotisko traucējumu, it īpaši sausuma un vētru pēctecību, proti kaitēkļu ietekmi (Netherer et al., 2019; Jönsson et al., 2009; Seidl et al., 2008). Attiecīgi, audžu un populāciju uzņēmība pret meteoroloģiskajiem (vides) ekstrēmiem/anomālijām ir nozīmīga mežu ilgtspējas nodrošināšanai (Jetschke et al., 2019; Mausolf et al., 2018; Schweingruber et al., 1990).

Radiālā pieauguma analīze ir viens no nozīmīgākajiem izziņas līdzekļiem, kas sniedz visaptverošu informāciju par augšanu un tās reakciju uz vides mainību ilgtermiņā un īstermiņā (Housset et al., 2018, Zhang et al., 2018). Pieaugošas vides mainības apstākļos, pieauguma jutības retrospekcija ir informatīvāka par allometrisko rādītāju, kas ir pagātnes vides kumulāts, analīzi (Breed et al., 2018; de Villedemereuil et al., 2016). Attiecīgi specifiska radiālā pieauguma standartizēšana ļauj identificēt nozīmīgākos apstākļus, kas izraisa nozīmīgas izmaiņas augšanā,

kā arī retrospektīvi iegūt detalizētu informāciju par koku reakciju uz krasām vides pārādībām/izmaiņām (Jetschke et al., 2019; Schweingruber et al., 1990).

Uz izplatības areāla dienvidu robežas Polijā un Vācijas ziemeļos, kur klimatiskie apstākļi strauji kļūst eglei (pēc juvenīlās stadijas) nepiemēroti strikti limitējošā vasaras sausuma dēļ (Klisz et al., 2019; Harvey et al., 2020), izzūd ģenētiski noteiktās egles populāciju jutības pret vides ekstrēmiem atšķirības, norādot uz adaptīvā potenciāla izsīkumu (Klisz et al., 2019). Maigāka klimata apstākļos Latvijā, kur egles radiālais pieaugums ir jutīgs gan pret vasaras mitruma pieejamību, gan pret ziemas temperatūras režīmu (Matisons et al., 2021), iespējams šāds adaptīvais potenciāls vēl saglabājas. Attiecīgi, pētījuma sadaļas mērķis ir raksturot vietējo egles populāciju lokālo ģenētisko adaptāciju un potenciālu nākotnes klimatam, uzsvaru liekot uz jutību pret meteoroloģiskajiem ekstrēmiem.

Mērķa sasniegšanai izvirzīt sekojoši uzdevumi: 1) identificēt krasas pieauguma izmaiņas un raksturot to saistības ar meteoroloģiskajiem apstākļiem; 2) novērtēt vietējo populāciju (provenienču reģionu) pieauguma atbildes reakcijas īpašības uz krasas augšanas izmaiņas izraisošu apstākļu kopumu; 3) raksturot reakcijas īpašību ģenētisko kontroli un iedzimstamību kā selekcijas potenciāla indikatoru.

Materiāls un metodes

Materiāls pieauguma analīzei ievākts trīs parastās egles klonālās plantācijās pie Bikstiem (Jurģu plantācija), Tukuma (Valguma plantācija) un Kalsnavas (Druvēnu plantācija). Katrā plantācijā paraugošanai atlasīti kloni atbilstoši stumbra diametra sadalījumam, kas balstīts uz 2010.–2014. gadā veiktas inventarizācijas datiem. Druvēnu un Valguma plantācijās atlasīti attiecīgi 19 un 20 lokālo pluskoku kloni, bet Jurģu plantācijā – 77 kloni no rietumu un austrumu provenienču reģioniem. Katram klonam atlasīti no 2–24 rametiem (atbilstīgi stādīšanas skaitam un saglabāšanās īpatsvaram). Pēc iespējas, rametu atlase veikta, lai reprezentētu klona diametra struktūru. Vizuāli slimi, bojāti vai sagāzušies koki netika atlasīti. Atlasīto koku vidējais stumbra krūšaugstuma caurmērs (\pm standartnovirze) uz paraugošanas brīdi Jurģu, Valguma un Druvēnu plantācijas bija attiecīgi $33,7 \pm 7,0$, $35,3 \pm 8,8$ un $34,6 \pm 5,4$ cm.

No katra izvēlēta koka stumbra 1,3 m augstumā ievākts viens 5 mm urbums. Urbumi laboratorijā fiksēti un slīpēti, lai atsegtu gadskārtas. Urbumi ievākti tā, lai tie saturētu serdi, vai novirze no serdes būtu mazāka par trim gadskārtām. Materiāls ievākts 2015. gadā Druvēnu un Valguma plantācijās un 2018. gadā jurģu plantācijā. Gadskārtu platums mērīts manuāli izmantojot LINTAB 5/6 mērgaldu. Gadskārtu platums mērīts ar precizitāti 0,01 mm.

Meteoroloģiskie dati (mēnešu vidējā, minimālā un maksimālā temperatūra, nokrišņu summa, un evapotranspirācija) iegūti no brīvpieejas datubāzes, kas sniedz augstas izšķirtspējas (izšķirtspēja $0,5^\circ$ ģeogrāfiskais platums/garums) informāciju (Harris et al., 2020). Vides mitruma deficīts raksturots ar standartizēto nokrišņu-evapotranspirācijas indeksu (Vicente-Serrano et al., 2010). Izmantoti dati no tuvākās novērojumu stacijas, kas atradās < 20 km attālumā no plantācijas, kas ir reprezentabli līdzenuma apstākļos. Meteoroloģisko un klimatisko anomāliju (ekstrēmu) analīzei apkopota LVĢMC sniegtā retrospekcija un klimatiskie apraksti.

Mērījumu un to laika rindu kvalitātes verifikācijai, kā arī korekta pieaugumu datējuma nodrošināšanai, veikta statistiska un grafiska datu kopu (plantāciju mērījumu kopu) šķērsdatēšana (Holmes, 1983). Laika rindām, kas uzrādīja zemu līdzību ar pārējām, veiktas korekcijas datējumā vai arī tās atmetas, ja datējuma korekcija sērijas mainības līdzību neuzlaboja. Šķērsdatēšana veikta datu kopu kopējam laika periodam.

Relatīvās pieauguma izmaiņas attiecībā pret iepriekšējiem pieciem gadiem raksturo zīmīgo gadu indekss (Jetschke et al., 2019; Schweingruber et al., 1990). Ņemot vērā optimālus augšanas apstākļus (Zeltiņš et al., 2022), samazinājums >30% un uzlabojums > 40% pieņemti

kā robežvērtības nozīmīgām pieauguma izmaiņām (Schweingruber et al., 1990). Klona līmenī, par nozīmīgām izmaiņām pieaugumā, t.i., par zīmīgiem pieņemti tie gadi, kuros nozīmīgas izmaiņas parādīja $\geq 50\%$ koku.

Pieauguma zīmīgo gadu saistības ar meteoroloģiskajām anomālijām raksturošanai meteoroloģisko mainīgo laika rindas transformētas ar slīdošo normēto novirzi 30 gadu periodam. Meteoroloģisko mainīgo anomālijām, kas uzskatītas, ja normētās novirzes absolūtā vērtība pārsniedza 2.0, analizēta sakritība ar zīmīgajiem gadiem pieaugumā, retrospekciju veicot klimatiskajam gadam no iepriekšējā kalendārā gada jūnija līdz zīmīgā gada septembrim. Meteoroloģisko mainīgo (nestandardizētā veidā) saistības ar klonu īpatsvaru plantācijā, kas uzrāda zīmīgo gadu, raksturotas ar būtstrapotu Pīrsona korelācijas analīzi (neparametriskais procentiļu būtstraps, 1000 iterācijas).

Tolerances indeksi aprēķināti, lai raksturotu pieauguma izmaiņu raksturu saistībā ar vides apstākļu anomālijām un ekstrēmiem (Lloret et al., 2011). Pieauguma reakcijas raksturošanai izmantoti resilience, relatīvās resilience, pretestības un atkopšanās indeksi, kas ir piemēroti kontrolētos apstākļos audzētiem kokiem (Schwarz et al., 2020). Indeksi rēķināti izmantojot četru gadu retrospekciju. Proveniences reģiona, kā arī lokālās adaptācijas saistība ar pieauguma izmaiņu raksturu, tādējādi raksturojot iespējamās ģenētiskās pielāgojumus pret vides anomālijām un ekstrēmiem, vērtēta izmantojot jaukta tipa modeli (Bates et al., 2015), analīze balstīta uz koku laika rindām, gadskārtas platuma mērījumi izmantoti kā novērojumi. Tolerances indeksi gados, kad $>30\%$ no kloniem parādīja zīmīgo gadu izmantoti kā atbildes mainīgais. Katram indeksam veidots savs modelis, pozitīvie un negatīvie gadi analizēti atsevišķi. Proveniences reģions (rietumu un austrumu) un stumbra krūšaugstuma caurmērs (kovariante) analizē iekļauti kā fiksētie efekti. Plantācija, izcelsmes audze, kons un koks izmantoti kā pakārtoti telpiskie “nejausās izvēles” jeb randomie efekti un gads (zīmīgais gads) izmantots kā laika randomais efekts. Fiksēto efektu būtiskums vērtēts ar Valda (Wald) χ^2 testu. Būtisko efektu līmeņu marginālās vidējās vērtības (estimated marginal means) salīdzinātas ar TukeyHSD testu.

Ģenētiskās kontroles pār pieauguma izmaiņu raksturu (tolerances komponentēm, ko raksturo analizētie tolerance indeksi) izmantotas kvantitatīvās ģenētikas metodes (Falconer and MacKay, 1996). Ņemot stādījuma dizaina specifiku, iedzimtības rādītāju, iedzimestamības koeficienta *sensu lato* (H^2) un aditīvā ģenētiskā variācijas koeficienta (CV_a) aprēķins veikts katrai plantācijai atsevišķi. Aprēķini veikti klona līmenī katram referentā perioda gadam balstoties uz koku tolerance indeksiem. Dispersiju atdalīšanā izmantots vienkāršots randomu efektu modelis, kur atbildes mainīgais ir tolerance indekss un klons izmantots kā vienīgais randomais efekts. Iedzimestamības koeficients izteikts kā klona dispersijas daļa no kopējās mainīgā dispersijas; aditīvā ģenētiskās variācijas koeficients aprēķināts kā mainīgā klona standartnovirzes un fenotipiskās vidējās vērtības attiecība. Saistības starp iedzimestamības rādītāju un plantāciju klonu ar zīmīgo gadu īpatsvara laika rindām raksturotas ar būtstrapotu Pīrsona korelācijas analīzi; analīze veikta atsevišķi pozitīvos un negatīvos gadus uzrādošo klonu īpatsvaram. Datu sagatavošana un analīze veikta programmā R, v. 4.2.1, izmantojot pakotnes “lme4” (Bates et al., 2015), “pointRes” (van der Maaten-Theunissen et al., 2021), “car” (Fox and Weisberg, 2019) un “emmeans” (Lenth, 2022).

Rezultāti

Kopumā veiksmīgi šķērsdatētas 1175 koku gadskārtu platuma laika rindas (4.2. tabula).

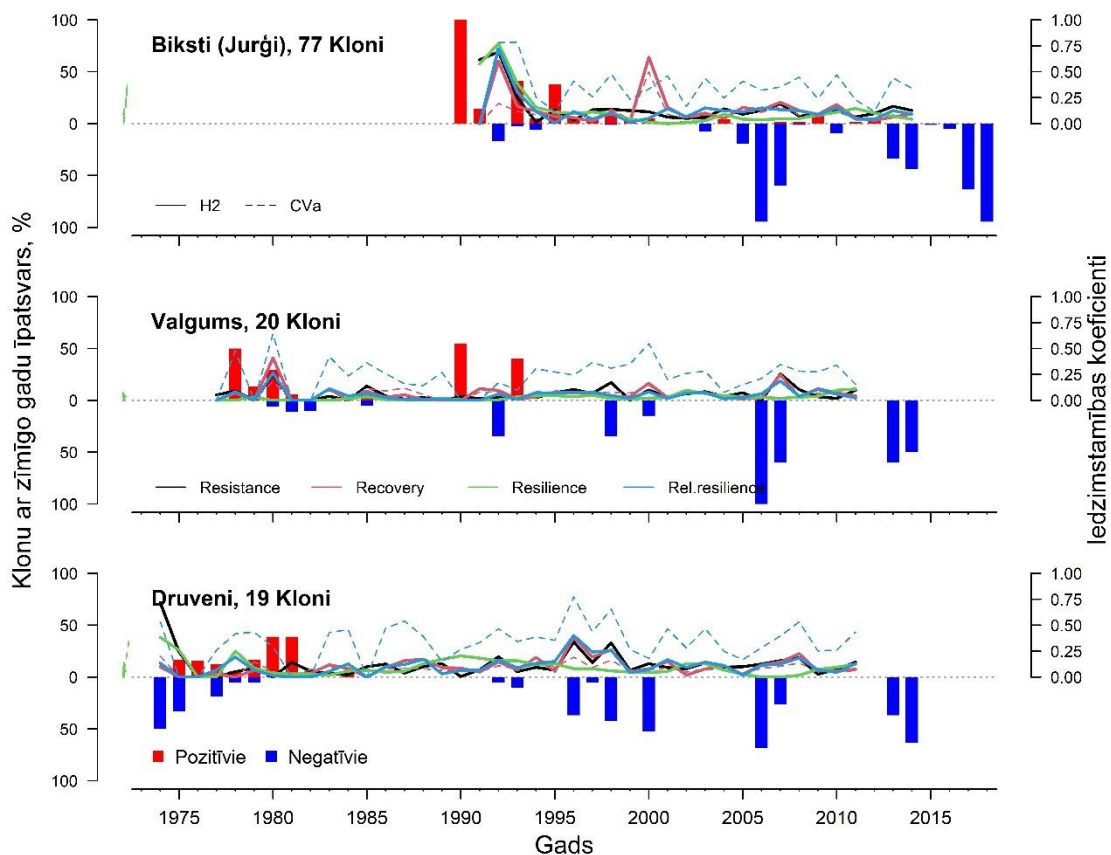
4.2. tabula

Šķērsdatēto egles klonālo plantāciju paraugkoku gadskārtu platumu sēriju vides mainības informativitātes rādītāji.

Plantācija	Klonu skaits	References periods	Vidējais gadskārtu platums ± st. novirze, 1/100mm	Koku skaits	Starprindu korelācija	Vides signāla izpausmes stiprums (EPS)	Vides signāla stiprums (SNR)	Auto korelācija (ar1)
Druvēni	19	1969–2015	399 ± 65	211	0.289	0.988	85.3	0.43
Valgums	20	1971–2015	462 ± 97	335	0.408	0.995	218.2	0.36
Jurģi (Biksti)	77	1981–2018	582 ± 105	629	0.443	0.993	136.1	0.38

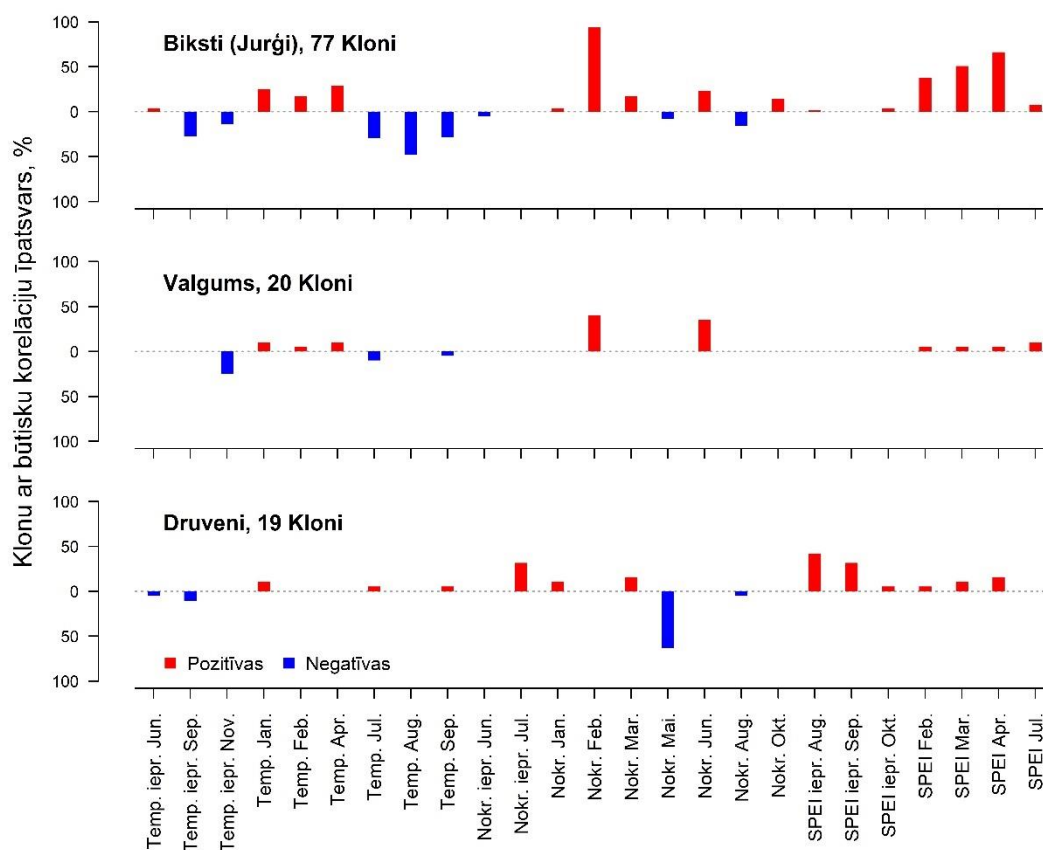
Šķērsdatētajām datu kopām aprēķinātie informativitātes rādītāji (EPS un SNR) norādīja uz analizējamo paraugkopu piemērotību pieauguma mainības raksturošanai (Wigley et al., 1984). Gadskārtu platumu sērijām aprēķināta zema autokorelācija, norādot uz vides mainības ietekmi uz pieaugumu (von Arx et al., 2017), un paaugstinātu augšanas jutību (Matisons et al., 2021). Starp rindu korelācija, kas norāda pieauguma ritmu līdzību, bija salīdzinoši zema, it īpaši Druvēnu plantācijā, liecinot par izteiktākām klonālajām atšķirībām. Šādas atšķirības ir izteiktākas sugu izplatības perifērijā, kur apstākļi ir skarbāki norādot uz izteiktāku genotipu lokālo adaptāciju (Cavin and Jump, 2017).

References periodā pārsvarā novēroti negatīvie zīmīgie gadi, pie tam krasi augšanas uzlabojumi novēroti tikai juvenīlā vecumā (4.5. attēls), kas visticamāk skaidrojams ar pieauguma fāzes maiņu vides optimālo vides apstākļu dēļ (Zeltiņš et al., 2022). Visām plantācijām kopīgajā periodā (1990.–2015. gadi), novēroti vārāki kopīgi negatīvie zīmīgie gadi norādot uz liela mēroga/meteoroloģiska faktora ietekmi (Matisons et al., 2021, Harvey et al., 2020; Zhang et al., 2018). Kā izteiktākie ir minami 2006. un 2013./2014. gadi, kas raksturojas ar kontrastainu temperatūras režīmu un aukstuma un siltuma rekordiem ziemas un vasaras periodos. Šajos gados novērota bijušas arī karstas un sausas vasaras, kas raksturojas ar mitruma deficītu (Harris et al., 2020). Jāpiezīmē, ka 2006. gada pieauguma samazinājums varētu būt skaidrojams ar reakciju uz 2005. gada vētras izraisītajiem bojājumiem galvenokārt plantācijās Latvijas rietumu daļā, kam var būt pēctecības ietekme (Mezei et al., 2017). Izteikti negatīvi zīmīgie gadi divās no trim plantācijām novēroti arī 1998., 2000., un 2007. gados, kuros raksturīgs kontrastains ziemas temperatūras režīms. Līdz ar to secināms, ka negatīvos zīmīgos gadus, t.i., krasu pieauguma samazinājumu izraisa vairāku nelabvēlīgu apstākļu sakrītība starp kuriem vasaras mitruma apstākļi ir vieni no nozīmīgākajiem (Matisons et al., 2021, Klisz et al., Harvey et al., 2020).



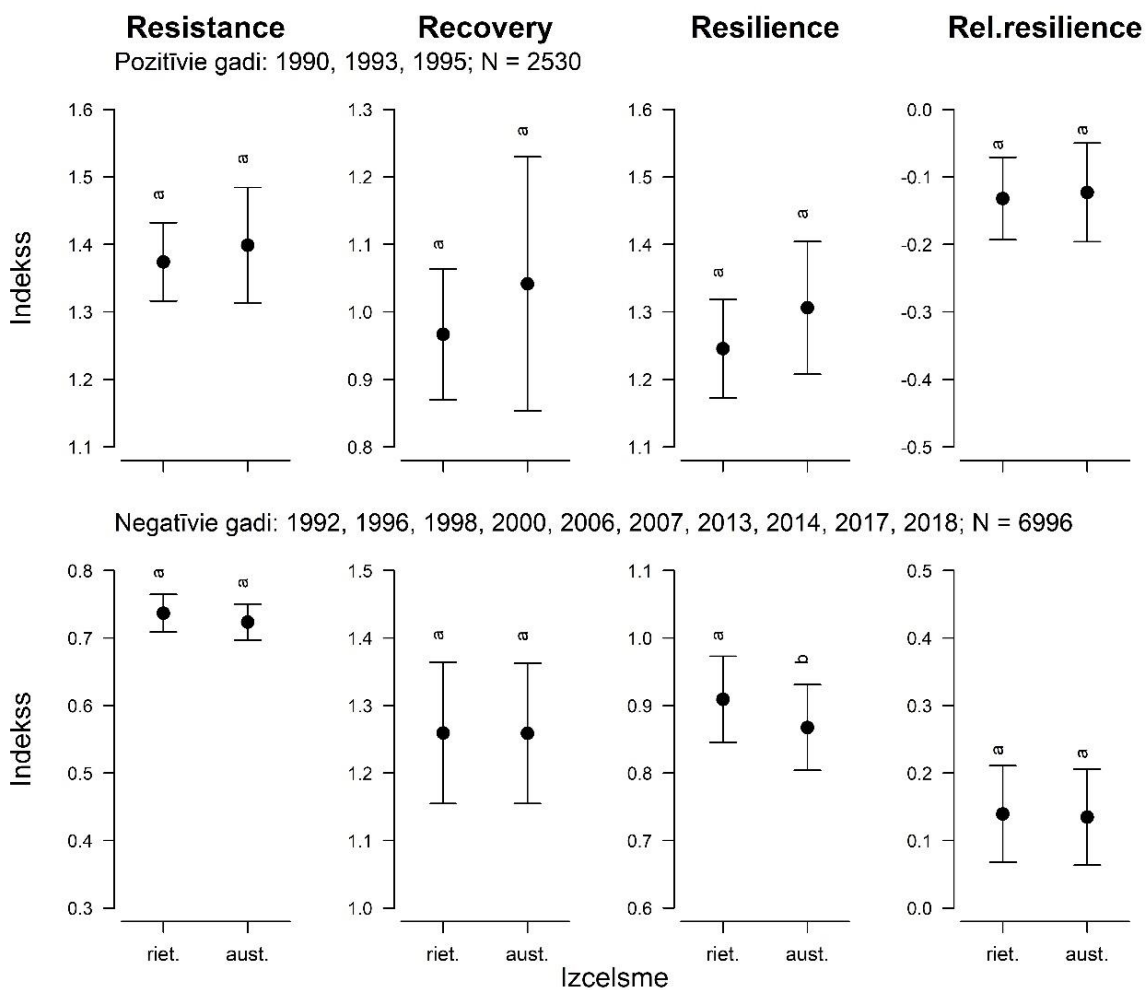
4.5. attēls. Klonu īpatsvars, kas uzrāda zīmīgos radiālā pieauguma gadus (stabiņi) un tolerances indeksu iedzīstamības (H^2) un aditīvās ģenētiskās variācijas (CV_a) koeficienti (līnijas) pētītajās klonālajās parastās egles plantācijās.

Kompleksu meteoroloģisko apstākļu ietekmi uz krasu pieauguma izmaiņu rašanos apliecina arī korelācijas starp klonu īpatsvaru uzrādošu zīmīgo gadu un meteoroloģiskajiem mainīgajiem (4.6. attēls). Kopumā būtiskas korelācijas novērtētas 25 meteoroloģiskajiem mainīgajiem, kas reprezentē apstākļus gan pieauguma veidošanās laikā, gan pirms tam – miera un iepriekšējā veģetācijas sezonā, norādot uz laikā kompleksām ietekmēm. Izteiktāka meteoroloģisko faktoru ietekme uz pieauguma mainību novērtēta Jurģu plantācijā, kur novērots augstāks korelācijas uzrādošu klonu īpatsvars. Šajā plantācijā, zīmīgo gadu intensitātes indekss visizteiktāk korelēja ar ziemas nokrišņu daudzumu, norādot uz saistību ar sakņu attīstību (Tierney et al., 2001). Izteiktas bija arī korelācijas, kas raksturo vasaras mitruma apstākļus, proti augšanas perioda nokrišņu daudzumu un temperatūru, kas sakrīt ar galvenajiem reģionālajiem pieaugumu limitējošajiem faktoriem (Matisons et al., 2021). Līdzīgu meteoroloģisko mainīgo ietekme novērtēta arī Valguma plantācijā, lai gan būtiskas korelācijas novērotas izteikti retāk, norādot uz neizteiktu individuālo mainīgo limitējošo ietekmi. Skarbāka klimata apstākļos Druvēnu plantācijā izteiktākā saikne (negatīva) novērtēta ar nokrišņu daudzumu maijā, kas skaidrojams ar samazinātu saules radiāciju lietainos apstākļos. Šajā plantācijā novērtēta izteiktāka saikne ar apstākļiem iepriekšējā augšanas sezonā, kas skaidrojams ar papildu barības vielu rezervju veidošanos (Marchand et al., 2021; Jyske et al., 2014).



4.6. attēls. Klonu īpatsvars, kas uzrāda būtiskas būtstrapotas korelācijas starp zīmīgo gadu intensitātes laika rindām, un meteoroloģiskajiem mainīgajiem periodā no 1985. gada līdz 2015. gadam.

Izteiktākajiem zīmīgajiem gadiem aprēķinātie tolerances indeksi bija samērā augsti (4.7. attēls) norādot uz analizēto koku spēju atkopties pēc meteoroloģiska traucējuma (Schwarz et al., 2020). Provenienču reģionam, kam ir izteikta ietekme uz dendrometriskajiem rādītājiem (Zeltiņš et al., 2022), būtiska ietekme konstatēta tikai uz pieauguma resiliences negatīvo zīmīgo gadu gadījumā, norādot uz kopumā līdzvērtīgām Latvijas egles populāciju spējām atkopties pēc klimatiskiem ekstrēmiem/anomālijām. Jāatzīmē, ka koku atkopšanos ietekmē to dimensijas, par ko liecina būtiskā stumbra krūšaugstumā caurmēra ietekme (4.3. tabula). Lai gan statistisko modeļu marginālās R^2 vērtības bija zemas, norādot ka fiksētiem efektiem ir vāja ietekme, kondicionālās R^2 vērtības bija ievērojami augstākas norādot uz ģenētisko un stādījuma dizaina ietekmi. Ģenētisko faktoru ietekmi uzskatāmi parādīja klona un proveniencas dispersija.



Līdzīgi burti norāda uz būtisku atšķirību neesamību starp dalījuma līmeņiem. riet. – rietumu, aust. – apvienots centrālais un austrumu.

4.7. attēls. Modelētās marginālās egles radiālā pieauguma (gadskārtu platuma) tolerances indeksētu vērtības atkarībā no provenienču reģiona laika posmam no 1985. līdz 2015. gadam.

Jaukta tipa modeļu, kas apskata tolerances indeksu izteiktākajos zīmīgajos gados periodā 1985. līdz 2015. gadam atkarību no klonu izcelsmes un koku dimensijām, statistiskie rādītāji.

Zīmīgie gadi	Pozitīvie								Negatīvie								
	Rezistence		Atkopšanās		Rezilience		Rel. resilience		Rezistence		Atkopšanās		Rezilience		Rel. resilience		
Tolerances komponente	Prov_reg	DB_H	prov_reg	DB_H	prov_reg	DB_H	prov_reg	DB_H	prov_reg	DB_H	prov_reg	DB_H	prov_reg	DB_H	prov_reg	DB_H	
Fiksētie efekti																	
χ^2	0.28	0.06	0.60	3.2	1.57	0.09	0.03	4.6	8	0.85	40	0.00	85	11.85	72	0.11	96
p-vērtība	0.594	0.01	0.440	0.73	0.210	0.01	0.871	0.30	0.357	0.01	0.982	0.00	0.001	0.01	0.745	0.01	
Randomie efekti, dispersija																	
Koks	8.31E-03		0.00E+00		6.85E-02		0.00E+00		6.71E-04		0.00E+00		5.37E-03		0.00E+00		
Klons	2.80E-03		3.84E-02		4.70E-03		1.10E-03		1.14E-03		2.94E-03		7.55E-04		8.74E-04		
Provenien	2.59E-03		6.67E-03		0.00E+00		0.00E+00		2.09E-04		0.00E+00		1.89E-11		0.00E+00		
Gads	3.74E-03		0.00E+00		4.38E-03		0.00E+00		5.06E-03		6.34E-02		3.17E-02		3.52E-02		
Plantācij	7.48E-04		0.00E+00		0.00E+00		4.09E-03		3.66E-04		8.03E-03		5.30E-05		1.80E-03		
Atlikums	1.26E-01		2.00E+00		2.83E-01		3.05E-01		4.50E-02		1.81E-01		5.81E-02		5.62E-02		
Modeļa rādītāji																	
Marginālais R ²	0.046		0.003		0.039		0.004		0.013		0.007		0.007		0.002		
Kondicionālais R ²	0.166		0.024		0.246		0.021		0.154		0.297		0.399		0.404		

Prov_reg – provenieņu reģions (austrumu vai rietumu), DBH – stumbra krūšaugstuma diametrs.

Kopsavilkums

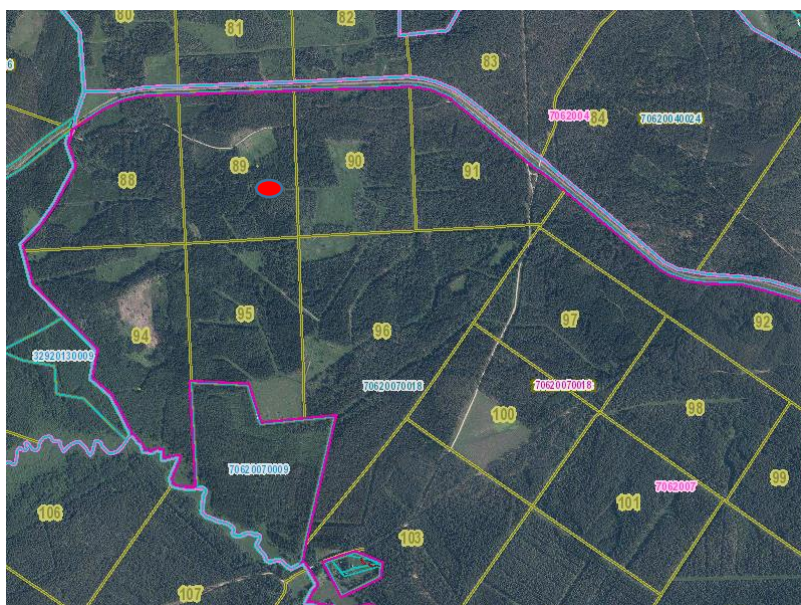
Izmantojot meža selekciju, iespējams uzlabot pieauguma reakcijas toleranci pret meteoroloģiskajiem traucējumiem (ekstrēmām/anomālām). Par to liecina relatīvi augstās iedzimstamības koeficientu vērtības (< 0.40), īpaši kamēr koki bija jaunā vecumā. Paaugstināta iedzimstamības koeficienta vērtība aprēķināta saistībā ar atsevišķiem zīmīgajiem gadiem 2007. gadā Valguma plantācijā un 1996. un 1998. gados Druvēnu plantācijā. Tomēr aditīvās ģenētiskās variācijas koeficienta vērtības bija relatīvi zemas, izņemot relatīvajai resilience, norādot uz iespējam nozīmīgāk kāpināt tieši šīs pazīmes vērtību. Zema pieauguma reakcijas tolerances iedzimstamība visticamāk ir skaidrojama ar pastipriņošos nelabvēlīgo apstākļu ietekmi uz egles augšanu reģionā (Harvey et al., 2020; Klisz et al., 2019; Seidl et al., 2008). Meteoroloģisko traucējumu aktivējošu ietekmi uz ģenētisko faktoru izpausmi apliecina būtiskas korelācijas starp tolerances indeksiem un zīmīgo gadu intensitāti negatīvajos gados.

Iegūtie rezultāti izmantotā pilnveidojot egles selekciju, īpaši gadījumos, kad paredzēta klonu atlase veģetatīvai pavairošanai.

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

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

Infrastruktūras ierīkošana paredzēta tajās platībās, kur nākotnē plānota gāzu analizatoru uzstādīšana. Veikta šajā pētījuma etapā plānotā papildus transekta ierīkošana MPS Kalsnavas MN 89. un 90. kvartālā (5.1. attēls), lai nodrošinātu iespējami detalizētus datus par siltumnīcefekta gāzu emisiju ietekmējošo parametru stāvokli pirms šo analizatoru uzstādīšanas, kā arī, turpinot monitoringu – pēc uzstādīšanas un pēc veiktās saimnieciskās darbības. Lauku darbi ietver objektu apsekošanu, gruntsūdens aku ierīkošanu. Lauku darbi noslēgti pilnā apmērā, datu analīze plānota pētījuma noslēguma etapā.



Sarkanais punkts – gāzu analizatora plānotā atrašanās vieta.

5.1. attēls. Monitoringa teritorija MPS Kalsnavas MN.

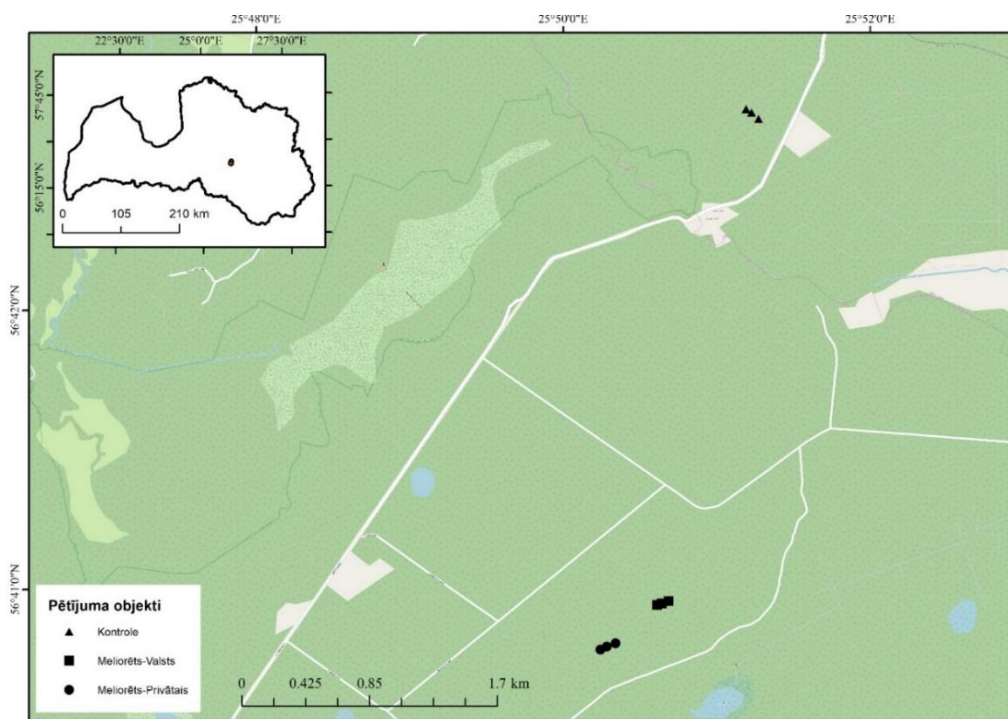
5.2. Liela mēroga saimnieciskās darbības ietekmes uz mežu ar meliorētām augsnēm ekosistēmu raksturojums.

Darba mērķis ir iespējami detalizēta stāvokļa raksturošana pirms SEG emisiju uzskaites infrastruktūras ierīkošanas, vienlaikus veidojot parauglaukumus veģetācijas indikatoru izmaiņu dinamikas raksturošanai saistībā ar meliorācijas sistēmu rekonstrukciju.

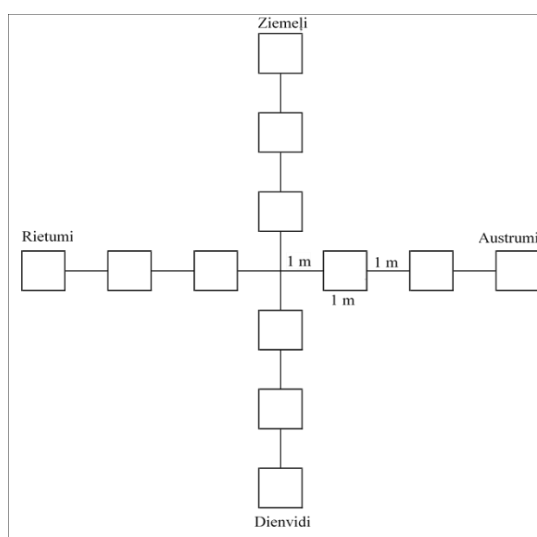
Kalsnavas MPS mežu kvartālā 1969. gadā ierīkoti meliorācijas grāvji, vairākos nogabalos 2019. gadā veikta meliorācijas grāvju rekonstruēšana. Dati ievākti egles audzēs trijās dažādās situācijās (5.2. attēls): rekonstruēto grāvju tuvumā (turpmāk tekstā apzīmēts kā “Rekonstruēts”), otrs oriģināli (1969. gadā) izveidotās grāvju sistēmas tuvumā (“Nav rekonstruēts”), trešais – platībā bez meliorācijas sistēmas (“Kontrolē”).

Katrā no trim izvēlētajiem nogabaliem, ierīkotas trīs transektes. Katrā transektē uz katru debespusi ik pēc 1m izvietoti trīs 1×1m parauglaukumi (5.3. attēls). 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.



5.2. attēls. Parauglaukumu atrašanās vieta.



5.3. attēls. Veģetācijas parauglaukumu izvietojums uz transektes.

Veiktajā uzskaitē 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 vidējais 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*.

Saskaņā ar plānoto, veģetācijas analīze tiks veikta nākamajā etapā, izmantojot programatūru PC-ORD 7.07, ar korespondentanalīze (*DCA*). Galvenajā matricā tiks apkopoti veģetācijas sugu procentuālā seguma dati, bet sekundārajā matricā – dati par meliorācijas sistēmas statusu konkrētajās audzēs. Tiks aprēķināti arī vidējie Šanona-Vīnera un Simpsona daudzveidības indeksi.

5.3. Meža masīva mēroga SEG gāzu apmaiņas raksturojums.

Saskaņā ar plānu nodrošināts metodiskais atbalsts iesaistītajam MPS personālam, t.sk. saplānotas sanitārās cirtes un sekojošie pasākumi ietekmēto audžu nomaiņai tādā veidā, lai nodrošinātu tālākajā izpētē izmantojamu datu kopu. Ņemot vērā, ka būvdarbi uzsākti tikai šajā rudenī, no torņos izvietotajām Eddy-covariance sistēmām šī pētījuma ietvaros būs iespējams iegūt datus stāvokļa raksturošanai, bet ne darbību ietekmes analīzei. To apzinoties, sadarbībā ar MPS nodrošināts mobils gāzu analizators un veikta parauglaukumu ierīkošana augsnes emisiju raksturošanai. Pētāmais objekts atrodas plānotajā Eddy-covariance sistēmas darbības tvērumā: MPS Kalsnavas MN 148. un 96. kvartālā un uz blakus esošas privātas meža zemes. Meliorācijas sistēmas grāvji atjaunoti 2021. gadā un blakus esošajās mežaudzēs ierīkoti siltumnīcefekta gāzu (SEG) parauglaukumi, kā arī tuvumā izvēlēta meliorēta kontroles audze kur grāvis netika atjaunots, lai nodrošinātu iespēju SEG datu salīdzināšanai. Meža tips visās pētītajās mežaudzēs ir šaurlapu kūdrenis (Ks).

Katrā mežaudzē tika ierīkoti 3 parauglaukumi ($R=12.62$ m, 500 m²). Katrā parauglaukumā tika ierīkoti 3 mērījumu punkti heterotrofās CO₂ augsnes elpošanas mērījumiem, un 2 mērījumu punkti kopējās CO₂ un CH₄ augsnes elpošanas mērījumiem. Papildus parauglaukumā uzstādītas 2 gruntsūdens akas automātiskai gruntsūdens līmeņa reģistrēšanai un paraugu ņemšanai, kā arī 2 nobiru uztvērēji un automātiskie augsnes temperatūras sensori (10 un 40 cm dziļumā). Veģetācijas sezonas laikā vienu reizi tika ievākti augsnes paraugi, zemsegas biomasas paraugi, novērtēts veģetācijas projektīvais segums un veikti lapu laukuma indeksa mērījumi. Lai novērtētu sūnu pieaugumu sezonas laikā, tika uzstādīti sūnu biomasas rāmji, no kuriem pēc gada tiks ievākti sūnu pieauguma paraugi un nogādāti laboratorijā tālākai analīzei. Četras reizes sezonā (maijā, augustā, oktobrī un nākamā gada maijā) tika ievākti sīksakņu paraugi ar augsnes zondi, lai raksturotu sīksakņu biomasu, produktivitāti un atmirumu sezonas laikā. Paraugi tiks analizēti LVMI Silava laboratorijā.

SEG mērījumi tika veikti reizi trīs nedēļās no maija līdz oktobrim, kopā 9 mērījumu ciklos. Katrā ciklā tika mērītas augsnes kopējās un heterotrofās CO₂ emisijas, augsnes kopējās CH₄ emisijas, augsnes mitrums un temperatūra, gaisa temperatūra un spiediens, gruntsūdens līmenis, pH un elektrovadītspēja, kā arī augsnes temperatūra 4 dažādos dziļumos (10, 20, 30, 40 cm). Katrā mērījumu ciklā tika ievākti gruntsūdens un nobiru paraugi, kas tika nogādāti LVMI Silava laboratorijā tālākām analīzēm.

Paraugu apstrādi un rezultātu sagatavošanu plānots veikt nākamajā pētījuma etapā

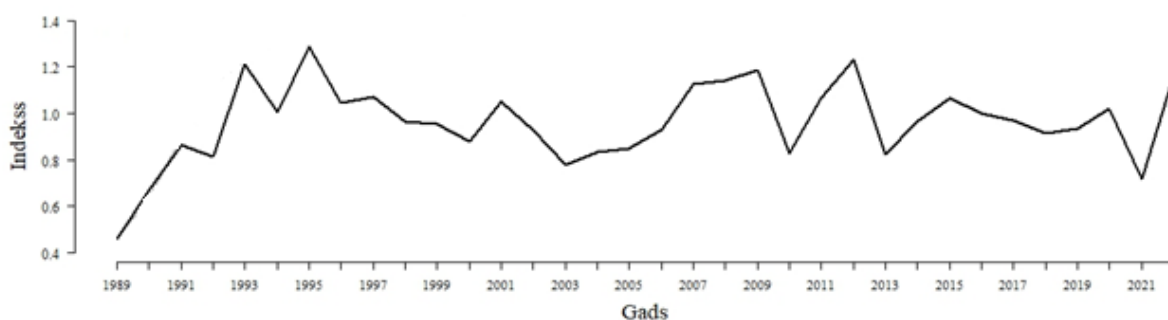
5.5. Koku pieauguma dinamika un to ietekmējošo faktoru raksturojums.

Materiāls un metodes

Lai raksturotu koku augšanas dinamiku vietās, kur plānota gāzu analizatoru uzstādīšana, veikta pieauguma urbumu ievākšana. Primāri paragi vākti MPS Kalsnavas MN 148. kvartālā, kurā atrodas vairākas audzes ar kalstošām eglēm. Domājams, ka kalšanas iemesls ir straujas grunstsūdens līmeņa svārstības, kas saistītas ar grāvju sistēmas tīrīšanu, sekojošu bebru ietekmi (aizdambēšanu) un aizsprostu likvidāciju pēc gada. Sezona, kad tika likvidēti aizsprosti, bija ar nokrišņiem nabadzīga, ar augstu gaisa temperatūru.

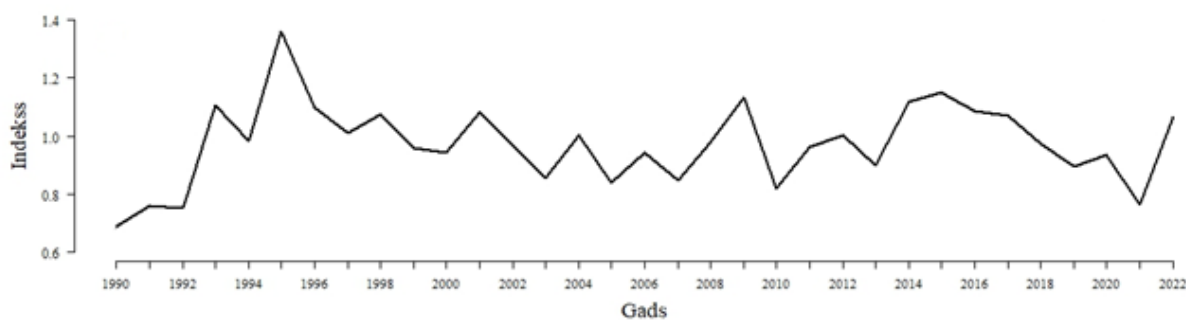
Paragi ievākti no trīs dažādiem eglu vitalitātes stāvokļiem: nokaltušas (zāģētas ripas), kalstošas (puskaltušas) un dzīvas, kopumā 4 transektēs. Gadskārtu šķērsdatēšana veikta, lai pārbaudītu gan viena koka abu urbumu, gan visu, no audzes ievāktu eglu savstarpējo gadskārtu platumu variācijas līdzību un mērījumu kvalitāti. Šķērsdatēšana veikta ar programmu COFECHA, kā arī paralēli veikta grafiska šķērsdatēšanas kvalitātes pārbaude. Mirušo eglu ripas mērītas divos pretējos virzienos, kuros vislabāk izšķiramas gadskārtas. No katriem diviem mērījumiem izrēķināts vidējais un tas izmantots, lai šķērsdatētu pret dzīvajiem un puskaltušajiem kokiem. Lai varētu uzskatāmāk analizēt apkārtējo apstākļu ietekmi uz eglu augšanu, bija nepieciešams limitēt koka vecuma un izmēra ietekmi uz gadskārtu platuma variāciju, tāpēc veikta divkārsa gadskārtu sēriju detrendēšana. Vispirms detrendēšana veikta, izmantojot modificētu negatīvi eksponenciālu līkni („ModExNeg”), kam sekoja detrendēšana ar izlīdzinošo teorētisko vērtību līkni („Spline”). No standartizētajām gadskārtu platumu sērijām katrai eglu vitalitātes grupai izveidota atsevišķa hronoloģija. Veikta arī vidējā ikgadējā radiālā pieauguma salīdzinājums starp eglu vitalitātes grupām pēdējos piecos augšanas gados.

Eglu gadskārtu sēriju savstarpējās sakritība vidēji laba ($r=0,49$). Dzīvo, puskaltušo un nokaltušo eglu hronoloģijas un standartizēto gadskārtu sērijas veido mērījumi no 30 kokiem, informācija par koku radiālās augšanas gaitu aplūkojama no 1989. gada līdz 2022. gadam (5.4 – 5.6. attēls).

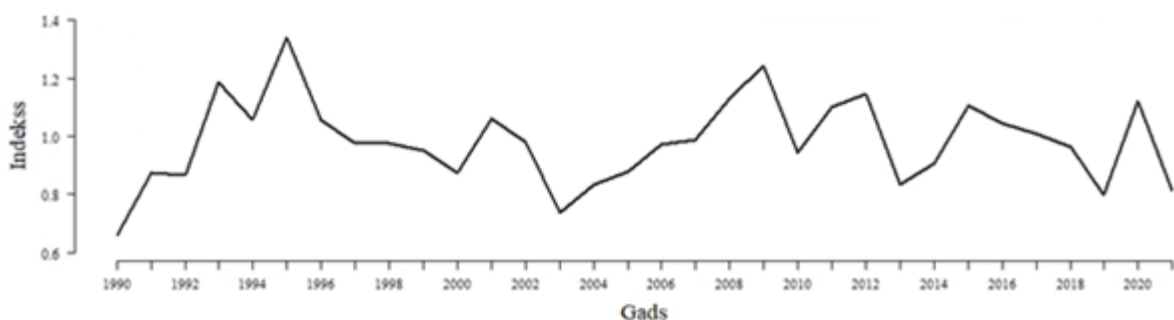


5.4. attēls. Dzīvo eglu augšanas dinamika: detrendēto gadskārtu rindu hronoloģija.

Eglēm visās vitalitātes stadijās 2003., 2010. un 2013. gadā vērojams mazs radiālais pieaugums, kas norāda uz nepiemērotiem augšanas vai klimatiskajiem apstākļiem – šajos gados bija sausa un karsta vasara. Aplūkojot laika periodu, kas tieši saistīts ar meliorācijas sistēmas rekonstrukciju, gadskārtu sēriju hronoloģijās novērojams, ka dzīvajām un puskaltušajām eglēm augšanas atbildes reakcijas bijušas līdzīgas. 2020. gadā radiālais pieaugums palielinājies, taču gadu vēlāk – 2021. gadā sarucis. Atšķirības novērojamas nokaltušo eglu hronoloģijā, kur eglu radiālais pieaugums samazinājies uzreiz – 2019. gadā, nākamajā gadā pieaudzis, taču pēc tam 2021. gadā koki aizgājuši bojā. Nokaltušo eglu ripām pēdējā gadskārtā konstatēta pavasara koksne, kas nozīmē, ka koki gājuši bojā pavasara koksnes veidošanās laikā.

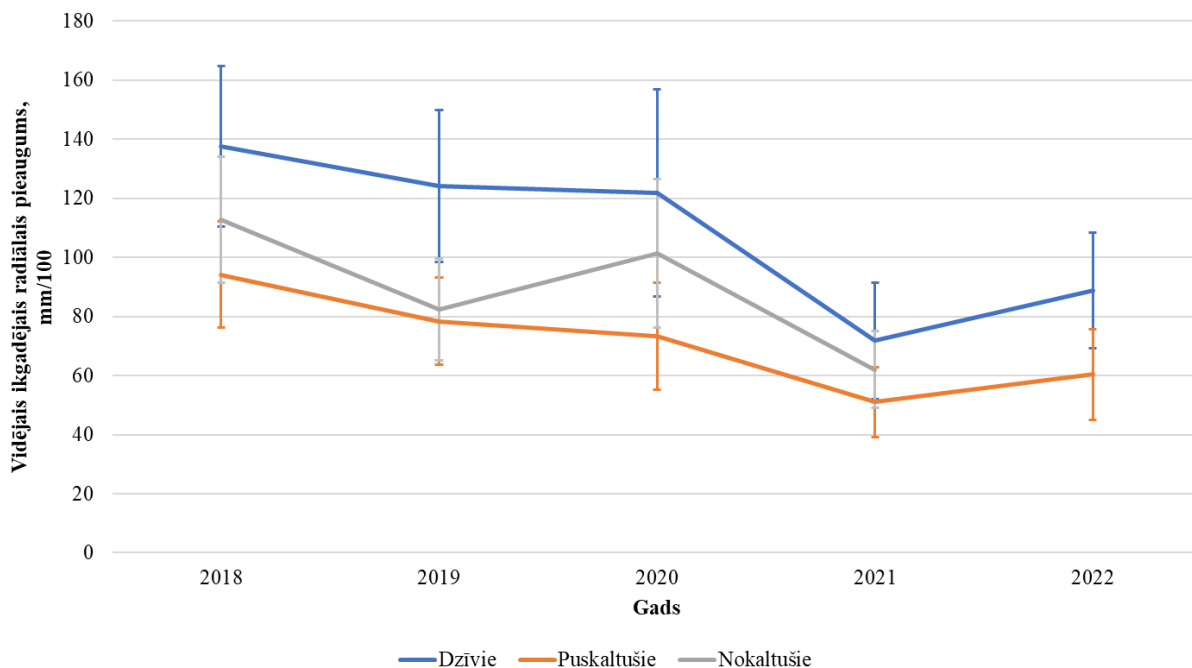


5.5. attēls. Puskaltušo egļu augšanas dinamika: detrendēto gadskārtu rindu hronoloģija.



5.6. attēls. Nokaltušo egļu augšanas dinamika: detrendēto gadskārtu rindu hronoloģija.

Aplūkojot arī ikgadējo radiālo pieaugumu skaidri redzama tā pati tendence (5.7. attēls), relatīvi izteiktā pieauguma samazināšanās 2019. gadā ir atšķirīgais elements, kas grafiski nošķir izdzīvojušās egles no mirušajām un, iespējams, arī ir iemesls kura dēļ, šīs egles aizgājušas bojā.



Izkliedes rādītājs: $\pm 95\%$ ticamības intervālu.

5.7. attēls. Vidējā ikgadējā radiālā pieauguma salīdzinājums dzīvajām, puskaltušajām un nokaltušajām eglēm pēdējos piecos augšanas gados.

Vidējais dzīvo egļu caurmērs 2022. gadā sasniedzis 20.42 cm (standartnovirze ± 4.82 cm), puskaltsu egļu 17.03 cm (standartnovirze ± 2.80 cm), taču mirušo egļu caurmērs 2021. gadā bija sasniedzis 18.29 cm (standartnovirze ± 4.09 cm). Šī sakarība liek noprast, ka kokiem ar lielākām dimensijām bijis vieglāk pārciest ūdens līmeņa fluktuācijas. Puskaltsušās egles kopumā augušas sliktāk, nekā egles, kuras nokaltušas, kas nozīmē, ka visticamāk pastāv vēl kāds kokus raksturojošais faktors, kurš izskaidro konkrēto egļu bojāeju.

Kopsavilkums

Egļu augšanas dinamika noritējusi ļoti līdzīgi visiem pētītajiem kokiem un nav novērojamas izteiktas atšķirības augšanas gaitā un tendencēs, atkarībā no koku vitalitātes. Lai uzskatāmāk novērtētu egļu augšanas atbildes reakcijas uz augšanas apstākļu maiņu, tajā skaitā arī gruntsūdens līmeņa izmaiņām pēc meliorācijas sistēmas rekonstrukcijas, būtu nepieciešams analizēt koksnes anatomiskos parametrus (piemēram, vadaudus), kuriem raksturīgas izteiktākas atbildes reakcijas uz augšanas apstākļu izmaiņām. Ņemot vērā konstatēto egļu mirstību, papildus ierīkotās un izpildītās cirtes (5.3. aktivitāte), nākotnē paredzētā SEG torņa ekosistēmu līmeņa emisiju mērījumos tiks vērtēti jaunu mežaudžu stādījumu varianti.

Izmantotā literatūra

1. Alf, B. (1968). Field and laboratory studies on sex ratio in *ips acuminatus* (coleoptera: scolytidae) in norway. *Canadian Entomologist*, 100(06):640-648. doi: 10.4039/ENT100640-6
2. Ammer, C. (2019). Diversity and forest productivity in a changing climate. *New phytologist*, 221(1), 50-66.
3. Avotniece, Z., Aņiskeviča, S., Maļinovskis, E. 2017. KLIMATA PĀRMAIŅU SCENĀRIJI LATVIJAI. Ziņojuma kopsavilkums, VSIA “Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs”, 16. lpp.
4. Barbosa, P., Letourneau, D.K., Agrawal, A.A. (2012). *Insect outbreaks revisited*. Blackwell Publishing Ltd. 459 p.
5. Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2014). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *arXiv preprint arXiv:1406.5823*.
6. Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S., 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *J. Stat. Software* 67, 1-48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>.
7. Bauhus J., Forrester D. I., Gardiner B., Jactel H., Vallejo R., Pretzsch H. 2017. Ecological stability of mixed-species forests. In *Mixed-species forests* (pp. 337-382). Springer, Berlin, Heidelberg.
8. Bennett, R., Wallsgrave, R.M. (1994). Secondary metabolites in plant defence mechanisms. *New Phytologist*, 127, 617-633.
9. Billany, D., J., Brown, R., M., 1980. The Web-spinning Larch Sawfly, *Cephalcia lariciphila* Wachtl. (Hymenoptera: Pamphiliidae) A New Pest of *Larix* in England and Wales. *Forestry*, 53 (1): 71-80. *Proceedings of the National Academy of Sciences Dec 2019*, 116 (49) 24668-24675; DOI: 10.1073/pnas.1910991116.
10. Bittnera, N., Hundackera, J., Achotegui-Castellsb, A., Anderbrantd, O., Hilker, M. 2019. Defense of Scots pine against sawfly eggs (*Diprion pini*) is primed by exposure to sawfly sex pheromones.
11. Blennow K., Persson E. 2013. Societal impacts of storm damage. In: Gardiner B, Schuck A, Schelhaas M-J, Orazio C, Blennow K, Nicoll B, editors. *Living with Storm Damage to Forests: what Science Can Tell Us*. Joensuu: European Forest Institute; p. 70–77.
12. Borkowski, Andrzej & Skrzecz, Iwona. (2015). Ecological segregation of bark beetle (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae) infested Scots pine. *Ecological Research*. 31. 10.1007/s11284-015-1322-y.
13. Breed, M.F., Harrison, P.A., Bischoff, A., Durruty, P., Gellie, N.J.C., Gonzales, E.K., Havens, K., Karmann, M., Kilkenny, F.F., Krauss, S.L., et al. 2018. Priority actions to improve provenance decision-making. *Biosci.* 68(7), 510–516. <https://doi.org/10.1093/BIOSCI/BIY050>.
14. Briede, A. 2008. Fenoloģisko novērojumu tīkla attīstība un modernizācija Latvijā. <https://www.lu.lv/zinatne/programmas-un-projekti/petniecibas-projekti-latvijas-universitate/2008/briede/> (skatīts 05.01.2023).
15. Buras, A., 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>.
16. Burņeviča, N., Ozoliņš, J., & Gaitnieks, T. (2023). Vertebrate herbivore browsing and impact on forest production. In *Forest Microbiology* (pp. 251-261). Academic Press.
17. Bušs, K. (1976) Latvijas PSR meža tipoloģijas pamati. Rīga, Latvija: LRZTIZPI 24 lpp.
18. Callaghan, T.V., Kulikova, O., Rakhmanova, L., Topp-Jørgensen, E., Labba, N., Kuhmanen, L.-A., Kirpotin, S., Shaduyko, O., Burgess, H., Rautio, A. et al. 2019. Improving dialogue among researchers, local and indigenous peoples and decision-makers to address issues of climate change in the North. *Ambio*, 49, 1161–1178.

19. Cavin, L., 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>.
20. Cawley, K. M., Campbell, J., Zwilling, M., & Jaffé, R. (2014). Evaluation of forest disturbance legacy effects on dissolved organic matter characteristics in streams at the Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire. *Aquatic sciences*, 76(4), 611-622.
21. 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), 283-290.
22. 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), 5092-5107.
23. Cukor, J., Vacek, Z., Linda, R., Vacek, S., Marada, P., Šimůnek, V., & Havránek, F. (2019). Effects of bark stripping on timber production and structure of Norway spruce forests in relation to climatic factors. *Forests*, 10(4), 320.
24. Curt T., Prévosto B. 2003. Rooting strategy of naturally regenerated beech in Silver birch and Scots pine woodlands. In: *Roots: The Dynamic Interface between Plants and the Earth* (pp. 265-279). Springer, Dordrecht.
25. Danchin, E., Giraldeau, L. A., Cezilly, F. (2008) Behavioural Ecology. *Oxford press*. 874 p.
26. Danjon, F., Fourcaud, T., & Bert, D. (2005). Root architecture and wind-firmness of mature *Pinus pinaster*. *New phytologist*, 168(2), 387-400.
27. 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), 747-762.
28. 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), 29389-29395.
29. de Villemereuil, P., Gaggiotti, O.E., Mouterde, M., Till-Bottraud, I., 2016. Common garden experiments in the genomic era: new perspectives and opportunities. *Heredity* (Edinb). 116, 249–254. <https://doi.org/10.1038/hdy.2015.93>
30. Defila, C., Clot, B. 2001. Phytophenological trends in Switzerland. *International Journal of Biometeorology*, 45, 203–207.
31. Della-Marta, P. M., Mathis, H., Frei, C., Liniger, M. A., Kleinn, J., & Appenzeller, C. (2009). The return period of wind storms over Europe. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(3), 437-459.
32. Detter A., Richter K., Rust C., Rust S. (2015) Aktuelle Untersuchungen zum Primärversagen von grünem Holz—Current studies on primary failure in green wood. In: *Jahrbuch der Baumpflege*. D. Dujesiefken (ed.). p. 156–167.
33. Detter A., van Wassenaer P. J., Rust S. 2019. Stability Recovery in London Plane Trees Eight Years After Primary Anchorage Failure. *Arboriculture & Urban Forestry*, Vol. 45 (6), p. 279–288.
34. Detter, A., Rust, S., Rust, C., & Maybaum, G. (2013, September). Determining strength limits for standing tree stems from bending tests. In *Proceedings of the 18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium*, Madison, WI, USA (pp. 24-27).
35. 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, 215-222.

36. Donis J., Kitenberga M., Sņepsts G., Dubrovskis E., Jansons A. 2018. Factors affecting windstorm damage at the stand level in hemiboreal forests in Latvia: case study of 2005 winter storm. *Silva Fennica*, 52(4), 10009.
37. Dreimanis A. 2016. *Mešsaimniecības pamati*. Mācību līdzeklis LLU Meža fakultātes studentiem, nozares speciālistiem un meža īpašniekiem, Jelgava, 219. lpp.
38. Falconer, D.S., Mackay, T.F.C., 1996. Introduction to Quantitative Genetics; 4th ed.; Longmans Green: Harlow, Essex, UK.
39. Feehan, J., Harley, M., van Minnen, J. 2009. Climate change in Europe. 1. Impact on terrestrial ecosystems and biodiversity. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 409–421.
40. Felton, A., Nilsson, U., Sonesson, J. *et al.* Replacing monocultures with mixed-species stands: Ecosystem service implications of two production forest alternatives in Sweden. *Ambio* 45 (Suppl 2), 124–139 (2016). <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0749-2>
41. Ferrenberg, S., Kane, J., Langenham, J.M., 2015. To grow or defend? Pine seedlings grow less but induce more defences when a key resource is limited. *Tree Physiology*, 35, 107–111.
42. Forzieri, G., Girardello, M., Ceccherini, G., Spinoni, J., Feyen, L., Hartmann, H., Beck, P.S.A., Camps-Valls, G., Chirici, G., Mauri, A. & Cescatti, A. (2021). Emergent vulnerability to climate-driven disturbances in European forests. *Nature communications*, 12(1), 1–12.
43. Fox, J., Weisberg, S., 2019. An {R} Companion to Applied Regression, Third Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>.
44. 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.
45. Gardiner B., Berry P., Moulia B. 2016. Review: Wind impacts on plant growth, mechanics and damage. *Plant Science*, 245, 94–118.
46. Gardiner B., Schuck A. R. T., Schelhaas M. J., Orazio C., Blennow K., Nicoll, B. (Eds.). 2013. *Living with storm damage to forests* (Vol. 3, pp. 129–p). Joensuu: European Forest Institute.
47. 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.
48. Gavrilova Ģ., Šulcs V. 1999. Latvijas vaskulāro augu flora: Taksonu saraksts. – Rīga: Latv. Akad. B-ka, 136 lpp.
49. Gedminas A. 2003. Outbreaks of Pine Defoliating Insects and Radial Growth Proceedings: IUFRO Kanazawa 2003 "Forest Insect Population Dynamics and Host Influences"
50. Glowacka, B., Skrzecz, I. & Bystrowski, C. 2014. Reducing the abundance of great pine web-spinning pine-sawfly *Acantholyda posticalis* Mats. in pine stands. *Sylwan*, 158, 323–330 (in Polish with English summary).
51. Gratani, L. 2015. Plant Phenotypic Plasticity in Response to Environmental factors. *Advances in Botanical Research*, 2014, 1–17.
52. 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, 46397.
53. 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), 35–54.
54. Grillakis M. G. 2019. Increase in severe and extreme soil moisture droughts for Europe under climate change. *Science of The Total Environment*, 660, 1245–1255.
55. Haynes KJ, Allstadt AJ, Klimetzek D. 2014. Forest defoliator outbreaks under climate change: effects on the frequency and severity of outbreaks of five pine insect pests. *Global Change Biology* 20, 2004–2018

56. Hanewinkel, M., Cullmann, D. A., Schelhaas, M. J., Nabuurs, G. J., & Zimmermann, N. E. (2013). Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature climate change*, 3(3), 203-207.
57. Harris, I., Osborn, T.J., Jones, P., 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>.
58. 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>.
59. Hester, R.E., Harrison, R.M., 2007. Biodiversity under threat. *Issues in Environmental Science and Technology*, 25, 53pp.
60. Holmes, R., 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bull.* 43, 69–78.
61. Honkaniemi, J., Ojansuu, R., Kasanen, R., & Heliövaara, K. (2018). Interaction of disturbance agents on Norway spruce: A mechanistic model of bark beetle dynamics integrated in simulation framework WINDROT. *Ecological Modelling*, 388, 45-60.
62. 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, 162-171.
63. Hothorn, T., & Müller, J. (2010). Large-scale reduction of ungulate browsing by managed sport hunting. *Forest Ecology and Management*, 260(9), 1416-1423.
64. 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>.
65. Huuskonen, S., Domisch, T., Finér, L., Hantula, J., Hynynen, J., Matala, J., Miina, J., Neuvonen, S., Nevalainen, S., Niemistö, P., Nikula, A., Piri, T., Siitonen, J., Smolander, A., Tonteri, T., Uotila, K., Viiri, H., What is the potential for replacing monocultures with mixed-species stands to enhance ecosystem services in boreal forests in Fennoscandia?, *Forest Ecology and Management*, Volume 479, 2021, 118558, ISSN 0378-1127, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118558>.
66. 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, 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07701-0>.
67. 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).
68. Yang, M., Défossez, P., Danjon, F., & Fourcaud, T. (2018). Analyzing key factors of roots and soil contributing to tree anchorage of *Pinus* species. *Trees*, 32(3), 703-712.
69. Jetschke, G., van der Maaten, E., 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>.
70. Jyske, T., Mäkinen, H., Kalliokoski, T., Nöjd, P., 2014. Intra-annual tracheid production of Norway spruce and Scots pine across a latitudinal gradient in Finland. *Agric. For. Meteorol.* 194, 241–254, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.04.015>.
71. Jonaitis V., Ivinskis P., 2004. Some Situation that Determine Un- or Sustainable Development of Plant – Insect Systems in Lithuania. *Environmental research, engineering and management*.No.1(27), P.34-39
72. Jönsson, A.M.; Appelberg, G.; Harding, S.; Barring, I., 2009. Spatio-temporal impact of climate change on the activity and voltinism of the spruce bark beetle, *Ips typographus*. *Glob. Chang. Biol.* 15, 486–499. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01742.x>.

73. Kärvemo, S., Johansson, V., Schroeder, M., & Ranius, T. (2016). Local colonization-extinction dynamics of a tree-killing bark beetle during a large-scale outbreak. *Ecosphere*, 7(3), e01257.
74. 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), 213-233.
75. Kenis, M., Kloosterman, K., 2001. European Parasitoids of the Pine False Webworm (*Acantholyda erythrocephala* (L.)) and Their Potential for Biological Control in North America. Proceedings: integrated management and dynamics of forest defoliating insects: 65-73.
76. Klisz, M.; Buras, A.; Sass-Klaassen, U.; Puchałka, R.; Koprowski, M.; Ukalska, J., 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>.
77. Kozakiewicz, P., Jankowska, A., Mamiński, M., Marciszewska, K., Ciurzycki, W., & Tulik, M. (2020). The wood of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from post-agricultural lands has suitable properties for the timber industry. *Forests*, 11(10), 1033.
78. Kramer, K., Leinonen, I., Loustau, D. 2000. The importance of phenology for the evaluation of impact of climate change on growth of boreal, temperate and Mediterranean forests ecosystems: An overview. *International Journal of Biometeorology*. 44 (2), 67-75.
79. Krisans O., Matisons R., Rust S., Burnevica N., Bruna L., Elferts D., Kalvane L., Jansons A. 2020. Presence of root rot reduces stability of Norway spruce (*Picea abies*): Results of static pulling tests in Latvia. *Forests*, 11(4), 416.
80. Krisans, O., Matisons, R., Rust, S., Burnevica, N., Bruna, L., Elferts, D., Kalvane, L. & Jansons, A. (2020a). Presence of root rot reduces stability of Norway spruce (*Picea abies*): Results of static pulling tests in Latvia. *Forests*, 11(4), 416.
81. Krisans, O., Saleniece, R., Rust, S., Elferts, D., Kapostins, R., Jansons, A., & Matisons, R. (2020b). Effect of bark-stripping on mechanical stability of Norway spruce. *Forests*, 11(3), 357.
82. 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.
83. Krišāns O., Matisons R., Kitenberga M., Donis J., Rust S., Elferts D., Jansons Ā. 2021. Wind resistance of eastern Baltic silver birch (*Betula pendula* Roth.) suggests its suitability for periodically waterlogged sites. *Forests*, 12, 21.
84. Krišāns O., Matisons R., Kitenberga M., Donis J., Rust S., Elferts D., Jansons Ā. (2021) Wind Resistance of Eastern Baltic Silver Birch (*Betula pendula* Roth.) Suggests Its Suitability for Periodically Waterlogged Sites. *Forests*, Vol. 12 (1), p. 21.
85. Krišāns O., Matisons R., Vuguls J., Bāders E., Rust S., Elferts D., Saleniece R., Jansons Ā. 2022b. Regularly Planted Rather Than Natural Understory of Norway Spruce (*Picea abies* H. Karst.) Contributes to the Individual Stability of Canopy Silver Birch (*Betula pendula* Roth.). *Forests*, 13(6), 942.
86. Krišāns O., Matisons R., Vuguls J., Rust S., Elferts D., Seipulis A., Saleniece R., Jansons Ā. 2022c. Silver Birch (*Betula pendula* Roth.) on Dry Mineral Rather than on Deep Peat Soils Is More Dependent on Frozen Conditions in Terms of Wind Damage in the Eastern Baltic Region. *Plants*, 11(9), 1174.
87. Krišāns O., Matisons R., Vuguls J., Seipulis A., Elferts D., Samariks V., Saleniece R., Jansons Ā. 2022d. Soil Type Rather Than Freezing Determines the Size of Soil-Root Plate of Silver Birch (*Betula pendula* Roth.) in the Eastern Baltic Region. *Sustainability*, 14(12), 7332.
88. Krišāns O., Samariks V., Donis J., Jansons Ā. 2020c. Structural Root-plate characteristics of wind-thrown Norway spruce in hemiboreal forests of Latvia. *Forests*, 11(11), 1143.

89. 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.
90. Krišāns, O., Matisons, R., Vuguls, J., Bāders, E., Rust, S., Elferts, D., Saleniece, R., & Jansons, Ā. (2022b). Regularly Planted Rather Than Natural Understory of Norway Spruce (*Picea abies* H. Karst.) Contributes to the Individual Stability of Canopy Silver Birch (*Betula pendula* Roth.). *Forests*, 13(6), 942.
91. Krišāns, O., Matisons, R., Vuguls, J., Rust, S., Elferts, D., Seipulis, A., Saleniece, R., Jansons, Ā. (2022c). Silver Birch (*Betula pendula* Roth.) on Dry Mineral Rather than on Deep Peat Soils Is More Dependent on Frozen Conditions in Terms of Wind Damage in the Eastern Baltic Region. *Plants*, 11(9), 1174.
92. 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), 62.
93. Latvijas botāniķu biedrība. *Botānikas attīstība Latvijā*. <http://botany.lv/vesture/botanikas-attistiba-latvija/> (skatīts 02.01.23.)
94. Latvijas klimata pārmaiņu monitoringa sistēmas apraksts. 2018. Latvijas Vides, Ģeoloģijas un Meteoroloģiskais centrs. https://www4.meteo.lv/klimatariks/files/Klimata_parmainu_monitoringa_sistema.pdf (skatīts 02.01.23.)
95. Latvijas meža resursu statistiskā inventarizācija 2019. Meža resursu monitoringa rezultāti [tiešsaiste] [skatīts 2022. gada 15. martā]. Pieejams: <http://www.silava.lv/petijumi/nacionlais-mea-monitorings.aspx>
96. Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs. (2016). Sniega segas novērojumi un mērījumi. Dokumenta kods: LVGMC-MD-IN-7.5-2.21.
97. Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs. (2023). Latvijas klimats. Pieejams: <https://videscentrs.lvgmc.lv/lapas/latvijas-klimats> (skatīts 2023. gada 11. janvārī).
98. Lenth, R., 2022. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means_. R package version 1.7.5, <<https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>>.
99. Li, T., Sheng, M., 2012. Parasitoids of the Sawfly, *Arge pullata*, in the Shennongjia National Nature Reserve. *Journal of insect science*, 12.
100. Link, T. E., & Marks, D. (1999). Point simulation of seasonal snow cover dynamics beneath boreal forest canopies. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 104(D22), 27841-27857.
101. Liu, S., Ji, X., & Zhang, X. (2022). Effects of soil properties and tree species on root–soil anchorage characteristics. *Sustainability*, 14(13), 7770.
102. Lloret, F., Keeling, E.G., Sala, A., 2011. Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. *Oikos* 120, 1909-1920.
103. Longhurst, C., Baker, R., 1981. Host location in *Olesicampe monticola*, a parasite of larvae of larch sawfly *Cephalcia lariciphila*. *Journal of Chemical Ecology*, 7 (1): 203-208.
104. Marchand, L. J., Dox, I., Gričar, J., Prislán, P., Van den Bulcke, J., Fonti, P., Campioli, M., 2021. Timing of spring xylogenesis in temperate deciduous tree species relates to tree growth characteristics and previous autumn phenology. *Tree Physiol.* 41, 1161–1170. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpaa171>.
105. Matisons, R., et al., 2021. 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>.
106. 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>.

107. Menzel, A., Sparks, T., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Alm-Kübler, K., Bissolli, P., Braslavská, O., Briede, A., et al., 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 12, 1969–1976.
108. Mezei, P., et al., 2017. Storms, temperature maxima and the Eurasian spruce bark beetle *Ips typographus* – An infernal trio in Norway spruce forests of the Central European High Tatra Mountains. *Agricultural and Forest Meteorology* 242, 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.04.004>.
109. Millar, C.I., N.L. Stephenson, and S.L. Stephens. 2007. Climate change and forests of the future: Managing in the face of uncertainty. *Ecological Applications* 17: 2145–2151.
110. Moreira, X., Lundborg, L., Zas, R., Carrillo-Gavilán, A., Borg-Karlson, A.K., Sampedro, L., 2013. Inducibility of chemical defences by two chewing insect herbivores in pine trees is specific to targeted plant tissue, particular herbivore and defensive trait. *Phytochemistry*, 94, 113-122.
111. Muldrew, J., A., 1967. Biology and initial dispersal of *Olesicampe (Holocremnus) sp. nr. nematorum* (Hymenoptera: Ichneumonidae), a parasite of the larch sawfly recently established in Manitoba. *The Canadian Entomologist*, 99 (3): 312-321.
112. Nabuurs, G.J., Verkerk, P.J., Schelhaas, M.J., González Olabarria, J.R., Trasobares, A., Cienciala, E., 2018. Climate-Smart Forestry: Mitigation Impacts in Three European Regions. https://www.efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2018/efi_fstp_6_2018.pdf.
113. Netherer, S., Panassiti, B., Pennerstorfer, J., Matthews, B., 2019. Acute drought is an important driver of bark beetle infestation in Austrian Norway spruce stands. *Front. For. Glob. Chang.* 2, N39. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00039>.
114. Nicoll, B. C., & Ray, D. (1996). Adaptive growth of tree root systems in response to wind action and site conditions. *Tree physiology*, 16(11-12), 891-898.
115. Nieuwenhuis M., Fitzpatrick P.J. 2002. An assessment of stem breakage and the reduction in timber volume and value recovery resulting from a catastrophic storm: An Irish case study. *Forestry*, 75, 513–523.
116. Oouchi, K., Yoshimura, J., Yoshimura, H., Mizuta, R., Kusunoki, S., & Noda, A. (2006). Tropical cyclone climatology in a global-warming climate as simulated in a 20 km-mesh global atmospheric model: Frequency and wind intensity analyses. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 84(2), 259-276.
117. Ossó, A., Allan, R. P., Hawkins, E., Shaffrey, L., & Maraun, D. (2022). Emerging new climate extremes over Europe. *Climate Dynamics*, 58(1), 487-501.
118. Overbeck, M., & Schmidt, M. (2012). Modelling infestation risk of Norway spruce by *Ips typographus* (L.) in the Lower Saxon Harz Mountains (Germany). *Forest Ecology and Management*, 266, 115-125.
119. Ozolinēius, R. 2012. Possible Effects of Climate Change on Forest Biodiversity, Tree Growth and Condition: Review of Research in Lithuania. *Baltic Forestry* 18(1): 156-167
120. Ozols G. 1985. Priedes un egles dendrofāģie kukaiņi Latvijas mežos. *Zinātnes un ražošanas apvienība „Silava”, Rīga, Zinātne*, 208 lpp.
121. Ozols, J., Bojāre, A., Everts-Bunders, P., Everte-Bundare, G., Jakubāne, I., Balalaikins, M., Valainis, U., Birzaks, J., Paidere, J., Dukule-Jakušenoka, K., Garkāje, A., Rutkovska, S., Dzenis, J., Priede, A., Melnbārde, M. 2021. Vadlīnijas sugu iekļaušanai Latvijas invazīvos sugu sarakstā. ES LIFE Programmas projekts “Natura 2000 aizsargājamo teritoriju pārvaldības un apsaimniekošanas optimizācija”, Daugavpils Universitāte, 44 lpp.
122. Päävänen, J., & Hännell, B. (2012). Peatland ecology and forestry – a sound approach. Helsinki, Finland: University of Helsinki.
123. Pallardy, S. G. (2010). *Physiology of woody plants*. Academic press.

124. Pautasso, M., K. Dehnen-Schmutz, O. Holdenrieder, S. Pietravalle, N. Salama, M.J. Jeger, E. Lange, and S. Hehl-Lange. 2010. Plant health and global change—Some implications for landscape management. *Biological Reviews* 85: 729–755.
125. Peltola H., Gardiner B., Nicoll B. (2013) Susceptibility to Wind Damage—Mechanics of wind damage. In: *Living with storm damage to forests*. B. Gardiner (ed.). Joensuu: European Forest Institute, p. 31–38.
126. 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), 143–153.
127. Piao, S., Liu, Q., Chen, A., Janssens, I.A., Fu, Y., Dai, J., Liu, L., Lian, X., Shen, M., Zhu, X. 2019. Plant phenology and global climate change: Current progresses and challenges. *Global Change Biology*, 25 (6), 1922–1940.
128. Plath, M., Dorn, S., Riedel, J., Barrios, H., & Mody, K. (2012). Associational resistance and associational susceptibility: specialist herbivores show contrasting responses to tree stand diversification. *Oecologia*, 169(2), 477–487.
129. 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), 1–22.
130. Pretzsch, H., & Schütze, G. (2021). Tree species mixing can increase stand productivity, density and growth efficiency and attenuate the trade-off between density and growth throughout the whole rotation. *Annals of Botany*, 128(6), 767–786.
131. Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Uhl, E., & Rötzer, T. (2014). Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. *Nature Communications*, 5(1), 1–10.
132. Price, P. W. (1997) *Insect ecology*, 3rd edition. Blackwell Publishing Ltd. 888 p.
133. Puhe, J. (2003). Growth and development of the root system of Norway spruce (*Picea abies*) in forest stands—a review. *Forest ecology and management*, 175(1-3), 253–273.
134. Quicke, D. L. J. (2015) *The braconid and ichneumonid parasitoid wasps: biology, systematics, evolution and ecology*. Blackwell Publishing Ltd. 704 p.
135. Quine C. P., Gardiner B. A. (2007) Understanding how the interaction of wind and trees results in windthrow, stem breakage, and canopy gap formation. *Plant disturbance ecology: The process and the response*, 103–155.
136. R Core Team (2020) *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
137. 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), 169–182.
138. Richardson, D.M., Pyšek, P. 2012. Naturalization of introduced plants: ecological drivers of biogeographical patterns. *New Phytologist*, 196(2), 383–396.
139. Rimkus, E., Briede, A., Jaagus, J., Stonevicius, E., Kilpys, J., & Viru, B. (2018). Snow-cover regime in Lithuania, Latvia and Estonia and its relationship to climatic and geographical factors in 1961–2015. *Boreal Environ. Res*, 23, 193–208.
140. Schneider, E. E., Affleck, D. L., & Larson, A. J. (2019). Tree spatial patterns modulate peak snow accumulation and snow disappearance. *Forest Ecology and Management*, 441, 9–19.
141. Schwartz, M.D. 2013. *Phenology: An integrative environmental science*. Dordrecht Heidelberg New York London: Springer, 273–273.
142. Schwarz, J., Skiadaresis, G., Kohler, M., Kunz, J., Schnabel, F., Vitali, V., Bauhus, J., 2020. Quantifying growth responses of trees to drought — a critique of commonly used resilience indices and recommendations for future studies. *Current Forestry Reports* 6, 185–200.
143. Schwarzbauer P., Rauch P. 2013. Impact on industry and markets – roundwood prices and procurement risks. In: Gardiner B, Schuck A, Schelhaas M-J, Orazio C, Blennow K, Nicoll

- B, editors. *Living with Storm Damage to Forests: What Science Can Tell Us*. Joensuu: European Forest Institute; p. 66–71.
144. Schweingruber, F.H., Eckstein, D., Serre-Bachet, F., Bräker, O.U., 1990. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia* 8: 9–38.
 145. Seidl, R., & Rammer, W. (2017). Climate change amplifies the interactions between wind and bark beetle disturbances in forest landscapes. *Landscape Ecology*, 32(7), 1485–1498.
 146. Seidl, R., Rammer, W., Jäger, D., Lexer, M.J., (2008) Impact of bark beetle (*Ips typographus* L.) disturbance on timber production and carbon sequestration in different management strategies under climate change. *For. Ecol. Manag* 256, 209–220. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.04.002>.
 147. Snepsts, G., Kitenberga, M., Elferts, D., Donis, J., & Jansons, A. (2020). Stem damage modifies the impact of wind on Norway spruces. *Forests*, 11(4), 463.
 148. Sousa-Silva, R., Verbist, B., Lomba, Á., Valent, P., Suškevičs, M., Picard, O., Hoogstra-Klein, M.A., Cosofretg, V.C., Bouriaud, L., Ponette, Q., Verheyen, K. & Muys, B. (2018). Adapting forest management to climate change in Europe: linking perceptions to adaptive responses. *Forest Policy and Economics*, 90, 22–30.
 149. Spark, T.H., Menzel, A. 2002. Observed changes in seasons: An overview. *International Journal of Climatology*, 22, 1715–1725.
 150. Stewart, R.E. (1985). Precipitation types in winter storms. *Pure and Applied Geophysics*, 123(4), 597–609.
 151. Strasser, U., Warscher, M., & Liston, G. E. (2011). Modeling snow–canopy processes on an idealized mountain. *Journal of Hydrometeorology*, 12(4), 663–677.
 152. Suzuki, K. K., Yasuda, M., & Sonoda, M. (2022). Spatially biased reduction of browsing damage by sika deer through culling. *The Journal of Wildlife Management*, e22251.
 153. Šmits, A. (2020). Stumbru kaitēkļu savairošanās risku apzināšana Lubānas iecirknī un Stiklu purva degumā. Priežu audžu tīklapsenes savairošanās prognoze Nīcgales iecirknī. Pārskats, Silava 172 lpp.
 154. Šņepsts G., Krišāns O., Matisons R., Seipulis A., Jansons Ā. 2022. Cervid Bark-Stripping Is an Explicit Amplifier of Storm Legacy Effects in Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) Stands. *Forests*, 13(11), 1947.
 155. Thürig E., Hagedorn F., Lindroth A. 2013. Influence of storm damage on the forest carbon balance. *Living with the Storm Damage*; Gardiner, E., Schuck, A., Schelhaas, M.-J., Orazio, C., Blennow, K., Nicoll, B., Eds, 47–55.
 156. Tierney, G.L., Fahey, T.J., Groffman, P.M., Hardy, J.P., Fitzhugh, R.D., Driscoll, C.T., 2001. Soil freezing alters fine root dynamics in a northern hardwood forest. *Biogeochemistry* 56, 175–190, <https://doi.org/10.1023/A:1013072519889>.
 157. Underwood, N., Inouye, B. D., & Hambäck, P. A. (2014). A conceptual framework for associational effects: when do neighbors matter and how would we know?. *The Quarterly review of biology*, 89(1), 1–19.
 158. Vacek, Z., Cukor, J., Linda, R., Vacek, S., Šimůnek, V., Brichta, J., Gallo, J. & Prokūpková, A. (2020). Bark stripping, the crucial factor affecting stem rot development and timber production of Norway spruce forests in Central Europe. *Forest Ecology and Management*, 474, 118360.
 159. van der Maaten-Theunissen, M., Trouillier, M., Schwarz, J., Skiadaresis, G., Thurm, E., van der Maaten, E. 2021. “pointRes 2.0: New functions to describe tree resilience. *Dendrochronologia* 70, N125899. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.12589>.
 160. Vapaavuori, E., Henttonen, H.M., Peltola, H. et al. 2010 Climate change impacts and most susceptible regions of severe impact in Finland. *Finland’s Forests in Changing Climate*, Vol. 159 (ed. by J.Parviainen, E.Vapaavuori and A. Mäkelä), pp. 17–25. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute, Vantaa, Finland.

161. 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), 63-72.
162. Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S., Lopez-Moreno, J.I., 2010. A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index – SPEI. *J. Climate* 23, 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>.
163. von Arx, G., et al., 2017. Responses of sapwood ray parenchyma and non-structural carbohydrates of *Pinus sylvestris* to drought and long-term irrigation. *Funct. Ecol.* 31, 1371–1382. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12860>.
164. Voolma K., Hiiesaar K., Williams I. H., Ploomi A. and Jõgar K. 2016. Cold hardiness in the pre-imaginal stages of the great web-spinning pine-sawfly *Acantholyda posticalis* *Agricultural and Forest Entomology* 18, 432–436
165. Voolma, K., Pilt, E. & Õunap, H. 2009. Nõmme-võrgendivaablase (*Acantholyda posticalis* (Mats.), Hymenoptera: Pamphiliidae) esmakordne hulgisigimine Eestis. (The first reported outbreak of the great web-spinning pine-sawfly, *Acantholyda posticalis* (Mats.) (Hymenoptera, Pamphiliidae), in Estonia.) *Forestry Studies/ Metsanduslikud Uurimused*, 50, 115–122 (in Estonian with English summary).
166. Wajnberg, E., Bernstein, C., Van Alphen J., 2008. Behavioral ecology of insect parasitoids. From theoretical approaches to field applications. Blackwell Publishing. 445 p.
167. Wajnberg, E., Colazza, S., 2013. Chemical ecology of insect parasitoids. Wiley-Blackwell. 312 p.
168. Wessolly, L. (1995) Fracture diagnosis of trees Part 1: Statics-Integrated Methods – Measurement with Tension Test. *Stadt und Gruen* 6, 416-422.
169. Wigley, T.M.L., Briffa, K.R., Jones, P.D., 1984. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 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).
170. 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>.
171. Zhang, Q. H., & Schlyter, F. (2004). Olfactory recognition and behavioural avoidance of angiosperm nonhost volatiles by conifer-inhabiting bark beetles. *Agricultural and Forest Entomology*, 6(1), 1-20.
172. Zhang, Z., et al., 2018. Converging climate sensitivities of European forests between observed radial tree growth and vegetation models. *Ecosystems* 21, 410–425. <https://doi.org/10.1007/s10021-017-0157-5>.
173. Гниненко Ю. И., Серый Г. А., Бондаренко Е. Ю. 2015. Звездчатый пилильщик-ткач: вредоносность, лесопатологические обследования в очагах и меры защиты. – Пушкино : ВНИИЛМ, 60 с. Цв. вклейка (Gninenko, U.I., Sery, G.A. & Bondarenko, E.U. (2015) Pine Web-Spinning Sawfly: Its Hazard, Forest Pathology Surveys in its Mass Outbreaks, and Protection Operations. VNIILM, Russia (in Russian).
174. Коломиец Н. Г. 1967. Звездчатый пилильщик - ткач. Новосибирск: Наука,. 135 с. (Kolomyietz, N.G. (1967) Sawfly Weaver (distribution, biology, damage, natural enemies, control). Nauka, Russia (in Russian).)
175. Малый Л.П.. 1972 Биологические и экологические особенности звездчатого пилильщика – ткача (*Acantholyda stellata* Christ.), в Белоруссии и меры борьбы с ним. Гомель, С. 21. In “Соколов Г. И. 2009. Массовое размножение вредителей леса в Челябинской области.” (Outbreak of forest pests in Chelabinsk region). – Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 187, 318-328 (Sokolov, G.I. (2009) Outbreaks of forest pests in Chelabinsk region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehneskoj Akademii*, 187 318–328)(in Russian).